



Югорский  
государственный  
университет

# ВЕСТНИК

**BULLETIN**  
YUGRA STATE UNIVERSITY

ТОМ 20, ВЫПУСК 2

2024

ЮГОРСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

## ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НОМЕРА:

- Особенности назначения уголовных наказаний в условиях введения военного положения
- Подбор технологической основы интеллектуального антикоррозионного покрытия для защиты нефтеперерабатывающего оборудования
- Прогнозирование изменений климатической системы Земли по инструментальным измерениям и палеоданным в фазо-временной области, согласованных с изменениями барицентрических движений Солнца



г. Ханты-Мансийск

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА»

**Лапшин Валерий Федорович** – главный редактор, доктор юридических наук, доцент, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», v\_lapshin@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 559);

**Шарова Полина Сергеевна** – ответственный секретарь редакционной коллегии, заведующий единой редакцией научных журналов ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», p\_sharova@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 421);

**Самарина Ольга Владимировна** – ответственный редактор по направлению 1.2 Компьютерные науки и информатика по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), кандидат физико-математических наук, доцент, руководитель инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Осипов Дмитрий Сергеевич** – ответственный редактор по направлению 2.4 Энергетика и электротехника по специальности 2.4.3 Электроэнергетика (технические науки), доктор технических наук, профессор, руководитель политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Королев Максим Игоревич** – ответственный редактор по направлению 2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия по специальности 2.6.17 Материаловедение (технические науки), кандидат технических наук, доцент, руководитель высшей нефтяной школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Розенко Станислав Васильевич** – ответственный редактор по направлению 5.1 Право по специальности 5.1.4 Уголовно-правовые науки, кандидат юридических наук, руководитель высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

### 1.2 Компьютерные науки и информатика по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки):

**Вохминцев Александр Владимирович** – доктор технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Интеллектуальные информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет» совместно с ФИЦ «Информатика и управление Российской академии наук Института системного анализа»;

**Загребина Софья Александровна** – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий кафедрой «Математическое и компьютерное моделирование» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный институт»;

**Кожанов Александр Иванович** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБН «Институт математики имени С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук»;

**Кутышкин Андрей Валентинович** – доктор технических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Мельников Андрей Витальевич** – доктор технических наук, профессор базовой кафедры ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» на базе АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий», директор АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;

**Полищук Юрий Михайлович** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник центра дистанционного зондирования Земли АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;

**Попков Юрий Соломонович** – доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор Института системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук»;

**Пятков Сергей Григорьевич** – доктор физико-математических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

### 2.4 Энергетика и электротехника по специальности 2.4.3 Электроэнергетика (технические науки):

**Горюнов Владимир Николаевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»;

**Ковалев Владимир Захарович** – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Новожилов Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика» Павлодарского государственного университета им. С. Торайтыгова (Казахстан);

**Никитин Константин Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»;

**Осипов Дмитрий Сергеевич** – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Сидоров Олег Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»;

**Сычев Юрий Анатольевич** – доктор технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика и электромеханика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»;

**Харламов Виктор Васильевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические машины и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения».

### 2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия по специальности 2.6.17 Материаловедение (технические науки):

**Альмов Михаил Иванович** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФГБН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения (ИСМАН) РАН»;

**Баев Владимир Константинович** – доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБН Институт

теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук»;

**Гуляев Павел Юрьевич** – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Еськов Александр Васильевич** – доктор технических наук, профессор, начальник кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации»;

**Клименко Любовь Степановна** – доктор химических наук, профессор высшей нефтяной школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Нехорошев Сергей Викторович** – доктор технических наук, главный научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия»;

**Пронин Сергей Петрович** – доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»;

**Сахаров Юрий Владимирович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры физической электроники ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

#### 5.1 Право по специальности

#### 5.1.4 Уголовно-правовые науки (юридические науки):

**Авдеев Вадим Авдеевич** – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Анисимов Валерий Филиппович** – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

**Козаченко Иван Яковлевич** – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовного права ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет»;

**Кибальник Алексей Григорьевич** – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовного права и процесса ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;

**Понятовская Татьяна Григорьевна** – доктор юридических наук, профессор, профессор кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет имени О. Е. Кутафина»;

**Рарог Алексей Иванович** – доктор юридических наук, профессор, научный руководитель кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет имени О. Е. Кутафина»;

**Сергеев Владимир Анатольевич** – доктор юридических наук, профессор, директор Центра прикладного уголовного правосудия, профессор Школы правоохранения и управления юстицией Западного Иллинойского университета;

**Шеслер Александр Викторович** – доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права ФКОУ ВО «Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний», профессор кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

**Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий**, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

ISSN 2078-9114 (Online) | ISSN 1816-9228 (Print)  
Журнал издается с 2005 года  
Журнал включен в РИНЦ

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ  
**Science Index**

© ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», 2024



# ВЕСТНИК BULLETIN<sup>16+</sup>

YUGRA STATE UNIVERSITY

## ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Том 20, выпуск 2 (2024)

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

Адрес учредителя, издателя и редакции:  
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,  
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Главный редактор – Лапшин Валерий Федорович,  
тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 559)

## СОДЕРЖАНИЕ

УГОЛОВНОЕ ПРАВО И КРИМИНОЛОГИЯ . . . . 5	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. . . . . 74
<b>Каретников К.В., Шеслер А.В., Шеслер С.С.</b> ФОРМЫ ПРОФИЛАКТИКИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ИНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЙ ГРУПП НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ В МЕСТАХ ЛИШЕНИЯ СВОБОДЫ. . . . . 5	<b>Алексеев В.И.</b> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМЛИ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ И ПАЛЕОДАНЫМ В ФАЗО-ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ, СОГЛАСОВАННЫХ С ИЗМЕНЕНИЯМИ БАРИЦЕНТРИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ СОЛНЦА. ЧАСТЬ 1 . . . . . 74
<b>Ларченко А.А.</b> ЛИШЕНИЕ ПРАВА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В СИСТЕМЕ НАКАЗАНИЙ. . . . . 11	<b>Евсеев Ф.А.</b> РАЗРЕШИМОСТЬ НАЧАЛЬНО-КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ КВАЗИГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ В СЛУЧАЕ СЛАБОСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ . . . . . 97
<b>Хилюта В.В.</b> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОНИМАНИЯ СУЩНОСТИ АДМИНИСТРАТИВНОЙ ПРЕЮДИЦИИ В УГОЛОВНОМ ПРАВЕ . . . . . 16	<b>Жилин Р.А.</b> ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО МНЕНИЯ В КОАЛИЦИЯХ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЛЕЗНОСТИ . . . . . 107
<b>Цапанова С.С.</b> ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ УГОЛОВНЫХ НАКАЗАНИЙ В УСЛОВИЯХ ВВЕДЕНИЯ ВОЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ. . . . . 24	<b>Семахин А.М.</b> МЕТОД ФРАНКА-ВУЛЬФА В МОДЕЛИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ. . . . . 113
<b>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА . . . . . 28</b>	<b>Сушко А.А., Пятков С.Г.</b> ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ РЗА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ . . . . . 120
<b>Лютаревич А.Г.</b> ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ. . . . . 28	
<b>Планков А.А.</b> САМОЗАПУСК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ . . . . . 32	
<b>Ткаченко В.А.</b> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ШТЕЙНЕРА В РАМКАХ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ. . . . . 37	
<b>Шепелев А.О., Шепелева Е.Ю., Швецов С.Ю.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ПЕРЕДАВАЕМУЮ МОЩНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ . . . . . 41	
<b>МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ . . . . . 47</b>	
<b>Бондарь М.А., Латыпов О.Р.</b> ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ . . . . . 47	
* <b>Галай М.С., Сидоров Э.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ СВАРКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ ТЕРМИТНЫМ СПОСОБОМ . . . . . 54	
<b>Пашков М.В., Хисамутдинов Р.М.</b> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО НАНЕСЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН . . . . . 60	
<b>Стась И.Е., Попова Е.А.</b> СВОЙСТВА РАСТВОРОВ И ПЛЕНОК ХИТОЗАНА, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ВОДЫ . . . . . 65	

\* Статья удалена из выпуска по решению редакции,  
так как является повторно опубликованной

## ФОРМЫ ПРОФИЛАКТИКИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ИНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЙ ГРУПП НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ В МЕСТАХ ЛИШЕНИЯ СВОБОДЫ

### Каретников Константин Викторович

Кузбасский институт Федеральной службы  
исполнения наказаний,  
Новокузнецк, Россия  
E-mail: kostya\_385@mail.ru

### Шеслер Александр Викторович

доктор юридических наук, профессор,  
Кузбасский институт Федеральной службы  
исполнения наказаний,  
Новокузнецк, Россия  
профессор кафедры государственно-правовых  
дисциплин и правоохранительной деятельности,  
Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники  
г. Томск, Россия  
E-mail: sofish@inbox.ru

### Шеслер Софья Сергеевна

кандидат юридических наук, доцент  
доцент кафедры государственно-правовых  
дисциплин и правоохранительной деятельности,  
Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники  
Томск, Россия  
E-mail: sofish@inbox.ru

Предмет исследования: формы профилактического воздействия, применяемые в воспитательных колониях в отношении групп несовершеннолетних, деятельность которых ориентирована на совершение преступлений и иных правонарушений.

Цель исследования: предложить ряд новых для практики воспитательных колоний форм профилактики, способных повлиять на групповую правонарушающую активность несовершеннолетних осужденных.

Методы и объекты исследования: основу исследования составляет диалектический метод научного познания, наряду с которым применялись формально-юридический, логический и системно-структурный методы, при рассмотрении отдельных вопросов профилактики применялся анализ и синтез, индукция и дедукция.

Основные результаты исследования: предлагается нормативно закрепить и в процессе профилактики рассматривать группу осужденных правонарушителей, содержащихся в воспитательной колонии, в качестве основного объекта профилактического воздействия. Устанавливается ограниченность профилактических форм, возможностями применения которых владеет администрация воспитательной колонии. Делается вывод о несогласованности федерального законодательства и подзаконных правовых актов в сфере профилактики групповых преступлений и иных правонарушений осужденных. Раскрываются направления совершенствования форм профилактического воздействия, в основе которых состоят предложения по включению в такой процесс разобщения и переориентации правонарушающих групп. В практических целях приводятся обстоятельства, которые могут осложнять применение указанных форм воздействия.

**Ключевые слова:** групповые преступления и иные правонарушения, профилактика, несовершеннолетние, осужденные, воспитательная колония, лишение свободы.

## FORMS OF PREVENTION OF CRIMES AND OTHER OFFENSES BY GROUPS OF MINORS IN PLACES OF PRISONANCE

### Konstantin V. Karetnikov

Kuzbass Institute of the Federal Penitentiary Service,  
Novokuznetsk, Russia  
E-mail: kostya\_385@mail.ru

### Alexander V. Shesler

Doctor of Law Sciences, Professor,  
Kuzbass Institute of the Federal Penitentiary Service,  
Novokuznetsk, Russia  
E-mail: sofish@inbox.ru

### Sofya S. Shesler

Candidate of Law Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of State Law Disciplines and  
Law Enforcement Activities,  
Tomsk State University of Systems  
of Control and Radioelectronics  
Tomsk, Russia  
E-mail: sofish@inbox.ru

Subject of research: forms of preventive influence used in educational colonies in relation to groups of minors whose activities are focused on committing crimes and other offenses.

Purpose of research: to analyze the complex of forms of preventive influence used at the present stage of development of the penal system in relation to delinquent groups of convicts in educational colonies, to identify shortcomings in their implementation, to propose a number of new forms of prevention for the practice of educational colonies that can affect the group delinquent activity of juvenile convicts.

Methods and objects of research: the basis of the research is the dialectical method of scientific knowledge, along with which formal-legal, logical and systemic-structural methods were used; when considering individual issues of prevention, analysis and synthesis, induction and deduction were used.

Main results of research: it is proposed to normatively consolidate and in the process of prevention consider the group of convicted offenders held in a correctional colony as the main object of preventive influence. The limitations of preventive forms that the administration of the educational colony has the ability to use are established. The conclusion is drawn about the inconsistency of federal legislation and by-laws in the field of prevention of group crimes and other offenses of convicts. The directions for improving the forms of preventive influence are revealed, which are based on proposals for including in such a process the disengagement and reorientation of offending groups. For practical purposes, circumstances are given that may complicate the use of these forms of influence.

**Keywords:** group crimes and other offenses, prevention, minors, convicts, educational colony, imprisonment.

## ВВЕДЕНИЕ

Преступления и иные правонарушения, совершаемые группами осужденных в воспитательных колониях (далее – ВК), негативно сказываются на оперативной обстановке в этих учреждениях и оказываемом исправительном воздействии на несовершеннолетних осужденных. Особую значимость этому вопросу придает тот факт, что большая часть несовершеннолетних, отбывающих наказание в ВК, осуждена за совершение преступлений именно в соучастии [20, с. 9-10]. Наличие подобного криминального опыта не может не отразиться на поведении лица в местах лишения свободы. Кроме того, ухудшение криминологически значимых характеристик личности несовершеннолетних, наряду с уменьшением их количества в ВК, значительно увеличивает риск пенитенциарного рецидива [2, с. 60-61; 3, с. 12-13; 10, с. 41-45], а наличие группы лишь повышает такую вероятность. Из-за того, что ВК располагают благоприятными условиями для формирования правонарушающих групп, негативные проявления в отношении сотрудников и осужденных со стороны указанных общностей становятся более выраженными и общественно опасными. Одной из причин сложившейся ситуации является недостаточная научная проработка форм профилактики групповых правонарушений осужденных в ВК. Фрагментарность научных исследований в данной области, а также исключительная индивидуальная направленность существующей системы профилактического воздействия на несовершеннолетних осужденных в ВК, вызванная несовершенством правового регулирования такой деятельности, фактически исключает какое-либо воздействие на формируемые в ВК группы правонарушителей. Логично заключить, что система профилактики преступлений и иных правонарушений нуждается в совершенствовании, так как не в полной мере справляется с возложенными на нее задачами [1, с. 43-51; 15, с. 115-126; 22, с. 154-156]. В этой связи следует признать назревшую потребность в преобразовании форм профилактического воздействия, реализуемых в ВК в отношении правонарушающих групп.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ федерального законодательства и подзаконных правовых актов, составляющих основу профилактической деятельности, свидетельствует, что в целом правонарушающие группы несовершеннолетних осужденных объектом профилактики в ВК не являются, однако индивидуально каждый участник

такой криминогенной группы может подвергаться профилактическому воздействию. Это обстоятельство определяет личностно-индивидуальный характер предусмотренных для реализации в ВК форм профилактики. К числу таких форм, в частности, относятся следующие.

Профилактическая беседа. Заключается в разъяснении правонарушителям оснований и пределов юридической ответственности за совершаемые правонарушения, вероятных положительных (перевод на условия отбывания наказания с меньшими ограничениями, освобождение условно-досрочно, проживание за пределами ВК, проведение выходных и праздничных дней с родственниками вне территории ВК и др.) и отрицательных (перевод в строгие условия отбывания наказания, водворение с дисциплинарной изоляцией, постановка на профилактический учет и др.) последствиях их поведения [6, с. 50-52]. Преимущественно в процессе такой беседы применяется метод убеждения, устанавливаются причины правонарушения, получают в письменной либо устной форме объяснения об обстоятельствах правонарушения и его мотивах, доводятся вероятные последствия противоправного поведения. Профилактические беседы могут проводиться с привлечением родственников осужденных, с приглашением членов общественных формирований, сотрудников правоохранительных или надзорных органов, а также осужденных, которые были освобождены из ВК, при условии правоупослушного поведения после отбывания наказания.

Профилактический учет. Состоит в повышенном контроле за поведением осужденного, который склонен к совершению какого-либо правонарушения. Используется администрацией ВК для информационного обеспечения сотрудников о потенциальных правонарушителях. Постановка лица на профилактический учет может быть инициирована в письменной форме любым сотрудником ВК, который обладает информацией о противоправных действиях осужденного. По результатам тщательной проверки такой информации со стороны оперативных подразделений ВК начальник учреждения выносит решение о рассмотрении данного вопроса на комиссии либо отклоняет поступившее предложение. Постановка осужденного на учет связана с последующим оказанием на него профилактического воздействия, способного преломить его противоправные намерения. Данная форма профилактического воздействия прекращает действие в отношении осужденного по истечении установленного

законом срока, и только после того, как осужденный осознает противоправность своих действий и откажется от них [2, с. 59-61; 6, с. 49-53].

Профилактический надзор. Предусматривает постоянное наблюдение и контроль со стороны администрации ВК за поведением осужденного, в отношении которого применяется профилактический учет, с целью соблюдения наложенных запретов и ограничений. Допустима его непосредственная (визуальная) и опосредованная (с использованием технических средств надзора) реализация в условиях ВК. Результаты профилактического надзора за лицами, состоящими на профилактическом учете, отражаются в служебных документах (справках, рапортах, актах, докладных записках и др.).

Официальное предостережение (предостережение) о недопустимости действий, создающих условия для совершения правонарушения, либо недопустимости антиобщественного поведения. Применяется в письменной форме в отношении осужденных, находящихся на территории ВК, а также прилегающей к ВК территории, на которой установлены режимные требования. Может быть объявлено осужденному лично, в присутствии родственников, на общем собрании отряда осужденных либо перед строем. Официальное предостережение (предостережение) применяется только по документально подтвержденным фактам антиобщественного поведения осужденного или его действиях, создающих условия для совершения преступления или иного правонарушения. Обязательным требованием для применения такой формы профилактического воздействия является отсутствие в действиях лица оснований для привлечения к дисциплинарной, материальной, административной или уголовной ответственности [8, с. 59-61].

Правовое просвещение и правовое информирование. Состоит в доведении до сведения осужденных информации, раскрывающей и разъясняющей вопросы защиты прав и свобод человека от правонарушений, положения по реализации социальных гарантий граждан, изменения в действующее законодательство и требования о необходимости его соблюдения как в период отбывания наказания в виде лишения свободы, так и после освобождения. Реализация данной формы профилактического воздействия допустима во взаимосвязи с образовательным процессом или воспитательными мероприятиями.

Социальная адаптация и реабилитация. Представляет комплекс мероприятий организационного, информационного и

методического характера, ориентированных на помощь осужденному в реализации его прав, свобод и законных интересов, а также восстановление утраченных социальных связей и функций организма [19, с. 241-244]. В частности, способствует социализации несовершеннолетних осужденных в ВК школа подготовки к освобождению, содействие в получении документов, решение вопросов, связанных с получением образования после освобождения из ВК, оказание психологической помощи.

Однако достижению целей уголовно-исполнительного законодательства по предупреждению совершения новых преступлений со стороны несовершеннолетних осужденных в меньшей степени способствует тот факт, что устоявшаяся практика деятельности ВК не ориентирована на работу с общностью подростков в ВК. Научное сообщество все чаще заявляет о том, что отсутствие научно обоснованных преобразований в ближайшем будущем приведет к серьезному увеличению рецидива преступлений и иных правонарушений несовершеннолетних в местах лишения свободы [3, с. 30-33; 8, с. 58-60; 10, с. 30-34]. Отмечаемые негативные тенденции подтверждаются официальными статистическими данными ФСИН России о деятельности ВК. Так, уровень нарушений режима в ВК в 2023 г. составил 874,7 (2022 г. – 607,52, 2021 г. – 511,75), уровень злостных нарушений режима – 40,15 (2022 г. – 29,38, 2021 г. – 31,3), уровень преступности – 3,87 (2022 г. – 2,43, 2021 г. – 3,61) [11; 12; 13]. Полагаем, что рассмотрение правонарушающих групп в качестве самостоятельного объекта профилактического воздействия, позволит, во-первых, преобразовать и оптимизировать систему такой профилактики, и, во-вторых, значительно расширить перечень профилактических форм.

Комплекс профилактического воздействия на группу осужденных правонарушителей в ВК может быть сформирован как путем включения новых форм воздействия, так и при помощи преобразования уже существующих форм. Таким образом, комплексный характер профилактической деятельности позволит сформировать поэтапную систему воздействия на группу правонарушителей [16, с. 197-200].

Авторская позиция заключается в том, что в основе новой модели профилактики групповых правонарушений осужденных в ВК должна находиться такая форма воздействия, как профилактический учет. Использование указанной формы воздействия позволит своевременно выявлять правонарушающие группы, ставить их на соответствующий вид

учета, оказывать комплексное воздействие со стороны субъектов профилактики, снимать их с учета по итогам такой работы. На каждом из предложенных этапов профилактического воздействия должны применяться иные формы профилактики (например, профилактическая беседа, профилактический надзор, правовое просвещение), установленные федеральным законодательством. Они могут носить как индивидуальный, так и групповой характер. Однако новизна разработанной профилактической модели заключается вовсе не в определении этапной системы воздействия на группу, а в применении в период профилактического воздействия таких форм, как разобщение и переориентация. Нам представляется, что логичным итогом работы администрации ВК с группой правонарушителей должны быть одноименные им процессы.

Разобщение группы заключается в оказании администрацией ВК, с привлечением иных субъектов профилактики, профилактического воздействия на нее. Результатом такого воздействия должно стать разложение группы правонарушителей, состоящее в ликвидации либо существенном затруднении возможности непосредственного или опосредованного взаимодействия членов группы [18, с. 73-75]. Разобщение может быть полным и частичным. В первом случае преобладающее большинство либо все участники правонарушающей группы лишаются общения между собой. Во втором случае контакта с группой не имеет ее лидер или только активные участники такой группы. Кроме того, разобщению правонарушающих групп будет способствовать привлечение ее участников к юридической ответственности или неформальному сотрудничеству с администрацией ВК, предостережение участников групп о противоправном поведении и возможных юридических последствиях, оказание осужденным медицинской или психологической помощи в условиях стационара, общее и индивидуальное юридическое консультирование осужденных в служебных помещениях ВК, включение в профилактическую работу родственников осужденных и иных субъектов профилактики.

Переориентация правонарушителей состоит в оказании профилактического воздействия на группу, в результате которого изменяется правонарушающая направленность группы при полном или преимущественно полном сохранении ее численного состава [14, с. 135-136]. Реализация данной профилактической формы осуществляется в целом через группу осужденных (например, через

лидера группы или включенного в работу с группой шефа-наставника, через позитивный подростковый коллектив, состоящий из юнармейцев, кадетов или студентов, а также через коллектив положительно характеризующихся осужденных, содержащихся в облегченных или льготных условиях отбывания наказания), а не посредством воздействия на отдельную личность, как при индивидуальной профилактике правонарушений (например, профилактический учет лица, склонного к побегу).

Предложенные формы профилактического воздействия рекомендуется применять с учетом личности лидера группы, причин и условий, способствующих совершению группой правонарушений, классификации таких правонарушений, а также признаков правонарушающей группы (численность, устойчивость, воспроизводимость, уровень освоения криминальной субкультуры и способности ее передачи, структура и др.).

Следует брать в расчет, что процесс оказания профилактического воздействия на группу осужденных правонарушителей осложняется некоторыми факторами. К числу таких факторов, в частности, относится организационный принцип построения группы правонарушителей, в силу которого постоянное нахождение участников такой группы под одним периметром ВК делает невозможным ее полное разложение [7, с. 92-94; 9, с. 21-23]. Существенно затрудняет профилактику правонарушений существующая в группе стратификация и автономность деятельности отдельных ее звеньев. Проблему составляет неформальная иерархия, обуславливающая безоговорочную подчиненность одних членов группы другим, в этой связи не исключено оказание физического, морального или психологического воздействия на младших по возрасту или более слабых осужденных, вполне приемлема и коррекция поведения участников правонарушающих групп со стороны лидера [17, с. 89-92]. Кроме того, серьезное препятствие в профилактической работе с группами осужденных правонарушителей в ВК создает слабый потенциал системы образования и воспитания [4, с. 14-16]. Несмотря на наличие возможности, связанной с включением участников группы в деятельность позитивного коллектива (школьный класс, учебная группа профессионального училища, спортивная команда и др.), такой процесс демонстрирует низкий результат. Это связано, прежде всего, с внутренней и внешней изоляцией общности несовершеннолетних осужденных в условиях ВК, наличием у всех содержащихся в ВК



осужденных опыта преступной деятельности, ограниченностью общественного воздействия на поведение таких осужденных [2], с. 16-20].

Отраженные сведения еще раз подтверждают, что процесс оказания профилактического воздействия на группу осужденных правонарушителей весьма сложен. Криминологические особенности правонарушающих групп, специфика детерминант и совершаемых группами несовершеннолетних правонарушений фактически исключают возможность использования какой-либо одной формы профилактического воздействия. Наиболее приемлемым в таких условиях видится сочетание всех доступных форм профилактики на основе выявления правонарушающей группы и постановки ее на профилактический учет, в процессе которого и осуществляется комплексное воздействие на группу несовершеннолетних правонарушителей.

В рамках оказания профилактического воздействия на группу следует прорабатывать разные варианты сочетания форм профилактики. Группу осужденных правонарушителей можно частично разобщить (например, водворение активных участников группы в дисциплинарный изолятор, перевод лидера группы в лечебно-профилактическое учреждение). После этого организовать работу по переориентации оставшихся участников группы (например, путем изменения условий отбывания наказания, вовлечения родственников в процесс профилактики). Важно сопровождать процесс профилактического воздействия на группу правонарушителей мерами индивидуальной профилактики по отношению к отдельным участникам группы [5, с. 30-33]. Так, например, рекомендуется проводить профилактические беседы как с отдельными участниками групп правонарушителей, так и со всей группой, предварительно спланировав тематику такой беседы. Необходимо производить документирование проводимых профилактических бесед и приобщать их результаты к материалам профилактической работы. Кроме того, информацию о результатах проведенных профилактических бесед следует отражать в программно-техническом комплексе автоматизированного картотечного учета спецконтингента. Наряду с изложенным выше, одним из вариантов разобщения группы может служить внутригрупповой конфликт. Представляется, что использование сотрудниками ВК данного обстоятельства должно быть связано с неформальной групповой иерархии осужденных, в основе которой находится принцип доминирования одних (более

авторитетных) участников правонарушающих групп над другими (менее авторитетными). Это определяет и тот факт, что ролевая функция осужденного в неформальной структуре группы влияет на объем получаемых им благ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Несмотря на высокий уровень правонарушающей активности несовершеннолетних в ВК, фиксируемый статистическими средствами ФСИН России, в число которых входят и проявления группового противоправного поведения осужденных, указанная группа правонарушителей не выступает основным объектом профилактического воздействия.

Предусмотренные уголовно-исполнительным и иным федеральным законодательством задачи по профилактике (предупреждению) преступлений и иных правонарушений реализуются исключительно посредством индивидуальной профилактики, специфика которой состоит во влиянии на личность правонарушителя, а не на правонарушающую группу.

В условиях ограниченности форм профилактического воздействия, активное применение в практической деятельности ВК находят такие из них, как профилактическая беседа, профилактический учет, официальное предостережение (предостережение) о недопустимости действий, создающих условия для совершения правонарушения, либо недопустимости антиобщественного поведения, профилактический надзор, правовое просвещение и правовое информирование, социальная адаптация и социальная реабилитация. Примечательно, что ни одна из нормативно закрепленных форм воздействия не ориентирована на применение в отношении группы осужденных правонарушителей в ВК.

Имеющиеся недостатки в профилактической деятельности и процессе ее организации позволили предложить ряд новых для практики ВК форм профилактического воздействия, способных снизить групповую правонарушающую активность несовершеннолетних осужденных. К ним, в частности, относится полное или частичное разобщение правонарушающих групп, а также их переориентация. Указанные формы воздействия следует применять в качестве индикатора при постановке группы правонарушителей на профилактический учет. В результате профилактическое воздействие может быть признано состоявшимся только в том случае, если в отношении группы реализована хотя бы одна из предложенных форм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агильдин, В. В. Профилактика преступлений: история, теория, практика / В. В. Агильдин, В. С. Ишигеев. – Иркутск : Байкальский государственный университет экономики и права, 2010. – 83 с. – Текст : непосредственный.
2. Акинина, Н. Ю. Учет характеристик личности преступника-правонарушителя при организации профилактической деятельности / Н. Ю. Акинина, В. Ф. Анисимов, А. А. Берндт. – Текст : непосредственный // Российский следователь. – 2019. – № 9. – С. 59–62.
3. Дворянсков, И. В. Организация работы в учреждениях, исполняющих уголовные наказания в виде лишения свободы, по профилактике рецидивной преступности : учебное пособие / И. В. Дворянсков; Федер. служба исполн. наказания, Вологод. ин-т права и экономики. – Вологда : ВИПЭ ФСИН России, 2019. – 70 с. – Текст : непосредственный.
4. Ережипалиев, Д. И. Современное состояние и тенденции преступности несовершеннолетних / Д. И. Ережипалиев. – Текст : непосредственный // Вопросы ювенальной юстиции. – 2023. – № 4. – С. 13–19.
5. Иринчеев, В. В. Особенности специального предупреждения противоправной деятельности групп отрицательной направленности в местах лишения свободы / В. В. Иринчеев, Ю. В. Хармаев. – Текст : непосредственный // Криминологический журнал. – 2012. – № 4. – С. 29–35.
6. Каретников, К. В. Формы и способы профилактического воздействия в отношении групп осужденных, совершающих правонарушения в условиях воспитательной колонии: правовое регулирование, проблемы и перспективы / К. В. Каретников. – Текст : непосредственный // Вестник Кузбасского института. – 2023. – № 3(56). – С. 47–56.
7. Козаченко, И. Я. Пенитенциарное учреждение для несовершеннолетних как субъект профилактической деятельности в условиях реформирования / И. Я. Козаченко, А. М. Сысоев, В. Ф. Лапшин. – Текст : непосредственный // Криминалист. – 2010. – № 2 (7). – С. 91–95.
8. Кунц, Е. В. Актуальные вопросы преступлений, совершаемые несовершеннолетними / Е. В. Кунц. – Текст : непосредственный // Проблемы права. – 2023. – № 4 (92). – С. 58–62.
9. Малейн, Н. С. Правонарушение: понятие, причины, ответственность. – М. : Юрид. лит., 1985. – 191 с. – Текст : непосредственный.
10. Ольховик, Н. В. Рецидивная преступность осужденных и ее предупреждение / Н. В. Ольховик, Л. М. Прокументов. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2009. – 160 с. – Текст : непосредственный.
11. Основные показатели деятельности уголовно-исполнительной системы за январь-декабрь 2021 г. : информационно-аналитический сборник / ФКУ НИИИТ ФСИН России. – Тверь, 2022. – 406 с. – Текст : непосредственный.
12. Основные показатели деятельности уголовно-исполнительной системы за январь-декабрь 2022 г. : информационно-аналитический сборник / ФКУ НИИИТ ФСИН России. – Тверь, 2023. – 507 с. – Текст : непосредственный.
13. Основные показатели деятельности уголовно-исполнительной системы за январь-декабрь 2023 г. : информационно-аналитический сборник / ФКУ НИИИТ ФСИН России. – Тверь, 2024. – 664 с. – Текст : непосредственный.
14. Писаревская, Е. А. Переориентация и разобщение предкриминальных и преступных групп несовершеннолетних / Е. А. Писаревская. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 360. – С. 135–137.
15. Прокументов, Л. М. Групповая преступность несовершеннолетних и ее предупреждение. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1993. – 144 с. – Текст : непосредственный.
16. Прокументов, Л. М. Криминология (Общая часть) : учебное пособие / Л. М. Прокументов, А. В. Шеслер. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. – 284 с. – Текст : непосредственный.
17. Прокументов, Л. М. Уголовно-правовые средства противодействия групповой преступности / Л. М. Прокументов, А. В. Шеслер. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Право. – 2022. – № 43. – С. 86–96.
18. Прокументов, Л. М. Учет особенностей преступности несовершеннолетних в профилактической деятельности полиции / Л. М. Прокументов, А. В. Шеслер. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Право. – 2023. – № 47. – С. 68–81.
19. Репецкая, А. Л. Современные проблемы постпенитенциарной адаптации лиц, освобожденных из мест лишения свободы / А. Л. Репецкая, В. В. Агильдин. – Текст : непосредственный // Библиотека криминалиста. Научный журнал. – 2012. – № 2 (3). – С. 240–247.
20. Шеслер, А. В. Соисполнительство как форма соучастия в преступлении / А. В. Шеслер. – Текст : непосредственный // Правовые проблемы укрепления российской государственности / под редакцией С. А. Елисеева, Л. М. Прокументова, В. А. Уткина, О. И. Андреевой, М. К. Свиридова, Н. С. Дергача. Том Часть 58. – Томск : Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2013. – С. 9–11.
21. Щедрин, Н. В. Основы общей теории предупреждения преступности / Н. В. Щедрин. – Красноярск : Красноярский государственный университет, 1999. – 58 с. – Текст : непосредственный.
22. Щедрин, Н. В. Предпосылки и основные направления становления ювенальной юстиции нового поколения / Н. В. Щедрин. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского юридического института МВД России. – 2010. – № 1 (5). – С. 154–157.

## ЛИШЕНИЕ ПРАВА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В СИСТЕМЕ НАКАЗАНИЙ

**Ларченко Александр Анатольевич**

аспирант,  
Национальный центр законодательства и правовых исследований Республики Беларусь  
Минск, Беларусь  
E-mail: larchenko126@mail.ru

Предмет исследования: нормы уголовного законодательства, Азербайджана, Армении, Республики Беларусь, СССР, Польши, Испании, Федеративной Республики Германия, Эстонии, определяющие лишения права управления транспортным средством как разновидности наказания в виде лишения права занимать определенные должности и заниматься определенной деятельностью, а также выделены проблемные аспекты его назначения.

Цель исследования: выявление проблемных аспектов и путей совершенствования норм уголовного закона, определяющих систему наказаний Республики Беларусь, и внесение предложений по их преодолению.

Объект исследования: уголовно-правовые отношения, возникающие при применении уголовной ответственности с назначением наказания лишения права управления транспортным средством как разновидности наказания в виде лишения права занимать определенные должности и заниматься определенной деятельностью, которые исследовались путем применения ретроспективного и сравнительно-правового анализа подходов отечественного и зарубежных законодателей к этому наказанию.

Основные результаты исследования: предложено предусмотреть в белорусской системе наказаний самостоятельное наказание в виде запрета управления транспортным средством, при этом описана его возможная правовая конструкция.

**Ключевые слова:** уголовная ответственность, наказание, лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью, лишение права управления транспортным средством.

## PROHIBITION OF DRIVING VEHICLES IN THE PUNISHMENT SYSTEM

**Aleksandr A. Larchenko**

Postgraduate Student,  
National Center for Legislation and Legal Research of the Republic of Belarus  
Minsk, Belarus  
E-mail: larchenko126@mail.ru

Subject of research: the norms of criminal legislation of Azerbaijan, Armenia, the Republic of Belarus, the USSR, Poland, Spain, the Federal Republic of Germany, Estonia, defining deprivation of the right to drive a vehicle as a type of punishment in the form of deprivation of the right to hold certain positions and engage in certain activities, as well as the problematic aspects of its appointment.

Purpose of research: to identify problematic aspects and ways to improve the norms of the criminal law defining the system of punishments of the Republic of Belarus, and to make proposals to overcome them.

Object of research: criminal law relations arising from the application of criminal liability with the imposition of punishment of deprivation of the right to drive a vehicle as a type of punishment in the form of deprivation of the right to hold certain positions and engage in certain activities, which were studied by applying a retrospective and comparative legal analysis of the approaches of domestic and foreign legislators to this punishment.

Main results of research: it is proposed to provide for an independent punishment in the form of a ban on driving in the Belarusian penal system, while its possible legal structure is described.

**Keywords:** criminal liability, punishment, deprivation of the right to hold certain positions or engage in certain activities, deprivation of the right to drive a vehicle.

## ВВЕДЕНИЕ

Лишение права занимать определенные должности или заниматься определенным видом деятельности выступает комплексным наказанием, объединяющим в своем содержании сразу ряд запретов и обладающим в связи с этим широким карательным потенциалом. Однако в практике белорусских судов это наказание встречается относительно редко (всего 287 случаев назначения за 2022 г.), опережая по частоте лишь такие наказания, как смертная казнь, пожизненное лишение свободы и ограничения по воинской службе [1].

При этом лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью предусмотрено во множестве статей Уголовного кодекса Республики Беларусь (далее – УК), а именно – в 128

статьях, что составляет 30 % от числа всех статей Особенной части УК. Это наказание может назначаться и в случаях, когда оно не предусмотрено санкцией статьи, когда характер совершенного виновным деяния, связанного с занимаемой должностью или с занятием определенной деятельностью, указывает суду на невозможность сохранения за ним права занимать определенную должность или заниматься определенной деятельностью (ч. 2 ст. 51 УК) [2].

Значительные сложности в назначении наказания возникают в ходе применения лишения права занятия деятельностью в виде управления транспортным средством, что указывает на необходимость совершенствования законодательных конструкций, предусматривающих уголовно-правовые запреты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как отмечает А. И. Лукашов, в уголовном законе лишение права управления транспортным средством относится к лишению права заниматься определенной деятельностью, и не выделен в самостоятельное наказание [3, с. 111]. Ю. Л. Шевцов раскрывает содержание лишения права заниматься определённой деятельностью как запрет осуществлять её в течение установленного приговором срока [4, с. 186].

В. М. Хомич указывает, что это наказание назначается виновному, если во время совершения преступления лицо занимало соответствующую должность либо занималось определённой деятельностью, требующей специального разрешения, знаний или навыков [5, с. 125].

Сущность лишения права заниматься деятельностью, связанной с управлением транспортными средствами, по мнению П. Буйлончика, включает в себя запрет заниматься управлением транспортным средством в качестве деятельности, осуществляемой на основании заключения трудового договора, либо на иных законных основаниях (например, на основании договора подряда) [6].

Для лишения права занятия определённой деятельностью, в том числе управления транспортным средством, органы, которые выдают разрешение или контролируют порядок осуществления соответствующей деятельности, обязаны не позднее трех дней после получения копии приговора суда и извещения уголовно-исполнительной инспекции аннулировать разрешение на занятие запрещённой для осуждённого деятельностью и изъять соответствующий разрешительный документ, предоставляющий данному лицу право заниматься указанной деятельностью, и направить сообщение об этом в орган или учреждение, исполняющие наказание и иные меры уголовной ответственности [4, с. 187].

Как отмечает Ю. Л. Шевцов, лишение права заниматься деятельностью, связанной с управлением транспортными средствами, распространяется на все виды транспортных средств [6].

Однако проблемные вопросы в назначении этого наказания возникают в случаях, когда лишение права управления транспортными средствами назначается виновному, который на день вынесения приговора не осуществлял этого вида деятельности. Как отмечается в научной литературе, не является препятствием к назначению этого наказания то, что к моменту постановления приговора виновный уже не занимает ту должность или не занимается той деятельностью, с которыми

было связано совершение преступления [5, с. 125].

При этом Пленумом Верховного Суда Республики Беларусь от 1 октября 2008 г. № 7 «О судебной практике по делам о преступлениях, связанных с нарушением правил дорожного движения или эксплуатации транспортных средств (ст. ст. 317, 317-1, 318, 32-1 Уголовного кодекса Республики Беларусь» отмечено, что лишение права заниматься таким видом деятельности, как управление транспортными средствами, не исключается и в отношении лиц, которые на момент совершения дорожно-транспортного происшествия осуществляли управление механическим транспортным средством при отсутствии водительского удостоверения, выдаваемого в установленном порядке [7].

В этом случае обязанность по выполнению приговора суда в части запрета на управление транспортным средством возлагается на осужденного. Он обязан бездействовать, не осуществлять этот вид деятельности, а государственные органы не имеют права предоставлять ему право на занятие таким видом деятельности.

С. А. Боровиковым отмечается уровень нарушения осужденными рассматриваемого наказания [8]. Однако в связи с этим возникает вопрос: как можно лишить права управления транспортным средством лицо, которое этого права уже лишено или не имеет его в связи с тем, что не получало вообще право управления транспортным средством в установленном порядке? Так, ст. 317-2 УК предусматривается наказание в отношении виновного, осуществляющего управление транспортным средством, которое не имеет права управления этим средством [2]. При этом в санкции этой статьи предусматривается, в том числе, возможность в качестве дополнительного наказания применить к виновному лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью, т. е. фактически лишить права управления транспортным средством лицо, которое уже лишено права управления транспортным средством.

Возможность лишения права заниматься определённым видом деятельности, например, управления транспортным средством осужденного, который лишен или не имел соответствующего права, указывает на фактическое несоответствие сути этого наказания и его законодательного определения.

По нашему мнению, правильно вести речь не о «лишении права управления транспортным средством», а о «запрете управления транспортными средствами». При этом

это наказание подлежит выделению в самостоятельную правовую норму, со своими сроками, особенностями наложения и т. д.

Л. Ю. Ларина указывает, что в судебной практике это наказание фигурирует в приговорах в виде «лишения права заниматься деятельностью по управлению транспортными средствами», либо «лишения права заниматься деятельностью, связанной с управлением транспортными средствами», и вторая формулировка гораздо шире по смыслу, т. к. она охватывает как непосредственное управление транспортным средством, так и иную деятельность (регулирование и организацию движения транспортных средств, деятельность штурманов и т. д.) [9]. Это также указывает на необходимость выделения такого наказания, как «запрет управления транспортным средством» в самостоятельную единицу в системе наказаний в целях снижения случаев расширительного толкования уголовного закона и обеспечения единообразия практики его правоприменения.

Проследить тенденцию к выделению этого наказания в самостоятельную единицу в системе наказаний можно проследить в настоящем уголовном законе. Так, за совершение преступлений, предусмотренных частями 4 и 5 статьи 317 и статьей 317-1, предусматривается более высокая максимальная граница наказания в виде лишения права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью – на срок от одного года до восьми лет [2].

Стоит отметить, что подобное изменение не является новеллой для белорусского законодательства. В санкциях статей Уголовного кодекса Белорусской ССР, принятого 29 декабря 1960 г. (далее – УК БССР), предусматривались наряду с общим наказанием в виде лишения права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью и отдельные подвиды (ст.ст. 126-1, 156, 206–206<sup>3</sup> УК БССР и т. д.). Так, за совершение преступления по ч. 1 ст. 206 УК БССР виновному назначалось основное наказание с «лишением права управлять транспортными средствами на срок до двух лет или без лишения». Срок наказания возрастал за совершение преступления по ч. 2 и ч. 3 ст. 206 УК БССР вплоть до пяти лет [10].

Самостоятельное наказание в виде запрета управления транспортными средствами не является новшеством для уголовных законов стран постсоветского пространства и иных зарубежных стран. Например, законодатели Азербайджана и Молдовы выделили лишение права управления транспортными средствами в самостоятельную категорию в системе наказаний (ст. 42.0.2 УК Азербайджана; п.

б-1 ч. 1 ст. 62 УК Молдовы). Обращает на себя внимание, что в обоих этих случаях лишение права управлять транспортным средством может выступать только дополнительным наказанием на срок от одного до пяти лет (ст. ст. 43.2, 45.1 УК Азербайджана; п. 4 ст. 62 и п. 2 ст. 65-1 Молдовы) [11; 12].

Наложение запрета на управление транспортным средством определенного вида предусмотрено в качестве наказания по уголовному закону Польши за преступление против безопасности движения (§ 1 ст. 42 УК Польши) [13]. Эстонский законодатель предусмотрел широкий перечень правоограничений, в том числе, лишение права управления транспортными средствами (ст. 50) [14]. Равно как и испанский законодатель предусмотрел целый круг возможных к лишению прав, в который включил лишение права на управление транспортным средством (ст. 39 УК Испании) [15].

В рамках уголовного закона ФРГ зафиксировано сразу несколько способов ограничения виновного права управлять транспортным средством за совершенное преступление. Запрет управлять транспортным средством может выступать как дополнительное наказание (§ 44), так и применяться в виде меры исправления и безопасности, когда виновный лишается водительских прав, либо права заниматься определенной профессиональной деятельностью (§ 69, 70) [16, с. 97, 99, 120–121].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

По результатам настоящего исследования предлагается дополнить систему наказаний самостоятельным наказанием в виде запрета управления транспортным средством. Это позволит решить ряд проблемных вопросов, связанных с применением наказания в виде лишения права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью в отношении виновного, не имеющего или уже лишенного права управления транспортным средством. Кроме того, введение самостоятельного наказания в виде запрета управления транспортным средством позволит установить для этого наказания правила назначения, не утяжеляя конструкцию ст. 51 УК. В связи с этим предлагаем дополнить УК соответствующей нормой, содержание которой представлено соответствующим образом переформулированными положениями ст. 51 УК и оригинальными формулировками автора:

«Статья 51-1. Запрет управления транспортным средством

1. Запрет управления транспортным средством может быть назначен судом в зависимости от характера и тяжести совершенного преступления на срок от одного года до восьми лет. В случаях, предусмотренных частью 4 и 5 статьи 317 и ч. 2 статьи 317<sup>1</sup> настоящего Кодекса, может быть назначен пожизненный запрет управления транспортным средством.

2. Запрет управления транспортным средством заключается в запрещении осужденному в течение срока, назначенного по приговору суда, осуществлять управление транспортным средством, пользоваться правом управления транспортным средством, получить разрешение на управление транспортным средством.

3. Запрет управления транспортным средством в качестве дополнительного наказания может назначаться судом и в случае, когда этот вид наказания не предусмотрен в статье Особенной части настоящего Кодекса, если, исходя из характера совершенного лицом преступления, связанного с управлением транспортным средством, суд признает невозможным сохранение за ним права управления транспортным средством.

4. При назначении наказания в виде запрета управления транспортным средством в качестве дополнительного к аресту, ограничению свободы с направлением в исправительное учреждение открытого типа или лишению свободы, оно распространяется на все время отбывания осужденным основного наказания и сверх того – на срок, установленный приговором.

5. В случае злостного уклонения осужденного от отбывания наказания в виде запрета управления транспортным средством суд по представлению органа, на который возложено исполнение приговора, может заменить запрет управления транспортным средством ограничением свободы из расчета один день ограничения свободы за один день лишения права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью, но на срок не свыше пяти лет. При этом время уклонения от отбывания наказания в виде запрета управления транспортным средством не засчитывается в срок отбытого наказания.

Примечание. Под транспортным средством понимаются механическое транспортное средство, предназначенное для движения по дороге и для перевозки пассажиров, грузов или установленного на нем оборудования, а также шасси транспортного средства и самоходная машина».

Изменение в системе наказаний уголовного закона повлечет необходимость соответствующих изменений в иных статьях Общей и Особенной части УК.

По нашему мнению, реализация предлагаемых изменений позволит усовершенствовать существующие подходы к применению наказания в виде лишения права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью, разрешить ряд сложностей с назначением этого наказания за транспортные преступления, а введение пожизненного запрета управления транспортным средством – повысить уровень ответственности водителей за соблюдение правил дорожного движения в Республике Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Краткие статистические данные о деятельности судов общей юрисдикции по осуществлению правосудия за 2022 год. – Текст: электронный // Официальный сайт Верховного Суда Республики Беларусь. – Режим доступа: [https://www.court.gov.by/ru/justice\\_rb/statistics/5b82a6c416a342a7.html](https://www.court.gov.by/ru/justice_rb/statistics/5b82a6c416a342a7.html). – Дата доступа: 11.01.2022.
2. Уголовный кодекс Республики Беларусь: 9 июля 1999 г., № 275–3 : принят Палатой представителей 2 июня 1999 г. : одобр. Советом Респ. 24 июня 1999 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 09.03.2023 г. – Текст: электронный // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
3. Лукашов, А. И. Лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью и лишение специального права в белорусской системе наказаний / А. И. Лукашов. – Текст: непосредственный // Правосудие и прокурорский надзор в Республике Беларусь: законодательство и практика применения : сб. науч. тр. / редкол.: А. В. Барков [и др.]. – Минск : БГУФК, 2010. – С. 111–131.
4. Шевцов, Ю. Л. Лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью / Ю. Л. Шевцов. – Текст: непосредственный // Белорус. юрид. энцикл.: в 4 т. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 186–187.
5. Уголовный кодекс Республики Беларусь : науч.-практ. коммент. / Т. П. Афонченко [и др.] ; под ред. В. М. Хомича, А. В. Баркова, В. В. Марчука. – Текст: непосредственный. – Минск : Нац. центр. правовой информ. Респ. Беларусь, 2019. – 1000 с.
6. Булойчик, П. Работник лишен права заниматься деятельностью, связанной с управлением транспортными средствами / П. Булойчик // Электронный журнал «Юри-сконсульт организации». – Режим доступа: [https://jurk.by/izdaniya/ya-spok/rabotnik-lishen-prava-zanimatsyadeyatel\\_0000000](https://jurk.by/izdaniya/ya-spok/rabotnik-lishen-prava-zanimatsyadeyatel_0000000). – Дата доступа: 11.05.2023. – Текст: электронный.



7. О судебной практике по делам о преступлениях, связанных с нарушением правил дорожного движения или эксплуатации транспортных средств (ст.ст. 317, 317-1, 318, 321 Уголовного кодекса Республики Беларусь) / постановление Пленума Верховн. Суда Респ. Беларусь, 1 окт. 2008 г., № 7 : с изм. и доп. : в ред. постановления Пленума Верховн. Суда Респ. Беларусь от 31 марта 2022 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023. – Текст: электронный.
8. Боровиков, С. А. Проблемы и практика исполнения уголовного наказания в виде лишения права заниматься деятельностью, связанной с управлением транспортными средствами / С. А. Боровиков, Ю. А. Чжан. – Текст: электронный // Электронная библиотека «КиберЛенинка». – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-praktika-ispolneniya-ugolovnogo-nakazaniya-v-vidе-lisheniya-prava-zanimatsya-deyatelnostyu-svyazannou-s-upravleniem>. – Дата доступа: 11.06.2023.
9. Ларина, Л. Ю. Лишение права заниматься деятельностью по управлению транспортным средством за совершение преступления как средство обеспечения транспортной безопасности / Л. Ю. Ларина. – Текст: электронный // Электронная библиотека «КиберЛенинка». – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/lishenie-prava-zanimatsya-deyatelnostyu-po-upravleniyu-transportnym-sredstvom-za-sovershenie-prestupleniya-kak-sredstvo>. – Дата доступа: 11.06.2023.
10. Уголовный кодекс Белорусской Советской Социалистической Республики: принят четвертой сес. Верховного Совета БССР пятого созыва, 29 декабря 1960 г. – Текст: электронный // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
11. Уголовный кодекс Азербайджанской Республики: 30 декабря 1999 г., №787-IQ : в ред. Закона Азербайджанской Респ. от 23.04.2021 г. № 301-VQID // ИС Континент. – Режим доступа: [http://continent-online.com/Document/?doc\\_id=30420353](http://continent-online.com/Document/?doc_id=30420353). – Дата доступа: 18.05.2023.
12. Уголовный кодекс Республики Молдова: 18 апреля 2020 г., № 985-XV : в ред. Закона Респ. Молдова от 23.04.2021 г. № 78. – Текст: электронный // ИС Континент. – Режим доступа: [http://continent-online.com/Document/?doc\\_id=30394923#pos=310;-142](http://continent-online.com/Document/?doc_id=30394923#pos=310;-142). – Дата доступа: 20.01.2023.
13. Уголовный кодекс Республики Польша: принят Сеймом 01 янв. 1997 г. // ISAP. – Режим доступа: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970880553/U/D19970553Lj.pdf>. – Дата доступа: 07.01.2023. – Текст: электронный.
14. Пенитенциарный кодекс Эстонской Республики [Электронный ресурс] : принят 6 июня 2001 г., в ред. Закона Эстонской Респ. от 20.02.2019 г. // Сайт Министерства юстиции Эстонской Республики. – Режим доступа: <https://v1.juristaitab.ee/sites/www.juristaitab.ee/files/elfinder/ru-seadused/ПЕНИТЕНЦИАРНЫЙ%20КОДЕКС%2004.03.2021.pdf>. – Дата доступа: 07.01.2023. – Текст: электронный.
15. Уголовный кодекс Испании / Под ред. Н. Ф. Кузнецовой, Ф. М. Решетникова ; пер. с исп. В. П. Зыряновой, Л. Г. Шнайдер. – М. : ЗЕРЦАЛО, 1998. – 213 с. – Текст: непосредственный.
16. Уголовный кодекс Федеративной Республики Германии / под науч. ред. Д. А. Шестаковой ; пер. с нем. Н. С. Рачковой. – Санкт-Петербург : Юрид. центр Пресс, 2003. – 524 с. – Текст: непосредственный.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОНИМАНИЯ СУЩНОСТИ АДМИНИСТРАТИВНОЙ ПРЕЮДИЦИИ В УГОЛОВНОМ ПРАВЕ

**Хилюта Вадим Владимирович**

доктор юридических наук, доцент,  
доцент кафедры уголовного права,  
уголовного процесса и криминалистики,  
Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы  
Гродно, Беларусь  
E-mail: tajna@tut.by

Предмет исследования: в статье рассматривается вопрос о сущности административной преюдиции в уголовном праве России и Беларуси.

Цель исследования: определить значение административной преюдиции в уголовном праве и ее место в структуре состава преступления, а также провести соотношение административной преюдиции и иных институтов уголовного права.

Методы и объекты исследования: при проведении исследования использовались традиционные методы социально-правового и формально-догматического анализа: документальный, историко-правовой, аналитический, системный, логический.

Основные результаты исследования: административная преюдиция автором рассматривается в общем контексте преступления и его содержательных признаков, определяется место административной преюдиции в структуре состава преступления. Отдельно раскрывается вопрос о критериях криминализации деяний в уголовном праве, понимании уголовного права в широком смысле, разграничении преступления и правонарушения. Показана правовая природа административной преюдиции, ее связь с общественной опасностью и малозначительностью деяния, раскрываются основные черты деяний, которым свойственны признаки административной преюдиции. Особое внимание в работе уделяется анализу субъективных признаков административной преюдиции, установлению рекомендаций по применению норм уголовного закона в этой части и квалификации противоправных деяний. Приводятся основные положения науки уголовного права и предлагаются конкретные меры по совершенствованию действующего уголовного законодательства.

**Ключевые слова:** преступление, общественная опасность, вред, административная преюдиция, малозначительность деяния, личность, деяние, деятель, ответственность.

## THEORETICAL PROBLEMS OF UNDERSTANDING THE ESSENCE OF ADMINISTRATIVE PREJUDICE IN CRIMINAL LAW

**Vadim V. Khilyuta**

Doctor of Law, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Criminal Law,  
Criminal Procedure and Criminalistics,  
Yanka Kupala State University,  
Grodno, Belarus  
E-mail: tajna@tut.by

Subject of research: the article considers the issue of the essence of administrative prejudice in the criminal law of Russia and Belarus.

Purpose of research: to determine the meaning of administrative prejudice in criminal law and its place in the structure of the corpus delicti of a crime, as well as to correlate administrative prejudice and other institutes of criminal law.

Methods and objects of research: in conducting the research the traditional methods of socio-legal and formal-dogmatic analysis were used: documentary, historical-legal, analytical, systematic, logical.

Main results of research: the author considers administrative prejudice in the general context of crime and its substantive features, determines the place of administrative prejudice in the structure of the corpus delicti. Separately the question of criteria of criminalization of acts in criminal law, understanding of criminal law in a broad sense, differentiation of crime and offense is revealed. The legal nature of administrative prejudice, its connection with public danger and insignificance of a deed is shown, the main features of acts, which are characterized by signs of administrative prejudice, are disclosed. Special attention in the work is paid to the analysis of subjective signs of administrative prejudice, the establishment of recommendations on the application of the norms of criminal law in this part and qualification of unlawful acts. The basic provisions of the science of criminal law are given and specific measures to improve the current criminal legislation are proposed.

**Keywords:** crime, public danger, harm, administrative prejudice, insignificance of a deed, personality, act, activity, responsibility.

## ВВЕДЕНИЕ

Парадигмальная концепция сегодняшнего мира, развивая новые формы совершенствования общества, между тем, находится между двух дихотомий – неолиберализма и консерватизма. Понятно, что либеральная модель старается низвергнуть государство, отодвинуть его на второй план, вынося на первый рынок и его саморегулирование. Здесь процесс саморегуляции является главной доминантой во всех сферах общественной жизни и во всех отношениях, включая право. Это обусловлено плюрализмом взглядов и идей, постмодернистской методологией

проведения научных исследований и разработкой основ тотального реформирования законодательства. Данные тенденции характерны и для продолжающего сохранять свою консервативность уголовного права [1, с. 87-88]. Но при этом государство в последнее время все прочнее становится на путь обеспечения безопасности. Идея безопасности общества и самого государства требует ревизии правовых средств реализации этой идеи. И уголовное право здесь является надлежащим средством обеспечения данного постулата.

При этом нельзя не замечать того, что если современное государство продолжает





держат уголовное право в своих руках, то идеология неолиберализма стремится к диверсификации этого процесса, потому как государство не должно выступать той скрепой, которое бы удерживало общество и сохраняло монополию на насилие, управляя процессом определения того, что есть преступление, и выбора мер воздействия на лицо, допустившее отступление от соблюдения установленных правил и выход за «пределы закона».

Однако глобальная смена существующих парадигм пока еще не наступила, но уже сегодня отчетливо видны определенные тенденции и закономерности развития уголовного права в процессе переосмысления основ обеспечения безопасности государства и общества. Вот здесь и возникает вопрос о роли уголовного права при смене концепции общественного развития, перехода к новому информационному обществу. А именно, – будет ли оно (уголовное право) оставаться публичной отраслью, или начнет вбирать в себя диспозитивные элементы и частноправовые начала? При такой постановке вопроса фундаментальный признак преступления для постсоветских стран – общественная опасность – больше не будет диктовать формирование сущности и содержания центрального института для уголовного права – преступления, и определять формы развития уголовного права.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По сути говоря, общественная опасность – это, в некоторой степени, идеология проявления марксистских идей в уголовном праве, как и отношения собственности у нас – это марксистская идея материальности или присвоения вещи. Но если мы говорим об общественной опасности причинения вреда (или угрозе его причинения) социальным ценностям, то непременно возникает другой вопрос: кому (или чему) в таком случае причиняется вред, и существует ли угроза его причинения вообще общественным отношениям? Но в основе таких общественных отношений лежат диаметрально противоположные интересы различных субъектов, и вполне понятно, что если мы разрываем эти отношения и начинаем их делить, то во главе лежит идея плюрализма уголовно-правовой охраны общественных отношений нетождественных социальных групп, классов, коллективных образований и т. д. Вполне понятно, что в этой ситуации акцент не просто смещается с публичной в частную сферу, а указывает на фундаментальный уход в сторону: от единого концепта разрешения уголовно-правовых конфликтов и передачи данной функции

иным публично-корпоративным образованиям. А в таком случае и понятие того, что представляет собой преступление, должно быть пересмотрено.

Тем не менее, по сути своей, сегодня именно административная преюдиция явилась катализатором к процессу диверсификации родового понятия «преступление». Дело в том, что если мы административную преюдицию отождествляем не с деянием, а непременно с самой личностью, т. е. с деятелем, то вопрос о понимании общественной опасности становится второстепенным, т. к. общественная опасность тогда не предопределяет контуры самого понятия преступления, а связывается уже даже не с деянием, а с общественной опасностью лица, совершившего это противоправное деяние. В таком случае преступление ассоциируется исключительно с противоправным поведением. В этой системе координат возникает потребность четко развести по разные стороны деяние и деятеля, но при этом необходимо решить проблему самого деяния, действительно ли оно будет являться центральным в конструкте преступления, или же акцент будет постепенно смещаться в сторону самого лица, совершившего противоправное деяние.

Решение данных глобальных проблем невозможно осуществить без преодоления частных вопросов. К числу таковых и относится институт административной преюдиции в уголовном праве. Постигание сущности административной преюдиции, определение того, какое место она занимает в структуре преступления (является объективным или же субъективным признаком) и уголовной ответственности (входит ли в понятие состава преступления и одного из его элементов или же является самостоятельным условием уголовной ответственности), полагаем, поможет нам дальше продвинуться в общем вопросе о том, что же сегодня представляет собой родовое понятие преступления, и каковы закономерности его развития в будущем. Будем ли мы, в конечном счете, иметь дело с уголовным правом нового типа – правом безопасности, в основе которого лежат идеи социальной защиты и превенции, или же останемся в лоне классических основ уголовного права?

В этой связи нельзя не видеть того, что сегодня уголовное право, целью которого в классическом понимании должно быть восстановление социальной справедливости, подменяется уголовным правом безопасности, и в данной системе уголовное право рассматривается как инструмент решения сиюминутных задач. Таким же принципам подвергнуты в настоящее время и институты

самого уголовного права. По этой причине и возникает вопрос: административная преюдиция – это очередной инструмент для разрешения существующих проблем или же новое средство борьбы с преступностью?

В такой системе координат становится понятным суждение о том, что феномен административной преюдиции (о котором пойдет речь далее) полностью находится в контексте проводимой уголовно-правовой политики, которая ставит своей главной задачей тотальный контроль над отклоняющимся поведением от заданных государством стандартов. В этом аспекте идея раннего вмешательства в поведение людей и пресечения нежелательных будущих негативных последствий становится оправданной и вполне допустимой в русле проводимой правовой политики. Поэтому сегодня институт административной преюдиции является одним из средств ограничения негативного поведения человека. Относиться к этому можно по-разному, но данность в настоящий момент именно такова.

По нашему мнению, если мы все-таки придерживаемся целостной концепции правовой природы административной преюдиции и связываем ее исключительно с личностью, его общественной опасностью, а не опасностью самого деяния, вполне понятно, что административная преюдиция – это специальный признак субъекта преступления. Кратность совершения тождественных или аналогичных действий (деяния в широком смысле) повышают градус общественной опасности не самого деяния (поскольку его суть остается неизменной, сколько бы раз оно не совершалось), а лица, его учинившего. Поэтому административная преюдиция – это специальный признак субъекта преступления в уголовном праве.

Вообще, если мы говорим о личности преступника, то нельзя безоговорочно утверждать, что в таком случае речь идет исключительно о теории опасного состояния лица (личности). Действующий уголовный закон знает немало примеров того, когда именно свойства личности учитываются для решения вопроса о привлечении к уголовной ответственности или ее дифференциации. Взять хотя бы нормы о специальном субъекте преступления, рецидиве и т. д. Все они связаны не с опасностью деяния как такового, а с лицом, которое совершает это деяние, степенью его опасности.

Безусловно, в настоящее время законодательное определение преступления не содержит указания на то, кто является субъектом преступления. Может ли таковым являться исключительно физическое лицо либо

в качестве субъекта преступления (или субъекта уголовной ответственности) следует признавать юридическое лицо, а равно – иные электронные и технологические образования (речь идет об искусственном интеллекте)? Возникает еще один вопрос: почему в определении преступления нет указания на его субъект, а присутствует указание на виновность? Ведь осознание, воля и т. д. присущи лицу, которое совершает преступление. Не могут данные объективные и субъективные признаки существовать сами по себе без его носителя – человека, который и совершает непосредственно преступление.

Тем не менее, если мы ведем речь о структуре преступления, которая должна отражать все его элементы, то непременно встает вопрос о деятеле, учиняющем деяние. Понятно, что без деятеля преступления не может быть. Деяние так и может оказаться «голым» без лица, которое осуществляет непосредственно само посягательство. Этот вопрос является актуальным не просто потому, что речь здесь должна идти о субъекте преступления и признаках, которые его характеризуют, вменяемости или невменяемости лица и т. д., но и об особых свойствах субъекта, его специальных признаках, в том числе, и об административной преюдиции, рецидиве преступления, которые больше характеризуют не деяние как таковое (оно не меняется в данном случае), а опасность лица, его совершающего. Данный вопрос еще актуален и по той причине, что проблема лица, совершающего деяние, прямым образом связана с институтом соучастия, поскольку речь идет не об одном лице, а о множестве лиц, совершающих опасное посягательство, которое мы и именуем преступлением.

Таким образом, административная преюдиция сегодня связывается с предшествующим противоправным поведением физического лица. Именно поведение лица предопределяет качественный переход проступка в преступление, и при определении основания уголовной ответственности предлагается обращать внимание на источник причинения вреда, то есть личность виновного. В такой парадигме каждый акт человека рассматривается как продуцирующий, как показатель общественной опасности лица, его устойчивых негативных установок. Иначе говоря, общественную опасность деяния предлагается выводить в том числе из общественной опасности самой личности, совершающей такое деяние [2, с. 16, 24].

В аспекте всего вышеизложенного становится очевидным, что административная преюдиция имеет массу сходств с таким



понятием, как рецидив преступления и повторность (неоднократность) преступления. Но главный момент здесь заключается в том, что административная преюдиция, как и рецидив, а также повторность, характеризуют не само деяние лица, а его общественную опасность. Именно общественную опасность личности (деятеля), а не деяния.

Поэтому в данном случае правильнее было бы говорить о самом противоправном поведении человека, поскольку поведение отражает не просто «голое» деяние субъекта преступления, а органично включает в себя его объективные и субъективные элементы. Следовательно, само понятие «общественная опасность» больше применимо к личности, нежели к деянию. В таком случае и административная преюдиция, и рецидив, и повторность (неоднократность) указывают на то, что опасно не деяние, совершаемое таким лицом (это деяние так и продолжает оставаться таковым), а сама личность, его учинившая. И представляется, что принципиальных различий в этих понятиях нет.

Сказанное еще раз подтверждает тезис о том, что административная преюдиция характеризует только личность субъекта, совершившего неоднократно одно и то же правонарушение, в связи с чем речь может идти только об общественной опасности лица, а не деяния как такового, раз административные меры предупреждения в отношении этого лица оказались неэффективными и не привели к должному результату.

Рассмотрение поставленной проблемы в таком ракурсе указывает на то, что повторность (как и неоднократность, а также рецидив) вряд ли может относиться к виду множественности преступлений. Само по себе деяние человека при повторном его совершении не меняется, оно остается таким же, как и было [3, с. 62]. В основе повторности лежит представление об общественно опасном поведении человека. Если, например, человек совершает разбой во второй, третий и т. д. раз, то второй (третий) разбой не меняется в своей сущности, и второй акт разбоя отнюдь не опаснее первого. Напротив, с точки зрения социальной действительности, второй акт разбоя может быть менее опасен первого акта. Допустим, если в первом случае лицо совершает разбойное нападение с применением насилия, опасного для жизни или здоровья потерпевшего, а во второй раз лишь угрожает применением такого насилия в отношении потерпевшего. В первом случае имеет место реально причиненный физический вред, а во втором случае – такой вред отсутствует, имеется лишь угроза причинения такого вреда,

которая менее опасна. Но, согласно действующего законодательства (например, Республики Беларусь), второе деяние должно наказываться более строго, потому как имеет место повторное совершение разбоя (или может иметь место рецидив преступления).

Но понятно и то, что не общественная опасность деяния здесь предопределяет такую квалификацию и, в конечном счете, ответственность возрастает, а само лицо выступает в качестве знаменателя повышенной уголовной ответственности. Именно общественная опасность самого деятеля делает совершенное им второе по счету преступление более опасным. Следовательно, повторность, как и рецидив, характеризуют не само деяние, не совокупность повторяющихся однородных или тождественных признаков, а общественную опасность лица (деятеля), т. е. субъекта преступления. В данном случае опасно не само деяние (еще раз обратим внимание: его суть не меняется при кратном совершении актов), а человек, его совершивший. Другими словами, если физическое лицо пренебрегает установленными в обществе правилами поведения и не единожды повторяет одно и то же деяние, то мы вынуждены вести разговор об опасности такого лица, а не кратности его актов негативного поведения.

Таким образом, административная преюдиция основана не на автоматическом сложении однородных поступков, а на оценке противоправного поведения конкретной личности. То есть в таком случае общественная опасность – это показатель не деяния, а измеритель личности, насколько его деятельность представляет угрозу для охраняемых социальных ценностей. Поэтому «поведение, слагаясь из предшествующих непроступных деяний, указывает на лицо, обнаруживающее устойчивую противоправную установку и в силу этого требующее применения к ней мер уголовно-правового воздействия» [2, с. 33]. В этом качестве «поведение» представляет собой целостное социально значимое описание личности.

Нельзя не обратить внимание в этой связи, что вопрос о включении административной преюдиции в уголовный закон поставил на новый уровень проблему криминализации общественных отношений. Здесь, главным образом, проблема состоит в том, на каком основании и каким образом законодатель решает дилемму о включении административной преюдиции в лоно уголовного права. Иначе говоря, можем ли сегодня выявить некие закономерности, обсуждая которые, можно было бы вести речь о том, что то или иное правонарушение на определенном

этапе перестает быть таковым, и ввиду кратности определенных действий опасным становится лицо, неоднократно совершающее некое деяние, вследствие чего повторное его совершение должно образовывать уже именно преступление, а не правонарушение. По этой причине некоторые исследователи задаются риторическим вопросом: «обладают ли административные правонарушения, составляющие конструкт административной преюдиции, признаком общественной опасности в ее классическом понимании» [4, с. 96]?

Ведь если обратиться к тексту административного закона (например, КоАП РБ или же КоАП РФ), то мы увидим, что в ряде случаев повторность является квалифицирующим обстоятельством множества административных правонарушений. Однако в данном случае, сколько бы раз (повторно) не совершалось определенное административное правонарушение, оно все равно остается правонарушением, и общественная опасность лица, его совершающего, также находится в рамках административно-деликтного законодательства, но не уголовного. То есть, можно сказать, что кратность действий не повышают градус общественной опасности личности.

Вот здесь и возникает главный вопрос: есть какие-либо на сей счет критерии превращения правонарушения в преступление, и каким образом, по каким основаниям происходит отнесение того или иного деяния в разряд преступлений с признаками административной преюдиции [5, с. 48; 6, с. 33]. Рассматриваемую проблему можно ставить и иным образом, но ответ всегда будет состоять в том, что таких правил (критериев, признаков) нет, и речь нужно вести сугубо в аспекте целесообразности и значимости тех ценностей, которые подвергаются воздействию и существенности (значительности) того вреда, который может быть причинен в результате их поражения. Не более того. И если утвердительно отвечать на поставленный нами вопрос, то мы увидим, что правил превращения правонарушения в преступление с учетом опасности самого лица, совершившего изначально правонарушение, нет. В таком случае речь идет сугубо о конъюнктурной ситуации и важности тех задач, которые стоят перед государством при реализации проводимой им политики в сфере публичной деятельности и обеспечения безопасности государства и общества. Как бы это кому не нравилось, но это факт, с которым приходится считаться. Поэтому вопрос о криминализации здесь не второстепенен.

По этой причине нередко утверждается, что криминализация преюдирующих пре-

ступлений осуществляется на основании оценки общественной опасности личности правонарушителя, в связи с повторным фактом совершения правонарушений каждый из которых обладает самостоятельным материальным содержанием, а предшествующее деяние – не предопределяет и не прибавляет данное материальное содержание к общественной опасности преюдирующего преступления [2, с. 98]. Тем не менее, порой трудно объяснить, какими мотивами руководствуется российский законодатель, устанавливая двукратную или трехкратную преюдицию, различные временные ее сроки и т. п.

Одним из центральных вопросов в определении сущности административной преюдиции является соотнесение данного понятия с иными уголовно-правовыми институтами. В этой связи крайне актуальной выглядит дилемма административной преюдиции и малозначительности деяния. Заметим, что эта проблема решается по-разному в правоприменительной практике, и, более того, – на законодательном уровне различных государств. Хотя здесь все же следует отметить, что чаще всего сам уголовный закон не дает прямых оснований для однозначного вывода по поставленной проблеме.

Итак, вопрос заключается в следующем: может ли деяние быть признано малозначительным в случае, когда лицо привлекается к уголовной ответственности при совершении им преступления с признаками административной преюдиции? С одной стороны, законодательство не предусматривает таких ограничений (запретов). Но, с другой стороны, если лицо ранее привлекалось к административной ответственности и вновь допускает такое же правонарушение, за которое его уже привлекают к уголовной ответственности, то при наличии факта осознания лицом совершенного противоправного деяния с признаками административной преюдиции (и когда уже лицо наказывалось за аналогичное деяние в административном порядке), то можно ли допустить, что в таком случае может иметь место малозначительность деяния?

Как полагает в этой связи Ю. Е. Пудовочкин, решающим фактором признания деяния малозначительным должен стать объем и тяжесть вреда, причиненного объекту уголовно-правовой охраны, поскольку вред причиняется в любом случае при совершении преступления, вне зависимости от того, сконструирован ли состав этого преступления по типу формального или материального. Поэтому в ситуации уклонения от уплаты алиментов о малозначительности может



свидетельствовать, например, непродолжительность срока уклонения, небольшая сумма задолженности, невысокая ценность алиментных платежей для обеспечения интересов несовершеннолетнего ребенка. В ситуациях мелкого хищения, продажи алкогольной продукции, в том числе, и несовершеннолетним, будет иметь значение сумма реализованной продукции, ее вид, качество и количество, возраст несовершеннолетнего. Для ситуаций уклонения от административного надзора – вид и тяжесть нарушения возложенных ограничений, особенности правонарушения, сопряженного с таким нарушением и т. д. То есть все сводится к тому, что малозначительность – это вопрос факта, и главная задача здесь состоит в том, чтобы принципиально признать саму возможность совершения деяния, содержащего состав преступления с административной преюдицией, малозначительным [7, с. 80-88].

В качестве аргумента «против» признания малозначительности при совершении преступления с административной преюдицией обычно ссылаются на то, что несущественная степень общественной опасности, которая присуща малозначительности, не свойственна деяниям с признаками административной преюдиции. И если мы говорим о том, что административная преюдиция – это признак специального субъекта, то положения о малозначительности здесь неприменимы [8, с. 41]. В этом и заключается некий парадокс, т. к. «правило малозначительности нельзя применять к преступлению, объективные составные части которого не являются и не могут являться сами по себе общественно опасными деяниями» [4, с. 109].

Представляется, что при соотношении административной преюдиции с малозначительностью деяния мы изначально исходим из критериев, которые несопоставимы. Если мы действительно сегодня административную преюдицию сопоставляем исключительно с признаками субъекта преступления (специального субъекта преступления) и говорим в этом случае об опасности самого лица, а не деяния как такового, то в случае с малозначительностью деяния ситуация обстоит совсем иным образом. В существующей парадигме малозначительность связывается исключительно с самим деянием, его общественной опасностью. Если характер и степень общественной опасности деяния крайне невелики, то отсутствует преступление как таковое.

Выходит тогда, что в этой ситуации мы вынуждены сравнивать несопоставимые составляющие – общественную опасность

деяния (при малозначительности) и общественную опасность личности (при административной преюдиции). Очевидно, что в таком случае общественная опасность личности не может предопределить несущественный (незначительный) характер самого деяния, для того чтобы можно было сделать вывод о наличии малозначительности.

Косвенное тому подтверждение мы можем найти в самом административном законодательстве. Например, в ч. 3 ст. 8.2 КоАП РБ сказано, что лицо нельзя освободить от административной ответственности по причине признания деяния малозначительным в случае, «если повторное совершение административного правонарушения влечет уголовную ответственность». То есть малозначительность правонарушения отсутствует, если лицо повторно совершает административное правонарушение, за которое уже наступает уголовная ответственность. Понятно, что в такой ситуации не привлекать лицо к уголовной ответственности (при этом констатировать наличие признаков малозначительного деяния), а допустить, что имеет место малозначительность, и тем самым лицо снова привлечь к административной ответственности – абсурдно, и выглядит крайне бессмысленно. Ведь если повторное совершение деяния влечет уголовную ответственность, а лицо все равно не привлекается к уголовной ответственности, а опять же на него налагаются меры административного взыскания, то возникает вопрос о целесообразности таких конструкций. Ведь в таком случае теряется сама суть ответственности и установленных запретов, как и правил их реализации. В подобных случаях приемлемо все же не вести речь о малозначительности деяния, а ставить вопрос об освобождении лица от уголовной ответственности, и то, только тогда, когда есть соответствующие основания. Не случайно по этому поводу в ч. 3 ст. 86 УК РБ сказано, что «освобождение от уголовной ответственности с привлечением лица к административной ответственности не применяется к лицу, совершившему преступление, предусмотренное содержащей административную преюдицию статьей Особенной части УК». Представляется, что это положение нельзя не учитывать.

Некоторые правоведы в этой связи пытаются общественную опасность деяния определить крайне широко, через общественную опасность личности, отождествить деяние с деятелем посредством многовариантного толкования признака преступления – общественной опасности деяния [9, с. 367-368]. Однако, полагаем, в современных условиях

это выглядит как крайняя (и безвыходная) мера. Безусловно, можно, с определенными оговорками и допущениями, говорить о том, что общественная опасность деяния включает в себя и личность. Но представляется, такой подход применительно к малозначительности вскрывает всю подноготную несостоятельность учения об общественной опасности деяния. В такой ситуации деяние приравнивается к личности, и непонятно, когда тогда эти понятия сходятся, а когда – различаются между собой.

Тем не менее, в определенной степени можно согласиться с утверждением о том, что малозначительность может иметь место и в случае, когда лицо совершает противоправное деяние с признаками административной преюдиции. Теоретически, это возможно. Но тогда возникает проблема. Если мы, условно говоря, признаем совершенное деяние с признаками административной преюдиции малозначительным, то тогда вопрос о привлечении лица к административной ответственности может и не стоять вообще (это наглядно видно на примере российского законодательства). Получается парадоксальная ситуация. Опасность лица увеличивается по причине неоднократного нарушения им административно-деликтного законодательства, а ответственность при этом может и не наступать.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Итак, феномен административной преюдиции и его отражение в уголовном законе полностью находится в контексте проводимой уголовно-правовой политики, которая ставит своей главной задачей тотальный контроль над отклоняющимся поведением от заданных государством стандартов. В этом аспекте идея раннего вмешательства в поведение людей и пресечения нежелательных будущих негативных последствий становится оправданной и вполне допустимой в русле проводимой правовой политики государством. Поэтому сегодня институт административной преюдиции является одним из средств ограничения негативного поведения человека. Относиться к этому можно по-разному, но данность в настоящий момент именно такова.

Административная преюдиция представляет собой законодательный прием преобразования правонарушения в преступление, когда повторное совершение административного правонарушения трансформируется в уголовное преступление.

Если придерживаться целостной концепции правовой природы административной

преюдиции и связывать ее исключительно с личностью, его общественной опасностью, а не опасностью самого деяния, то вполне понятно, что административная преюдиция – это специальный признак субъекта преступления. Кратность совершения тождественных или аналогичных действий повышают градус общественной опасности не самого деяния (поскольку его суть остается неизменной, сколько бы раз оно не совершалось), а лица, его совершившего. Поэтому административная преюдиция – это специальный признак субъекта преступления в уголовном праве.

Следовательно, административная преюдиция сегодня связывается с предшествующим противоправным поведением физического лица. Именно поведение лица предопределяет качественный переход проступка в преступление, и при выявлении основания уголовной ответственности предлагается обращать внимание на источник причинения вреда, т. е. личность виновного. В такой ситуации каждый акт человека рассматривается как продуцирующий, как показатель общественной опасности лица, его устойчивых негативных установок.

Административная преюдиция имеет массу сходств с таким понятием, как рецидив преступления и повторность (неоднократность) преступления. Но особенность состоит в том, что административная преюдиция, как и рецидив, а также повторность, характеризуют не само деяние лица, а его общественную опасность. Именно общественную опасность личности (деятеля), а не деяния. Поэтому в данном случае правильнее было бы говорить о самом противоправном поведении человека, поскольку поведение отражает не просто «голое» деяние субъекта преступления, а органично включает в себя его объективные и субъективные элементы. Следовательно, само понятие «общественная опасность» больше применима к личности, нежели к деянию. В таком случае и административная преюдиция, и рецидив, и повторность (неоднократность) указывают именно на то, что опасно не деяние, совершаемое таким лицом (это деяние так и продолжает оставаться таковым), а сама личность.

Таким образом, административная преюдиция основана не на автоматическом сложении однородных поступков, а на оценке противоправного поведения конкретной личности. То есть в таком случае общественная опасность – это показатель не деяния, а измеритель личности, насколько его деятельность представляет угрозу для охраняемых социальных ценностей.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Хилюта, В. В. Уголовное право в социальном измерении (контуры перемен и новой стратегии развития) / В. В. Хилюта. – М.: Юрлитинформ, 2023. – 440 с. – Текст: непосредственный.
2. Мирошниченко, Д. В. Преюдиция в уголовном праве России. – М.: Юрлитинформ, 2022. – 208 с. – Текст: непосредственный.
3. Прохоров, В. С. Преступление и ответственность. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. – 136 с. – Текст: непосредственный.
4. Мамхягов, З. З. Административная преюдиция в уголовном праве: дис. ... канд. юрид. наук. – Ставрополь, 2022. – 193 с. – Текст: непосредственный.
5. Степанов, П. П. Сто кошек все еще не стали тигром: к вопросу об административной преюдиции в современном уголовном праве России / П. П. Степанов. – Текст: непосредственный // Вестник Московского университета. Сер. 11. Право. – 2022. – № 6. – С. 42-57.
6. Никитин, Ю. Проблема административной и дисциплинарной преюдиции в уголовном праве / Ю. Никитин. – Текст: непосредственный // Юстиция Беларуси. – 2017. – № 3. – С. 29-35.
7. Пудовочкин, Ю. Е. Проблемы квалификации преступлений с административной преюдицией (судебная практика). – М.: Юрлитинформ, 2022. – 208 с. – Текст: непосредственный
8. Нечаев, А. Д. Административная преюдиция в уголовном праве: проблемы (де)криминализации деяний и их малозначительности / А. Д. Нечаев, И. Ю. Янина. – Текст: непосредственный // Пробелы в российском законодательстве. – 2017. – № 6. – С. 37-42.
9. Мирошниченко, Д. В. Критика уголовно-правовой онтологии. – М.: Юрлитинформ, 2023. – 400 с. – Текст: непосредственный.

## ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ УГОЛОВНЫХ НАКАЗАНИЙ В УСЛОВИЯХ ВВЕДЕНИЯ ВОЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ

**Цапанова Светлана Сергеевна**

старший преподаватель кафедры  
административно-правовых дисциплин  
юридического факультета Владимирского  
юридического института ФСИН России  
Владимир, Россия  
E-mail: tsapanovass@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-7074-537X

Предмет исследования: действующая система уголовных наказаний и возможность достижения их целей в условиях режима военного положения.

Цель исследования: определить виды уголовных наказаний, а также механизм их назначения, замены и исполнения в условиях режима военного положения.

Методы исследования: в статье использованы такие общенаучные методы как: исторический, анализ и синтез.

Результаты исследования: выделены виды уголовных наказаний, цели которых могут быть достигнуты как в мирное время, так и военное. На основании чего предлагается приостановить назначение ряда уголовных наказаний, не связанных с лишением свободы в условиях введенного режима военного положения.

**Ключевые слова:** взаимодействие объектов системы, военное положение, война, исполнение наказания, назначение наказания, режим, система, уголовное наказание.

## FEATURES OF THE APPOINTMENT OF CRIMINAL PENALTIES IN THE CONDITIONS OF THE INTRODUCTION OF MARTIAL LAW

**Svetlana S. Tsapanova**

Senior Lecturer of the Department  
of Administrative and Legal Disciplines  
of the Faculty of Law of the Vladimir Law Institute  
of the Federal Penitentiary Service of Russia  
Vladimir, Russia  
E-mail: tsapanovass@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-7074-537X

Subject of research: the current system of criminal penalties for the possibility of achieving their goals in the conditions of martial law.

Purpose of research: To determine the types of criminal penalties, as well as the mechanism of their appointment, replacement and execution under martial law.

Methods of research: the article uses such general scientific methods as: historical, analysis and synthesis.

Main results of research: the types of criminal penalties are identified, the goals of which can be achieved both in peacetime and in wartime. On the basis of which it is proposed to suspend the appointment of a number of criminal penalties not related to imprisonment under the imposed martial law regime

**Keywords:** interaction of system objects, martial law, war, execution of punishment, sentencing, regime, system, criminal punishment.

### ВВЕДЕНИЕ

А. И. Коробеев отмечал, что с развитием истории уголовного права изменялись виды преступного поведения, в связи с чем и законодатель был вынужден вносить изменения в перечень уголовных наказаний. Таким образом, уголовное законодательство претерпело ряд изменений в части, касающейся системы уголовных наказаний [7, с. 753]. Основываясь на данном высказывании, полагаем, что во время действия военного положения становится возможным появление новых наказаний или изменение действующих на определенный момент времени.

Так, например, законодательство и уголовная политика периода Великой Отечественной войны имели свои особенности. В его состав входили временные нормы, предусматривающие ответственность за преступления, опасные лишь в военных условиях (например, 6 июля 1941 г. Указ Президиума Верховного Совета СССР «Об ответственности за распространение в военное время ложных слухов, возбуждающих тревогу среди населения»), а также нормы об ответственности военнослужащих за военные преступления на временно оккупированных территориях (для специальных субъектов уголовного права вводились особые меры наказания – смертная

казнь через повешение и каторжные работы), его особенностью являлось широкое распространение законов о «приравнении» (уход с военных предприятий приравнивался к дезертирству, а кража личного имущества при отягощающих обстоятельствах – к бандитизму).

В науке уголовного права России особое значение имеет вопрос о законах, действующих при определенных обстоятельствах, изданных на время существования определенных условий. К числу таковых законов относятся действующие только в военное время.

При введении режима военного положения становится затруднительной реализация различных вопросов уголовно-правового характера, к числу которых стоит отнести и достижение целей уголовного наказания, что обусловлено множеством факторов как объективного, так и субъективного характера, к таковым можно отнести как сами военные действия, так и меры, предусмотренные Федеральным конституционным законом от 30 января 2002 г. № 1-ФКЗ. Современное уголовное законодательство, и, в частности, система уголовных наказаний, им предусмотренная, отвечает требованиям мирного времени, но не содержит норм, которые учитывали бы специфику условий режима военного положения и применялись бы в это время.



Решение обозначенного вопроса требует всестороннего исследования возможностей действующей на сегодняшний день системы уголовных наказаний. Нам представляется, что система наказаний, закрепленная в уголовном законодательстве, должна соответствовать не только условиям мирного времени и нормального функционирования государства, но и отвечать цели вводимого военного режима, которая выражается в создании условий для отражения или предотвращения агрессии против Российской Федерации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящий момент система уголовных наказаний представлена 13 видами, которые между собой отличаются правоограничениями, что позволяет правоприменителю адаптировать данную систему и под особые условия [3, с. 306]. В. Н. Орлов также отмечал, что каждому наказанию присущ ряд ограничений, которые определяют его содержание [6, с. 93].

Стоит обратить внимание на конструкцию норм особенной части уголовного законодательства, где большинство санкций – это некая совокупность относительно-определенных и альтернативных видов наказаний, что позволяет правоприменителю назначить тот вид уголовного наказания, который сможет быть реализован в условиях военного времени, и особое внимание стоит уделить обоснованности применения того или иного вида уголовного наказания в условиях чрезвычайной ситуации.

Рассмотрим более подробно применение отдельных видов уголовных наказаний в условиях введения режима военного положения.

Ограничение по военной службе, как основной вид наказания, и лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью – вид наказания, который, в соответствии с уголовным законом, может применяться как в качестве основного, так и дополнительного вида наказания. В условиях военного положения осужденные по данным составам будут представлять особый интерес, так как обладают специальными знаниями, которые востребованы и актуальны в условиях военных действий. Так, например, в годы Великой Отечественной войны были приняты следующие указы Президиума Верховного Совета СССР: от 13 февраля 1942 г. «О мобилизации на период военного времени трудоспособного городского населения для работы на производстве и строительстве»; от 27 февраля 1942 г. «Об отсрочке исполнения приговоров в отношении работников железнодорожного и водного транспорта». Так как данные виды наказания предусматривают ограничения и

запреты отдельных видов службы и деятельности, это делает невозможным их привлечение как специалистов в той или иной области в интересах защиты государства в вооруженном конфликте.

В связи с изложенным считаем нецелесообразным применение данного вида наказания в названных экстремальных условиях, при необходимости мобилизации всего населения страны.

Содержание в дисциплинарной воинской части – вид уголовного наказания, назначаемый военнослужащим, проходящим военную службу по призыву, а также военнослужащим, проходящим военную службу по контракту на должностях рядового и сержантского состава, если они на момент вынесения судом приговора не отслужили установленного законом срока службы по призыву, заключающийся в принудительном направлении указанных лиц на определенный срок в дисциплинарную воинскую часть, в которой они подвергаются исправительному воздействию, чему способствует специальный режим, установленный в такой части. Назначение данного вида наказания целесообразно приостановить на время ведения военных действий. А в отношении военнослужащих, уже отбывающих наказание, рассмотреть возможность их освобождения для привлечения на фронте. По примеру Великой Отечественной войны, когда Президиум Верховного Совета СССР издал указ от 12 августа 1941 года «Об освобождении военнослужащих из дисциплинарных батальонов», который предусматривал возможность военных советов освобождать всех военнослужащих из дисциплинарных батальонов с направлением освобожденных в действующие части Красной Армии и Военно-Морского Флота, за исключением тех из них, которые будут признаны военными советами неблагонадежными и вредными для фронта.

Штраф – наказание, которое может быть применено в качестве как основного наказания, так и дополнительного. В отношении данного наказания также есть вопрос о целесообразности его назначения и исполнения в период действия военного положения. Во-первых, в теории уголовного права существуют споры по поводу отнесения штрафа к числу уголовных наказаний. Под сомнение ставится в данном случае достижение цели наказания. Способно ли лицо одномоментно осознать свою виновность и более не нарушать уголовный закон [1, с. 21; 4, с. 32; 5, с. 55; 6, с. 32]. Во-вторых, это связано с экономическим кризисом, галопирующей инфляцией и другими негативными финансово-экономическими последствиями, которые, как правило, являются

сопутствующими факторами развития военных действий и сохраняются некоторое время после их завершения. В-третьих, стоит учитывать сложность исполнения данного наказания как в мирное время, так и во время действия военного положения. По объективным причинам денежные ресурсы могут быть недоступны как для населения в целом, так и для осужденных в частности, что сделает невозможным исполнение данного наказания. Изложенное позволяет заключить нецелесообразность применения и этого вида наказания в условиях войны.

Ограничение свободы – еще один вид уголовного наказания, который может назначаться в качестве как основного, так и дополнительного вида наказания. При этом стоит отметить, что в условиях введения военного положения сущность данного наказания «размывается». Это обусловлено, в первую очередь, теми ограничениями, которые предусматривает Федеральный конституционный закон от 30 января 2002 г. № 1-ФКЗ в отношении всего населения. При тщательном анализе правоограничений, которые предусмотрены федеральным законодательством, в связи с вводимым режимом военного положения и ограничений, предусмотренных применением наказания в виде ограничения свободы, можно отметить их совпадение. В связи с этим возникает вопрос о возможности достижения целей уголовного наказания как такового в условиях войны, если происходит уравнивание правового статуса гражданского населения и осужденных к данному виду наказания. Кроме того, заметим, что такой вид наказания, как ограничение свободы, может препятствовать привлечению к труду осужденного за пределами территории, которую ему запрещено покидать в соответствии с назначенным наказанием, что создает определенные неудобства в условиях войны. Поэтому предлагаем не назначать данный вид наказания на тех территориях Российской Федерации, где действует режим военного положения.

При этом лишение свободы, как вид наказания, сохраняет свою актуальность и в период войны, и в ее отсутствие. Даже находясь в условиях изоляции, осужденные обязаны трудиться, что должно быть использовано государством в целях введенного военного положения.

На наш взгляд, в мирное время и, тем более, в условиях войны наибольшую актуальность приобретают такие виды наказаний, как: обязательные, исправительные и принудительные работы. Это обусловлено потребностью государства в привлечении граждан в порядке, установленном Правительством Российской Федерации, к выполнению работ для нужд обороны, ликвидации последствий применения противником оружия, восстановлению

поврежденных (разрушенных) объектов экономики, систем жизнеобеспечения и военных объектов, а также к участию в борьбе с пожарами, эпидемиями и эпизоотиями в соответствии с п. 6, ч. 2 ст. 7 Федерального конституционного закона от 30 января 2002 г. № 1-ФКЗ. Это, в свою очередь, также соотносится с целью военного положения.

Смертная казнь как вид наказания давно не применяется в Российской Федерации в связи с принятием к Конвенции о защите прав человека и основных свобод Протокола № 6 [8]. В соответствии с названной международной нормой, которая имеет верховенство над национальным законодательством, предусмотрен запрет применения данного вида наказания, однако не исключает его из системы уголовных наказаний и допускает его применение во время войны или при неизбежной угрозе войны за совершение отдельных преступлений. Так, в годы Великой Отечественной войны Президиум Верховного Совета СССР своим Указом от 19 апреля 1943 г. определил, что фашистские захватчики, совершившие зверства по отношению к военнопленным и мирному населению, подлежат смертной казни через повешение, либо ссылке на каторжные работы на срок от 15 до 20 лет.

Таким образом, вышеизложенные виды уголовных наказаний, предусмотренные уголовным законодательством Российской Федерации, не могут быть в полном объеме реализованы в период ведения военных действий. Как отмечал И. М. Гальперин, уголовное наказание должно быть назначено с учетом интересов большинства членов общества [2, с. 53].

В результате проведенного анализа с учетом исторического опыта стоит заключить, что к числу уголовных наказаний, способных достичь своих целей, предусмотренных уголовным законом, а также военного положения при его введении на всей территории Российской Федерации или отдельных ее территориях, которые соотносятся как частное и общее, следует отнести: обязательные работы, исправительные работы, принудительные работы, лишение свободы и смертную казнь.

В рамках данного исследования мы проанализировали действующую систему уголовных наказаний на предмет соответствия достижению целей введения военного положения. В сделанных выводах установлены виды уголовных наказаний, применение которых будет направлено на эффективное решение задач введения военного положения.

Объекты системы уголовных наказаний находятся в состоянии постоянного взаимодействия, которое направлено на создание надлежащих условий применения всех ее



элементов. Уголовные наказания должны быть взаимозаменяемыми и взаимодополняемыми для реализации возможности индивидуализации наказания как при его назначении, так и в процессе исполнения.

Анализ действующей системы уголовных наказаний позволил заключить, что в условиях введения режима военного положения становится неэффективным и нерациональным назначение и исполнение отдельных видов наказаний. В связи с этим встает вопрос об их замене «эффективными» наказаниями в рассматриваемых условиях. Кроме того, данный вопрос осложняется критикой ученых в отношении действующей системы наказаний в мирное время, а в условиях войны требует особого, повышенного внимания и четкости реализации положений законодательства.

Так, первое направление взаимодействия происходит при назначении уголовных наказаний. На данном этапе применению подлежит институт дополнительного наказания, который позволяет внести корректировку в перечень правоограничений, назначенных по приговору суда, что делает возможным индивидуализацию воздействия на лицо, совершившее преступление, с учетом всех его обстоятельств. Кроме того, в рамках взаимодействия при назначении уголовных наказаний возможна замена наказаний, что может быть отнесено как в сторону смягчения наказания, так и ужесточения.

Механизм замены наказаний, предусмотренный нормами уголовного законодательства, соотносится с предложенными к применению видами наказаний в условиях военного положения. Наиболее мягким наказанием в предлагаемых условиях будут обязательные работы, а наиболее строгим наказанием – смертная казнь, при этом механизм замены лишением свободы на определенный срок других наказаний будет успешно функционировать и в условиях войны.

Второе направление взаимодействия уголовных наказаний реализуется при их исполнении. Данный механизм взаимодействия имеет также важное значение, особенно его актуальность повышается в условиях военного положения, что объясняется фактической необходимостью оперативного использования всех ресурсов страны во время войны.

При рассмотрении данного механизма встает вопрос об исполнении назначенных наказаний, отнесенных нами к перечню «нецелесообразных» в условиях военного времени. К данным наказаниям нами были отнесены следующие: штраф, лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью, лишение

специального, воинского или почетного звания, классного чина и государственных наград, ограничение по военной службе, ограничение свободы и содержание в дисциплинарной воинской части. Реализация последнего механизма предусматривает два варианта: исполнять уже назначенное наказание или заменить наказание на то, которое позволит оптимально использовать человеческие ресурсы в условиях военного времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Таким образом, стоит заключить, что в существующей на сегодняшний день системе уголовных наказаний есть и те наказания, которые могут быть реализованы как в мирное, так и военное время. К ним относятся: обязательные работы, исправительные работы, принудительные работы, лишение свободы и смертная казнь. В связи с этим вопрос взаимодействия системы уголовных наказаний в условиях военного положения должен быть главным образом ориентирован на достижение цели последнего.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арямов, А. А. Общетеоретические основы учения об уголовном наказании: автореф. дис. ... д-ра юрид. наук / А. А. Арямов. – СПб., 2002. – 45 с. – Текст: непосредственный.
2. Гальперин, И. М. Наказание: социальные функции, практика применения / И. М. Гальперин. – М. : Юрид. лит., 1983. – 206 с. – Текст: непосредственный.
3. Звонов, А. В. Некоторые вопросы содержания системы уголовных наказаний в России / А. В. Звонов. – Текст: непосредственный // Пробелы в Российском законодательстве. – М., 2014. – № 6. – С. 306-308.
4. Зубкова, В. И. Уголовное наказание и его социальная роль: теория и практика / В. И. Зубкова. – М. : Издательство НОРМА, 2002. – 296 с. – Текст: непосредственный.
5. Ной, И. С. Вопросы теории наказания в советском уголовном праве / И. С. Ной. – Саратов: СГУ, 1962. – 156 с. – Текст: непосредственный.
6. Орлов, В. Н. К вопросу о сущности уголовного наказания / В. Н. Орлов. – Текст: непосредственный // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2006. – № 1. – С. 92-94.
7. Полный курс уголовного права: в 5 т. / Под ред. докт. юрид. наук, проф., заслуженного деятеля науки РФ А. И. Коробеева // Т. 1: Преступление и наказание. – СПб.: Издательство Р. Асланова «Юридический центр Пресс», 2008. – 784 с. – Текст: непосредственный.
8. Протокол № 6 к Европейской конвенции о защите прав человека и основных свобод относительно отмены смертной казни (ЕТ5 № 114) // Российская газета. 1995 5 апр. – Текст: непосредственный.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

**Лютаревич Александр Геннадьевич**

кандидат технических наук, доцент,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: a\_lyutarevich@ugrasu.ru

Предмет исследования: методы прогнозирования параметров электропотребления.

Цель исследования: определение оптимального метода прогнозирования электропотребления и параметров качества электроэнергии на основе методов анализа и синтеза.

Объект исследования: методы прогнозирования параметров электропотребления и качества электроэнергии на основе нейронных сетей.

Основные результаты исследования: в работе представлено исследование состояния вопроса по прогнозированию электропотребления и параметров качества электроэнергии. Рассмотрены методы прогнозирования и определены наиболее оптимальные для составления прогноза электропотребления и параметров качества электроэнергии. Установлено, что наиболее подходящим методом для решения задач прогнозирования электропотребления и параметров качества электроэнергии в точке присоединения является метод прогнозирования с помощью нейронных сетей.

**Ключевые слова:** прогнозирование, качество электрической энергии, электропотребление, методы прогнозирования, нейронные сети.

## REVIEW OF METHODS FOR PREDICTION PARAMETERS OF ELECTRICITY QUALITY AND ELECTRIC CONSUMPTION

**Alexander G. Lyutarevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Yugra State University  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: a\_lyutarevich@ugrasu.ru

Subject of research: methods for predicting power consumption parameters.

Purpose of research: to determine the optimal method for predicting power consumption and power quality parameters based on methods of analysis and synthesis.

Object of research: methods for predicting parameters of power consumption and power quality based on neural networks.

Main results of research: In recent years, forecasting power consumption and power quality parameters has become a very important topic, both from a technological and economic point of view. Forecasting electrical energy consumption ensures the most balanced operation of the electrical network, as well as correct work with electricity suppliers. As a consequence, such forecasting must be carried out with high accuracy. The paper presents a study of the state of the issue in forecasting power consumption and power quality parameters. Forecasting methods are considered and the most optimal ones for forecasting power consumption and power quality parameters are determined. It has been established that the most suitable method for solving problems of forecasting power consumption and power quality parameters at the point of connection is the forecasting method using neural networks.

**Keywords:** forecasting, quality of electrical energy, power consumption, forecasting methods, neural networks.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы прогнозирование электропотребления и параметров качества электроэнергии стало очень важной темой как с технологической точки зрения, так и с экономической. Прогнозирование потребления электрической энергии обеспечивает наиболее сбалансированную работу электрической сети, а также корректную работу с поставщиками электроэнергии. Как следствие, – подобное прогнозирование должно осуществляться с высокой точностью.

Сейчас на электроэнергетическом рынке России крупные предприятия закупают энергию по оптовым ценам, которые регулируются государственными служащими, инспекциями, а также доступными предложениями поставщиков-производителей.

Но при этом имеют место быть отклонение и нехватка потребляемых мощностей при заявленных прогнозах компании-потребителя. При подсчётах значений электроэнергии, которую потребителю приходится докупать в случаях необходимости, становится видно, что потери в финансовой составляющей

достаточно весомы, и в месяц могут составлять от нескольких сотен тысяч рублей, а в год – от нескольких миллионов рублей [1, 2, 3].

Также следует отметить несоответствие потребляемой электроэнергии к вырабатываемой, при котором имеющейся мощности оказывается больше, чем требуется. В таких случаях компания-потребитель платит за простой мощностей, что также приводит к значительным финансовым убыткам.

Кроме того, отмечается, что ошибки прогнозирования также будут влиять и на компанию-поставщика, так как они приводят к необоснованным пускам, остановкам генерирующего оборудования и к выбору необоснованной технологически и экономически схемы электрической сети, что приводит к дополнительному потреблению полезных ископаемых, а следовательно, финансовым потерям [3].

Другими словами, прогнозирование электропотребления является важной частью не только технологического процесса, но и экономического. При ненадлежащем прогнозировании компании могут нести миллионные убытки в год. Чем выше точность





Рисунок 1. Классификация прогнозирования электропотребления.

прогнозирования, тем меньше будет непредвиденных финансовых затрат, следовательно, данная тема является крайне актуальной и востребованной.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прогнозирование электропотребления является сложной и многоплановой задачей из-за необходимости учета нескольких факторов одновременно, например, температуры окружающего воздуха, дней недели, времени года и др. [4].

Высокая точность прогнозирования обеспечивает качественную работу диспетчерских служб, что определяет дополнительные резервы мощности, тем самым, электрооборудование изнашивается меньше, чем могло, что, в свою очередь, приводит к дополнительным затратам ресурсов [1].

Для более точного прогнозирования электропотребления необходимо зафиксировать такие характеристики, как графики нагрузки, временной промежутков, для которого производится прогноз. Также необходимо иметь данные по метеорологической обстановке окружающей среды [5, 6], иметь данные по плану ремонта электрооборудования [2], экономическую ситуацию в регионе или стране [6].

На основе анализа работ [2, 7] можно ввести классификацию методов прогнозирования (рисунок 1).

Процесс производства и потребления электроэнергии неразрывно связан и ее качеством. Причем в вопросах составления прогнозов электропотребления необходимо и давать оценку качеству электрической энергии в точке присоединения нагрузки. В последнее время уже в процессе эксплуатации

возникают отклонения показателей качества электроэнергии от тех значений, которые закладывались на этапе проектирования [8]. Поэтому при составлении прогнозов электропотребления необходимо учитывать параметры качества электроэнергии, и наоборот.

Для решения предложенной задачи необходим оптимальный метод прогнозирования, который будет достаточно точен и будет иметь минимальную погрешность в своих расчетах.

В своей работе [9] автор описывает электропотребление с помощью временных рядов, которые представлены мгновенными значениями нагрузки. Также отмечено, что подобные модели пригодны для решения и других задач прогнозирования.

Существуют разные подходы и методы к прогнозированию, среди них выделяют методы экспертных оценок, методы экстраполяции, методы регрессионного анализа, методы искусственных нейронных сетей и так далее. В общем случае любой метод прогнозирования представляет собой определенный алгоритм, описанный с помощью математического аппарата [2]. Так, например, регрессионные методы прогнозирования основываются на исследовании корреляционной зависимости параметров и используются при среднесрочном прогнозе [7].

Еще одним методом, который в свое время получил достаточно широкое применение, является метод экспертных оценок. Однако данный метод обладает значительной погрешностью [3].

Если имеется минимальное число изменений прогнозируемого параметра, то можно использовать метод, в основе которого лежат статистические данные, – это метод экстраполяции. Данный метод обладает простотой

модели прогнозирования, не требует значительного набора входных данных, однако и в связи с этим же не может учитывать большое количество факторов, влияющих на прогноз, что делает сам прогноз краткосрочным и менее точным [2, 7].

Метод корреляционного и регрессионного анализа достаточно подробно описан в [2]. Автор указывает, что в основе большинства методов прогнозирования лежит метод определения регрессионных коэффициентов по имеющимся данным, и различных факторов, которые могут на них оказывать влияние. Другими словами, указанные методы позволяют учесть значительное количество параметров. Однако ограничением данного метода может являться значительная трудоемкость расчетов.

Методы прогнозирования на основе ARIMA моделей способны проработать большое количество временных рядов [2]. Однако, как и предыдущий метод, обладают недостатками с изменением исходной информации в параметрах прогнозирования.

В последнее время с развитием искусственного интеллекта наибольший интерес вызывает метод прогнозирования на основе нейронных сетей [10]. В общем виде нейронные сети представляют собой связь нескольких наук нейрофизиологии, математики, статистики, компьютерных технологий. Этим и объясняется их широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Но главным достоинством нейронных сетей, по сравнению с другими методами, является их способность к самообучению.

Так, например, в работах [11, 12] нейронная сеть применяется для прогнозирования городского электроснабжения. Аналогичные исследования, но уже для построения математических моделей потребления электроэнергии на железнодорожном транспорте с использованием искусственной нейронной сети, представлены в работе [12].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Таким образом, способность к обучению на основе различных данных позволила нейронным сетям стать универсальным инструментом для решения вопросов прогнозирования электропотребления и параметров качества электрической энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вялкова, Светлана Александровна. Краткосрочное прогнозирование электропотребления мегаполиса на основе ортогональных разложений и нейронных сетей: диссертация ... кандидата технических наук 05.14.02. – Новочеркасск, 2021. – 224 с. – Текст: непосредственный.

2. Воронов, Иван Викторович. Прогнозирование электропотребления промышленных предприятий с помощью искусственных нейронных сетей: диссертация ... кандидата технических наук 05.09.03. – Кемерово, 2010. – 153 с. – Текст: непосредственный.
3. Кассем С. А. Прогнозирование электропотребления предприятия с применением искусственных нейронных сетей / С. А. Кассем, А. Х. А. Ибрагим, А. М. Хасан, А. Г. Логачева. – Текст: непосредственный // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2021. – Том 7, № 1 (25). – С. 177-193. – DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-1-177-193.
4. Zheng H, Yuan J, Chen L. Short-Term Load Forecasting Using EMD-LSTM Neural Networks with a Xgboost Algorithm for Feature Importance Evaluation // Energies. – 2017. – №10(8):1168. – doi.org/10.3390/en10081168.
5. Колоколов, М. В. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий / Д. А. Васильев, М. В. Колоколов, В. А. Иващенко. – Текст: непосредственный // Управление большими системами. – 2011. – Вып. 34. – С. 254-266.
6. Серебряков, Н. А. Анализ факторов, влияющих на совокупное электропотребление гарантирующего поставщика / Н. А. Серебряков. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – №24(2). – С. 366-381.
7. Биалова, Алиса Ильдаровна. Прогнозирование потребления электрической энергии электротехническим комплексом городской электрической сети: диссертация ... кандидата технических наук 05.09.03. – Ульяновск, 2019. – 166 с. – Текст: непосредственный.
8. Управление качеством электроэнергии: учебное пособие / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017. – 347 с.
9. Зуева, В. Н. Регрессионные методы прогнозирования графика нагрузки электрооборудования / В. Н. Зуева. – Текст: непосредственный // Научный журнал КубГАУ. – № 126(02). – 2017.
10. Лютаревич, А. Г. Применение нейронных сетей для прогнозирования параметров электропотребления / А. Г. Лютаревич. – Текст: непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – № 2(69). – С. 124-132.
11. Yong Peng, Zhineng Liu Application of an improved BP neural network in the forecasting of urban power supply // International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012). – DOI: 10.1049/cp.2012.1032.
12. Saurabh Singh, Shoeb Hussain, Mohammad Abid Bazaz Short Term Load Forecasting Using Artificial Neural Network // Fourth International Conference on Image Information Processing (ICIIP). – 2017. – DOI: 10.1109/ICIIP.2017.8313703





13. Komyakov, A. A. Construction of electricity consumption mathematical models on railway transport used artificial neural network and fuzzy neural network / A. A. Komyakov, M. M. Nikiforov, V. V. Erbes, V. T. Cheremisin, V. I. Ivanchenko // IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC). – 2016. – DOI: 10.1109/EEEIC.2016.7555450.



## САМОЗАПУСК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

**Планков Александр Анатольевич**

кандидат технических наук,  
инженер ООО «ПНК ДЕВЕЛОПМЕНТ»  
Москва, Россия  
E-mail: mail\_tochka\_ru@mail.ru

Предмет исследования: процесс самозапуска асинхронных электродвигателей при наличии высших гармоник в сети питающего напряжения.

Цель исследования: анализ влияния несинусоидальности напряжения на длительность самозапуска асинхронных двигателей и величину дополнительного нагрева при самозапуске.

Методы и объекты исследования: моделирование режима самозапуска асинхронного двигателя в системе координат  $\alpha, \beta, 0$ ; имитационное моделирование в Matlab Simulink.

Результаты исследования: показано, что учет высших гармоник при достижении предельных значений суммарного коэффициента гармонических искажений (THD) может дать погрешность в определении времени самозапуска более чем на 20 %, температуры нагрева – более чем на 10 %.

**Ключевые слова:** самозапуск, асинхронный электродвигатель, высшие гармоники, электромагнитный момент, нагрев электродвигателя.

## SELF-STARTING OF INDUCTION MOTORS AT NON-SINUSOIDAL POWER SOURCE VOLTAGE

**Alexander A. Plankov**

Candidate of Technical Sciences,  
Engineer LTD «PNK DEVELOPMENT»,  
Moscow, Russia  
E-mail: mail\_tochka\_ru@mail.ru

Subject of research: the process of self-starting of asynchronous electric motors in the presence of higher harmonics in the supply voltage network.

Purpose of research: analysis of the influence of non-sinusoidal voltage on the duration of self-starting of asynchronous motors and the amount of additional heating during self-starting.

Methods and objects of research: modeling of the self-starting mode of an asynchronous motor in the coordinate system  $\alpha, \beta, 0$ ; simulation modeling in Matlab Simulink.

Main results of research: it has been shown that failure to take into account higher harmonics when the total harmonic distortion (THD) limit values are reached can result in an error in determining the self-start time by more than 20 % and the heating temperature by more than 10 %.

**Keywords:** self-starting, asynchronous electric motor, higher harmonics, electromagnetic torque, electric motor heating

### ВВЕДЕНИЕ

При питании асинхронного электродвигателя от источника несинусоидального напряжения возникают дополнительные потери, для корректного расчета которых требуется учет значительного количества факторов [4]. В работе [8] приведены результаты численных экспериментов оценки дополнительных потерь от высших гармоник на основании разработанной авторами методики. Физический эксперимент в работе [10] показал рост потерь, обусловленных высшими гармониками, на 9,5 % относительно синусоидального режима. Высшие гармоники также являются причиной возрастания шума на 5-6 дБ [5]. Влияние высших гармоник на статические характеристики  $P(U)$ ,  $Q(U)$  узлов нагрузки с асинхронными двигателями исследовано на экспериментальном стенде и опубликовано в работе [13]. В статье [11] Singh G.K. приводит всесторонний обзор исследований и разработок в области работы асинхронных двигателей с несинусоидальной формой питающего напряжения и тока. Автором сделаны попытки осветить текущие и будущие проблемы, связанные с развитием технологии привода асинхронных двигателей, чтобы обеспечить хорошую динамическую устойчивость асинхронной нагрузки.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа влияния высших гармоник на условия самозапуска асинхронных двигателей, прежде всего, следует обратить внимание на изменение моментов на валу электродвигателя и возникновение дополнительных колебаний. В статье [9] приведены результаты исследования влияния несинусоидальных токов на электромагнитный момент двигателей. В работе [6] авторами была разработана имитационная модель в среде Matlab Simulink с целью анализа влияния высших гармоник на характеристики электропривода малой мощности. В работе отмечается, что «наличие высших гармоник приводит к созданию тормозящих моментов, которые могут привести не только к возникновению пульсаций электромагнитного момента и скорости» [6, с. 136]. Известно, что высшие гармоники питающего напряжения создают дополнительные тормозящие моменты (рисунок 1). На наличие дополнительных моментов также указано в статье [7, с. 50].

Система уравнений АД для анализа характеристик в системе координат  $\alpha, \beta, 0$  может быть представлена в виде:





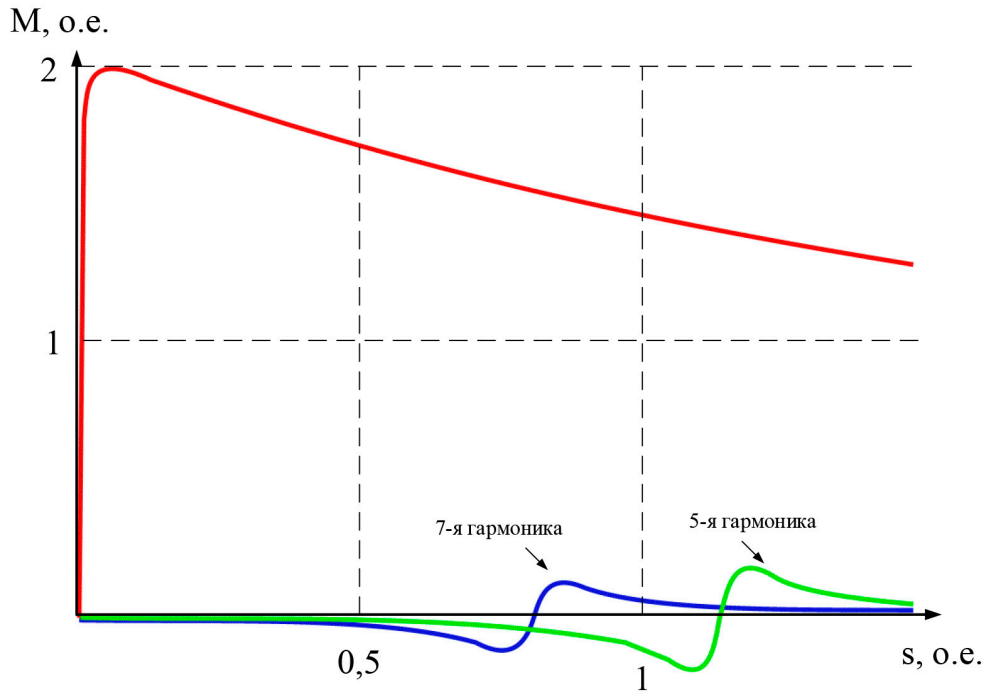


Рисунок 1. Моменты, образуемые отдельными гармониками.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\Psi_{1\alpha}}{dt} &= U_{ном} \sin(\omega_{осл}) + \sum_{n=2}^{40} U_{n\alpha} \sin(n\omega_{осл}) - r_2 \frac{x_{\mu} \Psi_{2\alpha} - x_1 \Psi_{1\alpha}}{x_{\mu}^2 - x_1 x_2} \\ \frac{d\Psi_{1\beta}}{dt} &= U_{ном} \cos(\omega_{осл}) + \sum_{n=2}^{40} U_{n\beta} \cos(n\omega_{осл}) - r_2 \frac{x_{\mu} \Psi_{2\beta} - x_1 \Psi_{1\beta}}{x_{\mu}^2 - x_1 x_2} \\ \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} &= \Psi_{2\beta} \omega - r_1 \frac{x_{\mu} \Psi_{1\alpha} - x_1 \Psi_{2\alpha}}{x_{\mu}^2 - x_1 x_2} \\ \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} &= \Psi_{2\alpha} \omega - r_1 \frac{x_{\mu} \Psi_{1\beta} - x_1 \Psi_{2\beta}}{x_{\mu}^2 - x_1 x_2} \\ \omega &= \frac{x_{\mu}(x_{\mu}^2 \Psi_{1\beta} \Psi_{2\alpha} + x_1 x_2 \Psi_{2\beta} \Psi_{1\alpha} - x_{\mu}^2 \Psi_{2\beta} \Psi_{1\alpha} - x_1 x_2 \Psi_{1\beta} \Psi_{2\alpha})}{J(x_{\mu}^2 - x_1 x_2)} - \frac{m_c}{J} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где  $\Psi_{1\alpha}$  и  $\Psi_{1\beta}$  – проекция потокосцепления обмотки статора АД на оси  $\alpha$  и  $\beta$ ;

$\Psi_{2\alpha}$  и  $\Psi_{2\beta}$  – проекция потокосцепления обмотки ротора АД на оси  $\alpha$  и  $\beta$ ;

$U_{ном}$ ,  $U_v$  – напряжение на основной частоте и на высших гармониках соответственно;

$r_1$ ,  $r_2$  – активные сопротивления фазы обмотки статора и ротора АД соответственно;

$x_{\mu}$ ,  $x_2$  – полное индуктивное сопротивление фазы обмотки статора и ротора АД соответственно;

$x_{\mu}$  – индуктивное сопротивление ветви намагничивания АД;

$J$  – инерционная постоянная вращающихся масс;

$m_c$  – момент исполнительного органа рабочей машины.

В качестве критерия необходимости учета высших гармоник напряжения, питающего асинхронный двигатель, в задачах динамической устойчивости в настоящей работе предлагается одновременное выполнение следующих условий: а) скольжение выбега

превышает 0,7 о.е., б) коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей и коэффициент суммарного гармонического искажения (THD) превышают установленные ГОСТ 32144-2013 нормативы.

$$\left\{ \begin{aligned} ds'_{выб} &= \frac{m_c}{T_j} dt, \quad s_{выб} \in [0.7; 1) \\ K_v &= \frac{U_v}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad K_v \notin K_v^{дон} \\ K_u &= \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{v_i}}}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad K_u \notin K_u^{норм.дон} \\ s'_{выб} \wedge K_v \wedge K_u & \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Электромагнитный момент асинхронного двигателя с учетом высших гармоник напряжения может быть определен по формуле:

$$m_{\omega}'(s) = \frac{(2+q)b_m}{\frac{s}{s_{sp}} + \frac{s_{sp}}{s} + q} \cdot U_*^2 + \sum_{v=2}^{40} \frac{2b_m}{\frac{s}{s_{sp}} - (s_v - s_{sp}) + \frac{s_{sp}}{s - (s_v - s_{sp})}} \cdot U_{v*}^2 \quad (3)$$

В рамках настоящего исследования был произведен анализ развития переходного процесса при пуске асинхронного двигателя при питании от несинусоидального напряжения (рисунок 3). Результаты имеют качественное совпадение с исследованиями других авторов по данной тематике [12, с. 860].

Известно, что высшие гармоники могут стать причиной дополнительного нагрева

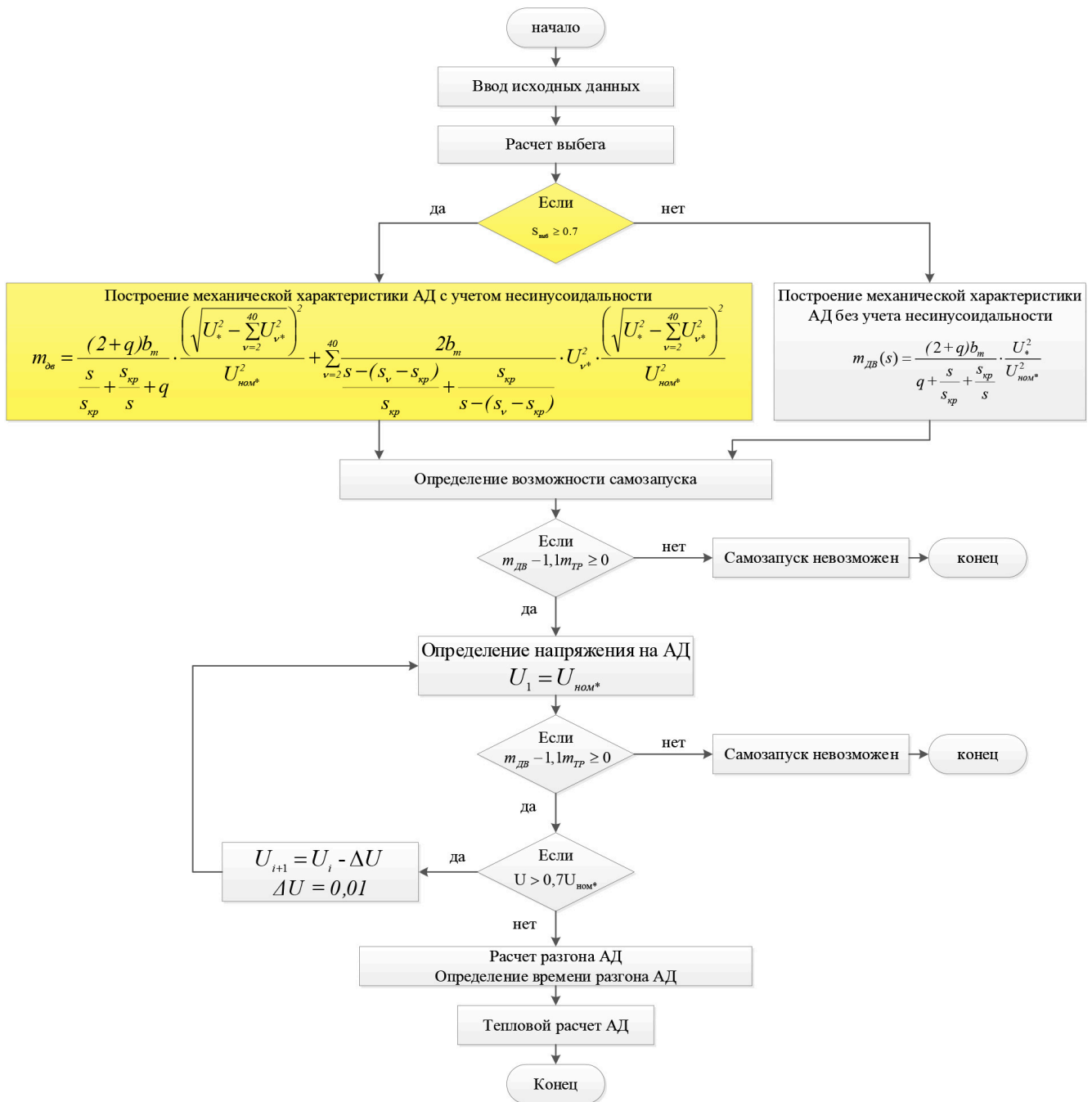
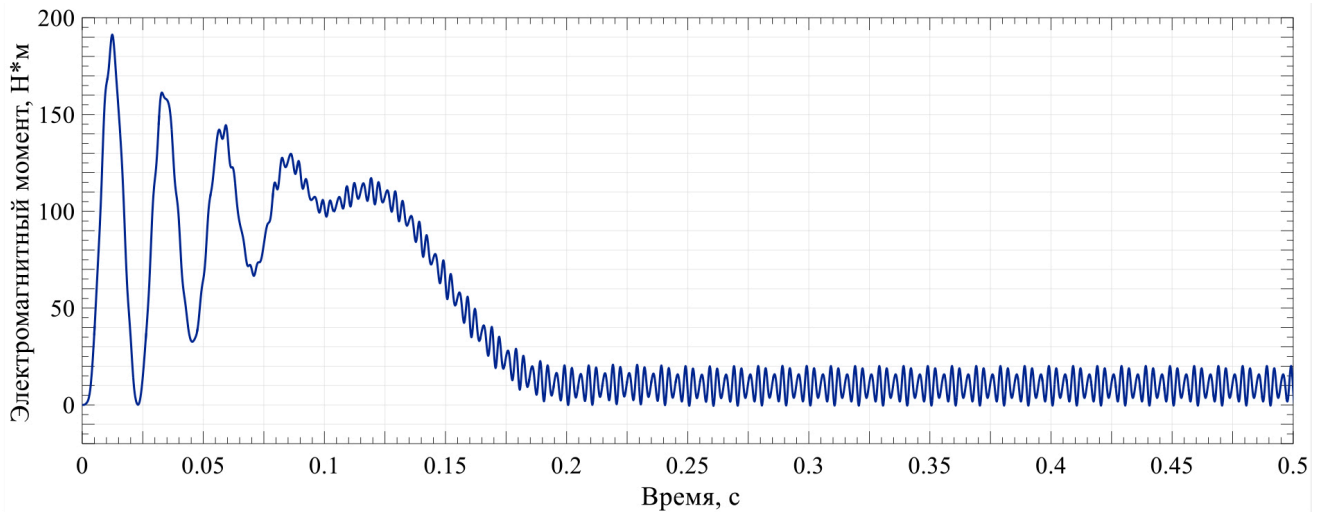


Рисунок 2. Алгоритм расчета самозапуска при несинусоидальности питающего напряжения.

токоведущих частей. В работе [3] создана диагностическая модель для исследования теплового поля асинхронного двигателя для обоснования дополнительного нагрева от воздействия высших гармоник. В статье [1] представлена разработанная методика оценки влияния токов высших гармоник и токов обратной последовательности основной частоты на тепловой режим работы, срок службы изоляции и вероятность отказа АД с учётом годового изменения температуры окружающей среды. В результате исследования авторы отмечают: «При увеличении

процентного вклада в суммарный перегрев высших гармоник, образующих обратную последовательность чередования фаз, в кривой питающего напряжения вероятность отказа  $q$  резко возрастает» [1, с. 28]. Коллектив авторов в работе [2] приводит результаты экспериментальных исследований для асинхронного двигателя АИР 90L6(M), где доказано, что в результате протекания высших гармоник появляется дополнительный нагрев изоляции обмоток, что приводит к сокращению ее нормативного технического ресурса.



**Рисунок 3.** Переходный процесс пуска АД при питании от несинусоидального напряжения.

Расчет дополнительного нагрева и дополнительных потерь мощности, обусловленных высшими гармониками, в настоящей работе производится по следующим формулам:

$$\Delta \vartheta_v = \frac{0.028}{b} \sum_{n=2}^{\infty} (K_{Uvn})^2 \frac{\sqrt{v} + 0.39\sqrt{v \pm 1}}{v^2} \approx \frac{0.03892}{b} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(K_{Uvn})^2}{v\sqrt{v}}, \quad (4)$$

$$\Delta P_v = 0.02k_{ad} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(K_{Uvn})^2}{v\sqrt{v}}. \quad (5)$$

В результате проведенных в рамках настоящей работы исследований было

определено, что фактор несинусоидальности влияет на длительность процесса самозапуска, при этом появляется погрешность в определении дополнительной температуры нагрева при самозапуске (таблица 1).

Таким образом, при достижении суммарного коэффициента гармонических искажений (THD) предельных значений, установленных действующим ГОСТ 32144-2013, считаем целесообразным учет высших гармоник при анализе как длительности процесса самозапуска, так и дополнительного нагрева, обусловленного влиянием высших гармоник.

**Таблица 1.** Результаты численного эксперимента расчета времени самозапуска и дополнительного нагрева обмоток для несинусоидального режима.

	Суммарный коэффициент гармонических искажений, %		Погрешность определения, %
	0	12	
Время самозапуска, с	5,18	6,39	23%
Температура нагрева, °С	23,7	26,4	12%

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В результате исследования разработаны математическая модель и алгоритм учета несинусоидальности питающего напряжения для анализа самозапуска асинхронных двигателей. Показано, что наличие высших напряжений приводит к увеличению времени самозапуска более чем на 20%, дополнительный нагрев, обусловленный фактором высших гармоник, превышает 10%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Валянский, А. В. Методика оценки влияния качества электрической энергии на надежность работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором / А. В. Валянский, И. И. Карташев, Ю. В. Шаров. – Текст: непосредственный // Электричество. – 2015. – № 6. – С. 24-29.
2. Влияние показателей качества электроэнергии на надежность асинхронных электродвигателей /

- А. Н. Назарычев, А. Н. Скамын, А. В. Коптева [и др.]. – Текст: непосредственный // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики : Мат. 94-го заседания Международ. науч. семинара, Алушта, 19–23 сентября 2022 года / 2022. – С. 61-70.
3. Дмитриев, Н. А. Влияние несинусоидальности на надежность асинхронного двигателя в системе электропитания сельских районов / Н. А. Дмитриев. – Текст: непосредственный // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 5. – С. 37-43. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-74-5-37-43
4. Зарифьян, А. А. Расчетная методика определения потерь в асинхронном тяговом двигателе электровоза при изменяющейся нагрузке / А. А. Зарифьян, П. Г. Колпахчян. – Текст: непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – № 2. – С. 81-91. – DOI 10.20295/2223-9987-2023-2-81-91.
5. Казаков, Ю. Б. Влияние несинусоидальности питающего напряжения на виброшумовые характеристики асинхронных двигателей / Ю. Б. Казаков, Ю. И. Бондаренко. – Текст: непосредственный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 3. – С. 34-38. – DOI 10.17588/2072-2672.2015.3.034-038.
6. Макаров, В. Г. Модель электропривода малой мощности в пакете MATLAB / В. Г. Макаров, А. М. Шаряпов. – Текст: непосредственный // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 12. – С. 133-138. – DOI 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_12\_133.
7. Немцев, Г. А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей / Г. А. Немцев, Е. А. Селезнев, Л. А. Шестакова. – Текст: непосредственный // Вестник Чувашского университета. – 2014. – № 2. – С. 46-51.
8. Путилин, К. П. Добавочные потери в автономных системах электроснабжения со статическими преобразователями / К. П. Путилин, А. К. Пронина, Ю. А. Майорова. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2019. – Т. 62, № 1. – С. 106-112. – DOI 10.17213/0136-3360-2019-1-106-112.
9. Effects of Injected Harmonics on Torque Pulsations of a Three Phase Induction Motor: Study on SPWM B / S. Venkat Raman, P. R. Tripathi, G. S. Gupta and R. K. Keshri // 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE), Shillong, India. – 2020. – pp. 637-642. – DOI: 10.1109/ComPE49325.2020.9200018.
10. Experimental study on the influence of high frequency PWM harmonics on the losses of induction motor / Meihui Jiang, Jun Tian, Hui Hwang Goh, Jiawei Yi, Shenwang Li, Dongdong Zhang, Thomas Wu // Energy Reports. – Volume 8. –Supplement 8. – 2022. – Pages 332-342. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.158>.
11. G.K. Singh A research survey of induction motor operation with non-sinusoidal supply wave forms //Electric Power Systems Research. – Volume 75. – Issues 2–3. – 2005. – Pages 200-213. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2005.04.001>.
12. S. A. Deraz and H. Z. Azazi Impact of distorted voltage on three-phase induction motor performance //2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt. – 2017. – pp. 857-863. – DOI: 10.1109/MEPCON.2017.8301280.
13. Skamyin, A. Static load characteristics in the presence of high harmonics / A. Skamyin, O. Vasilkov // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, EECCE 2019, Saint-Petersburg, 19–20 ноября 2019 года. Vol. 140. – Saint-Petersburg: EDP Sciences, 2019. – P. 10005. – DOI 10.1051/e3sconf/201914010005.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ШТЕЙНЕРА В РАМКАХ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

**Ткаченко Всеволод Андреевич**

Преподаватель Политехнической школы,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: v\_tkachenko@ugrasu.ru

Предмет исследования: решение задачи Штейнера для проектирования инженерных коммуникаций, в частности, линий электропередачи. Предметом исследования являются электрические сети.

Цель исследования: заключается в оценке пригодности применения генетических алгоритмов для поиска схемы соединения сети с наименьшими суммарными потерями активной мощности.

Методы и объекты исследования: эвристические методы популяционной оптимизации.

Результаты исследования: произведена оценка целесообразности применения генетических алгоритмов для решения задачи Штейнера на примере электрической сети для минимизации суммарных потерь мощности.

**Ключевые слова:** задача Штейнера, генетический алгоритм, электрическая сеть, потери мощности, инженерные коммуникации, структура сети, популяционная оптимизация.

## SOLUTION OF THE STEINER PROBLEM IN THE SEARCH FOR OPTIMAL NETWORK STRUCTURE USING POPULATION OPTIMIZATION METHODS

**Vsevolod A. Tkachenko**

Lecturer of the Polytechnic School  
Yugra State University  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: v\_tkachenko@ugrasu.ru

Subject of research: This paper considers an example of solving the Steiner problem for the design of utilities, in particular, power lines.

Purpose of research: The study is electrical networks. The study is to assess the suitability of using genetic algorithms to find the network connection scheme with the lowest total active power losses.

Methods and objects of research: Heuristic methods of population optimization are applied as a research method.

Main results of research: As a result of the work, the suitability of applying genetic algorithms to solve the Steiner problem on the example of an electrical network to minimize total power losses has been evaluated.

**Keywords:** Steiner problem, genetic algorithm, electrical network, power losses, utilities, network structure, population optimization.

### ВВЕДЕНИЕ

Естественный рост производственных мощностей, инфраструктуры требует построения новых технических коммуникаций, в том числе и линий электропередачи для обеспечения электроприёмников электрической энергией. При проектировании встаёт вопрос определения маршрутов прокладки кабельных и воздушных линий, размещения трансформаторных и распределительных пунктов.

Месторасположение вышеупомянутых структурных единиц электрической сети непосредственно оказывает влияние на полученную электрическую сеть, в частности, на протяженность линий электропередачи, на перетоки мощности в элементах сети, на величину затрачиваемой мощности для передачи электрической энергии (потери мощности).

Таким образом, задачу можно определить следующим образом: поиск точки расположения пункта трансформации/распределения с целью минимизации потерь мощности электрической сети.

В настоящее время широко используются ГИС для проектирования инженерных объектов [1-5]. Для ГИС объекты генерации, распределения и потребления представляются в виде графа  $G = (V, E)$ , где объекты

представляются в виде узлов (вершин)  $V$ , а линии электропередачи, связывающие их, – в качестве ребер  $E$ . В подобном описании задача сводится к решению задачи Штейнера, т. е. обобщенной задаче поиска минимального остовного дерева.

Задача Штейнера формулируется как поиск наименьшего дерева, соединяющего все вершины  $T$ . Возможны два случая: а)  $T \subseteq V$ ; б)  $T \neq V$  (рисунок 1). В первом случае задача сводится к поиску минимального остовного дерева для графа  $G$ , которую можно решить классическими алгоритмами Прима и Краскала. Во втором случае задача отличается от поиска минимального остовного дерева тем, что необходимо выбрать (найти) дополнительные точки в пространстве для минимизации стоимости дерева [6].

Стоит отметить, что задача построения технических коммуникаций усложняется наличием на территории размещения как объектов техногенного характера, так и природных, естественных преград, в худшем случае, – территория описывается дискретно заданными характеристиками. Таким образом, сложность задачи определяется как NP-мерная.

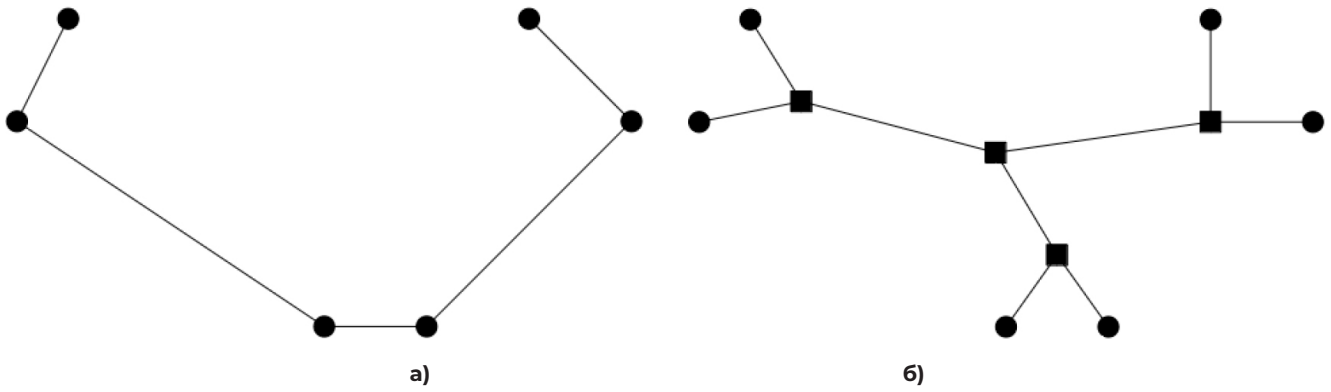


Рисунок 1. Задача Штейнера: а)  $T \subseteq V$  ; б)  $T \neq V$

Для решения поставленной задачи предлагается использовать эвристические алгоритмы популяционной оптимизации [7]. Генетические алгоритмы позволяют производить анализ множества решений, ранжируя их по выбранному пользователем критерию. Данные алгоритмы дают достаточно «хорошие» решения, в том числе, при заданных дискретно начальных условиях, что делает их пригодными для поиска структуры электрической сети не только на территориях городской застройки, но и для построения межсистемных связей, в том числе, связей в рамках построения микрогрида на резконеоднородном ландшафте территорий Крайнего Севера.

Суть генетического алгоритма заключается в генерации множества вариантов распределений точек связи в гиперпространстве с последующей оценкой систем. Точки, дающие лучшие показатели системы, остаются на рассмотрении, остальные удаляются. Алгоритм построен таким образом, что каждая следующая выборка точек приближается к истинным расположениям, дающим наилучший результат (рисунок 2).

В связи с тем, что территория имеет значительные преграды, наряду с решением задачи Штейнера необходимо решить ряд задач, связанных с нахождением оптимального маршрута между точками будущей сети. Для поиска маршрутов между точками будет применяться алгоритм Дейкстры для поиска пути на графе.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения эксперимента была выбрана область 400 км<sup>2</sup> [8]. Ценовая поверхность рассматриваемой области представлена в таблице 1.

На данной территории располагаются 15 пунктов потребления электроэнергии. Необходимо произвести поиск точки Штейнера для расположения в ней узла генерации, через который идет связывания всех пунктов в единую электрическую сеть. Исходные данные и более подробное рассмотрение работы генетического алгоритма представлены в [9].

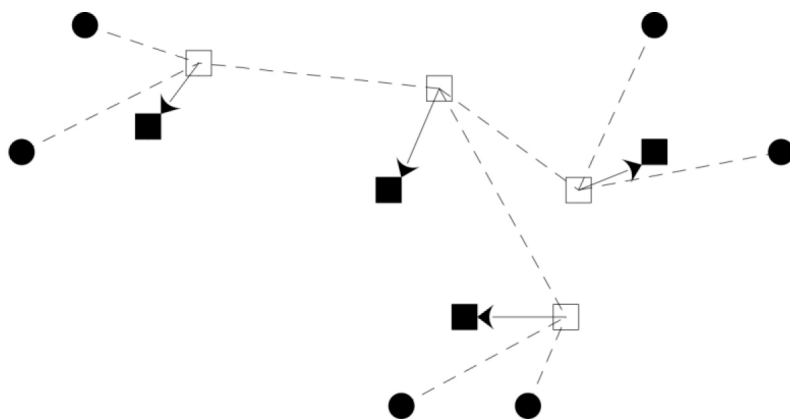


Рисунок 2. Задача Штейнера.

Таблица 1. Ценовая поверхность рассматриваемой области.

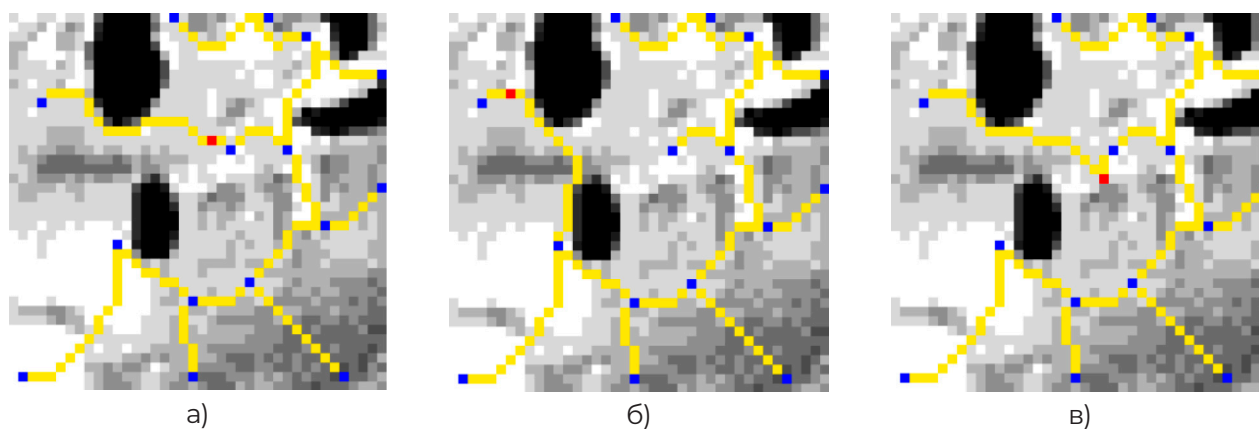
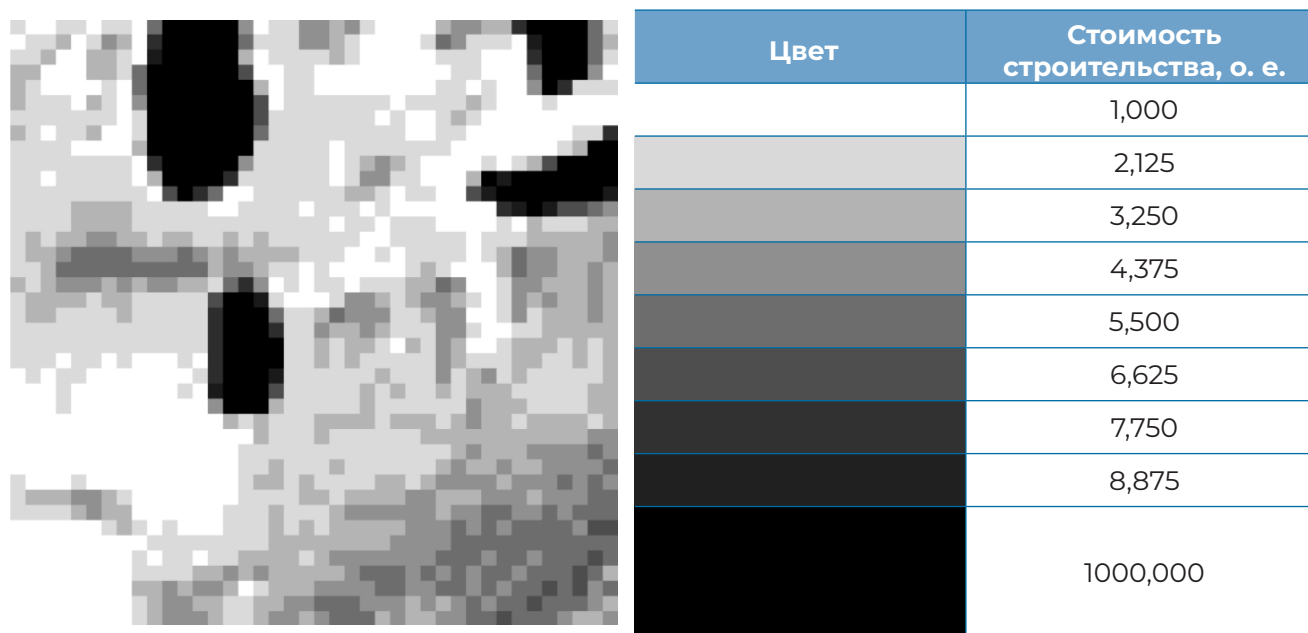


Рисунок 3. Промежуточные результаты поиска точки Штейнера генетическим алгоритмом: а) оптимальный вариант; б) неоптимальный вариант; в) классический подход.

Таблица 2. Ценовая поверхность рассматриваемой области.

	Потери мощности, МВт
Оптимальный вариант	0,620
Неоптимальный вариант	0,847
Классический подход	0,646

В результате работы производился поиск точки генерации, построение путей от неё к пунктам потребления (линий электропередачи), производился выбор проводников линий, оценка общей стоимости строительства и потеря мощности элементами сети. Примеры поиска представлены на рисунке 3. Оценка успешности решения представлена в таблице 2.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В результате работы был предложен подход к определению точки Штейнера, позволяющей построить электрическую сеть, обладающую наименьшими потерями с применением алгоритмов популяционной оптимизации. На примере области площадью

400 км<sup>2</sup> с использованием предлагаемого подхода была построена электрическая сеть. В результате применение генетического алгоритма позволило найти такую структуру сети, которая, в отличие от сети, полученной классическим методом, позволила сократить потери мощности на 4 %. Сокращение величины потерь свидетельствует о применимости данного подхода к оптимизации структуры электрической сети как следствие решения задачи Штейнера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГИС ВЛЭП – новые возможности для предприятий электрических сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – № 2(71). – С. 50-51. – Текст: непосредственный.
2. Вайсблат, Н. Э. ГИС как инструмент мониторинга объектов энергетики / Н. Э. Вайсблат, И. С. Перемитин, К. В. Иконникова. – Текст: непосредственный // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 115-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова, Томск, 07–11 апреля 2014 года. Том 1. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 597-600.
3. Трипутина, В. В. Моделирование и разработка ГИС-сервисов для задач исследований в области энергетики\* / В. В. Трипутина. – Текст: непосредственный // Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13, № S1. – С. 78-87.
4. Применение ГИС-технологий в электроэнергетических системах / С. Г. Слюсаренко, К. И. Заподовников, С. А. Субботин, А. В. Скворцов. – Текст: непосредственный // Геоинформатика-2000 : труды Международной научно-практической конференции, Томск, 12–14 сентября 2000 года / Под редакцией А.И. Рюмкина, Ю.Л. Костюка, А.В. Скворцова. – Томск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2000. – С. 234-236.
5. Смирнов, С. В. Краткое описание разработки алгоритма автоматической трассировки кратчайшего пути и подсистемы решения оптимизационных задач / С. В. Смирнов. – Текст: непосредственный // The Scientific Heritage. – 2020. – № 55-1(55). – С. 64-66.
6. Скиена, С. С. Алгоритмы. Руководство по разработке. – 3-е изд.: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 848 с.: ил. – Текст: непосредственный.
7. Дэн Саймон, Алгоритмы эволюционной оптимизации / пер. с англ. А.В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 1002 с.: ил. – Текст: непосредственный.
8. J. Shu, L. Wu, Z. Li, M. Shahidehpour, L. Zhang and B. Han, “A New Method for Spatial Power Network Planning in Complicated Environments,” in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, no. 1, pp. 381-389, Feb. 2012, doi: 10.1109/TPWRS.2011.2161351.
9. Ткаченко, В. А. Разработка методов и алгоритмов оптимизации схемно-режимных параметров электрических систем, включая минигрид: специальность 2.4.3. Электроэнергетика: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ткаченко Всеволод Андреевич, 2023. – 223 с. – Текст: непосредственный.





## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ПЕРЕДАВАЕМУЮ МОЩНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### Шепелев Александр Олегович

кандидат технических наук, доцент,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: a\_shepelev@ugrasu.ru

### Шепелева Елена Юрьевна

старший преподаватель,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: e\_shepeleva@ugrasu.ru

### Швецов Сергей Юрьевич

аспирант,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: shvetcovsy@yandex.ru

Предмет исследования: в настоящей работе проводится оценка статической устойчивости электроэнергетических систем с учетом температурной зависимости активных сопротивлений.

Цель исследования: показать, как учет температурной зависимости активных сопротивлений будет влиять на запасы статической устойчивости электроэнергетических систем.

Методы и объекты исследования: произведены расчеты режима с учетом влияния тепловых процессов в элементах энергосистемы. Основным параметром для учета тепловых процессов является температура окружающего воздуха, поэтому были определены дни с максимальной и минимальной среднесуточной температурой воздуха. Все параметры, кроме температуры окружающего воздуха и скорости ветра, подобраны таким образом, чтобы обеспечить наихудшие условия для теплового обмена. Результаты проведенных расчетов показывают, что учет тепловых процессов в элементах системы значительно влияет на передаваемую мощность и запасы статической аperiodической устойчивости в энергосистеме.

Основные результаты исследования: практические расчеты показали, что учет тепловых процессов позволяет более точно учитывать пределы передаваемой мощности через элементы энергосистемы, и вместе с тем коэффициенты запаса по статической устойчивости.

**Ключевые слова:** электроэнергетический режим, предельный переток, температурные режимы, воздушные линии электропередачи.

## ANALYSING THE INFLUENCE OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF ACTIVE RESISTANCES ON TRANSMITTED POWER IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

### Alexander O. Shepelev

Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor,  
Yugra State University,  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: a\_shepelev@ugrasu.ru

### Elena Yu. Shepeleva

Senior Lecturer,  
Yugra State University,  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: e\_shepeleva@ugrasu.ru

### Sergey Yu. Shvecov

postgraduate student,  
Assistant Professor,  
Yugra State University,  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: shvetcovsy@yandex.ru

Subject of research: in this paper, the static stability of electric power systems is assessed taking into account the temperature dependence of active resistances.

Purpose of research: to show how the consideration of the temperature dependence of active resistances will affect the static stability reserves of electric power systems.

Methods and objects of research: calculations of the regime with account of influence of thermal processes in elements of power system are made. The main parameter to take into account thermal processes is the ambient air temperature, so the days with maximum and minimum average daily air temperature were determined. All parameters except ambient air temperature and wind speed were selected in such a way as to provide the worst conditions for thermal exchange. The results of the calculations show that taking into account the thermal processes in the elements of the system significantly affects the transmitted power and the reserves of static aperiodic stability in the power system.

Main results of research: practical calculations have shown that the account of thermal processes allows to take into account more accurately the limits of the transmitted power through the elements of the power system, and at the same time the reserve coefficients of static stability.

**Keywords:** electric power mode, limit flow, temperature modes, overhead power lines.

## ВВЕДЕНИЕ

Интеграция в процесс планирования электроэнергетического режима [1] режимно-климатических факторов позволит улучшить прогнозирование перетоков активной мощности и предотвратить возможные аварийные ситуации. Дополнительная информация о климатических факторах поможет оперативно-диспетчерским службам принимать

более обоснованные решения и эффективно управлять энергосистемой.

Анализ допустимых перетоков активной мощности в контролируемом сечении является ключевым аспектом обеспечения надежного функционирования электроэнергетических систем. С развитием вычислительных моделей [2, 3] и ростом вычислительных мощностей персональных компьютеров стало возможным проводить более точные и быстрые

расчеты, что значительно упрощает анализ устойчивости в крупных энергосистемах [4].

Оценка запасов устойчивости на основе анализа установившихся режимов играет важную роль, позволяя оперативно реагировать на изменения нагрузки, состояние сети и других факторов, которые могут повлиять на стабильность работы системы, что позволяет обеспечить непрерывное электроснабжение потребителей.

Учет тепловых процессов в элементах ЭЭС является важным шагом для более точного определения запасов статической апериодической устойчивости [5, 6]. Тепловые процессы в некоторых режимах существенно влияют на работу оборудования электрических сетей, особенно в условиях повышенной нагрузки или изменяющихся условий эксплуатации. Включение тепловых моделей элементов [7] в анализ устойчивости позволяет учитывать динамику температурных изменений и возникающих потерь мощности и энергии, которые могут оказывать влияние на стабильность системы. Это особенно важно при оценке работоспособности электрической системы в экстремальных условиях или при перегрузках [8].

Наибольший вклад в фактическую температуру провода воздушной линии электропередачи вносят следующие факторы: джоулевы потери, инфракрасное излучение, конвекция (естественная или вынужденная) и солнечная радиация [9, 10, 11, 12].

Влияние солнечной радиации существенно только для регионов с жарким климатом [13], в регионах с умеренным климатом её можно не учитывать [11, с. 6], для вечернего времени учёт солнечной радиации можно не проводить [12].

Предлагаемый в работе подход к учету дополнительных факторов, влияющих на фактическую температуру токопроводящих частей элементов электрических сетей во время планирования электроэнергетического режима, является важным шагом для повышения точности расчетов и обеспечения более надежной работы энергосистемы. Учет солнечного излучения, скорости и направления ветра позволит более точно оценить условия работы оборудования и оптимизировать процессы генерации и распределения электроэнергии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Численное моделирование электроэнергетического режима электрической системы произведём в ПК RastrWin3 и ПК Mathcad (составленного на основе алгоритма [6, 14]). Анализ статической апериодической устойчивости заключается в необходимости, прежде всего, рассчитать нормальный установившийся режим [15]. Далее происходит выбор сечений (элементов системы), в которых будет контролироваться изменение режимных параметров. После этого начинается последовательное утяжеление режима до момента расхождения итерационного процесса и получения предельного установившегося режима. Затем, исходя из полученного предельного перетока активной мощности через контролируемые элементы системы, определяются максимально допустимые и аварийно-допустимые перетоки мощности.

Произведем расчеты режима с учетом влияния тепловых процессов в элементах энергосистемы. Расчетная схема приведена на рисунке 1. Исходные данные для расчетов приведены в таблицах 1, 2 и 3. Основным параметром для учета тепловых процессов

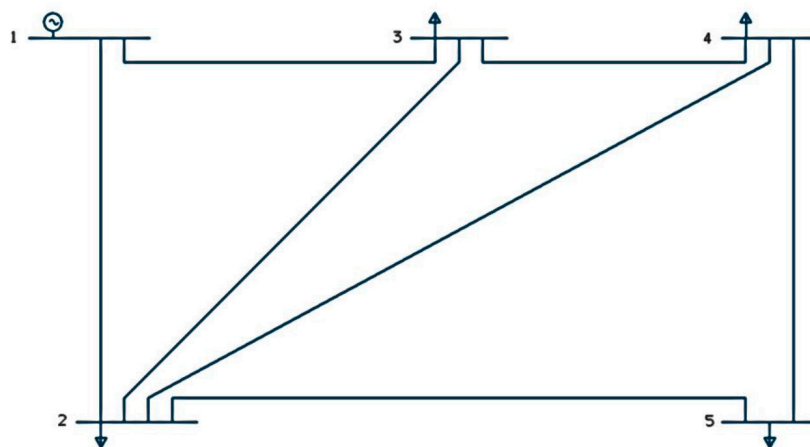


Рисунок 1. Расчетная схема IEEE 5.

**Таблица 1.** Исходные данные узлов для расчета электрического режима.

Номер узла	Напряжение узла, кВ	$P_{нагр}$ , МВт	$Q_{нагр}$ , МВАр	$P_{ген}$ , МВт
1	121	–	–	Балансирующий
2	110	20	10	–
3	110	40	20	–
4	110	40	5	–
5	110	60	10	–

является температура окружающего воздуха, поэтому необходимо определить дни с самой максимальной и минимальной среднесуточной температурой воздуха. Исходя из анализа погодных архивов, день с самой минимальной среднесуточной температурой приходится на 24 января, температура составляет  $-35,63$  °С, день с самой максимальной среднесуточной температурой приходится на 3 июля с температурой  $29,25$  °С. Среднесуточная скорость ветра в оба этих дня составила 3 метра в секунду (параметры представлены для г. Омска). Все параметры, кроме температуры окружающего воздуха и скорости ветра, подобраны таким образом, чтобы обеспечить наихудшие условия для теплового обмена (охлаждения ЛЭП).

Результаты расчетов нормального и предельного установившегося режимов приведены в таблицах 4, 5 и 6, 7; для дня с минимальной и максимальной среднесуточной температурой соответственно. Под предельным режимом в данном случае понимаются режимы, когда фактическая температура достигает  $70$  °С (максимально допустимая температура провода) и  $90$  °С (аварийно допустимая температура провода).

Из топологического анализа электрической сети видно, что линии 1–2 и 1–3 являются наиболее загруженными относительно их значений длительно-допустимых токов. Данный факт позволяет их включить в контролируемое сечение и рассматривать его далее при анализе предельных перетоков.

**Таблица 2.** Исходные данные ветвей для расчета электрического режима.

Ветвь	Марка провода	Длина, км	Длительно допустимые токовые нагрузки, А	Аварийно допустимые токовые нагрузки, А
1–2	АС-240/32	70	605	726
1–3	АС-240/32	30	605	726
2–3	АС-240/32	60	605	726
2–4	АС-240/32	40	605	726
2–5	АС-240/32	65	605	726
3–4	АС-240/32	45	605	726
4–5	АС-240/32	40	605	726

**Таблица 3.** Параметры учета тепловых процессов.

Вид параметра	Значение
Максимальная среднесуточная температура, °С	29,25
Минимальная среднесуточная температура, °С	$-35,63$
Скорость ветра, м/с	3
Давление, Па	101216

**Расчет с учётом минимальной среднесуточной температуры окружающей среды**

**Таблица 4.** Результаты расчетов нормального и предельного установившегося режимов для узлов системы (минимальная среднесуточная температура).

Номер узла	Значение в нормальном установившемся режиме		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ )		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ )	
	Напряжение $U$ , кВ	Угол $\delta$ , град.	Напряжение $U$ , кВ	Угол $\delta$ , град.	Напряжение $U$ , кВ	Угол $\delta$ , град.
1	121	0	121	0	121	0
2	110,92	6,59	96,51	13,64	94,02	14,56
3	113,13	4,76	101,67	9,17	99,61	9,63
4	109,39	8,37	93,56	17,37	90,79	18,69
5	107,38	10,49	89,77	21,96	86,71	23,68

**Таблица 5.** Результаты расчетов нормального и предельного установившегося режимов для линий (минимальная среднесуточная температура).

Ветвь	Значение в нормальном установившемся режиме		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ )		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ )	
	Ток линии $I_{\text{л}}$ , А	Мощность в начале ветви $P_{\text{нач}}$ , МВт	Ток ветви $I_{\text{л}}$ , А	Мощность в начале ветви $P_{\text{нач}}$ , МВт	Ток ветви $I_{\text{л}}$ , А	Мощность в начале ветви $P_{\text{нач}}$ , МВт
1–2	326,48	61,09	690,15	117,66	742,60	124,27
1–3	568,09	106,19	1161,64	204,71	1243,28	217,09
2–3	95,95	17,60	212,13	33,74	228,42	35,39
2–4	127,89	24,06	235,84	38,28	252,09	39,73
2–5	173,87	32,41	317,85	50,77	339,88	52,67
3–4	241,26	45,34	491,34	81,17	527,38	84,96
4–5	154,86	28,44	281,57	43,8	301,19	45,37

**Расчет с учётом максимальной среднесуточной температуры окружающей среды**

**Таблица 6.** Результаты расчетов нормального и предельного установившегося режимов для узлов системы (максимальная среднесуточная температура).

Номер узла	Значение в нормальном установившемся режиме		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ )		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ )	
	Напряжение $U$ , кВ	Угол $\delta$ , град.	Напряжение $U$ , кВ	Угол $\delta$ , град.	Напряжение $U$ , кВ	Угол $\delta$ , град.
1	121	0	121	0	121	0
2	109,68	6,48	107,33	7,68	103,63	9,40
3	112,19	4,64	110,37	5,45	107,48	6,54
4	107,87	8,31	105,27	9,80	101,19	11,98
5	105,51	10,43	102,58	12,32	98,01	15,08

**Таблица 7.** Результаты расчетов нормального и предельного установившегося режимов для линий (максимальная среднесуточная температура).

Ветвь	Значение в нормальном установившемся режиме		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ )		Значение в предельном установившемся режиме ( $\theta_{\text{доп}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ )	
	Ток линии $I_{\text{л}}$ , А	Мощность в начале ветви $P_{\text{нач}}$ , МВт	Ток ветви $I_{\text{л}}$ , А	Мощность в начале ветви $P_{\text{нач}}$ , МВт	Ток ветви $I_{\text{л}}$ , А	Мощность в начале ветви $P_{\text{нач}}$ , МВт
1–2	331,23	62,03	393,14	72,78	484,08	87,82
1–3	574,99	107,69	677,51	125,89	826,57	151,55
2–3	97,42	17,69	117,31	20,83	146,37	25,07
2–4	129,91	24,16	148,09	26,95	175,12	30,73
2–5	176,83	32,59	200,89	36,18	236,84	41,06
3–4	244,97	45,69	287,48	52,61	349,98	62,07
4–5	157,65	28,56	178,69	31,55	210,25	35,61

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Результаты проведенных расчётов показывают, что учет тепловых процессов в элементах системы значительно влияет на передаваемую мощность и запасы статической аperiodической устойчивости в энергосистеме. В день минимальной среднесуточной температуры провода линий электропередачи получают наибольшее охлаждение, что влияет на температуру провода и возможность передавать большую мощность (передаваемая мощность увеличилась в 1,927 и 2,04 раза, при достижении длительно допустимой и аварийно допустимой температур соответственно). В день максимальной среднесуточной температуры по линиям электропередачи электроэнергия передается в условиях наихудшего охлаждения, в результате передаваемая мощность значительно ниже, чем при расчете в день минимальной среднесуточной температуры (передаваемая мощность относительно режима без учёта тепловых процессов увеличилась в 1,17 и 1,41 раза, при достижении длительно допустимой и аварийно допустимой температур соответственно). В большей степени это связано с тем, что при расчете без учета тепловых процессов все активные сопротивления приведены к температуре окружающей среды 20 °С.

Тепловые процессы в элементах зависят от ряда климатических факторов, а также географического расположения линий электропередачи. Необходимость учета этих параметров подталкивает к развитию и применению геоинформационных систем при расчете режимов и анализе работы энергосистемы. Необходима разработка нормативной базы учета климатических факторов, что также потребует расширения функционала программных комплексов, применяемых различными сетевыми организациями при работе с электрическими режимами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Требования к обеспечению надёжности электроэнергетических систем, надёжности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем»: Приказ Министерства энергетики РФ от 3 августа 2018 г. № 630. – Текст : непосредственный.
2. Александров, А. С. Расчет максимально допустимых перетоков в системе мониторинга запасов устойчивости / А. С. Александров, Д. М. Максименко, В.Г. Неуймин. – Текст : непосредственный // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2014. – № 1 (70). – С. 13-23.
3. Аюев, Б. И. Оптимизационная модель предельных режимов электрических систем / Б. И. Аюев, В. В. Давыдов, П. М. Ерохин. – Текст : непосредственный // Электричество. – 2010. – № 11. – С. 2-12.
4. Аюев, Б. И. Оптимизационные вычислительные модели предельных режимов электрических систем для заданного направления утяжеления / Б. И. Аюев, В. В. Давыдов, П. М. Ерохин. – Текст : непосредственный // Электричество. – 2010. – № 12. – С. 2-7.
5. Васьковская, А. В. Определение максимально допустимого перетока активной мощности в сечении с учетом тепловых режимов линий электропередачи / А. В. Васьковская, А. О. Шепелев, Е. Ю. Шепелева. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.18822/byusu202301131-138 // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – № 1(68). – С. 131-138.
6. Шепелев, А. О. Анализ влияния климатических факторов на допустимые перетоки активной мощности в энергосистемах / А. О. Шепелев. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.17213/0136-3360-2024-1-105-114 // Изв. вузов. Электромеханика. – 2024. – Т. 67, № 1. – С. 105-114.
7. Frank, S. Temperature-Dependent Power Flow / S. Frank, J. Sexauer, S. Mohagheghi. – DOI: 10.1109/TPWRS.2013.2266409 // IEEE Transactions on Power System. – 2013. – Vol. 28, № 4. – Pp. 4007–4018.
8. Данилов, М. И. Определение потоков мощности и температуры проводов электрической сети установившегося состояния энергосистемы / М. И. Данилов, И. Г. Романенко. – Текст : непосредственный // Электрические станции. – 2022. – № 7. – С. 25–37.
9. IEEE Std. 738-2012. (Revision of IEEE Std 738-2006 – Incorporates IEEE Std 738-2012 Cor 1–2013). Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors. – NY, The USA: IEEE, 2012. – 72 p.
10. CIGRE. Guide for thermal rating calculations of overhead lines / Working group B2.43. – 2014.
11. Методика расчёта предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий: СТО 56947007-29.240.55.143–2013. – М. : ОАО «ФСК ЕЭС», – 2013. – 67 с. – Текст : непосредственный.
12. Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи // РД 34.20.547 (МТ 34-70-037-87). – М. : ВНИИЭ, 1988. – 12 с. – Текст : непосредственный.
13. Kotni, L. A proposed algorithm for an overhead transmission line conductor temperature rise calculation / Lahouari Kotni. – DOI: 10.1002/etep.1715 // International Transactions On Electrical Energy Systems Int. Trans. Electr. Energ. Syst. – 2014. – 24. – pp. 578–596.
14. Шепелев, А. О. Применение метода внутренней температурной коррекции для расчёта установившихся режимов электроэнергетических систем с учётом тепловых процессов в элементах / А. О. Шепелев. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2020. – № 9. – С. 9–19.
15. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / П. С. Жданов. – Энергия, 1979. – Текст : непосредственный.

## ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

### Бондарь Михаил Алексеевич

Аспирант,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Уфа, Россия  
E-mail: mikhailbondar7@gmail.com

### Латыпов Олег Ренатович

Доктор технических наук, профессор,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Уфа, Россия  
E-mail: o.r.latypov@mail.ru

Предмет исследования: интеллектуальное покрытие для защиты нефтеперерабатывающего оборудования от коррозии, его защитные и эксплуатационные свойства.

Цель исследования: разработка состава интеллектуального покрытия для защиты нефтеперерабатывающего оборудования от коррозии, изучение его основных эксплуатационных характеристик, проверка защитных свойств в агрессивных средах.

Методы и объекты исследования: образцы, изготовленные из стали 09Г2С, применяемой для изготовления технологического оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, покрытые различными защитными композициями для определения основных характеристик состава интеллектуального покрытия. Для изучения эксплуатационных свойств разработана методика с применением магнитных мешалок, имитирующих многократное взаимодействие коррозионной среды с образцами.

Основные результаты исследования: согласно результатам климатических испытаний и химической стойкости покрытий в коррозионной среде, установлен наиболее эффективный состав основы интеллектуального покрытия, обладающий лучшими защитными характеристиками, и определены его необходимые адгезионные свойства.

**Ключевые слова:** коррозия, защитные покрытия, адгезия, нефтеперерабатывающий завод, оборудование нефтепереработки, состав защитного покрытия.

## SELECTION OF TECHNOLOGICAL BASIS FOR INTELLIGENT ANTI-CORROSION COATING FOR PROTECTION OF OIL REFINING EQUIPMENT

### Mikhail A. Bondar

Postgraduate student,  
Ufa State Petroleum Technological University  
Ufa, Russia  
E-mail: mikhailbondar7@gmail.com

### Oleg R. Latypov

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Ufa State Petroleum Technical University  
Ufa, Russia  
E-mail: o.r.latypov@mail.ru

Subject of research: intelligent coating to protect oil refining equipment from corrosion, its protective and operational properties.

Purpose of research: to develop the composition of an intelligent coating to protect oil refining equipment from corrosion, to study its basic operational characteristics, to test protective properties in aggressive environments.

Methods and objects of research: samples made of 09G2C steel used for the manufacture of technological equipment of oil refineries and petrochemical plants, coated with various protective compositions to determine the main characteristics of the composition of the intelligent coating. To study the operational properties, a technique has been developed using magnetic stirrers that simulate the repeated interaction of a corrosive medium with samples.

Main results of research: according to the results of climatic tests and chemical resistance of coatings in a corrosive environment, the most effective composition of the base of an intelligent coating with the best protective characteristics has been established and its necessary adhesive properties have been determined.

**Keywords:** corrosion, protective coatings, adhesion, oil refinery, refinery equipment, coating composition.

## ВВЕДЕНИЕ

В современной нефтегазовой отрасли Российской Федерации отказ технологического оборудования является одной из наиболее актуальных, требующих детального рассмотрения проблемой. На предприятиях нефтепереработки и нефтехимии значительная часть оборудования работает в условиях воздействия коррозионно-активных сред, в которых присутствует большое количество щелочных соединений, солей, а также паров и газоконденсата, содержащего кислоты [1–3]. Результатом взаимодействия металлической поверхности с этими соединениями является

отказ технологического оборудования, который оказывает отрицательное влияние не только на производственные процессы и экономические показатели предприятия, но и непосредственно влияет на безопасность человека [4, 5]. Следует отметить, что в большинстве случаев на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) используется оборудование, изготавливаемое из углеродистых и низколегированных сталей (например, СтЗпс, 09Г2С, 16Г2АФ, 12ХГ2СМФ), которое не обладает достаточной коррозионной стойкостью по отношению к эксплуатируемым в нефтепереработке средам [6–8].

Таблица 1. Анализ исследуемых защитных покрытий на первом этапе.

Тип покрытия	Температуры		Время высыхания и полимеризации	Срок эксплуатации
	Постоянная	Пиковая		
Покрытие на эпоксидной основе 1	600	650	30 минут (t=20°C)	До 15 лет
Покрытие на кремнийорганической основе 1	800	1200	30 минут	До 15 лет
Покрытие на кремнийорганической основе 2	650	720	120 минут	До 15 лет
Покрытие на эпоксидной основе 2	600	650	120 минут	До 15 лет
Покрытие на кремнийорганической основе 3	650	700	120 минут	До 15 лет
Покрытие на эпоксидной основе 3	350	400	150 минут	До 15 лет

Процессы первичной переработки нефти являются основными на нефтеперерабатывающих заводах, на которые приходится основная доля капитальных и эксплуатационных затрат, в том числе связанных с коррозией технологического оборудования и трубопроводов. Коррозия аппаратуры атмосферных трубчатых и атмосферно-вакуумных трубчатых (АТ и АВТ) установок обусловлена в основном присутствием в перерабатываемой нефти небольшого количества солей, неорганических кислот, сернистых и хлорсодержащих органических соединений [8–12]. Применяемые противокоррозионные мероприятия часто не обладают достаточной эффективностью и, к тому же, могут отрицательно влиять на эффективность технологических процессов и качество получаемых продуктов нефтепереработки и нефтехимии [13]. В настоящее время для предприятий нефтепереработки и нефтехимии предоставляется огромное количество видов защитных покрытий [14, 15]. Так, перспективным направлением является применение металлизированных лакокрасочных покрытий, например, цинконаполненных грунтовок и эмалей, или композиций, содержащих алюминиевую пудру, а также использование материалов, содержащих специальные добавки, которые придают покрытиям специальные ингибирующие (например, в покрытие вводится пигмент фосфат цинка, являющийся ингибитором коррозии) и барьерные свойства. Стоит учесть, что

большое количество современных композиций лакокрасочных материалов позволяет производить технологические работы при отрицательных температурах, что существенно увеличивает зону эксплуатации данного вида коррозионной защиты и является положительным моментом для климатических условий Крайнего Севера.

Основной задачей данной работы является подбор основы интеллектуального покрытия на базе известных составов на рынке Российской Федерации, сравнение химической стойкости полученных составов защитных покрытий в средах высокой агрессивности, например, 3 %-ном растворе NaCl, имитирующем морскую воду, обладающую наибольшей коррозионной агрессивностью, определение адгезии лакокрасочного покрытия (далее – ЛКП) после выдержки в течение 7-ми календарных дней при статичном воздействии жидкости (1 этап) и при динамическом воздействии (перемешивание среды, 2 этап), оценкой и прогнозированием наилучшей основы для разработки нового состава с заданными свойствами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

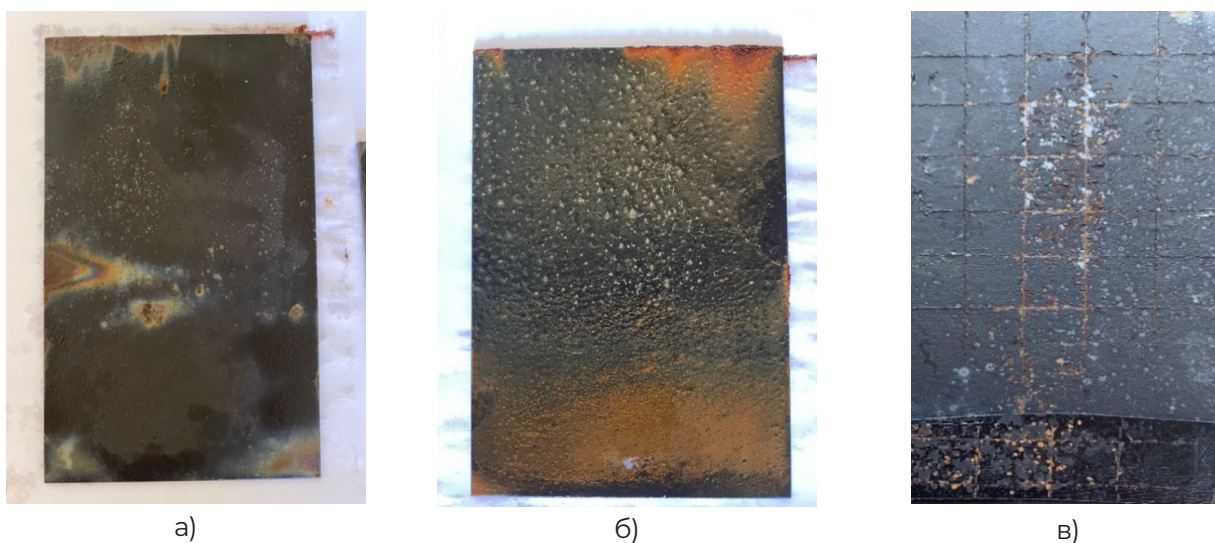
На первом этапе при выполнении данной работы были поставлены следующие задачи: определение химической стойкости двух типов покрытий – эпоксидного и кремнийорганического составов, адгезии, а также







**Рисунок 1.** Исходный вид полученных образцов.



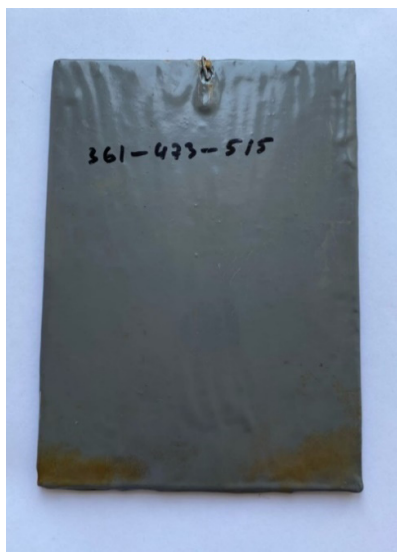
**Рисунок 2.** Образцы покрытия №1 после выдержки в агрессивной среде: а, б – изменение цвета покрытия и образование продуктов коррозии, в – меление покрытия при определении адгезии методом решетчатых надрезов.

выдержки при отрицательных температурах (до  $-50^{\circ}\text{C}$ ) в криостате LOIP FT-311-80. Данные типы защитных покрытий были установлены основными после изучения технологических регламентов и приложений к ним из комплекса уфимских нефтеперерабатывающих заводов.

Для определения наиболее эффективного типа защитного покрытия, исходя из условий эксплуатации нефтеперерабатывающего оборудования, были проведены сравнения известных марок покрытий (всего 6 марок). Производилась оценка свойств эпоксидных и кремнийорганических покрытий. Сравнение технологических свойств покрытий

проводилось по трем основным критериям: 1) температура: постоянная, пиковая; 2) время высыхания и полимеризации; 3) срок эксплуатации. В таблице 1 приведены результаты анализа свойств исследуемых защитных покрытий. Стоит отметить, что часть покрытий на данном этапе – иностранного производства, чья итоговая стойкость ниже российских аналогов.

На основании данной таблицы, для проведения испытаний были отобраны образцы «Покрытие на кремнийорганической основе 1 – № 1» и «Покрытие на эпоксидной основе 1 – № 2». На основе этих составов подготовлены две группы образцов: светло-серые образцы



**Рисунок 3.** Образец эпоксидного покрытия после выдержки в агрессивной среде.

являются образцами с эпоксидным покрытием, черные – с кремнийорганическим покрытием (рисунок 1).

Далее, на основании ГОСТ 31149-2014, подготовлены образцы из стали 09Г2С, которая является одной из основных, применяемых на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии Российской Федерации. Полученные образцы были исследованы:

- 1) в атмосферных условиях (при отрицательных температурах);
- 2) в агрессивной среде (3 %-ный раствор NaCl) в течение 7-ми дней.

При визуальном осмотре образца покрытия № 1 можно выявить декоративные и защитные дефекты покрытия (рисунок 2):

- 1) изменение цвета покрытия – изменение цветового оттенка хорошо заметно;
- 2) меление покрытия – частицы пигмента легко отделяются при касании;
- 3) покрытие вспучилось, местами образовались пузыри – происходит нарушение внешнего слоя покрытия;
- 4) поражение всей поверхности образца продуктами коррозии.

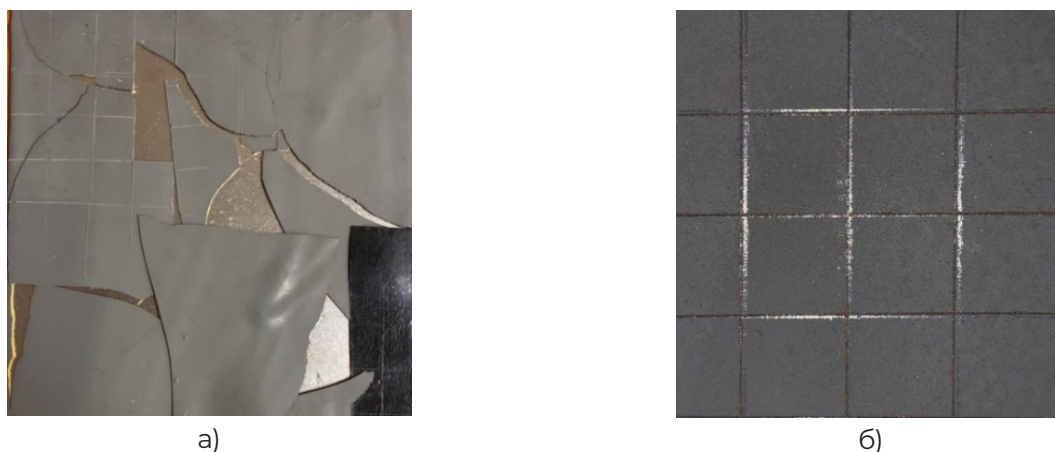
При исследовании адгезионных свойств методом решетчатого надреза по ГОСТ 31149-2014 можно сделать вывод о том, что наблюдается отслаивание покрытия вдоль краев надреза, площадь отслаивания составляет около 65 % сетки, балл – 4.

При исследовании адгезионных свойств методом решетчатого надреза по ГОСТ 31149-2014 можно сделать вывод о том, что края надрезов полностью гладкие и все квадраты решетки остались без изменений. Балл – 0 (рисунок 3).

При определении адгезионных свойств покрытия № 1 методом решетчатых надрезов по ГОСТ 31149-2014 сделали вывод том, что наблюдается отслоение покрытия частично вдоль краев надрезов на различных частях квадратов. Площадь отслоения покрытия не превышает 35 % от всей площади решетки. Балл – 3 (рисунок 4). Полученные результаты по этапу 1 исследования показали, что покрытия на эпоксидной основе – более стойкие к химическому воздействию, но склонны к разрушению при отрицательных температурах. Обратный вывод – для покрытий на кремнийорганической основе.

Вторая часть исследований заключалась в большей выборке покрытий и испытаниях при перемешивании агрессивной среды (3 %-ный раствор NaCl), при отрицательных температурах и в условиях образования конденсата. Суть сводится к работе состава лакокрасочного материала, нанесенного на металл (в данном случае – сталь марки 09Г2С, являющаяся одним из основных конструкционных материалов в нефтепереработке и нефтехимии), в среде, которая находится в постоянном перемещении с целью получения или прогнозирования свойств готового покрытия к истиранию.

В качестве среды выбран модельный раствор (3 %-ный водный раствор NaCl), являющийся одной из агрессивных коррозионных сред. Среда подготавливается, заливается в специальные колбы, в которые параллельно установлены образцы с ЛКП. Далее колба закрывается и дополнительно плотно изолируется с целью избежать разбрызгивания среды. Установленная емкость помещается



а)

б)

**Рисунок 4.** Покрытие № 2 и покрытие № 1 после выдержки при отрицательных температурах: а – разрушение эпоксидного покрытия при отрицательных температурах, б – определение адгезионных свойств покрытия № 1 при отрицательных температурах.



**Рисунок 5.** Подготовленная выборка образцов.

на магнитную мешалку, выбирается скорость работы мешалки. Время выдержки устанавливается 7 дней.

После чего образцы извлекаются, промываются, сушатся, и проводится изучение адгезии по известным методам надрезов в зависимости от толщины покрытия – до 250 мкм применяется метод решетчатых надрезов, более 250 мкм – метод Х-образного надреза. После чего по отслоению покрытия делается вывод о стойкости покрытия в данной среде, а также дальнейшие рекомендации по испытаниям и выбору основной композиции ЛКМ.

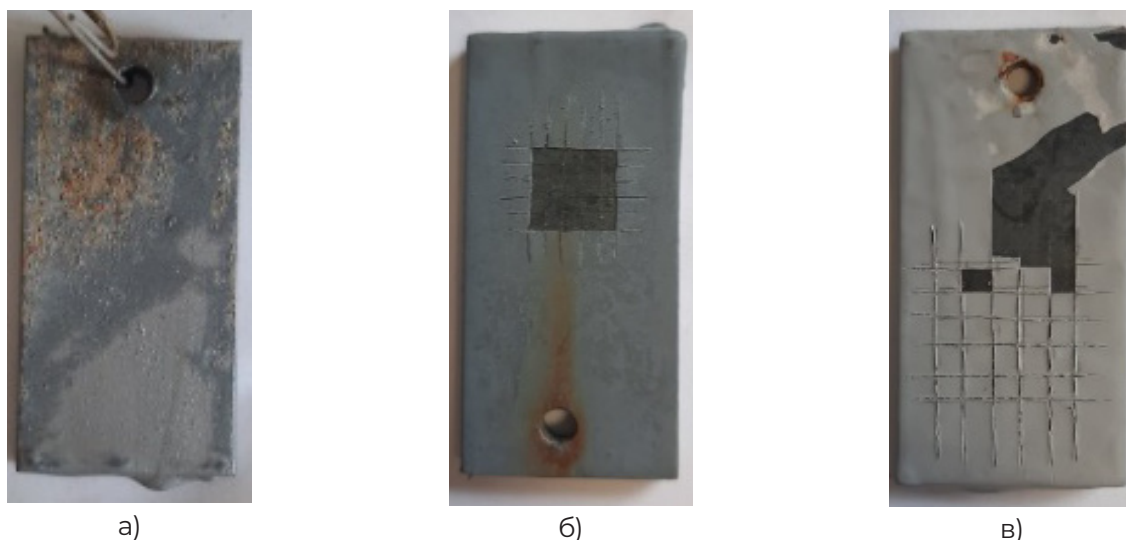
Второй вид испытаний проводился в климатической камере с целью определения работы ЛКМ и полученных ЛКП в условиях холодного климата, а также с учетом наличия конденсата на поверхности образцов до проведения испытаний. После чего образцы извлекаются, промываются, сушатся и проводится изучение адгезии по известным методам надрезов в зависимости от толщины покрытия – до 250 мкм применяется метод решетчатых надрезов, более 250 мкм – метод Х-образного надреза. После чего по отслоению покрытия делается вывод о стойкости покрытия в данной среде, а также дальнейшие рекомендации по испытаниям и выбору

основной композиции ЛКМ, исходя из второго метода проведения испытаний.

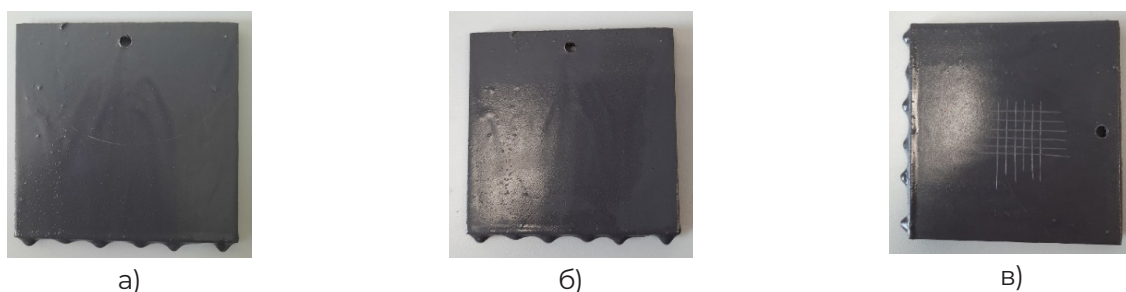
Выборка образцов (рисунок 5) лакокрасочных материалов следующая: эпоксидные композиции, кремнийорганические композиции, силиконоакриловое покрытие и композиция на основе полиуретанового лака. Отметим, что один из образцов получил своеобразный рисунок в процессе сушки покрытия, что является технологической особенностью для кремнийорганического покрытия с добавлением цинка в его состав [16–17]. Более широкая выборка покрытий обусловлена тем, что были получены сведения с нефтеперерабатывающих комплексов города Уфы об опытных испытаниях силиконакриловых покрытий и составов на основе полиуретанового лака в качестве альтернативы кремнийорганическим покрытиям.

На рисунке 6 показаны образцы после испытания кремнийорганических и силиконакриловых покрытий в перемешивающейся среде. Результатом для этих образцов является низкий балл по определению адгезии методом решетчатых надрезов – балл 5, изменение цвета и полное отслаивание покрытий.

Лучшим результатом для данного комплекса испытаний является покрытие



**Рисунок 6.** Образцы кремнийорганических и силиконакрилового покрытий в перемешивающейся среде после испытаний: а, б – кремнийорганические покрытия, в – силиконакриловое покрытие.



**Рисунок 7.** Образцы на основе полиуретанового лака после испытаний: а – в перемешивающейся среде, б – выдержка при отрицательных температурах, в – в условиях конденсата.

на основе полиуретанового лака (рисунок 7). Покрытие после испытаний не поменяло цвет, не обнаружено продуктов коррозии, балл адгезии – 0. Подобные результаты для данного состава наблюдаются и при комплексе климатических испытаний. Также на основании документации уфимских нефтеперерабатывающих заводов с указанием свойств и стоимости составов было установлено, что, помимо высоких показателей по химической стойкости, данный тип покрытия обладает более низкой стоимостью по сравнению с кремнийорганическими составами.

При оценке двух проведенных этапов испытаний отмечено, что наилучшим покрытием является композиция на основе полиуретанового лака, которая станет базой для требуемого интеллектуального покрытия. Основным технологическим свойством данного состава будет являться наличие в нем специального пигмента, улучшающего эксплуатационные характеристики состава. Однако во время проведения эксперимента на данной стадии была нарушена логистическая цепь

поставок, из-за чего основу покрытия на момент написания данной статьи подготовить невозможно. Поэтому проводится дополнительный комплекс испытаний для покрытий на кремнийорганической основе и введением в них специальных добавок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

При выполнении данной работы были получены следующие результаты:

На этапе 1 установлено, что эпоксидная основа покрытия обладает низкой стойкостью к низким температурам, о чем свидетельствуют малые показатели адгезии и разрушения покрытия в течение короткого времени. Покрытия на кремнийорганической основе, которые являются термостойкими, обладают низкой химической стойкостью – изменение внешнего вида покрытия, низкие показатели адгезии после выдержки в коррозионной среде.

На втором этапе работы установлено, что из более широкого комплекса испытаний и

при большей выборке типов покрытий наилучшими показателями по химической стойкости обладает покрытие на основе полиуретанового лака. Также данные типы составов обладают более низкой стоимостью по сравнению с термостойкими кремнийорганическими составами.

На основании указанных фактов, базой нового типа покрытия выбрана база на основе полиуретанового лака, которая в большинстве случаев является однокомпонентной, плюс возможна добавка специальных пигментов для придания специальных свойств покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Латыпов, О. Р. Эксплуатация нефтегазового оборудования в агрессивных средах / О. Р. Латыпов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – 151 с. – Текст: непосредственный.
2. Латыпова, Д. Р. Защита от коррозии строительных конструкций на нефтегазовых предприятиях / Д. Р. Латыпова, О. Р. Латыпов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – 134 с. – Текст: непосредственный.
3. Кравцов, В. В. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования / В. В. Кравцов, О. Р. Латыпов, О. А. Макаренко, И. Г. Ибрагимов. – М.: Химия, 2010. – 344 с. – Текст: непосредственный.
4. Pechenkina M.Yu., Latypov O.R. and Bugai D.E. Increasing the Corrosion Resistance of the Material of Oil and Gas Equipment in Water-Salt Solutions by Changing the Electrochemical Parameters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 720. Article No. 012142. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012142.
5. Faritov A.T., Rozhdestvenskii Yu.G., Yamshchikova S.A., Minnikhanova E.R., Tyusenkov A.S. Improvement of the Linear Polarization Resistance Method for Testing Steel Corrosion Inhibitors // Russian Metallurgy (Metally). 2016. Vol. 2016, No. 11. P. 1035-1041. DOI: 10.1134/S0036029516110070.
6. Latypov O., Cherepashkin S., Latypova D. The Use of the Method of Controlling the Electrochemical Parameters of Aqueous Solutions to Combat Complications in the Operation of Oil Field Pipelines // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 225. Article No. 01008. DOI: 10.1051/e3sconf/202122501008.
7. Лаптев, А. Б. Ингибирующая способность консервационного состава на основе имидазолинов в кислых водных средах / А. Б. Лаптев, А. Е. Спивак, С. Е. Черепашкин, О. Ю. Цыпышев, Д. Е. Бугай, Р. Ж. Ахияров, В. Н. Рябухина. – Текст: непосредственный // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – Вып. 4 (102). – С. 139–150.
8. Latypov O.R., Tyusenkov A.S. Methodology for Studying the Corrosion of Material of Oil Pipelines Operating in Marshy Soil // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. Article No. 042026. DOI: 10.1088/1757-899x/962/4/042026
9. Latypova D., Latypov O. Method of Investigation of Local Corrosion Processes on Samples from Clad Steel // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 225. Article No. 01005. DOI: 10.1051/e3sconf/202122501005.
10. Латыпова, Д. Р. Исследование коррозии контактной пары сталей 09Г2С/12Х18Н10Т в технологических средах колонного оборудования / Д. Р. Латыпова, Д. Е. Бугай, О. Р. Латыпов, В. Н. Рябухина. – Текст: непосредственный // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18, № 6. – С. 122–129. – DOI: 10.17122/ngdelo-2020-6-122-129.
11. Скуридин, Н. Н. Формирование противокоррозионных пленок на металле нефтепромыслового оборудования методом поляризации технологических жидкостей / Н. Н. Скуридин, Д. Р. Латыпова, М. Ю. Печенкина, О. Р. Латыпов, Д. Е. Бугай, В. Н. Рябухина. – Текст: непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 84–86. – DOI: 10.24887/0028-2448-2018-5-84-86.
12. Латыпова, Д. Р. Влияние температуры водно-солевого раствора на развитие питтинговой коррозии / Д. Р. Латыпова // Нефтегазовое дело. – 2019. – Т. 17, № 3. – С. 68–73. – DOI: 10.17122/ngdelo-2019-3-68-73.
13. Латыпова, Д. Р. Влияние электродного потенциала на глубину проникновения питтинговой коррозии в поверхностные структуры плакированной стали / Д. Р. Латыпова, О. Р. Латыпов, Д. Е. Бугай. – Текст: электронный // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 167–178. – URL: [http://www.nanobuild.ru/en\\_EN/journal/Nanobuild-3-2018/167-178.pdf](http://www.nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-3-2018/167-178.pdf) (дата обращения: 19.02.2022). DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-3-167-178.
14. Кравцов, В. В. Оценка остаточной защитной способности лакокрасочных покрытий на внутренней поверхности стальных резервуаров / В. В. Кравцов, Х. Р. Сырлыбаев, О. В. Шингаркина, Н. А. Алексеева. – Текст: непосредственный // Территория «Нефтегаз». – 2012. – № 3. – С. 36–39.
15. Макаренко, О. А. Определение защитных свойств лакокрасочного покрытия внутренней поверхности резервуаров / О. А. Макаренко, В. В. Кравцов. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 1 (79). – С. 112–115.
16. Бондарь, М. А. Разработка состава интеллектуального покрытия для защиты от коррозии оборудования нефтепереработки / М. А. Бондарь, Д. Е. Бугай, О. Р. Латыпов. – Текст: непосредственный // Инженерная физика. – 2023. – № 7. – С. 3–6. – DOI 10.25791/infizik.7.2023.1339.
17. Бондарь, М. А. Анализ компонентного состава лакокрасочного покрытия для защиты нефтеперерабатывающего оборудования от коррозии / М. А. Бондарь, Д. Е. Бугай, О. Р. Латыпов. – Текст: непосредственный // Современные проблемы университетской науки и образования: респ. конф., посвящается 60-летию СумГУ (17–18 ноября 2022 год). – Сумгаит, 2022. – № 8/1. – С. 101–104.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ СВАРКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ ТЕРМИТНЫМ СПОСОБОМ

**Галай Марина Сергеевна**

кандидат технических наук, доцент,  
Сибирский государственный университет  
путей сообщений  
Новосибирск, Россия  
E-mail: galayms@mail.ru

**Сидоров Эдуард Сергеевич**

преподаватель,  
Сибирский государственный университет  
путей сообщений  
Новосибирск, Россия  
E-mail: senks@mail.ru

Предмет исследования: изучение процесса распределения тепла при термитной сварке железнодорожных рельсов

Цель исследования: изучение процесса теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс» путем моделирования в специальной программе для литейных процессов LVMFlow.

Методы и объекты исследования: объектом исследования являются сварные соединения рельсов. Метод исследования – моделирование процесса термитной сварки рельсов в программном продукте LVMFlow.

Основные результаты исследования: разработаны 3D-модели теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс» с учетом фазовых переходов. На основе предложенных моделей представлены термограммы распределения температурных полей как по сечению сварного соединения, так и по длине сварного соединения. Результаты моделирования подтверждены результатами натурных экспериментов.

**Ключевые слова:** моделирование, сварной шов, теплообмен, распределение температуры, сварка.

## MODELING OF THE HEAT TRANSFER PROCESS DURING THERMITE WELDING OF RAILWAY RAILS

**Marina S. Galay**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Siberian Transport University  
Novosibirsk, Russia  
E-mail: galayms@mail.ru

**Eduard S. Sidorov**

Tutor,  
Siberian Transport University  
Novosibirsk, Russia  
E-mail: senks@mail.ru

Subject of research: study of heat distribution process during thermite welding of railway rails

Purpose of research: is to study the heat exchange process of the “mold – weld – rail” system by modeling in a special program for casting processes LVMFlow product.

Methods and objects of research: the object of research is rails welded joints. The research method is modeling the thermite welding process of rails in the LVMFlow software product.

Main results of research: 3D-models of heat transfer of the casting “mold – weld – rail” system have been developed taking into account phase transitions. Based on the proposed models distribution temperature thermograms fields are presented along section of welded joint and along length of the welded joint. The simulation results are confirmed by results of experiments.

**Keywords:** modeling, weld, heat transfer, temperature distribution, welding.

## ВВЕДЕНИЕ

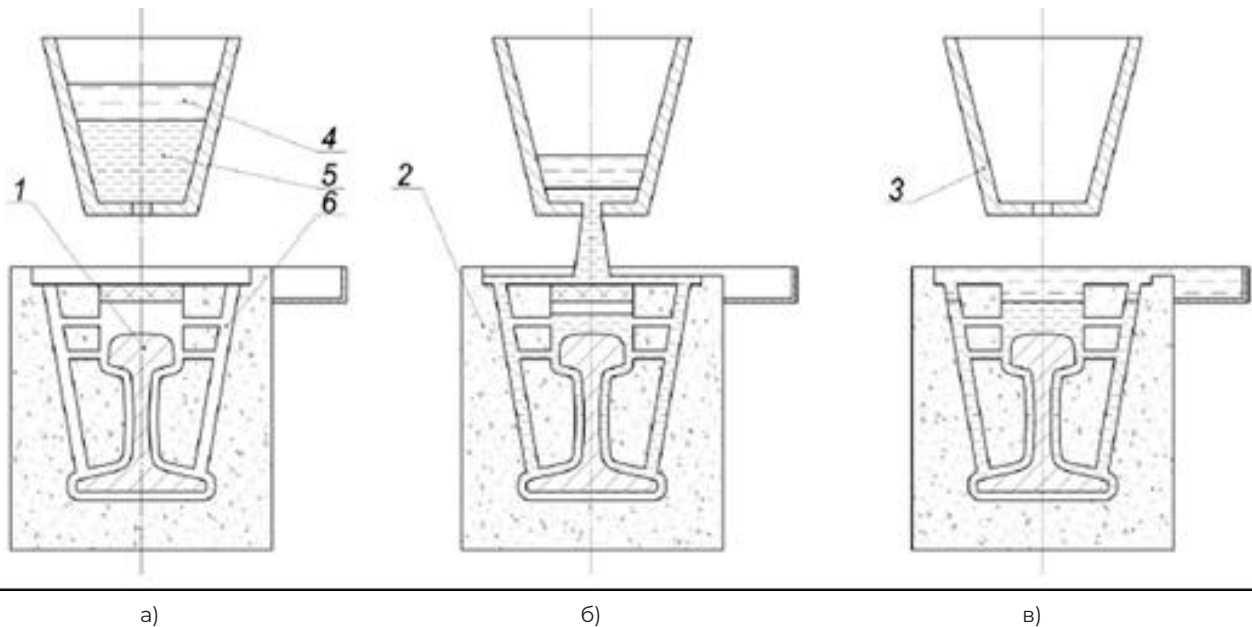
Термитная сварка рельсов используется на сети железных дорог при создании бесстыкового пути уже много лет, однако до сих пор имеется ряд проблем, связанных как с технологией производства данной сварки, так и с качеством сварных соединений. Технология термитной сварки рельсов состоит из трех этапов: подготовительного этапа, процесса сварки и послесварочного этапа (рисунки 1). Подготовительный этап заключается в установке тигля и заполнении его термитной смесью, формировании сварочного зазора между рельсами и установке литейной формы, подогрева концов рельсов. Процесс сварки осуществляется путем воспламенения термитной смеси, в результате плавления которой происходит экзотермическая реакция с выделением большого количества тепла. После завершения реакции жидкий расплав вытекает из тигля в литейную форму, заполняя сварочный зазор между рельсами.

По окончании процесса кристаллизации сварочной ванны приступают к послесварочным операциям: демонтаж сварочного оборудования, удаление грата с головки рельсов и литников, шлифование поверхности катания головки рельсов в области сварного соединения [1- 5].

Из описания технологического процесса термитной сварки рельсов видно, что данный вид сварки в большей степени относится к металлургическому процессу разлива металла в форму. Поэтому в сварных соединениях рельсов, полученных термитной сваркой, чаще наблюдаются дефекты, которые присущи отливкам: раковины, шлаковые включения, пузыри, горячие трещины в литом металле (рисунки 2).

Дефекты литья являются трудно выявляемыми дефектами, поскольку термитной сваркой шов отличается от материала рельса. Поэтому при проведении контроля средствами дефектоскопии возможна регистрация ложных сигналов [6, 7].





**Рисунок 1.** Схема термитной сварки рельсов: а – плавление термитной смеси; б – заливка расплавленной термитной смеси в форму; в – кристаллизация сварного шва; 1 – рельс, 2 – форма, 3 – тигель, 4 – расплавленный шлак, 5 – расплавленный металл, 6 – литник.



а)

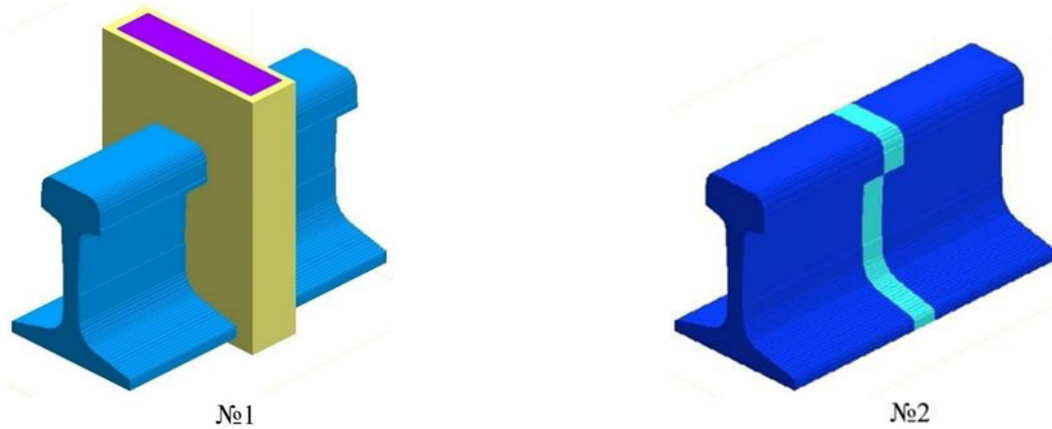


б)

**Рисунок 2.** Дефекты сварных соединений рельсов, полученных термитной сваркой: а) раковина в головке рельса, б) раковины в подошве рельса.

Образование дефектов литья при термитной сварке рельсов зависит от характера кристаллизации расплава в литейной форме, который, в свою очередь, определяется тепловыми процессами, происходящими в системе «литейная форма – сварной шов – рельс». Однако изучение теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс» представляет собой сложную задачу, поскольку нет возможности установить датчики измерения температуры в литейной форме и в сварном шве, так как заливаемый металл имеет высокую температуру (2300...2800 °С) и может повредить датчики [1].

Поэтому изучение процесса теплообмена термитной сварки целесообразно проводить с использованием программных продуктов. В настоящее время для моделирования процесса сварки рельсов используются различные пакеты программного обеспечения [8-11]. В данной статье представлена модель, разработанная в среде LVMFlow, в которой учтены процессы теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс», и она позволяет определить температуру в процессе кристаллизации сварного соединения.



**Рисунок 3.** Трехмерные модели термитных сварных соединений рельсов: №1 – модель сварного соединения с литейной формой, №2 – модель сварного соединения без литейной формы.

**Таблица 1.** Начальные условия для моделирования процесса термитной сварки.

	Модель №1 (с литейной формой)	Модель №2 (без литейной формы)
Марка рельсовой стали	Сталь 76ХФ	
Материал сварного шва	Сталь 60	
Материал формы	Кварцевый песок	
Температура заливаемого металла, °С	2500	-
Температура металла сварного шва, °С	2500	1500
Температура концов свариваемых рельсов, °С	850	1200
Температура литейной формы, °С	850	-
Температура воздуха окружающей среды, °С	20	
Плотность рельсовой стали и материала шва, кг/м <sup>3</sup>	7800	
Плотность материала формы, кг/м <sup>3</sup>	1600	

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Доминирующее влияние на изменение температуры в термитных сварных швах оказывает теплопроводность. Таким образом, энергетический баланс внутри исследуемого термитного сварного соединения задается как:

$$\rho \tilde{N}_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial t} + \nabla(\lambda \nabla T) \quad (1)$$

где  $\frac{\partial T}{\partial t}$  – изменение температуры,  $\frac{\partial Q}{\partial t}$  – скорость тепловыделения,  $C_p$  – удельная теплоемкость,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\rho$  – плотность материала.

Из-за сложной природы термитной сварки трудно включить все физические явления в одну модель. Поэтому другие термически значимые физические процессы теплообмена в период сварки – затвердевание, тепловая конвекция и излучение – представлены в модели через свойства материала, граничные и начальные условия.

В процессе термитной сварки рельсов осуществляются процессы плавления и кристаллизации, которые сопровождаются фазовыми переходами, поэтому необходимо учесть скрытую теплоту. Существует несколько способов учета скрытого тепла, выделяемого (или поглощаемого) во время этих фазовых превращений. В нашем случае было включено скрытое тепло через удельную теплоемкость:



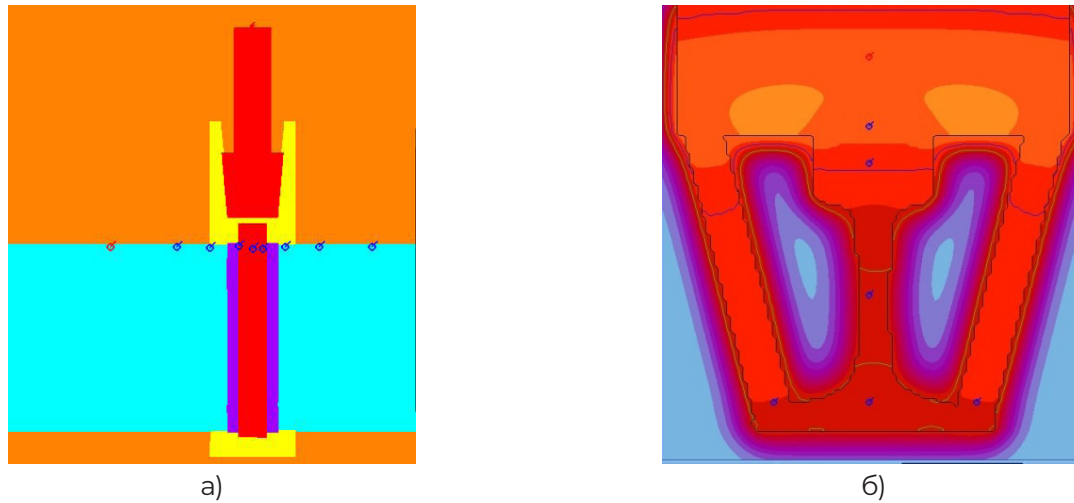


Рисунок 4. Размещение температурных датчиков при моделировании: а) по длине рельса; б) по сечению рельса.

$$C_p = \frac{i_2(T_2) - i_1(T_1)}{dT}, \quad (2)$$

где  $i_2(T_2) - i_1(T_1)$  – изменение энтальпии,  $dT$  – температура.

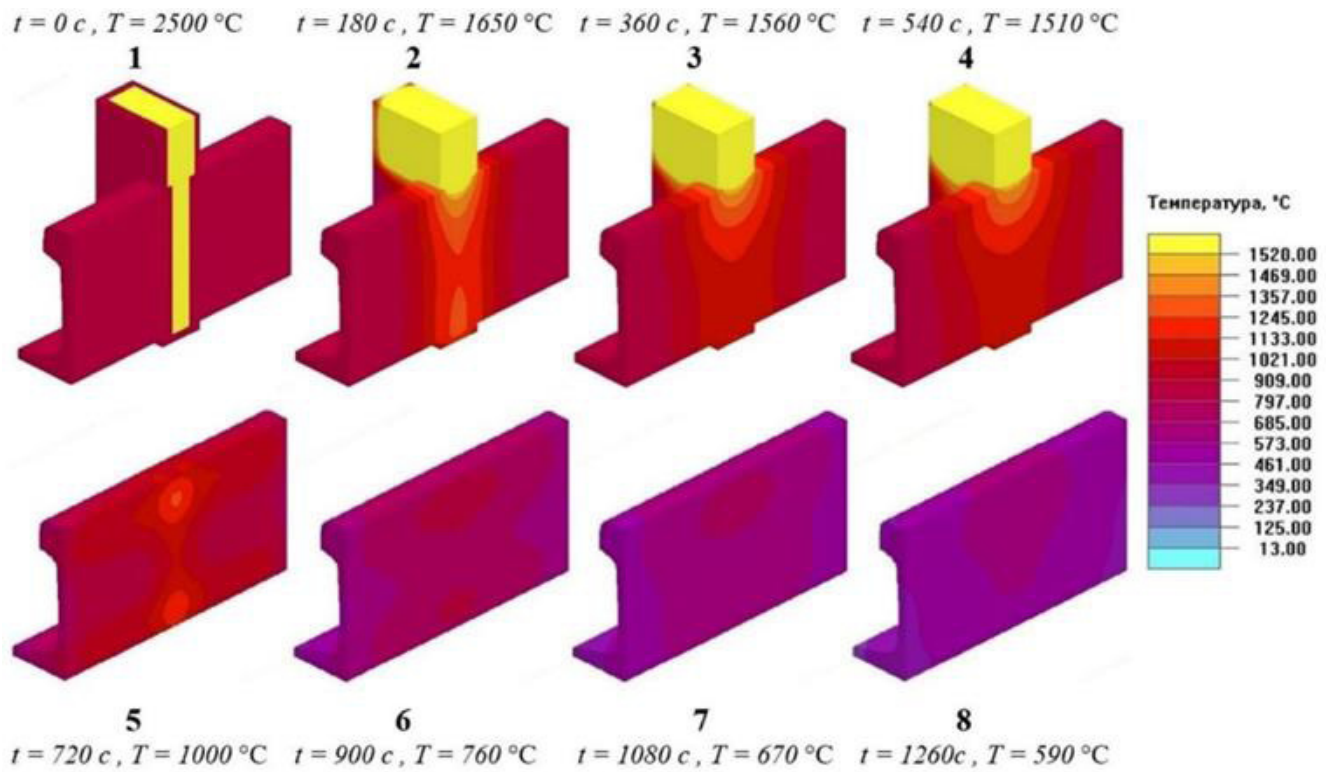
Численное моделирование осуществляли в среде LVMFlow. При моделировании процесса термитной сварки рельсов был разделен на две стадии. Первая стадия – это время от момента заливки металла в литейную форму и до момента удаления литейной формы и излишков металла. Вторая стадия – это время от снятия литейной формы и до полного остывания сварного шва. Для двух стадий были построены две модели (рисунок 3).

Модель № 1 состоит из двух соединяемых рельсов, сварного шва, литейной формы, литников и прибыльной части. Модель № 2, состоящая из двух рельсов и сварного шва, необходима для того, чтобы оценить изменение температуры металла в зоне сварного шва. Проектирование моделей выполняли с помощью САПР «КОМПАС-3D». Размеры профиля моделей свариваемых рельсов соответствовали значениям, указанным в нормативной документации [12, 13]. Полученные в результате проектирования объекты были конвертированы в формат, поддерживаемый программным комплексом LVMFlow. При конвертировании задан размер ячеек разностной сетки, равный 1 мм, что позволило обеспечить высокую точность вычислений в процессе моделирования охлаждения термитных сварных соединений рельсов за счет соответствия формы и размеров моделей реальным объектам. При моделировании были приняты начальные условия, приведенные в таблице.

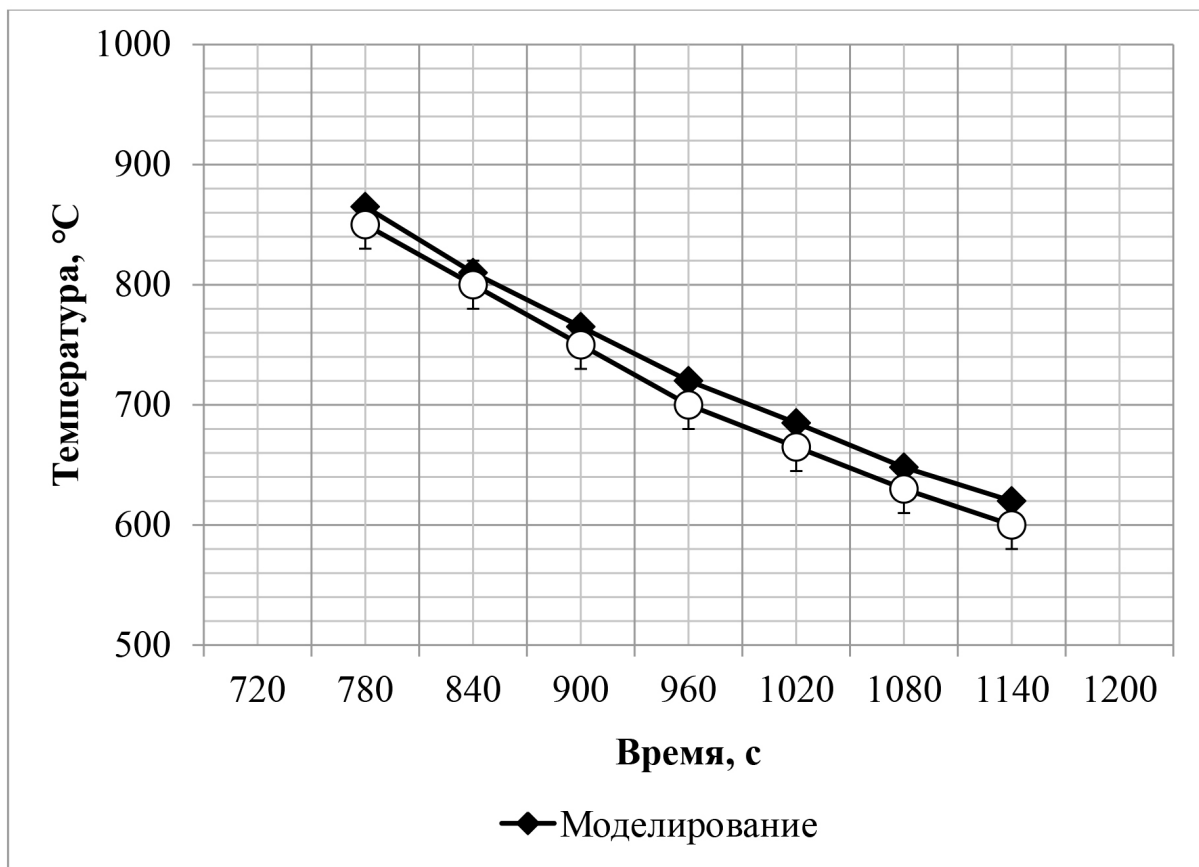
Продолжительность процесса охлаждения модели с литейной формой при моделировании (модель № 1) была такой же, как при сварке рельсов в условиях пути по технологической инструкции [4], и составила 660 секунд. Именно столько времени необходимо для кристаллизации металла головки рельса в зоне сварного шва. Преждевременное удаление литейной формы приводит к утечке некристаллизовавшегося металла и повреждению рельса. Более длительное ожидание увеличивает общую продолжительность технологического процесса сварки рельсов. Начальные температуры для модели № 2 определены экспериментально, по результатам первого этапа моделирования с литейной формой (модель № 1). Во время демонтажа литейной формы температура сварного шва составляет порядка 1500 °С, а температура концов свариваемых рельсов составляет в среднем 1200 °С. Показания температуры при моделировании термитных сварных стыков получали с датчиков (рисунок 4), установленных по сечению сварного шва и по длине сварного соединения рельса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На рисунке 5 представлены результаты моделирования теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс». Модели 1–4 отображают изменение температуры с момента заливки жидкого металла в литейную форму до момента её демонтажа. Наибольший отвод тепла происходит в свариваемые рельсы. При этом подошва рельса и шейка рельса охлаждаются быстрее, чем головка. Это объясняется тем, что над головкой рельса имеется прибыльная часть, в которой



**Рисунок 5.** Распределение тепла по термитному сварному соединению рельсов: 1 – момент заливки жидкого сплава в литейную форму; 2 – 180 с после заливки сплава в литейную форму; 3 – 360 с после заливки сплава в литейную форму; 4 – 540 с после заливки сплава в литейную форму; 5 – 720 с после заливки сплава в литейную форму; 6 – 900 с после заливки сплава в литейную форму; 7 – 1080 с после заливки сплава в литейную форму; 8 – 1260 с после заливки сплава в литейную форму.



**Рисунок 6.** Температура поверхности катания головки рельса в зоне сварного шва после удаления литейной формы.

в последнюю очередь происходит кристаллизация сплава.

Модели 5–8 показывают распределение температуры после удаления литейной формы. Следует отметить, что при термитной сварке происходит кристаллизация большой массы металла, это приводит к тому, что процесс кристаллизации в различных объемах происходит одновременно, что подтверждается данными на моделях 5–8. Разная скорость охлаждения способствует образованию различных структур, соответственно, свойств материала.

Результаты моделирования были подтверждены экспериментальным путем. С помощью цифрового пирометра Mastech MS6550A измеряли температуру поверхности головки рельса в зоне сварного шва после удаления литейной формы.

На рисунке 6 приведены графики, отражающие изменения температуры сварных швов в процессе моделирования и при проведении эксперимента. Экспериментальные значения на 15...20 °С ниже результатов моделирования. Следовательно, значения температур, полученные при моделировании и в результате проведения эксперимента, отличаются менее чем на 5 %. Таким образом, эксперимент показал, что разработанная модель термитных сварных соединений рельсов имеет достаточно высокую точность и может быть использована в технологическом процессе сварки рельсов термитным способом для определения температуры поверхности катания сварных швов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Пасько, С. В. Алюмотермитная сварка рельсов методом промежуточного литья: учебное пособие / С. В. Пасько, Л. Б. Тихомирова, О. В. Болотова. – Новосибирск: Издательство СГУПС, 2010. – 76 с. – Текст: непосредственный.
- Воронин, Н. Н. Алюминотермитная сварка рельсов: учебное пособие / Н. Н. Воронин, В. В. Засыпкин, В. И. Коненков, Э. В. Воробьев, О. Н. Трынкова. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 195 с. – Текст: непосредственный.
- Давыдкин, А. В. Особенности алюминотермитной сварки рельсов / А. В. Давыдкин, С. В. Николаев. – Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 26-27.
- ТУ 24.10.75–337–01124323–2019. Рельсы железнодорожные, сваренные термитным способом. Технические условия. Введ. 01.08.2019. – М.: АО «ВНИИЖТ», 2019. – 68 с. – Текст: непосредственный.
- Козырев, Н. А. Современные методы сварки рельсов нового поколения // Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. А. Шевченко, Р. Е. Крюков, П. Е. Шишкин. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, № 10. – С. 785-791.
- Брандис, М. П. Ультразвуковой контроль стыков алюминотермитной сварки рельсов / М. П. Брандис, В. П. Готов. – Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 32-36.
- Рукавчук, Ю. П. Дефектность стыков алюминотермитной сварки рельсов / Ю. П. Рукавчук, С. А. Рождественский, И. З. Этинген. – Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 26-27.
- Быков, П. О. Современные компьютерные системы синтеза и анализа литейных технологий / П. О. Быков, В. Я. Шевченко. – Текст: непосредственный // Наука и техника Казахстана. – 2005. – № 1. – С. 10-18. – ISSN 1680-9165.
- Малькова, Н. Ю. Разработка технологии изготовления отливок с использованием систем компьютерного моделирования / Н. Ю. Малькова, Е. А. Кошелева, И. В. Марширов, Ю. В. Исаева. – Текст: непосредственный // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 77-80.
- Ильиных, А. С. Совершенствование технологии алюминотермитной сварки рельсов на основе программного моделирования / А. С. Ильиных, М. С. Галай, Э. С. Сидоров, С. В. Щелоков. – Текст: непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4(59). – С. 16-21.
- Jovanović, G. Model development for casting simulation of railway aluminothermic welding // Jovanović G., Delic A., Manojlović V., Sokić M., Gavrilovski M. // Tehnika. – 2023. – V. 78. – pp. 425–430. – DOI: 10.5937/tehnika2304425J.
- ТУ 159000-001-72253988-2009. Форма для алюминотермитной сварки. Технические условия. Введ. 20.04.2009. – М.: ЗАО «СНАГА», 2009. – Текст: непосредственный.
- ГОСТ 34664–2020. Рельсы железнодорожные, сваренные термитным способом. Технические условия. – Введ. 2021–03–01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 15 с. – Текст: непосредственный.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО НАНЕСЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

### Пашков Михаил Владимирович

заместитель главного технолога по научной работе и инновационным материалам, Технологический центр ПАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия  
E- mail: mikh-pashkov@mail.ru

### Хисамутдинов Равиль Миргалимович

доктор технических наук, заведующий кафедрой Набережночелнинский институт КФУ Набережные Челны, Россия  
E- mail: sunniwind43@gmail.com

Предмет исследования: технология нанесения легированного алмазоподобного покрытия (АПП), влияние атмосферы рабочей зоны на результаты работы.

Цель исследования: поиск оптимального легированного алмазоподобного покрытия для нагруженных деталей трансмиссии автомобиля с целью обеспечения необходимого ресурса узла.

Методы исследования: все покрытия, результаты исследований которых описаны в данной статье, были получены методом реактивного магнетронного напыления.

Основные результаты исследования: приводится анализ структурно-фазового состояния ряда покрытий, содержащих хром, титан и кремний, полученных магнетронным распылением в атмосферах аргон-ацетилен-азот. Приводятся данные о фазовом составе и размере областей когерентного рассеяния, а также взаимосвязи структуры и механических свойств АПП. Определена принципиальная схема трибологических испытаний покрытий, проводится анализ полученных нанокompозитных структур АПП.

**Ключевые слова:** алмазоподобные покрытия, износостойкость, трибология, способы нанесения покрытий, нанокompозиты.

## TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR APPLYING SPECIAL COATINGS TO INCREASE WEAR RESISTANCE OF MACHINE PARTS AND COMPONENTS

### Mikhail V. Pashkov

Deputy Chief Technologist for Scientific Work and Innovative Materials, Naberezhnye Chelny, Russia  
Technology Center of PJSC KAMAZ  
E- mail: mikh-pashkov@mail.ru

### Ravil M. Hisamutdinov

Head of the Department, Doctor of Technical Sciences, Naberezhnye Chelny Institute of KFU Naberezhnye Chelny, Russia  
E- mail: sunniwind43@gmail.com

Subject of research: technology for applying alloyed diamond-like coating (DLC), the influence of the atmosphere of the working area on the results of work.

Purpose of research: search for the optimal alloyed diamond-like coating for loaded parts of a car transmission in order to ensure the required service life of the unit.

Methods of research: all coatings, the research results of which are described in this article, were obtained by reactive magnetron sputtering.

Main results of research: an analysis of the structural-phase state of a number of coatings is provided: containing chromium, titanium and silicon, obtained by magnetron sputtering in argon-acetylene-nitrogen atmospheres. Data are presented on the phase composition and size of coherent scattering regions, as well as the relationship between the structure and mechanical properties of the APP. A basic scheme for tribological testing of coatings has been determined, and the obtained nanocomposite structures of the APP are analyzed.

**Keywords:** diamond-like coatings, wear resistance, tribology, coating methods, nanocomposites.

## ВВЕДЕНИЕ

Задача, которую решаем в данном исследовании, заключается в поиске оптимального легированного алмазоподобного покрытия для нагруженных деталей трансмиссии автомобиля с целью обеспечения необходимого ресурса узла. Цель: поиск покрытия и метода его получения, проведение исследований и выявление взаимосвязей различных технологических процессов и факторов, оказывающих значительное влияние на ход технологического процесса нанесения покрытия и конечный результат. Приводится анализ структурно-фазового состояния ряда покрытий, содержащих хром, титан и кремний, полученных магнетронным распылением в атмосферах аргон-ацетилен-азот. Приводятся данные о фазовом составе и размере областей когерентного рассеяния, а также взаимосвязи структуры и механических свойств АПП. Определена принципиальная схема

трибологических испытаний покрытий, проводится анализ полученных нанокompозитных структур АПП.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

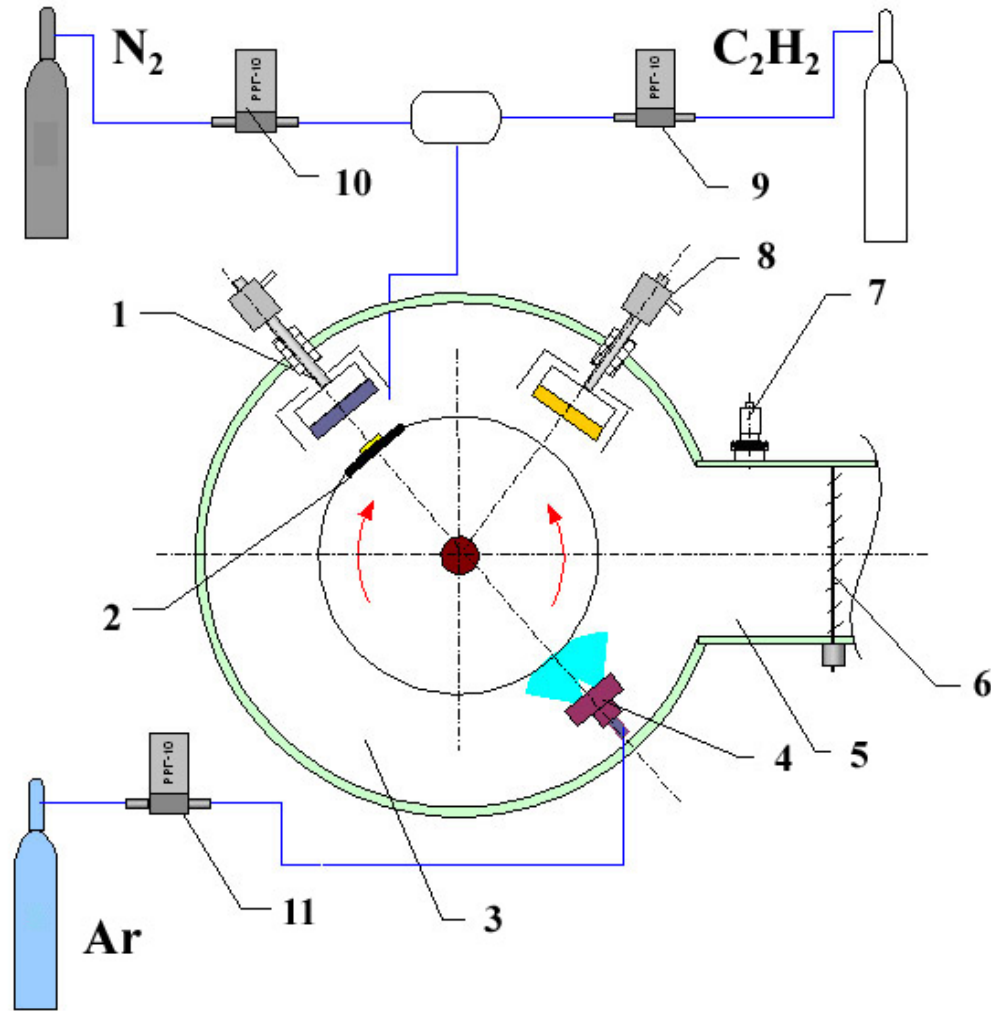
Все покрытия, результаты исследований которых описаны в данной статье, были получены методом реактивного магнетронного напыления. Схема использованной для их получения напылительной установки представлена на рис. 1. Особенности технологии напыления легированных алмазоподобных покрытий описаны, например, в [1].

Нанесение алмазоподобного покрытия (АПП), легированного хромом, делилось на несколько стадий (а именно – три).

Первая стадия (подготовка подложки): ионная очистка с последующей бомбардировкой ионами аргона.

Вторая стадия – создание подслоя из хрома. Благодаря этой операции происходит





**Рисунок 1.** Схема установки напыления: 1 – магнетрон; 2 – держатель образцов; 3 – камера; 4 – источник ионов для очистки; 5 – откачка; 6 – заслонка; 7 – датчик; 8 – магнетрон; 9, 10, 11 – регуляторы-расходомеры.

улучшение адгезии покрытия с подложкой (до 0,5 мкм).

Третья стадия – нанесение основного слоя АПП (до 3 мкм).

Подготовка образцов проводилась так, что для нанесения покрытия и обеспечения заданных свойств АПП торец образца полировался до  $Ra=0,06$ .

Катодом выступал хром с чистотой (99,95 %).

Важным фактором являлось исследование влияния атмосферы в рабочей зоне и ее влияние на конечный результат. Так, атмосфера представляла собой смесь чистых газов: аргон, азот, ацетилен. При этом менялось соотношение ацетилена и азота.

Непосредственно перед напылением образцы были промыты ацетоном.

В случае покрытий, легированных кремнием и титаном, второй этап технологического процесса, связанный с нанесением промежуточного металлического подслоя,

отсутствовал. Эти покрытия наносились непосредственно на поверхность стальной подложки, предварительно подвергшейся ионной очистке.

В процессе исследования свойств покрытия проводили анализ взаимосвязи структуры и механических свойств АПП.

В ряде случаев для повышения точности фазового анализа проводили также съемку в асимметричной геометрии при углах падения рентгеновского пучка  $\sim 1\div 2^\circ$  на рентгеновском дифрактометре Empyrean, Malvern Panalytical.

Дальнейшие трибологические испытания покрытий проводились по схеме «сфера-диск». Принципиальная схема прибора приведена на рисунке 2. При испытаниях использовали стальные образцы цилиндрической формы с покрытием диаметром 30–35 и толщиной 3,5 мм. Контртелом при проведении описываемых в данном разделе испытаний служила сфера из нитрида кремния. Образец вращался со скоростью 100 об/мин.

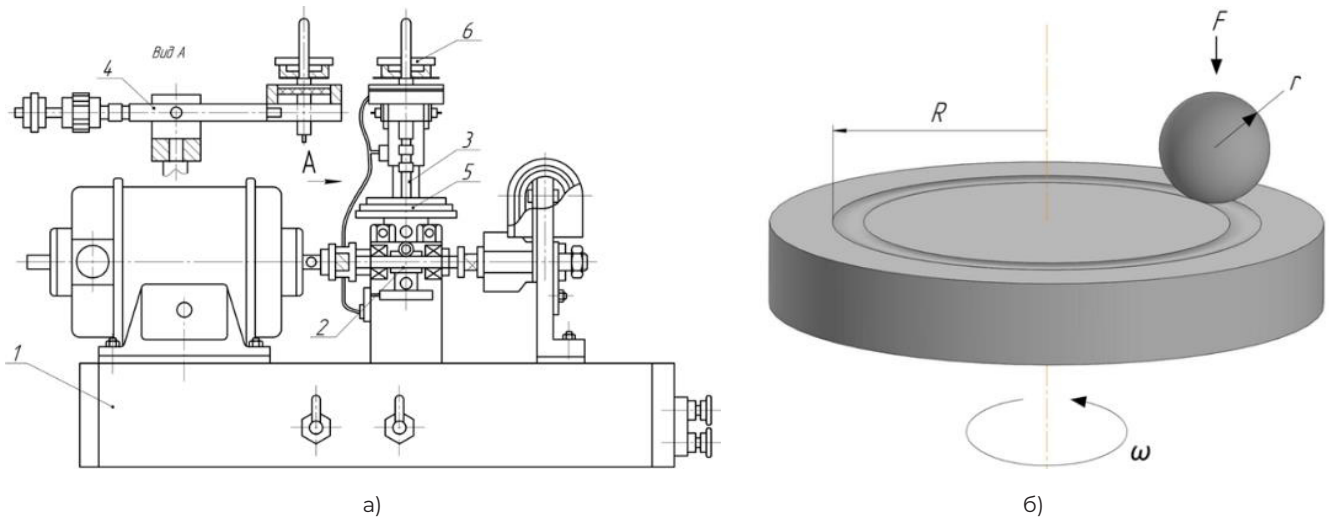


Рисунок 2. Трибологическая установка: а – конструкция установки; б – схема испытания на трибометре.

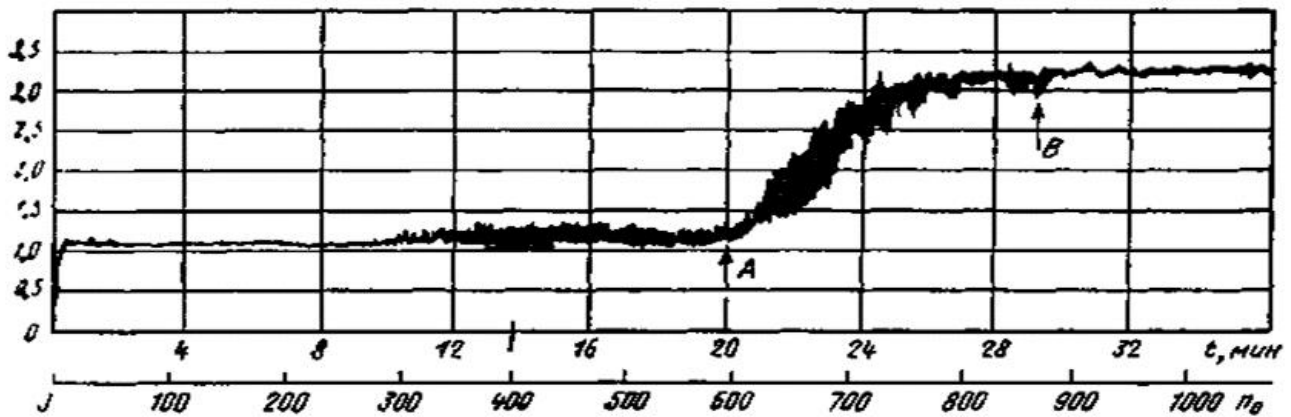


Рисунок 3. Трибограмма испытания образцов при испытаниях на шариковом трибометре.

Продолжительность эксперимента – 60 минут (тах 6000 циклов), рассчитанное по Герцу давление в диапазоне 0,02-0,2 Н, меняется при этом от 290 до 620 МПа, соответственно).

Эксперимент проводился на воздухе.

Суть эксперимента заключалась в определении зависимости силы трения и длительности эксперимента. Экспериментальный образец (5) закрепляется в специальном зажимном приспособлении, которому посредством червячной пары (2) передается вращение. Контртело (3) закреплено неподвижно на консоли (4) где установлен тензометрический датчик, который и фиксирует изменение силы трения. Давление на экспериментальный образец производится через грузики (6). Изменение в значении силы трения говорит о начале процесса разрушения АПП. В результате эксперимента были построены диаграммы, отображающие изменение силы трения и количества отборов образца. Обороты

можно перевести во временную шкалу, таким образом, будет определена зависимость во времени. Пример диаграммы представлен на рисунке 3.

После изучения полученных диаграмм были выделены две критические точки, характеризующие начало и конец процесса интенсивного разрушения АПП, при котором наблюдается многократное увеличение силы трения. При прохождении второго пика процесс стабилизируется. В качестве критерия продолжительности эксперимента рекомендуется принимать второй пик (точка 2). Для определения закономерностей была проведена серия экспериментов с изменением величины нагрузки.

Результаты комплексного изучения структурно-фазового состояния ряда покрытий хрома, титана и кремния, полученных магнетронным распылением в атмосферах аргон-ацетилен-азот и исследованных нами

Таблица 1. Характеристики АПП легированных хромом  $a-C:H:Cr:N$ 

Фазовый состав	$C_2H_2$ , об. %	$N_2$ , об. %	$D_{CrC_3}$ , нм	$D_{CrNx}$ , нм	$D_{C_2}$ , нм
$Cr_{23}C_6 + Cr + a-C:H$	100	0	1,4	–	8
$Cr_{23}C_6 + Cr + a-C:H$	80	20	1,6	–	9
$Cr_7C_3 + Cr_2N + Cr + a-C:H$	60	40	3,3	1,7	11
$Cr_7C_3 + CrN + Cr + a-C:H$	40	60	3,2	2,8	11
$Cr_3C_2 + CrN + Cr + a-C:H$	20	80	2,7	4,2	13

Таблица 2. Характеристики АПП легированных хромом  $a-C:H:Cr:N$ 

Фазовый состав	$C_2H_2$ , об. %	$N_2$ , об. %	$DTiC$ , нм	$DTiN$ , нм	$DTiOx$ , нм
$(TiO_1,2)_{3,12} + TiC + a-C:H$	80	20	1-4	–	1-2
$TiO + TiN + a-C:H$	60	40	–	3-7	2-7
$Ti_3O_5 + TiO_{0.34}N_{0.74} + a-C:H$	40	60	–	8-20	4-23
$TiO + TiN + \beta-C_3N_4 + a-C:H$	20	80	–	2-15	1-3

Таблица 3. Характеристики АПП, легированных кремнием.

Фазовый состав покрытия	$C_2H_2$ , об. %	$N_2$ , об. %	$DSi$ , нм	$DSiX$ , нм
$SiC + Si + a-C:H$	60	40	52	15
$SiO_2 + Si$	20	80	46	20
$a-Si_3N_4 + Si$	0	100	42	11

ранее [1, 2, 3], представлены в таблицах 1–3. Там приводятся данные о фазовом составе и размере областей когерентного рассеяния, полученные в результате рентгенодифракционных исследований. Приведенные данные о наличии/отсутствии в составе конкретных покрытий аморфного углерода получены на основе изучения соответствующих спектров комбинационного рассеяния.

Следует отметить, что исходно все покрытия получали при тех же составах реактивной атмосферы, что и покрытия  $a-C:H:Cr:N$  (табл. 1), однако из-за наличия значительных внутренних напряжений некоторые покрытия, легированные титаном и кремнием, разрушались через короткое время после их извлечения из вакуумной камеры, в которой происходило напыление. Это не позволило провести исследование их структурного состояния и функциональных свойств, поэтому в табл. 2 и 3 приведены только данные по покрытиям, где такое исследование было проведено.

Приведенные данные свидетельствуют о наличии во всех исследованных покрытиях

нанокompозитной структуры. При этом фаза гидрогенизированного аморфного углерода ( $a-C:H$ ), указывающая на алмазоподобную структуру покрытий, наблюдалась во всех покрытиях, легированных хромом и титаном, и только в одном покрытии, легированном кремнием (при отношении  $C_2H_2 : N_2$ , равном 3:2).

В покрытиях хрома среди наноразмерных частиц, армирующих аморфную углеродную матрицу, наблюдали включения как чистого хрома (размером 10-15 нм), так и его карбидных и нитридных фаз с характерным размером на порядок ниже, чем у металлических включений. В покрытиях на основе титана наблюдались наноразмерные включения на основе всех трех фаз внедрения титана – оксидные, нитридные и карбидные. При этом карбид титана  $TiC$  был представлен только в покрытии, напыленном в атмосфере, содержащей 80 об. % ацетилена. Все прочие покрытия содержали только нитрид титана и его оксидные фазы. Выделения металлического титана в этих покрытиях отсутствовали.

Наконец, в кремниевом покрытии, полученном в атмосфере, содержащей 60 об. % ацетилена, имелись включения кремния и SiC, характерные размеры которых соотносились примерно как 3:1 (табл. 3). Поскольку коэффициент трения этих покрытий был достаточно высоким, в работе [3] был сделан вывод, что фаза карбида кремния в покрытиях этого состава является преобладающей.

Таким образом, экспериментальные данные об особенностях трибологического поведения, содержащие легирующие добавки и алмазоподобный углерод покрытий, следует рассматривать с учетом сведений об их структурно-фазовом состоянии, приводимых в табл. 1–3.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В результате проведения комплексных лабораторных исследований выбраны для дальнейшего изучения АПП, легированные хромом, титаном и кремнием. При проведении лабораторных исследований данных АПП получено:

1. Легированные хромом АПП являются нанокompозитными. Аморфный углерод играет роль матричной фазы.

2. В легированных хромом АПП при трении всухую на воздухе работоспособность покрытий, полученных в чистом ацетилене, наиболее высокая, и снижается с увеличением содержания азота в смеси ацетилен–азот. Одновременно с этим снижением работоспособности покрытий происходит улучшение их антифрикционных свойств.

3. Данная технология, использующая для получения легированных алмазоподобных покрытий реактивное магнетронное распыление хрома, в данный момент является наиболее отработанной.

4. Полученные реактивным магнетронным распылением в смеси ацетилен–азот легированные титаном покрытия имеют нанокompозитную структуру, в которой представлены алмазоподобный углерод и стехиометрические и нестехиометрические фазы оксидов и нитридов титана в различных сочетаниях. Карбид титана при этом присутствовал только в одном покрытии, полученном в смеси, содержащей 80 об. % ацетилена.

5. Величина коэффициента трения легированных титаном покрытий, испытанных в условиях сухого трения на воздухе, была достаточно низкой, составляла порядка 0,2–0,3 во всем диапазоне исследованных составов реактивной атмосферы и практически не изменялась от испытываемой нагрузки. АПП сохраняли свою работоспособность на всем протяжении эксперимента.

6. Большой интерес вызывают АПП с внедрением титана, однако для дальнейшего улучшения и оптимизации их трибологических характеристик, в частности, снижения коэффициента трения, требуются дополнительные исследования, направленные на отработку технологии их получения и оптимизацию состава.

7. Из легированных кремнием покрытий в условиях проведенных лабораторных работ одно покрытие содержало углерод в алмазоподобном состоянии. Наряду с аморфным углеродом в нем присутствовали наноразмерные области со структурой карбида кремния и чистый кремний.

8. Данное покрытие было работоспособно в течение всего цикла трибологических испытаний, однако имело коэффициент трения на уровне 0,35, что, по-видимому, объясняется близким эквивалентному SiC составом данного покрытия, тогда, как известно, высокими антифрикционными свойствами обладают покрытия с содержанием кремния порядка 15 ат. %.

9. Получить подобные покрытия без оптимизации имеющейся технологии их нанесения оказалось невозможно, поскольку покрытия, полученные в богатой ацетиленом атмосфере с содержанием его более 60 об. %, обладали высоким уровнем внутренних напряжений и после их напыления быстро разрушались.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хрущов, М. М. Алмазоподобные нанокompозитные покрытия a-C:H:Cr – структурное состояние, механические и трибологические свойства / М. В. Атаманов, Е. А. Марченко, М. И. Петржик, И. С. Левин. – Текст: непосредственный // Изв. РАН. Сер. физич. – 2014. – Т. 78, № 10. – С. 1257–1265.
2. Khrushchov M.M., Marchenko E.A., Levin I.S., Avdyukhina V.M., Kashorkin E.V., Atamanov M.V., Petrzhik M.I., Obraztsova E.A. Structure and tribological behavior of titanium-based coatings deposited by reactive magnetron sputtering // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V. 1313. – P. 012028.
3. Авдюхина, В. М. Структурные особенности и функциональное поведение вакуумных покрытий, полученных реактивным магнетронным распылением кремния / В. М. Авдюхина, М. М. Хрущов, И. С. Левин, Е. В. Кашуркин, Д. А. Суляндзига. – Текст: непосредственный // Ученые записки Физического факультета МГУ. – 2020. – № 4. – С. 2040701-1–2040701-8.





## СВОЙСТВА РАСТВОРОВ И ПЛЕНОК ХИТОЗАНА, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ВОДЫ

### Стась Ирина Евгеньевна

кандидат химических наук,  
доцент кафедры физической  
и неорганической химии  
ФГОУ ВО «Алтайский государственный университет»  
Барнаул, Россия  
E-mail: irinastas@gmail.com

### Попова Екатерина Александровна

аспирант кафедры физической  
и неорганической химии  
ФГОУ ВО «Алтайский государственный университет»  
Барнаул, Россия  
E-mail: yekaterina.p0115@gmail.com

Цель исследования: получение пленок хитозана с улучшенными эксплуатационными свойствами путем использования в качестве растворителя активированной электромагнитным полем радиочастотного диапазона воды.

Объекты исследования: активированная электромагнитным полем радиочастотного диапазона (90-200 МГц) вода, а также полученные с ее использованием растворы и пленки хитозана.

Методы исследования: в работе использованы кондуктометрия, потенциометрия, тензиометрия, вискозиметрия, турбидиметрия, гравиметрия, ИК-спектроскопия. Для определения деформационно-прочностных характеристик пленок использована универсальная испытательная машина с электромеханическим приводом УТС-110М.

Основные результаты исследования: изучено влияние предварительной обработки воды электромагнитным полем различных частот на свойства уксуснокислых (2 %) растворов хитозана в диапазоне концентраций 0,1-2,0 %. Установлено снижение поверхностного натяжения на 2,0-5,2 %, а также увеличение светопропускания на 10-30 % и вязкости растворов на 24-37 % при концентрации хитозана 1,0-2,0 %. Данные эффекты в максимальной степени выражены для частот 70, 90, 110 и 130 МГц. Из 2 % растворов хитозана приготовлены пленки и определены их деформационно-прочностные и сорбционные по отношению к парам воды характеристики. Наибольшее увеличение прочности при разрыве установлено для пленок хитозана, полученных из растворов, приготовленных на воде, активированной электромагнитным полем частотой 70 и 110 МГц (38 и 23 % соответственно). Установлено снижение гигроскопичности пленок и увеличение интенсивности полос в ИК-спектрах пленок, полученных при использовании активированной воды.

**Ключевые слова:** пленки хитозана, деформационно-прочностные характеристик, ИК-спектры, электромагнитное поле, частота.

## CHITOSAN SOLUTIONS AND FILMS PROPERTIES OBTAINED USING ELECTROMAGNETIC-ACTIVATED WATER

### Irina Ye. Stas

Associate Professor of Physical and Inorganic  
Chemistry Departments,  
Altai State University  
Barnaul, Russia  
E-mail: irinastas@gmail.com

### Ekaterina A. Popova

Postgraduate student of the Department  
of Physical and Inorganic Chemistry,  
Altai State University  
Barnaul, Russia  
E-mail: yekaterina.p0115@gmail.com

Purpose of research: to obtain chitosan films with improved performance properties by using water activated by an electromagnetic field of the radio frequency range as a solvent.

Objects of research: water activated by an electromagnetic field of the radio frequency range (90-200 MHz), as well as chitosan solutions and films obtained using it.

Methods of research: conductometry, potentiometry, densitometry, viscometry, turbidimetry, gravimetry, IR spectroscopy are used in the work. To determine the deformation and strength characteristics of the films, a universal testing machine with an electromechanical drive УТС-110М was used.

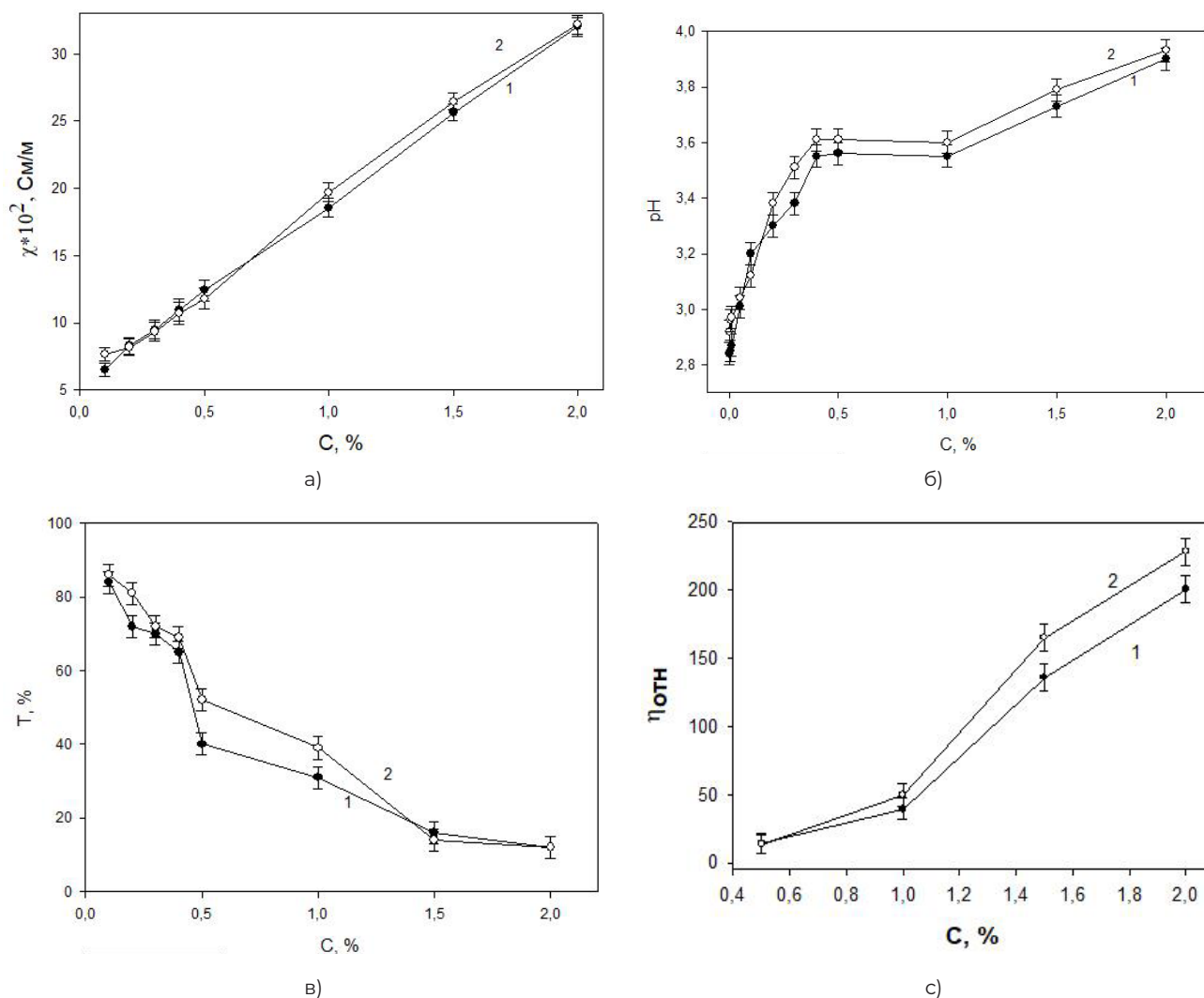
Main results of research: The effect of pretreatment of water with an electromagnetic field of various frequencies on the properties of acetic acid (2 %) chitosan solutions in the concentration range of 0.1-2.0% has been studied. A decrease in surface tension by 2.0-5.2 % was found, as well as an increase in light transmission by 10-30 % and viscosity of solutions by 24-37 % at a chitosan concentration of 1.0-2.0 %. These effects are most pronounced for frequencies of 70, 90, 110 and 130 MHz. Films were prepared from 2 % chitosan solutions and their deformation-strength and sorption characteristics with respect to water vapor were determined. The greatest increase in tensile strength was found for chitosan films obtained from solutions prepared on water activated by an electromagnetic field with frequencies of 70 and 110 MHz (38 and 23 %, respectively). A decrease in the hygroscopicity of films and an increase in the intensity of bands in the IR spectra of films obtained using activated water were found.

**Keywords:** chitosan films, deformation and strength characteristics, IR spectra, electromagnetic field, frequency.

## ВВЕДЕНИЕ

Наибольшее распространение пленки хитозана получили в качестве биоразлагаемых упаковочных материалов, а также в медицине (раневые покрытия, подложка для выращивания клеток, покрытия на протезы и др.).

Однако крупномасштабное применение хитозана сдерживается недостаточно хорошими физико-механическими свойствами чистых хитозановых пленок. В частности, они имеют недостаточную прочность, эластичность, высокую растворимость в водных средах. В настоящее время ведутся исследования,



**Рисунок 1.** Зависимость свойств уксуснокислых (2 %) растворов хитозана (1 – контроль; 2 –  $f = 130$  МГц) от концентрации ( $T = 296$  К): а – удельная электропроводность; б – pH; в – светопропускание; г – относительная вязкость.

посвященные увеличению прочности пленок хитозана, большинство из которых связаны с внесением в готовые пленки или формовочный раствор дополнительных компонентов [1-5], что часто приводит к повышению стоимости пленок.

При получении полимерного материала основными технологическими характеристиками являются степень набухания, критическая концентрация гелеобразования, вязкость и поверхностное натяжение растворов ВМС. Большинство способов регулирования данных параметров относятся к химическим (изменение степени замещения при синтезе, кислотности среды и содержания электролитов) и физическим (ультразвук, степень механической деструкции сырья) [6-8].

Достижение требуемых технологических характеристик путем использования в качестве растворителя облученной электромагнитным полем (ЭМП) воды может существенно

сократить себестоимость продукта как за счет исключения применения химических реактивов, так и за счет снижения энергетических затрат. Проведенные ранее эксперименты показали, что обработка воды ЭМП радиочастотного диапазона (30-200 МГц) приводит к изменению ее свойств. Повышается удельная электропроводность и поверхностное натяжение, теплота испарения, изменяется кислотность среды, снижается ее смачивающая способность [9-11]. Увеличение поверхностного натяжения, теплоты испарения и работы когезии свидетельствует об изменении структуры воды, а именно – о ее упрочнении. Изменение структуры водной среды не может не сказаться на взаимодействии ее молекул с молекулами или ионами растворенных в ней веществ. В частности, проведенные ранее исследования показали, что при использовании в качестве растворителя структурированной ЭМП воды наблюдается повышение вязкости

**Таблица 1.** Свойства 2 % растворов хитозана в 2 % уксусной кислоте, приготовленных с использованием воды, активированной ЭМП различных частот.

Свойство	Частота, МГц				
	контроль	70	90	110	130
$\kappa \cdot 10^2, \text{ См/м}$	31,9±0,2	31,7±0,1	31,6±0,1	32,2±0,1	32,2±0,1
$\text{pH}$	3,90±0,01	3,94±0,01	3,93±0,02	3,93±0,02	3,93±0,01
$T, \%$	18±2	20±3	22±3	19±2	21±1
$\sigma \cdot 10^3, \text{ Н/м}$	56,1±0,3	53,0±0,4	53,8±0,2	53,5 ±0,4	53,7±0,5
$\eta_{\text{отн}}$	186±3	251±3	210±2	245±5	242±6

**Таблица 2.** Влажность пленок, полученных из 2 % уксуснокислых растворов хитозана.

Влажность, %				
контроль	f = 70 МГц	f = 90 МГц	f = 110 МГц	f = 130 МГц
6,3±0,1	6,0±0,1	6,5±0,2	6,3±0,1	6,1±0,3

растворов таких биополимеров, как желатин, агар-агар, цитрусовый пектин, карбоксиметилцеллюлоза и ее натриевая соль [12-14]. Кроме того, установлено, что в данных растворах золь-гель переходы происходят при более низких концентрациях полимера и более высоких температурах. Используя активированную ЭМП воду, можно влиять на скорость и степень набухания в ней различных биополимеров [15-16].

Исходя из ранее полученных данных, можно было предположить, что изменение сольватирующей способности активированной воды приведет к изменению структуры растворов хитозана, а следовательно, структуры и свойств пленок данного биополимера. Получение таких пленок и исследование их свойств явилось целью данной работы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

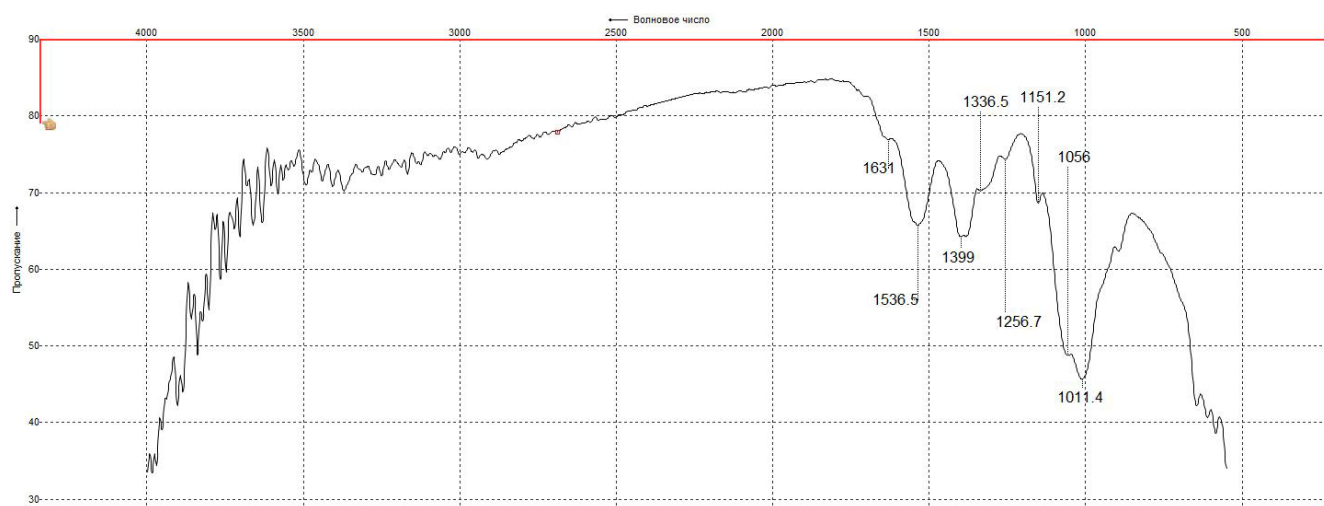
### Методы изучения свойств растворов и пленок хитозана

Для получения растворов хитозана, из которых затем изготавливали пленки, использовали деионизованную воду, удельная электропроводность которой составляла  $1,1 \cdot 10^{-4}$  См/м, уксусную кислоту марки х.ч. и хитозан производства ЗАО «Вектон» (г. Санкт-Петербург). Растворимость хитозана, а также свойства получаемых из его растворов пленок зависят от молекулярной массы и степени его деацетилирования. Молярную массу полимера определяли вискозиметрическим методом из линейной формы уравнения

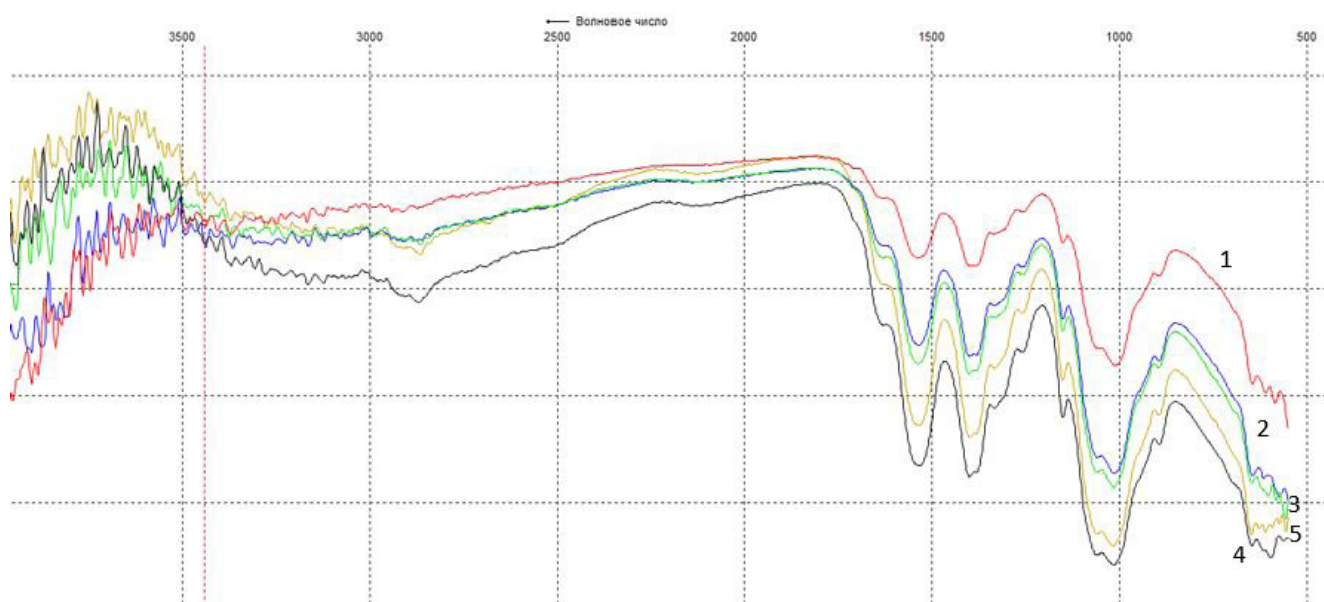
Марка-Хаувинка [17]. Для растворов хитозана при малых концентрациях коэффициент  $\alpha$ , определяющий форму макромолекул в растворе, равен 0,85, а константа  $K = 1,38 \cdot 10^{-4}$  [18]. Согласно расчетам, средняя молярная масса хитозана составила  $3,4 \cdot 10^4$  г/моль. Степень деацетилирования, найденная методом потенциометрического титрования [19], составила 84,8 %. Хитозан нерастворим в воде, поэтому в качестве растворителя используют растворы кислот, в частности, уксусной. Предварительные исследования показали, что наиболее прочные пленки можно получить из 2 % раствора хитозана в 2 % растворе уксусной кислоты, что соответствует литературным данным [20].

Активацию воды электромагнитным полем (ЭМП) заданной частоты проводили в течение 3-х часов в ячейке емкостного типа вместимостью 100 см<sup>3</sup> с помощью генератора ГЗ-119 (Россия), позволяющего варьировать частоту поля в интервале 30-200 МГц. Выходная мощность генератора – 1 Вт. Каждая порция воды подвергалась воздействию поля только одной определенной частоты. В результате полевого воздействия повышалась электропроводность воды в 2-5 раз, pH – на 0,1-0,5 единиц и поверхностное натяжение – на 5-8 %. Степень изменения свойств воды зависела от частоты ЭМП.

Пленки хитозана получали наливным способом. Для этого 10 мл 2 % уксуснокислого раствора хитозана помещали в плоские кюветы длиной 15 см и шириной 2,5 см,



**Рисунок 2.** ИК-спектр пленки хитозана, полученной из 2 % уксуснокислого раствора хитозана.



**Рисунок 3.** ИК-спектры пленок хитозана, полученных из 2 % уксуснокислых растворов хитозана: 1 – контроль; 2 – активированная вода (70 МГц); 3 – активированная вода (90 МГц); 4 – активированная вода (110 МГц); 5 – активированная вода (130 МГц).

изготовленные из полистирола. Пленки высушивали до постоянной массы при температуре  $296 \pm 2$  К (5 суток) и отделяли от подложки.

Влажность пленок определяли гравиметрическим методом по разнице массы образца до и после высушивания. Высушивание пленок до постоянной массы проводили в сушильном шкафу при постоянной температуре ( $50^\circ$  С).

Определение прочности полимерных пленок проводили на универсальной испытательной машине с электромеханическим приводом УТС-110М по ГОСТ 7855-84. Перед проведением испытаний образцы выдерживали при температуре  $296 \pm 2$  К, относительной

влажности  $50 \pm 5\%$  не менее 16 часов. Образцы имели форму прямоугольника шириной 2,5 см и длиной 15 см [21]. Модуль упругости  $E$  (модуль Юнга) рассчитывали по закону Гука:  $E = \sigma/\varepsilon$ , где  $\sigma$  – механическое напряжение, МПа;  $\varepsilon$  – относительное удлинение пленок при разрыве, % [22].

Сорбцию паров воды проводили по методике, описанной в [23]. Для этого образец пленки хитозана площадью  $4 \text{ см}^2$  помещали на сетчатую подложку, установленную над уровнем воды на расстоянии 2 см в герметично закрывающейся ёмкости, на 1/5 заполненной деионизированной водой. Пленки выдерживали в парах воды в герметично

Таблица 3. Влажность пленок, полученных из 2 % уксуснокислых растворов хитозана.

Параметры	Частота, МГц				
	контроль	70	90	110	130
Растягивающая нагрузка, Н	32,0±0.5	44,3±0.4	26,8±0.5	39,4±0.6	34,0±0.4
Механическое напряжение, МПа	410±4	567±6	362±4	558±7	471±6
Удлинение пленки при разрыве, мм	0,50±0,02	1,01±0.04	0,41±0,03	0,84±0,07	0,59±0,07
Относительное удлинение пленок при разрыве, %	2,3	3,6	2,00	3,9	2,7
Модуль упругости, МПа	178	159	185	150	176

закрытых сосудах при постоянной температуре. Количество поглощенной пленками воды определяли гравиметрически через равные промежутки времени (30 мин) в течение 6 часов.

Поскольку степень изменения свойств растворов полимеров зависит от частоты ЭМП, то предварительно были определены свойства растворов хитозана различной концентрации, полученных с применением активированной ЭМП различных частот воды. При увеличении концентрации хитозана от 0,1 до 2,0 % наблюдалось увеличение удельной электропроводности ( $\kappa$ ), рН, относительной вязкости ( $\eta$ ), а также снижение светопропускания (Т, %) и поверхностного натяжения ( $\sigma$ ) растворов (рис. 1). С увеличением концентрации хитозана электропроводность и рН растворов возрастали. Однако существенных отличий в электропроводности и рН между исследуемыми и контрольными образцами не зафиксировано. Светопропускание растворов с увеличением концентрации резко снижалось. Для растворов, приготовленных с помощью активированной воды, оно имело более высокие значения при  $C \leq 0,5$  % для частот 70, 90 и 110 МГц. Для  $f = 130$  МГц при  $C \leq 1,0$  % эффект полевого воздействия был выражен в гораздо большей степени –  $\Delta T_{\max} = 30,0$  % ( $C = 0,5-1,0$  %), что может быть связано с разворачиванием клубков полимера и стремлением макромолекул хитозана приобрести линейную форму.

При увеличении концентрации вязкость растворов резко возрастала. При концентрации хитозана  $> 0,5$  % вязкость растворов, приготовленных с использованием активированной воды, превышала вязкость контрольных

образцов. Наибольший эффект зафиксирован для частот ЭМП 70, 90, 110 и 130 МГц и концентрации хитозана 1-2 %. Увеличение вязкости растворов составило 24-37%. Данный эффект также обусловлен разворачиванием клубков макромолекул хитозана. Получение более вязких растворов облегчает формирование из них пленок. Как отмечается в [24], при формировании полимерного изделия (пленки, волокна) определяющее действие на технологический процесс и свойства готового материала оказывают силы поверхностного натяжения формовочного раствора. Снижение поверхностного натяжения приводит к улучшению растекания раствора по твердой поверхности, что способствует формированию пленок. От поверхностного натяжения зависят также физико-химические и физико-механические свойства полимерных композиционных материалов [25]. Проведенные исследования показали снижение поверхностного натяжения исследуемых растворов по сравнению с контрольными на 2,0-5,4 %, в наибольшей степени выраженное для частот, приведенных выше.

В таблице 1 приведены свойства 2 % растворов хитозана в 2 % уксусной кислоте, приготовленных с использованием воды, активированной ЭМП различных частот.

Из соответствующих растворов (табл. 1) были приготовлены пленки хитозана по методике, описанной выше. Толщина пленок – 3-4 мкм. Гравиметрическим способом была определена влажность полученных пленок (табл. 2).

Наблюдались незначительные отличия влажности пленок, приготовленных с использованием активированной воды, как в

Таблица 4. Начальная скорость сорбции паров воды пленками хитозана (Т = 296 К).

Частота f, МГц	контроль	70	90	110	130
$\frac{dm}{dt} \cdot 10^3$ , г/мин	5,2±0,1	4,2±0,1	6,1±0,2	5,3±0,3	5,1±0,2

большую, так и в меньшую сторону по сравнению с контрольными образцами.

ИК-спектры пленок хитозана были получены с помощью спектрофотометра Infracum FT-801.

На ИК-спектре пленки хитозана в области 3700-3400 см<sup>-1</sup> наблюдается широкая полоса, отвечающая валентным колебаниям ОН- и NH-связей (рис. 2). Ее положение и ширина свидетельствуют о наличии межмолекулярных водородных связей, образующихся с участием этих функциональных групп. Слабая полоса 3102-3077 соответствует валентным колебаниям NH<sub>3</sub><sup>+</sup>-групп. В области 1700-1500 см<sup>-1</sup> проявляются полосы с максимумами 1536 см<sup>-1</sup> (амид I) и 1399 см<sup>-1</sup> (амид II), относящиеся к ацетилированной аминокгруппе и подтверждающие, что образцы хитозана деацетилированы не полностью. Пик с максимумом 1336 см<sup>-1</sup> отвечает деформационному колебанию ОН-связи. Пик при 1256 см<sup>-1</sup> соответствует первичной аминокгруппе (NH<sub>2</sub>). Между 1056 и 1011 см<sup>-1</sup> наблюдаются широкие полосы поглощения, соответствующие гликозидной связи С-О-С [26,27].

На рис. 3 представлены ИК-спектры пленок, полученных с использованием неактивированной и активированной ЭМ полем различных частот воды.

В ИК-спектрах пленок хитозана, полученных из растворов, приготовленных на активированной воде, наблюдалось увеличение интенсивности спектральных полос, а также существенное изменение положения и ширины полосы в области свыше 3450 см<sup>-1</sup>, что соответствует изменению числа и прочности водородных связей с участием ОН- и NH- групп. Следовательно, можно предположить возникновение дополнительных межмолекулярных водородных связей в пленках, полученных с использованием активированной воды. Смещения полос в остальной области спектра не наблюдалось, однако их интенсивность для облученных растворов возрастала, что в наибольшей степени проявлялось для частоты ЭМП, равной 110 МГц (рис. 3). Выявленный эффект, возможно, связан с изменением системы водородных связей хитозана и снятием запретов на колебательные переходы.

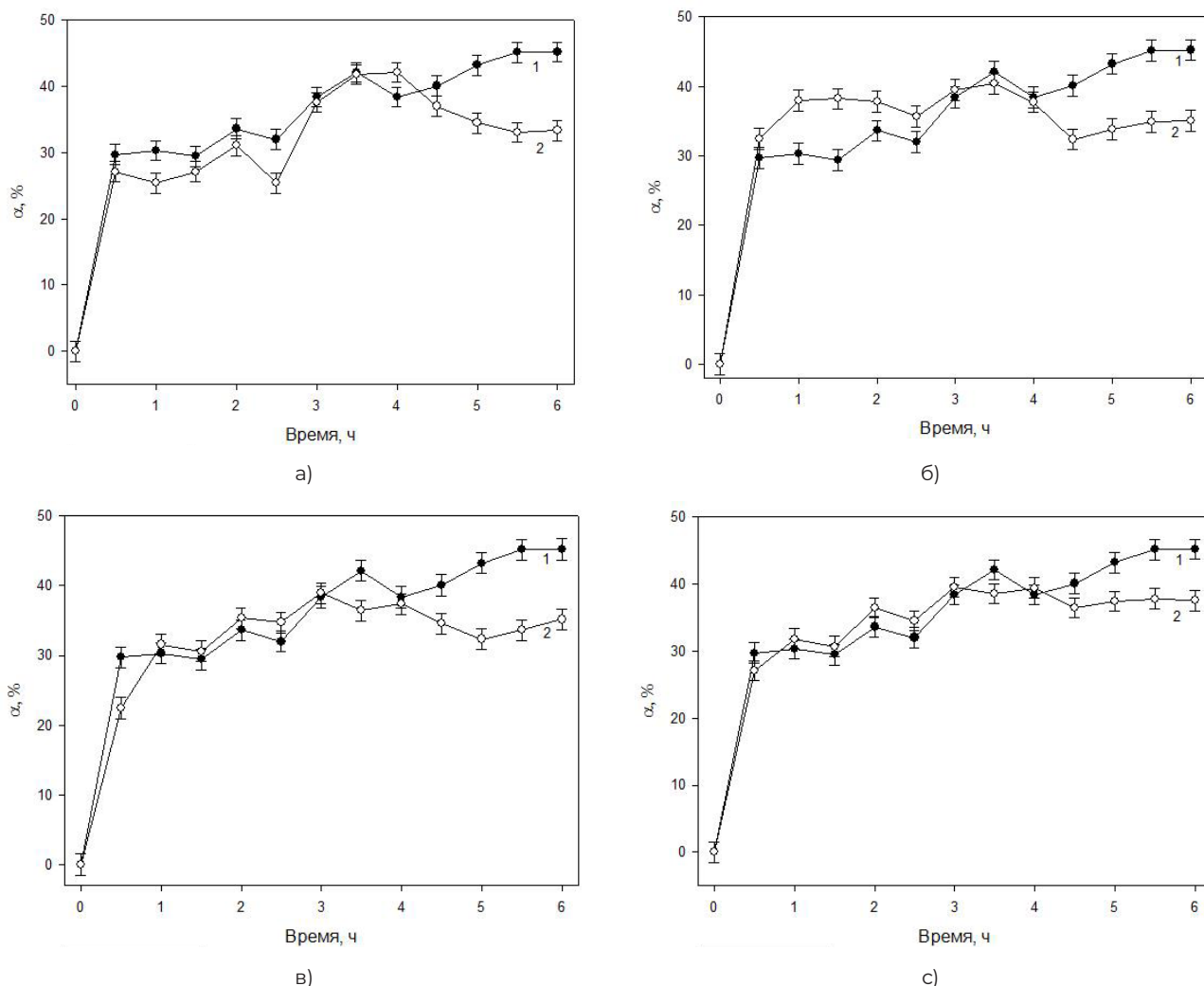
Определены прочностные и деформационные свойства пленок хитозана. Результаты представлены в таблице 3.

Наблюдалось изменение прочности пленок хитозана, полученных с использованием воды, подвергшейся воздействию электромагнитного поля различных частот. Максимальное увеличение прочности при разрыве происходило в случае, когда вода подвергалась воздействию ЭМП частотой 70 и 110 МГц. Оно составило 38 и 23 %. Установлено также снижение прочности пленок на 12 % при воздействии поля частотой 90 МГц. Удлинение пленок при разрыве также возросло по сравнению с контрольными образцами, что свидетельствует о повышении эластичности исследуемых образцов. Модуль упругости характеризует противодействие полимера изменению размера и формы под действием внешней силы. Судя по полученным значениям, полученные пленки относятся к средним по жесткости (10<sup>2</sup><E<10<sup>3</sup> МПа) [28]. Для пленок, полученных с использованием воды, активированной ЭМП частотой 70 и 110 МГц, наблюдалось снижение модуля Юнга на 10 и 16 % соответственно, что является следствием увеличения эластичности пленок. Следовательно, такие пленки способны выдерживать большие деформационные нагрузки, без изменения эксплуатационных свойств. Наблюдаемые явления могут быть следствием изменения степени взаимодействия активированной воды с макромолекулами хитозана, что усиливает их взаимодействие между собой. В результате из таких растворов получаются более прочные пленки.

Сорбционная способность пленок непосредственно связана с их физико-механическими свойствами. Показано, что поглощение большого количества жидкости пленками приводит к уменьшению их прочности и может привести к полному растворению пленочного образца. Полное растворение в водных средах наблюдается на третьи сутки. Этого времени недостаточно, например, для формирования костной ткани, для заживления внутренних ран. Также уменьшение прочности пленок, сорбирующих большое количество жидкости, может привести к разрыву культивируемой ткани при переносе с подложки на место трансплантации [29, 30].

Была изучена сорбция паров воды пленками хитозана, полученными с использованием активированной электромагнитным





**Рисунок 4.** Кинетические кривые набухания пленок хитозана, полученных из 2% уксуснокислых растворов хитозана ( $T=296\text{ K}$ ): 1 – контроль; 2 – активированная вода: а) 70 МГц; б) 90 МГц; в) 110 МГц; г) 130 МГц.

полем воды. Поглощая воду, пленки хитозана ограниченно набухают. Равновесная степень набухания устанавливалась в течение 4,5-5 часов. При этом через некоторые промежутки времени (1,5; 2,5 и 4 ч) наблюдалось уменьшение степени набухания, т. е. пленка отдавала часть поглощенной ранее воды (рис. 4). Это явление описано в литературе [31] и объясняется перестройкой макромолекул относительно друг друга в образце набухающего полимера.

В первые 4 часа отличия в количестве поглощенных паров воды между пленками, полученными из растворов, приготовленных на активированной ЭМП воде, и контрольными образцами были незначительны. При этом максимальная скорость сорбции паров воды, найденная из наклона кинетических кривых, наблюдалась в первые 30 мин (рис. 4) и заметно отличалась для пленок, приготовленных с использованием активированной воды.

Минимальная скорость набухания (сорбции паров воды) соответствовала частоте 70 МГц, максимальная – 90 МГц.

Однако при достижении равновесного значения степени набухания наблюдались существенные отличия, по сравнению с контрольными образцами. Масса поглощенных паров воды и, соответственно, степень набухания пленок на активированной ЭМП всех исследованных частот оказались существенно ниже. Максимальное снижение сорбции паров воды соответствовало частоте 70 МГц – 26,6% (рис. 4, табл. 5).

Согласно классификации пленок, используемых в качестве перевязочных материалов, предложенной авторами [3], на основании массы поглощенной воды 1 граммом пленки, полученные пленки можно отнести к перевязочным материалам для низкоэкссудующих ран (менее 4 г воды на 1 г пленки).

**Таблица 5.** Масса поглощенных паров воды в расчете на 1г пленки хитозана в различные моменты времени и предельная степень их набухания  $\alpha$  ( $T = 296$  К).

Время, ч	Масса воды, поглощенной 1 г пленки хитозана, г				
	контроль	f= 70 МГц	f= 90 МГц	f= 110 МГц	f= 130 МГц
1	0,303±0,008	0,254±0,005	0,380±0,008	0,316±0,004	0,318±0,009
6	0,452±0,007	0,333±0,006	0,350±0,008	0,352±0,005	0,375±0,008
$\Delta m, \%$	-	26,3	22,6	22,1	17,0
$\alpha, \%$	44,8±0,5	32,9±0,4	34,7±0,3	34,9±0,7	37,3±0,5

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что, обрабатывая воду, используемую для приготовления растворов хитозана, ЭМП полем и варьируя его частоту, возможно получение растворов с более высокой вязкостью и меньшим поверхностным натяжением, что облегчает получение из них более прочных и эластичных пленок без внесения химических добавок. Наилучшие результаты получены при активации воды ЭМП частотой 70 и 110 МГц. Полученные пленки характеризуются меньшей гигроскопичностью, что улучшает их эксплуатационные качества. Причиной изменения свойств растворов и пленок хитозана при использовании активированной воды может быть изменение степени гидратации полярных групп хитозана, а также степени их диссоциации вследствие структурной реорганизации водной среды, что, в свою очередь, приводит к изменению конформации макромолекул полимера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гальбрайт, Л. С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение / Л. С. Гальбрайт. – Текст: непосредственный // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 1. – С. 51-56.
2. Скрыбина, К. Г. Хитин и хитозан: получение, свойства, применение / К. Г. Скрыбина, Г. А. Вихорева, В. П. Варламова. – М.: Наука, 2002. – 368 с. – Текст: непосредственный.
3. Zhou, X. Preventive effect of gelatinizedly-modified chitosan film on peritoneal adhesion of different types /X. Zhou – Direct text // World J. Gastroenterol. – 2007. – V. 13. – № 8. – P. 1262 – 1267.
4. Lauder, C. I.W. Use of a Modified Chitosan-Dextran Gel to Prevent Peritoneal Adhesions in a Rat Model / C. I. W. Lauder, A. Strickland, G. J. Maddern – Direct text // J. Surg. Res. Elsevier Inc. – 2011. – V. 171. – № 8. – P. 877 – 882.
5. Ahmed, S., Ikram S. Chitosan Based Scaffolds and Their Applications in Wound Healing Ahmed / S. Ahmed, S. Ikram – Direct text // Achiev. Life Sci. Far Eastern Federal University. – 2016. – V.10. – № 1. – P. 732–737.
6. Liu, T. M. Enhanced biocompatibility and antibacterial property of polyurethane materials modified with citric acid and chitosan / T. M. Liu, X. Z. Wu, Y. R. – Direct text // J. Biomater. Sci. Polym. Ed. – 2016. – V. 27. – №12. – P. 1211 – 1231.
7. Chatelet C., Damour O., Domard A. Influence of the degree of acetylation on some biological properties of chitosan films // Biomaterials. 2001. V. 22. №3. P. 261–268.
8. Паламарчук, И. А. Кооперативные взаимодействия в системе лигносульфонат-хитозан / И.А. Паламарчук, Н.А. Макаревич, О.С. Бровка. – Текст: непосредственный // Химия растительного сырья. – 2008. – № 4. – С. 29-34.
9. Stas, I. Ye. Effect of ultrahigh-frequency electromagnetic field on the properties of associated liquids /I. Ye. Stas, S. S. Pavlova – Direct text //Bulletin of the University of Karaganda. – Chemistry. – 2020. – №4 (100). – P.75-84.
10. Шарлаева Е. А. Изменение когезионных и адгезионных характеристик воды как результат электромагнитного воздействия / В. Ю. Чиркова, Е. А. Шарлаева, И. Е. Стась. – Текст: непосредственный // Известия вузов. Серия: Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 222-231.
11. Chirkova, V.Yu. Temperature and the enthalpy of water vaporization exposed to high frequency electromagnetic field / V. Yu. Chirkova, Ye. A. Sharlayeva, I. Ye. Stas – Direct text //Bulletin of the University of Karaganda – Chemistry. – 2019. – Vol. 94. – № 2. – P.51-55.
12. Стась, И. Е. Вязкость растворов желатина, приготовленных на облученной электромагнитным полем воде / И. Е. Стась, В. Ю. Чиркова, М. И. Минин – Текст: непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2016. – № 2. – С. 32-36.
13. Стась, И. Е. Влияние электромагнитной обработки воды на вязкость и оптические характеристики растворов натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы /



- И. Е. Стась, А. В. Михейлис – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 140-144.
14. Шипунов, Б. П. Аномальная реология растворов агар-агара, приготовленных с использованием воды, подвергнутой воздействию электромагнитного поля / Б. П. Шипунов, В. И. Маркин. – Текст: непосредственный // Химия растительного сырья. – 2020. – № 1. – С. 73-80.
15. Stas, I. Ye. Effect of pH and water irradiation with the electromagnetic field on the gelation of gelatin solutions / I. Ye. Stas, S. S. Pavlova – Direct text // Bulletin of the University of Karaganda. Chemistry. – 2020. – № 4 (100). – P. 96-103.
16. Стась, И. Е. Интегральная теплота набухания желатина в воде, подвергшейся воздействию электромагнитного поля ультравысоких частот / И. Е. Стась – Текст: непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2021. – № 1. – С. 42-47.
17. Худякова, Т. А. Кондуктометрический метод анализа: учебное пособие / Т. А. Худякова, А. П. Крешков. – М.: Высшая школа, 1975. – 207 с. – Текст: непосредственный.
18. Fei, Liu X. Antibacterial action of chitosan and carboxymethylated chitosan / Liu X. Fei – Direct text // J. Appl. Polym. Sci. – 2001. – V. 79. – №7. – P. 1324-1335.
19. Shahidi, F. Chitin, chitosan, and co-products: chemistry, production, applications, and health effects / F. Shahidi, R. Abuzaytoun – Direct text // Adv. Food Nutr. Res. – 2005. – V.49. – P. 93 – 135.
20. Shukla, S. K. Chitosan-based nanomaterials: A state-of-the-art review /S. K. Shukla – Direct text // Int. J. Biol. Macromol/ – 2013. -№1. – P. 1-13.
21. ГОСТ 28840-90 Машины разрывные и универсальные для статических испытаний металлов и конструкционных пластмасс. – М.: Изд-во стандартов, 1990. С. 39-48.
22. Савин, С. Н. Экспериментальное определение модуля Юнга полимерных материалов / С. Н. Савин. – Текст: непосредственный // Вестник ОНУ. Серия: Химия. – 2016. – Т. 21, № 1. – С. 72-79.
23. Moorjani, M. N. Parameters affecting the viscosity of chitosan from prawn waste / M. N. Moorjani, V. Achutha, D. I. Khasim – Direct text // J. Food Sci. Technol. – 1975. – V. 12. №2. – P. 187 – 189.
24. Козырева, Е. В. Поверхностное натяжение растворов хитозана /Е. В. Козырева, О. В. Юкина, А. Б. Шиповская. – Текст: электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6851> (дата обращения: 17.01.2024).
25. Полимерные пленки / Под редакцией Е. М. Абдель-Бари; Пер. с англ. под ред. Г. Е. Заикова. – СПб.: Профессия, 2006. – 352 с. – Текст: непосредственный.
26. Большаков, И. Н. Электронные и колебательные спектры хитозана / И. Н. Большаков, А. Г. Сизых, К. В. Сурков, Н. С. Дуреева, А. В. Шунтиков. – Текст: непосредственный // Хитин и хитозан: материалы VIII междунар. конф. Казань. 2006. – С. 86-89.
27. Ихтиарова, Г. А. Получение хитина и хитозана из медоносного местного пчелиного подмора *Apis Mellifera* / Г. А. Ихтиарова, Ш. Б. Маматова, Ф. Н. Курбанова. – Текст: непосредственный // Universum: Технические науки. – 2018. – № 5.
28. Гартман, О. Р. Технология и свойства хитозана из рачка гаммаруса / О. Р. Гартман, В. М. Воробьева. – Текст: непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-5. – С. 1188-1192.
29. Способ получения биоразлагаемой пленки на основе хитозана и крахмала для медицины: пат. 2656502 Рос. Федерация: МПК7 С 08 J 5/18, А 61 L 15/22. / Фадеева И.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБУН Ин-т металлургии и материаловедения РАН. – № 2017127781; заявл. 03.08.2017; обубл. 05.06.2018, Бюл. №16. 6 с.
30. Панарин, Е. Ф. Матрица для культивирования клеток кожи человека на основе природных полисахаридов – хитина и хитозана / Е. Ф. Панарин, Л. Ф. Нудьга, В. А. Петрова, А. М. Бочек, Г. Л. Гофман. – Текст: непосредственный // Клеточная трансплантология и тканевая инженерия. – 2009. – Т. 4, № 3. – С. 42-46.
31. Беспалова, Ж. И. Растворы высокомолекулярных соединений. Коллоидная химия полимеров: учебное пособие / Ж. И. Беспалова, В. И. Любушкин, И. А. Пятерко, В.А. Клушин. – Новочеркасск: Изд-во ЮР-ГТУ, 2009. – 83 с. – Текст: непосредственный.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМЛИ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ И ПАЛЕОДАНЫМ В ФАЗО-ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ, СОГЛАСОВАННЫХ С ИЗМЕНЕНИЯМИ БАРИЦЕНТРИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ СОЛНЦА. ЧАСТЬ 1

**Алексеев Валерий Иванович**

доктор технических наук,  
независимый исследователь  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: v\_alekseev\_1941@internet.ru

Актуальность исследований обусловлена необходимостью установления первопричины изменения климата на Земле и прогнозирования изменений гелиокосмических, климатических переменных, природных катастроф по инструментальным измерениям и палеоданным, как временных рядов, на длительные интервалы временного горизонта в фазовой области с учетом их цикличности и взаимобусловленности изменений.

Цель исследования: применение вейвлетного фазового метода анализа временных рядов для установления силы влияния барицентрических движений Солнца на изменчивость гелиокосмических, климатических переменных, вулканических извержений и парниковых газов, уровня океана и его энергетики, природных катастроф и пожаров, высокоточное прогнозирование переменных в фазо-временной области на длительные горизонты в сотни и тысячи лет по инструментальным измерениям и палеоданным.

Объекты: временные ряды изменений гелиокосмических и климатических переменных, природных катастроф и пожаров, кривые изменений климатических изменений, полученных инструментальными измерениями и анализом ледовых кернов в Антарктике и донных отложений в Антарктике.

Методы исследования: вейвлетный фазо-частотный и фазо-временной анализы изображений гелиокосмических и климатических переменных, природных катастроф и пожаров; вычисление согласованностей изменений выбранных групп на множестве фазо-временных характеристик переменных в скользящем режиме.

Основные результаты исследования: на изображениях вейвлетных фазо-временных функций многих переменных, построенных по наблюдениям в 1600–2010 гг., найдены периоды Жозе в ~178 лет, которые содержатся в изменениях характеристик барицентрических движений Солнца (Baricentr), солнечной активности, солнечной постоянной,  $CO_2$ ,  $N_2O$ , Эль-Ниньо, солнечного ветра, уровня Каспийского моря, температуры в Гренландии, скорости вращения Земли, скорости снегонакопления на Индоокеанском секторе Антарктики, глобальной температуры; цикличность изменений гелиокосмических и климатических переменных согласованы с изменениями Baricentr; наблюдается значительное отличие в согласованности изменений фазо-временных характеристик переменных, полученных на южных жарких и северных холодных широтах планеты, примерно в 2,1 раза; в северной части планеты изменения переменных более хаотичны, обусловленные разным влиянием изменений переменной Baricentr, магнитных полей Солнца и Земли на изменчивость переменных на разных широтах планеты; наблюдаются значительные изменчивости, резонансы фазовых характеристик гелиокосмических и климатических переменных, вулканизма и парниковых

## FORECASTING CHANGES IN THE EARTH'S CLIMATE SYSTEM BY INSTRUMENTAL MEASUREMENTS AND PALEODATA IN THE PHASE- TIME REGION, CONSISTENT WITH CHANGES IN THE BARYCENTRIC MOTIONS OF THE SUN. PART 1

**Valery I. Alekseev**

Doctor of Technical Sciences,  
Independent Researcher  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: v\_alekseev\_1941@internet.ru

The relevance of the research is due to the need to establish the root cause of climate change on Earth and predict changes in heliocosmic, climatic variables, natural disasters by intramental measurements and paleodata, as time series, for long intervals of the time horizon in the phase domain, taking into account their cyclicity and interdependence of changes.

Purpose of research: application of the time series analysis method of the time series to establish the strength of the influence of the barycentric movements of the Sun on the variability of heliocosmic, climatic variables, natural disasters and fires, high-precision prediction of variables in the phase-time domain for long horizons of hundreds and thousands of years by instrumental measurements and paleodata.

Objects of research: time series of changes in heliocosmic and climatic variables, natural disasters and fires, curves of changes in climatic changes obtained by analysis of ice cores in Antarctica and bottom sediments in Antarctica.

Methods of research: wavelet phase-frequency and phase-time analysis of images of heliocosmic and climatic variables, natural disasters and fires; calculation of the consistency of changes in selected groups on a set of phase-time characteristics of variables in a sliding mode.

Main results of research: In the images of wavelet phase-time functions of many variables constructed from observations in 1600–2010, Jose periods of ~178 years were found, which are contained in changes in the characteristics of barycentric movements of the Sun, solar activity, solar

constant,  $CO_2$ ,  $N_2O$ , El Nino, solar wind, the level of the Caspian Sea, temperature in Greenland, the speed of rotation of the Earth, snow accumulation rates in the Indian Ocean sector of Antarctica, global temperature; cyclicity of changes in heliocosmic and climatic variables are consistent with changes in Baricentre; there is a significant difference in the consistency of changes in the phase-time characteristics of variables obtained at the southern hot and northern cold latitudes of the planet by about 2.1 times; in the northern part of the planet, changes in variables are more chaotic, due to the different influence of changes in the Baricentre variable, the magnetic fields of the Sun and the Earth on the variability of variables at different latitudes of the planet; significant variability and resonances of the phase characteristics of heliocosmic and climatic variables are observed by changes in Baricentre on the graphs of coordinated changes in groups of variables in the observed and predicted time intervals. The studies reveal multiple oscillatory responses of the Earth's climate system to the impact of the Baricentre variable due to the heterogeneity of its components and the Earth's magnetosphere in space. Changes in the set of phase-time characteristics of variables on the same graph in the observed and predicted time intervals in the interval  $\pm \pi$  are displayed as changes



газов, уровня и энергетики океана изменениями Baricentr на графиках согласованных изменений групп переменных в наблюдаемых и прогнозированных интервалах времени. В исследованиях проявляются множественные колебательные отклики климатической системы Земли на воздействие переменной Baricentr, обусловленные неоднородностью ее составляющих и магнитосферы в пространстве. Изменения множества фазо-временных характеристик переменных на одном графике в наблюдаемых и прогнозированных интервалах времени в интервале  $\pm\pi$  отображаются как изменения автоволн, свойственные самоорганизующимся системам, характеризующие климатические изменения в средах в совокупности влиянием переменной Baricentr

**Ключевые слова:** многосвязная колебательная климатическая система Земли, изображение вейвлетной фазо-временной функции, модель пилообразных изменений фазы, автоволны согласованности изменений групп переменных, резонансы, согласованность прогнозируемой переменной с изменениями барицентрических движений Солнца.

in autowaves characteristic of self-organizing systems, characterizing climatic changes in environments in combination with the influence of the variable Baricentre.

**Keywords:** a multi-connected oscillatory climate system of the Earth, an image of a wavelet phase-time function, a model of sawtooth phase changes, autowaves of consistency of changes in groups of variables, resonances, consistency of the predicted variable with changes in barycentric movements of the Sun.

## ВВЕДЕНИЕ

Понимание процессов, происходящих в солнечно-земной системе, изменений климата и природных сред на Земле тесно связано с пониманием взаимодействий планет солнечной системы, в особенности, взаимодействием Солнца с крупными планетами системы. Энергия, получаемая элементами Земли от Солнца, определяется изменением расстояния между Землей и Солнцем, вариациями элементов орбиты Земли, в частности, угла наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики, эксцентриситета, климатической прецессии [1]. Изменение расстояния между центрами тяжести Земли и Солнца и солнечной энергии, получаемой Землей, определяется барицентрическим движением Солнца, обусловленное влиянием крупных планет солнечной системы: Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна [2]. Энергия, излучаемая Солнцем в единицу времени, определяется его светимостью и активностью. Изменчивости солнечной активности, вулканических и тектонических процессов и климата на Земле, обусловленные барицентрическими движениями Солнца, вращением Земли, показаны в работах [3,4,6-9]. Эти результаты получены с использованием вейвлетного метода вычисления фазо-временных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик исследуемых гелиокосмических и климатических переменных; на использовании одномерного непрерывного вейвлет-преобразования [5]:

$$(1) \quad Wf(a,b) = a^{-1/2} \int_{-R}^R f(t) \psi((t-b)/a) dt -$$

вычисление матрицы комплексных вейвлет-коэффициентов анализируемой функции  $f(t)$ ; где  $R$  – область определения

функции  $f(t)$  переменной времени  $b$ ,  $a$  – задаваемый исследователем масштаб вейвлета  $a = [1 : k]$ , зависящий от значения максимальной частоты сигнала  $f(t)$ ,  $k$  – задаваемое значение масштаба вейвлета;  $\psi(\cdot)$  – комплексный вейвлет 'cgau5'; преобразований:  $\varphi_f(a,b) = \text{angle}[Wf(a,b)]$  – вычисление матрицы фазо-временной функции сигнала  $f(t)$  реализацией формулы (1) в Matlab;  $a1 = \varphi_f(a,\bar{b}) = \text{mean}(\varphi_f(a,b))'$  и  $a1 = \varphi_f(a,\bar{b})$  – вычисления векторов фазо-частотных и фазо-временных характеристик функции  $f(t)$  с знаками транспонирования (знак минус не обязателен для приведения соответствия знака преобразования  $a2 = -\varphi_f(\bar{a},b)$  с изменениями реального сигнала);  $\bar{b}$  и  $\bar{a}$  – знаки усредненной матрицы  $\varphi_f(a,b)$  по столбцам и строкам соответственно. В преобразовании (1) выбор задаваемого исследователем значения  $k$  масштаба  $a$  вейвлета определяет полосу основных (информативных) частот сигнала  $f(t)$ .

Статья является продолжением исследований автора, изложенных в [3, 4, 6-9], в которых изменение климата представляется как изменение взаимодействий множества гелиокосмических и климатических переменных в истории климата в частотной и временной областях (принцип множественности действующих факторов) влиянием барицентрических движений Солнца. Эти характеристики реализованы с использованием вейвлетного фазового метода, обработки результатов наблюдений  $f(t)$ , как сигналов, с применением комплексного вейвлета 'cgau5' в функции одномерного непрерывного вейвлет-преобразования cwt [5] с последующими

вычислениями усредненных векторных фазо-частотных  $a1 = \varphi_f(a, \bar{b})$  и фазо-временных  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$  характеристик переменных. При этом изменение климата проявляется как изменение среднестатистических характеристик гелиокосмических и климатических переменных на воздействия множества действующих факторов, в которых барицентрические движения Солнца проявляется как управляющее движение.

Характерно то, что изменения гелиокосмических и климатических переменных эффективно обнаруживаются применением преобразований  $a1 = \varphi_f(a, \bar{b})$  и  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$ , построением графиков множества этих сравниваемых характеристик в двух системах координат, вычислением матриц корреляций (согласованностей изменений переменных) и коэффициентов к согласованностей к выбранного множества взаимодействующих переменных в заданном окне в скользящем режиме в интервале наблюдений с последующим построением графиков изменений этих коэффициентов.

В любой сфере планирования человеческой деятельности полезны и важны знания ожидаемых будущих значений результатов той или деятельности, динамики процессов, в особенности в эпоху глобального потепления климата с использованием доступных данных в современности, включая и исследования ледяных кернов в Антарктике. Изменения климата на Земле, его многочисленных составляющих, например, природных катастроф, вулканических извержений, землетрясений, уровня и температуры мирового океана, морских течений в океане и лесных пожаров, обусловлены изменениями множества гелиокосмических и климатических переменных в глобальном и региональном масштабах. Для решения этих задач представляется возможным использование вейвлетного фазового анализа наблюдаемых временных рядов, в которых наблюдения (измерения) с разными единицами измерения преобразуются в два множества с единицами измерений: (масштаб вейвлета (частота), время) и (фаза сигнала, время). В вейвлетном преобразовании (1) масштаб  $a$  вейвлета соответствует частота сигнала  $f(t)$  и получаемая числовая матрица  $\varphi_f(a, b)$  есть ранжированная от большего (сверху) к меньшему множество частот исследуемого сигнала  $f(t)$ , т. е. множество почти случайных разнoperиодических циклических процессов, которые по отдельности сравнительно легко могут быть прогнозированы.

В прогнозировании изменений глобального климата, природных сред используются положения: 1) изменения любых гелиокосмических и климатических переменных в текущие моменты времени обусловлены их взаимовлияниями с разными интенсивностями, что выражается в изменении их частотных составов и временных характеристик в фазовых областях; 2) изменения гелиокосмических и климатических переменных в наблюдаемом и прогнозируемом интервале времени могут быть представлены конечным набором усредненных выбранных частот изменений фаз переменных в интервале  $\pm\pi$  с высокой точностью; 3) согласованность изменений прогнозируемой переменной с изменениями множества взаимодействующих переменных определяется чувствительностью физической среды изменений исследуемой переменной к воздействиям множества взаимодействующих переменных в фазовых областях.

В работах [10-18] приводятся исследования по прогнозированию переменных, формирующих климат на Земле, солнечной активности с использованием нейронных сетей и временных рядов. Недостатком этих методов является то, что при этом решаются сложные оптимизационные задачи в пространстве многих переменных, осуществляется подбор весовых коэффициентов модели прогнозируемой переменной в результате анализа реальных значений этой переменной и минимизации рассогласования реальных значений переменной с ее моделью в целевой функции многих переменных, при использовании которых наблюдается рассогласование между реальными наблюдениями и обобщениями нейронных сетей, неадекватностью модели и реальных данных на длительных интервалах прогнозирования. В существующих методах прогнозирования гелиокосмических и климатических переменных не учитывается тот факт, что изменение каждого из них обусловлено взаимовлияниями групп гелиокосмических и климатических факторов, изменяющих частотный состав прогнозируемой переменной; результатом прогнозирования в известных методах прогнозирования является незначительный горизонт прогнозирования.

В работе результаты исследований, характеризующие цикличность и силу взаимовлияний многих факторов в климатических изменениях Земли, отражаются полученными многочисленными графиками.

Обусловленность изменчивости сложной климатической системы изменениями множества взаимодействующих факторов исследуются и в работах нобелевских лауреатов по климату, в которых не приводятся конкретные



примеры прогнозирований, позволяющие оценить их эффективность [19].

**Цель исследования:** применение эффективного вейвлетного фазового метода анализа временных рядов [3, 4] для: 1) продолжения исследований о ведущем влиянии барицентрических движений Солнца на изменчивость гелиокосмических, климатических переменных, природных катастроф и пожаров; 2) прогнозирования изменений вейвлетных фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных, глобальной температуры, вулканических извержений, уровня мирового океана, природных катастроф, морского течения Гольфстрим и региональных пожаров на продолжительный временной горизонт по данным инструментальных измерений на сотни лет; 3) прогнозирования палеоклиматических рядов, реконструированных по результатам изучения ледяных кернов со станции «Восток» в Антарктиде, донных отложений в Антарктике, орбитальных элементов Земли за последние 422 тыс. лет, на сотни тыс. лет; 4) вычисления коэффициентов согласованностей изменений заданных групп переменных в наблюдаемом и прогнозируемом интервалах времени как колебательных контуров.

### **Исходные данные**

Решение задачи производится с использованием графиков изменений гелиокосмических и климатических переменных, природных сред, природных катастроф и пожаров, приведенных в мировой научной литературе, включая и исследования ледовых кернов, характеризующих изменение глобального климата в историческом прошлом.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

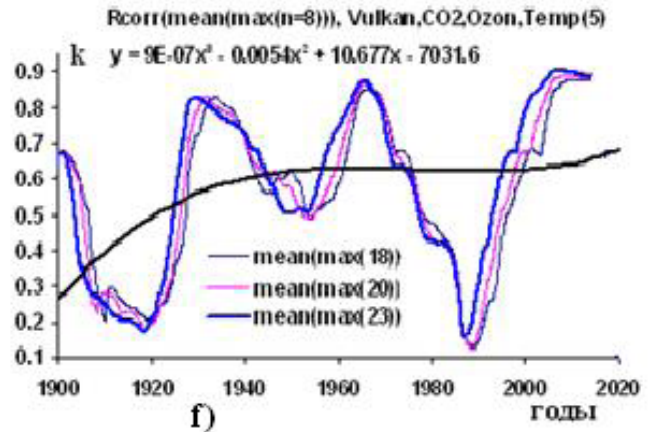
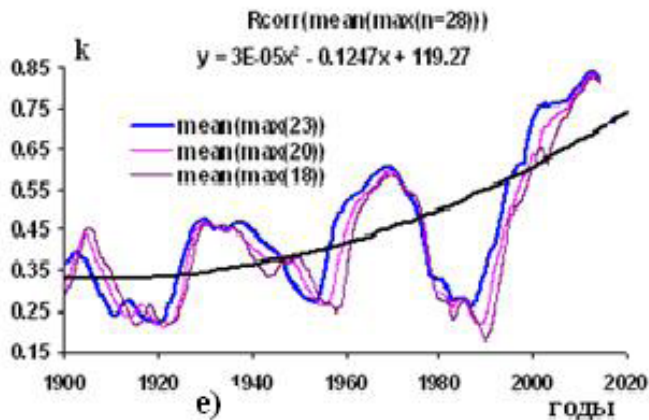
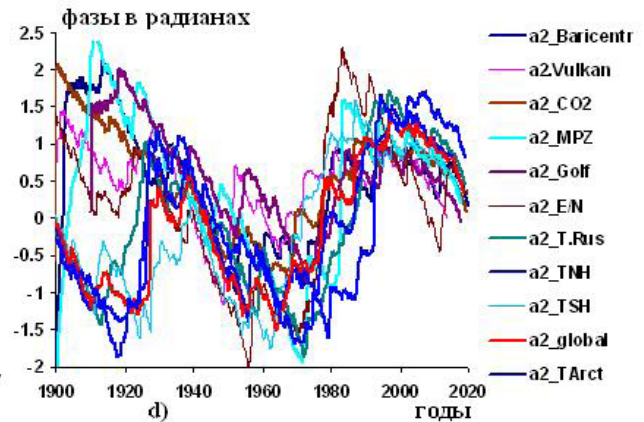
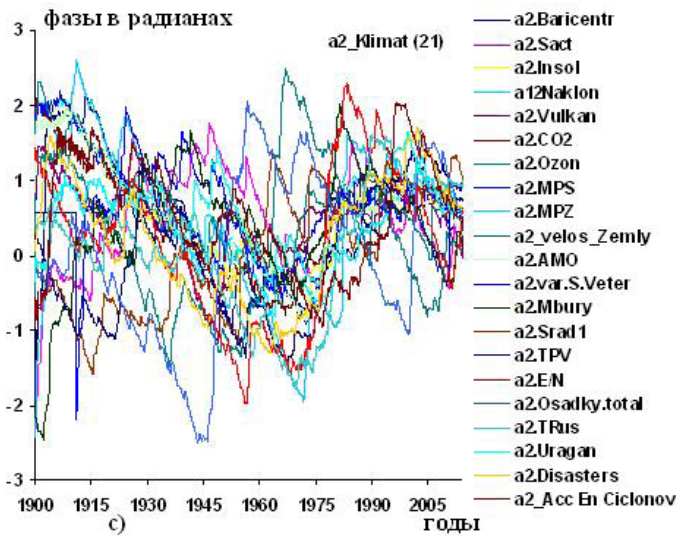
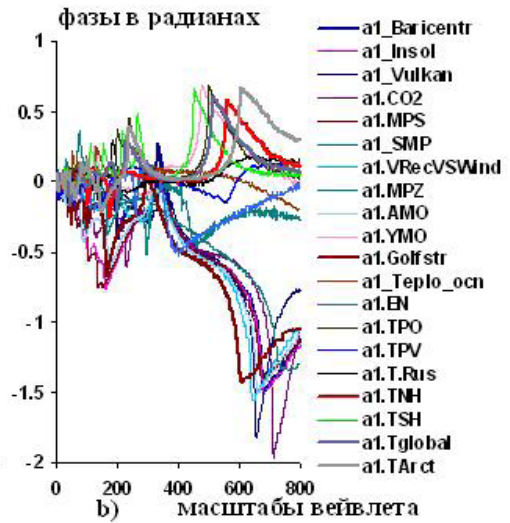
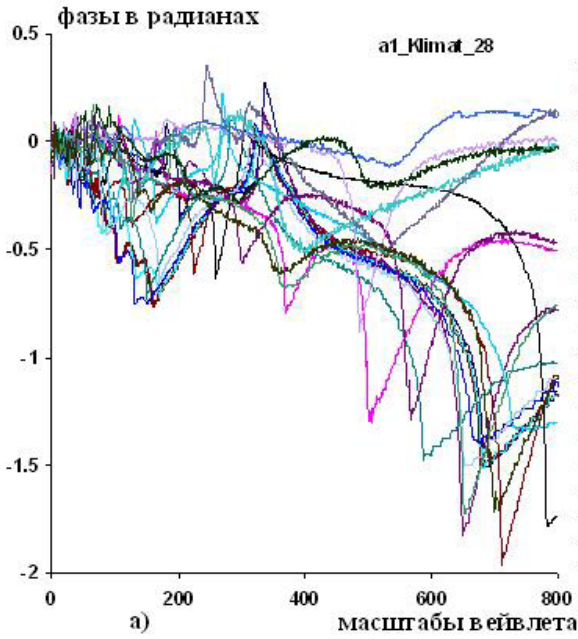
### **Выбор состава гелиокосмических и климатических переменных, определяющих климат на Земле по данным инструментальных измерений**

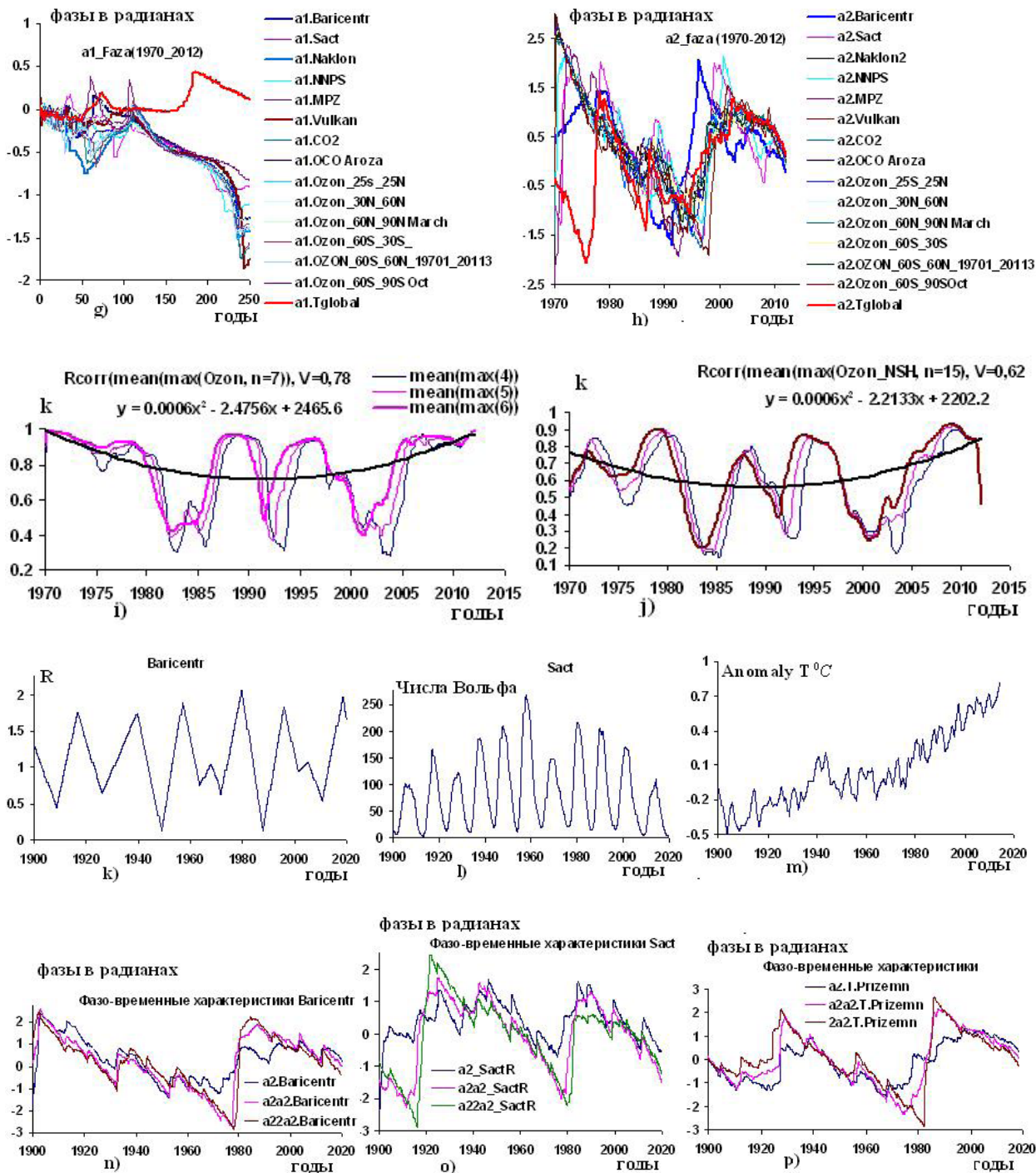
В исследованиях [3, 4, 6-9] обнаруживается, что основными факторами, определяющими изменения климата на Земле, являются взаимообусловленные изменения гелиокосмических и климатических переменных: барицентрических движений Солнца (Baricentr) [20], солнечной активности (Sact) [21], многолетней солнечной инсоляции (Insol) [22], угла наклона Земли (Naklon) [22], вулканических извержений (Vulkan) [23], парниковых газов, из которых в исследованиях использованы изменения двуокси углерода  $CO_2$  [24], общее содержание озона (OCO) в атмосфере [25], магнитного поля Солнца (MPS) и Земли

[26], уровня мирового океана (YMO) [27], землетрясений (Z.Tres) [28], скорости вращения Земли (Vel.Zemly) [29], вариаций многодекадных Североатлантических колебаний (AMO) [30], морского течения Гольфстрим в океане [31], вариаций солнечного ветра (var.S.Veter) [32], вспышек плазмы Солнца, магнитных бурь (M.Bury) [33], солнечная радиация (Srad) [34], температуры поверхности океана (TPO) [35] и приповерхностной температуры воздуха (TPV) [36], осцилляций Эль-Ниньо (E/N) [37], осадков в мире (Osadky) [38], теплосодержания океана в 700 метровом слое (Teplo.ocn) [39], температуры воздуха в Арктике (T.Arcticy) [40], глобальной температуры (T.global) [41], температуры в России (T.Rus) [42], температуры воздуха на северном и южном полушариях Земли (NH-Temp, SH-Temp) [43], ураганов (Uragan) [44], стихийных бедствий (Disasters) [45], аккумулированной энергии циклонов (Acc.En.Ciclonov) [46],

На графиках рисунка 1 приведены относительные изменения вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных, характеризующих изменение климата на Земле по наблюдениям в 1900–2020 годы, обусловленных их взаимовлиянием как колебательных контуров. Переменные на графиках фазо-частотных характеристиках группируются по направленностям изменений фазовых характеристик на высоких периодах изменений, масштабах вейвлета и смешаны по частотам относительно друг друга. Эти особенности изменений переменных в частотной области отражаются на почти хаотических и сгруппированных периодических изменениях этих же переменных во временной области, приведенных на графиках с и d рисунка 1. На графиках b фазо-частотных характеристиках переменных выделены две группы. В нижней части графиков b рисунка 1 находятся изменения сильно согласованных друг с другом переменных (Baricentr, Insol, Vulkan,  $CO_2$ , MPS, MPZ, AMO, YMO, Golsfrim и вариаций скорости солнечного ветра (var.S.wind)). В верхней части графиков b рисунка 1 находятся изменения значительно согласованных температурных переменных (T.Rus, TNH, TSH, T.global, T.Arct), TPO, TPV, E/N, Teplo.ocn). Первая группа переменных согласована с изменениями второй группы, за исключением изменений температуры в южном полушарии (TSH) с  $k = -(0,21 \div 0,82)$ . Изменения TSH существенно согласована с изменениями: Sact, MMP, Ap-index, OZON, YMO, Teplo.ocn, TPO, TPV, T.global, T.Rus, T.Arct с  $k = |0,13 \div 0,45|$ .

На графиках d рисунка 1 с фазо-временными характеристиками: Baricentr, Vulkan,





**Рисунок 1.** Графики изменений вейвлетных: а), б) фазо-частотных  $a1_{-\varphi}(a, \bar{b})$  и в) с), d) фазо-временных  $a2_{-\varphi}(\bar{a}, b)$  характеристик групп гелиокосмических и климатических переменных; е) и f) изменений коэффициентов корреляций  $k$  (согласованностей) вейвлетных фазо-временных характеристик групп гелиокосмических и климатических 28-и и 8-и переменных, соответственно: Baricentr, Vulkan,  $CO_2$ , MPZ, Golfstrim, температур в Арктике (T.Arct), России (T.Rus), северном (TNH) и южном (TSH) полушариях, на планете (T.global)) в интервалах времени 1900–2020 годы по наблюдениям 18, 20, 23 лет в скользящем режиме с параметрами  $(n1, n2)$ , где  $n1$ -число переменных,  $n2$  – число дискретнов в скользящем окне наблюдений; г) и h) фазо-частотных и фазо-временных характеристик: Baricentr, Sact, Naklon, NMPS, MPZ, Vulkan,  $CO_2$ , Tglobal и концентрации озонного слоя над Арозой (OCO Aroza) и на широтах северного и южного полушарий по наблюдениям в 1970-2012 годы: global (60°S-60°N), NH (30°N-60°N), tropics (25°S-25°N), SH (60°S-30°S), NH march (60°N-90°N), SH October (60°S-90°S); и) и j) согласованности изменений к озонного слоя в атмосфере над Арозой и на полушариях Земли на разных широтах ( $n=7$  переменных) и согласованности изменений гелиокосмических переменных (Baricentr, Sact, Naklon, NMPS, MPZ, Vulkan,  $CO_2$ ) озонного слоя в атмосфере в полушариях NH и SH Земли и глобальной температуры ( $n=15$ ) по наблюдениям за переменными в 1970–2012 годы (графики получены коррелированием фазо-временных характеристик переменных в скользящем режиме по наблюдениям 4, 5 и 6 лет); к), l), m) и n), o), p) – графики изменений переменных Baricentr, Sact, Tprizem (global) и их вейвлетных фазо-временных характеристик  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$ ,  $2a2 = -\varphi_{a2}(\bar{a}, b)$ ,  $3a2 = -\varphi_{2a2}(\bar{a}, b)$  полученных по наблюдениям в 1900–2020 годы.

$CO_2$ , MPZ, Golfsrim, E/N, T.Rus, TNH, TSH, T.global, T.Arct, изменяющиеся в интервале наблюдений в 1900–2020 годы, наблюдается перемежаемость, случайность изменений направлений, волны кривых в интервале 1900–2000 годы в почти периодическом режиме; то же самое наблюдается и на графиках с, h рисунка 1.

На графиках изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных отражаются их интенсивность изменений; отражается теснота связи между группами переменных в частотной и временной областях, обусловленность изменений климатических переменных изменениями гелиокосмических переменных, циклический рост согласованностей изменений переменных при приближении к современности; отражается теснота согласованности изменений озонового слоя в атмосфере в полушариях Земли с изменениями гелиокосмических переменных: барицентрических движений Солнца (Baricentr), солнечной активности (Sact), угла наклона Земли (Naklon), напряженности магнитного поля Солнца (NMPS), магнитного поля Земли (MPZ), вулканических извержений (Vulkan), парникового газа  $CO_2$  в наблюдаемом интервале времени изменяется в интервале  $k = 0,65 \div 0,97$ . При этом на графиках d рисунка 1 наблюдается, что вейвлетные фазовые характеристики  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$ , соответствующие интенсивности изменений температур в Арктике (T.Arct), России (T.Rus), в Северном полушарии (TNH), глобальной температуры (T.global) и в Южном полушарии (TSH) с начала 2000 годов, располагаются в ранжированном порядке от большей интенсивности изменений температур на территориях к меньшей, что обусловлено свойством самонастраивающейся многокомпонентной динамической климатической системы, географической структурой Земного шара, динамикой океанических течений, структурами магнитных полей Солнца и Земли, установившимися солнечно-земными связями.

На графиках e и f рисунка 1 отображаются динамики согласованностей изменений совокупностей гелиокосмических и климатических переменных по наблюдениям в 1900–2020 годы: на графиках e, – изменения коэффициентов корреляций  $k$   $n=28$  гелиокосмических и климатических переменных, на графиках f согласованности изменений  $n=11$  переменных: Baricentr, вулканических извержений (Vulkan),  $CO_2$ , MPZ, Golfsrim, температурных переменных (T.Arct, T.Rus,

TNH, T.global, TSH). На графиках коэффициенты корреляций изменяются в колебательном режиме с циклами около 35 лет. Росту коэффициента соответствует рост согласованности переменных, потепление; падению коэффициента корреляции между переменными соответствует похолодание. На графиках e наблюдается рост согласованности, взаимное усиление всех 28 наблюдаемых переменных с начала наблюдений 1900 года с  $k=0,39$  до  $k=0,82$  в 2010 г. по нелинейному закону.

На графиках f также отображается изменение, рост парникового эффекта к современности взаимодействием переменных: Vulkan,  $CO_2$  и перечисленных температурных составляющих. Графики e и f рисунка 1 отображают то, что изменение климата на Земле является результатом взаимодействия множества гелиокосмических и климатических переменных, «притирающихся» друг другу многие миллионы лет влиянием главного действующего фактора; отражается изменчивость согласованностей множества климатообразующих переменных. Графики получены коррелированием исследуемых кривых фазо-временных характеристик  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$  переменных в интервалах корреляций 18, 20, 23 лет с вычислениями средних (mean) и максимума (max) в матрице корреляций между переменными в скользящем режиме (матрица корреляций между переменными в заданном окне наблюдений в Matlab вычисляется процедурой 'corrcoef').

Графики i и j рисунка 1 характеризуют цикличность согласованности изменений озонового слоя в атмосфере на разных широтах полушарий Земли влияниями факторов и рост согласованности изменений глобальной температуры с изменениями озонового слоя в атмосфере в полушариях при приближении к современности с периодичностью около 11 лет.

На графиках n, o, p рисунка 1 отображаются свойства переменных Baricentr, Sact, Tglobal после последовательных преобразований:  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$ ,  $2a2 = -\varphi_{a2}(\bar{a}, b)$ ,  $3a2 = -\varphi_{2,a2}(\bar{a}, b)$ , детали и интенсивности изменений переменных в разных временных интервалах, дискретность, структурированность изменений частот переменных с единицами измерения (фаза, время), приведенных на графиках k, l, m рисунка 1 с разными единицами измерений, неуловимых обычным зрением. На графиках n, o, p обозначаются 1920–1925, 1980 годы с особенностями, которые трудно заметны на исходных графиках k, l, m рисунка 1, характеризующие климатические изменения.





**Таблица 1.** Коэффициентов корреляций переменных, характеризующих вариацию солнечной активности, магнитных полей Солнца и Земли, землетрясений и вращение Земли в фазо-частотной области с изменениями Baricentr по наблюдениям в 1910–2012 годы

Sact	Insol	Srad	VrecS	MPZN	MPZS	MPZ	M.bury	NMPS	MMZ	VSvet	ZTres	LOD
0,82	0,93	-0,04	0,96	0,30	0,53	0,88	0,68	0,90	0,93	0,88	0,91	-0,21

**Анализ согласованности изменений гелиокосмических и климатических переменных в фазо-временной области в разных интервалах наблюдений с изменениями барицентрических движений Солнца**

Целью анализа является установление согласованности изменений многих физических процессов, наблюдаемых и измеряемых с использованием современных инструментов, в компонентах климатической системы Земли: атмосферы, гидросферы, криосферы, литосферы и биосферы, связанных с процессами, происходящими в недрах Солнца, волновой и лучистой энергии Солнца с барицентрическим движением Солнца (Baricentr). Такими измерениями (наблюдениями) являются, например: солнечная активность (Sact), инсоляция (Insol), радиация (Srad), вариации солнечного ветра (Var.S.veter) [32], скорости дрейфов магнитных полюсов Земли (северного (MPZN) и южного (MPZS)) [47], магнитное поле Земли (MPZ) [48], напряженность магнитного поля Солнца (NMPS) [49], геомагнитные бури (M.bury) [33], изменение магнитного момента Земли (MMZ) [48], вариации скорости солнечного ветра (V.S.veter) [26], реконструированной скорости изменений солнечного ветра (V.Recon.S) [49], изменение продолжительности суток (LOD), землетрясений (Z.Tres) [28], вулканических извержений (Vulkan), и других переменных в интервале наблюдений 1910–2012 годы; наблюдения Sact, Vulkan,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , Temp, полученные в интервале 1610–2012 гг.

Анализ основан на вычислении вейвлетных фазо-частотных  $a1 = \varphi_f(a, \bar{b})$  и фазо-временных  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$  характеристик множества наблюдаемых переменных  $f_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$  как наиболее информативных в изменении переменных, их отображении на изображениях при необходимости и графиков, в вычислении мер согласованностей их изменений в частотной и временной областях. Для удобства анализа разделим множество переменных на группы. В первую группу включены барицентрические движения Солнца (Baricentr) и переменные, характеризующие изменения, происходящие в недрах Солнца и Земли: солнечная активность (Sact),

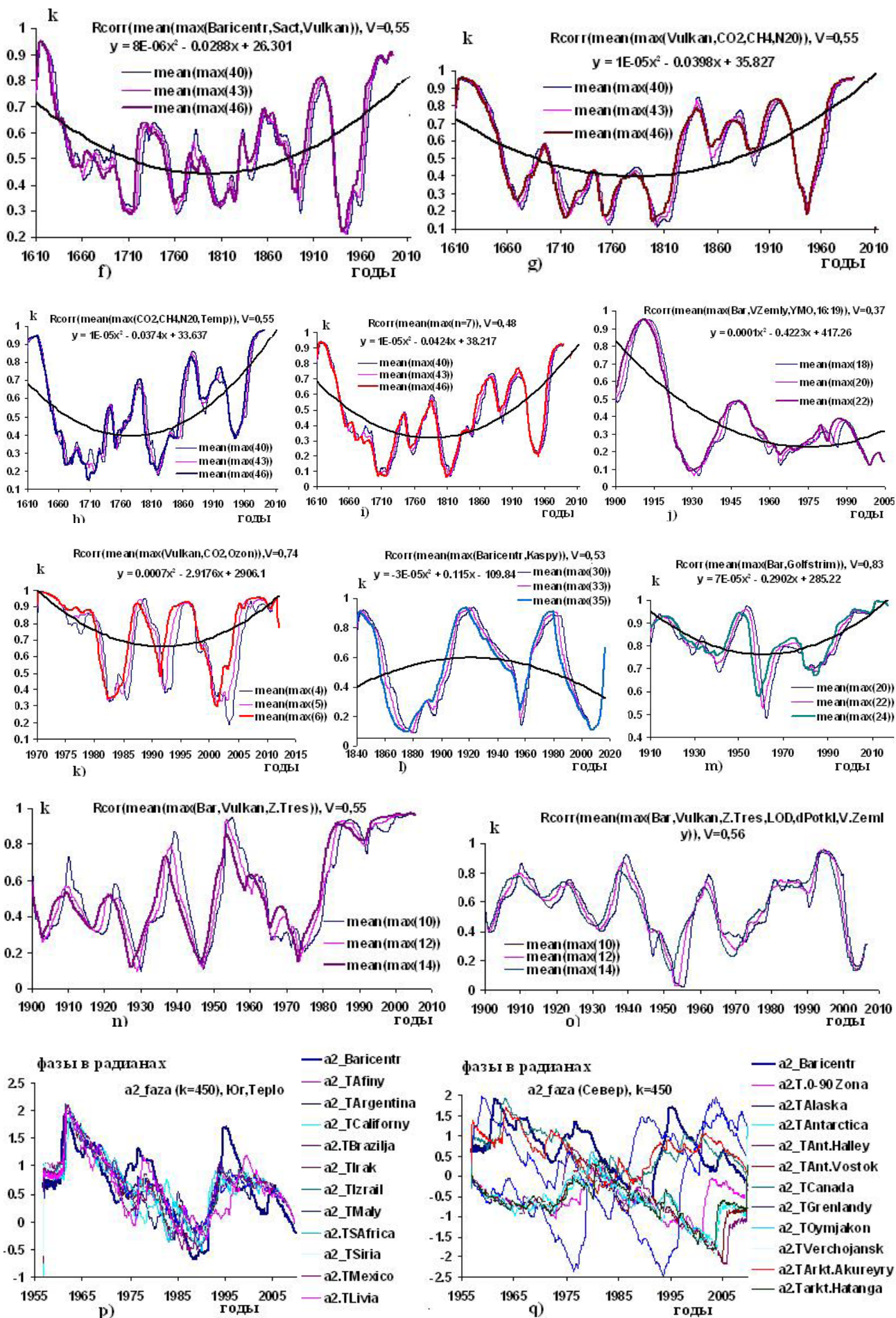
инсоляция (Insol), солнечная радиация (Srad), реконструкция скорости солнечного ветра (V.recontr.S), смещений (дрейфы) магнитных полюсов Земли (северного (MPZN) и южного (MPZS)), магнитное поле Земли (MPZ), магнитные бури (M.bury), напряженность магнитного поля Солнца (NMPS), магнитный момент Земли (MMZ), вариации солнечного ветра (V.S.Veter), землетрясения (Z.Tres), колебания длительности суток (LOD). На графиках а рисунка 2 представлены относительные изменения фазо-частотных характеристик перечисленных выше переменных по наблюдения в 1910–2010 годы.

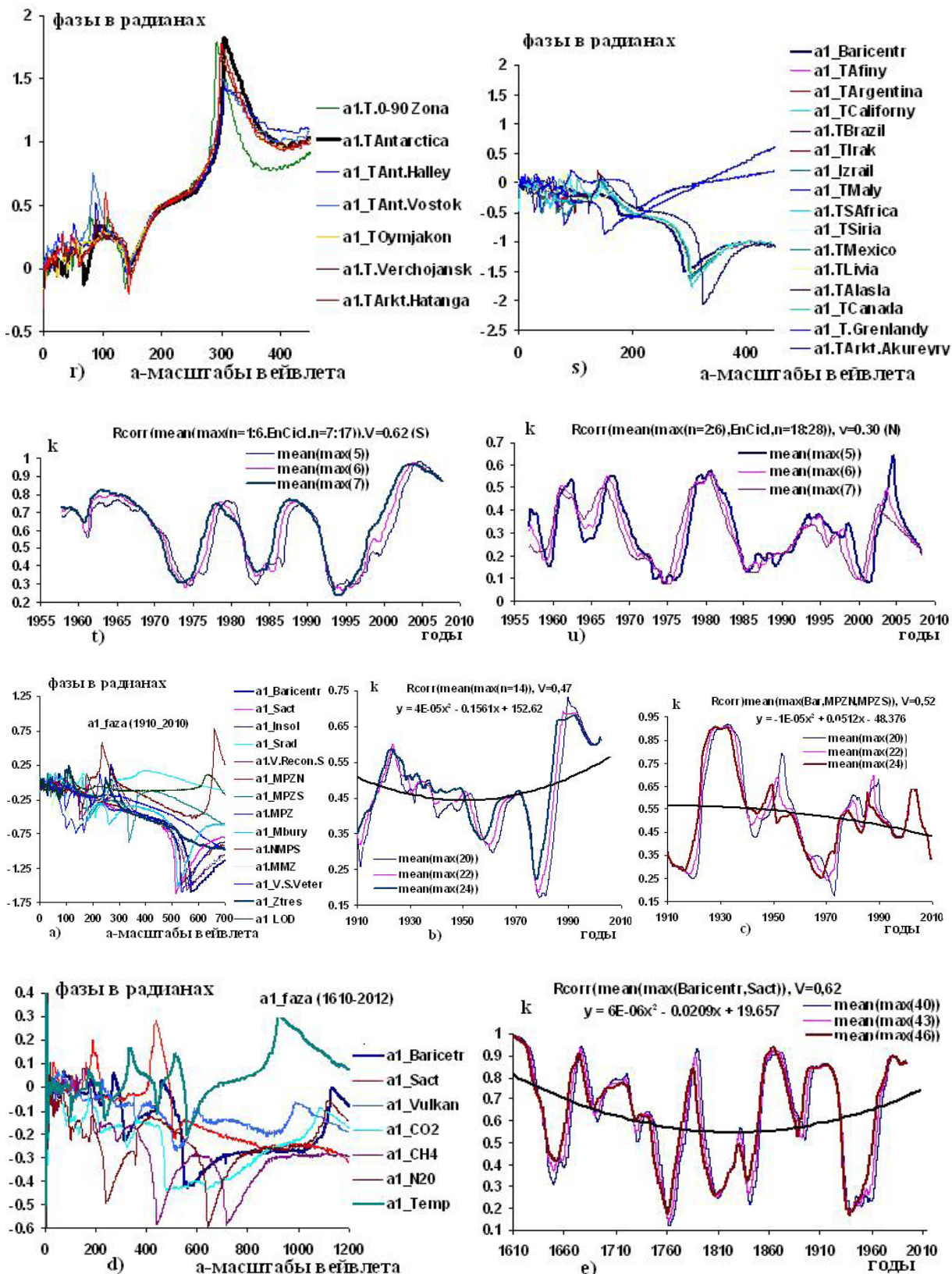
В таблице 1 и на графиках рисунка 2а наблюдается значительная согласованность с  $k = |0,21 \div 0,93|$  изменений фаз переменных в частотной области, за исключением изменений солнечной радиации (Srad) с изменениями барицентрических движений Солнца в наблюдаемом интервале времени. В интервале наблюдений 1850–2050 годы переменные Srad и Baricentr в фазо-частотной области согласованы с  $k = -0,15$ , в фазо-временной области с  $k = 0,39$ .

На графиках рисунка 2b отображается согласованность изменений группы 13 переменных, приведенных в таблице 1 с изменениями барицентрических движений Солнца (Baricentr) в фазо-временной области, на которых наблюдаются согласованный рост фаз изменений группы переменных с 1980 годов к современности.

На графиках рисунка 2с отображаются изменения скорости движений магнитных полюсов Земли: северного (MPZN) и южного (MPZS), согласованные с изменениями Baricentr в фазо-временной области; наблюдается снижение фаз изменений переменных, обусловленное снижением скорости движений магнитных полюсов при приближении к современности, отмеченное и в работе [50]. Графики b и c на рисунке 2 получены усреднением матрицы корреляций переменных  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$  в окнах 20, 22, 24 лет наблюдений в скользящем режиме.

На графиках e-i рисунка 2 отображаются согласованности изменений  $n=7$  второй группы переменных: Baricentr, Sact, Vulkan,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , Tglobal по наблюдениям в





**Рисунок 2.** Графики вейвлетных фазо-частотных характеристик (ВФЧХ) гелиокоsmических и климатических переменных и согласованностей к указанным на графиках групп переменных в фазо-временной области в интервалах наблюдений: а) ВФЧХ движений Солнца и переменных, характеризующих активность Солнца и Земли (Baricentr, Sact, Insol, Srad, V.reconstr.veter, MPZN, MPZS, MPZ, M.bury, NMPS, MMZ, V.S.veter, Z.Tres, LOD), б) изменений коэффициента к n=14 переменных, перечисленных выше, в) изменений коэффициента к Baricentr и скоростей дрейфа магнитных полюсов Земли MPZN и MPZS; д) ВФЧХ переменных (Baricentr, Sact, Vulkan, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Tglobal) по наблюдениям в 1610–2012 годы [20, 23, 51, 52,53]; изменений коэффициента к: е) Baricentr, Sact, ф) Baricentr, Sact и Vulkan, г) парниковых газов CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, влиянием вулканических извержений Vulkan, h) Tglobal влияниями CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O (парниковый эффект); и) всех n=7 переменных, перечисленных в д влиянием переменной Baricentr; j) скорости вращения Земли

V.Zemly, YMO, осадков на Земле (Osadky), льдов в Арктике (Led.Srct), наступающих льдов в полушариях (Lednicy,nast.NSH) Земли, морских льдов (Led.More) влиянием переменной Baricentr в интервале наблюдений 1900–2005 годы; k) Baricentr, концентрации озонового слоя в атмосфере в полушариях Земли ( $n=7$ ),  $CO_2$  по наблюдениям в 1970–2010 годы; l) Baricentr, изменения уровня Каспийского моря по наблюдениям в 1840–2018 годы; m) Baricentr, изменения интенсивности течения Гольфстрим; n) Baricentr, Vulkan, землетрясения Z.Tres; o) Baricentr, Vulkan, Z.Tres, LOD, dPotkl по наблюдениям в 1910–2010 годы; p), q) вейвлетные фазо-временные и r), s) фазо-частотные характеристики изменений температуры воздуха в странах и территориях, расположенных на теплых и холодных районах Земли по наблюдениям в 1957–2010 годы: в Антарктиде, в пунктах Халли и Восток [54], Оймяконе [55] и Верхоянске [56], Якутии [57], в Арктических Хатанге [58] и Акюрейри [59], Афинах, Аргентине, Калифорнии, Бразилии, Ираке, Израиле, Мали, южной Африке, Сирии, Мехико, Ливии, Аляске, Канаде, Гренландии [60], а также изменений переменной Baricentr; t), u) изменений коэффициента согласованности  $k$  переменных: Baricentr, аккумулированной энергии циклонов (асс. En.Ciclon), магнитных полей Солнца и Земли (NMPS, MMZ, MPZ, Mbury, реконструированной скорости солнечного ветра (RSW) с изменениями приземных температур в южных и северных территориях Земли, приведенных на графиках p и q рисунка 2 соответственно.

1610–2012 годы в фазо-частотном и фазо-временном областях. На графиках d кривые фазо-частотных характеристик Sact, Vulkan,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , согласованы с изменениями Baricentr с  $k = |0,48 \div 0,77|$ , изменения глобальной температуры согласованы с изменениями Baricentr с  $k = -0,13$ .

На приведенных графиках и числовых характеристиках согласованностей изменений гелиокосмических переменных, парниковых газов в атмосфере и глобальной температуры в продолжительное время проявляется ранжированность, обусловленность влияния групп переменных на изменение климата: активизация деятельности Солнца влиянием барицентрических движений Солнца, активизация вулканических извержений влиянием переменных Baricentr и Sact, изменчивость производства парниковых газов в атмосфере с изменениями вулканических извержений, активизация температурных изменений с изменениями концентрации в атмосфере парниковых газов, парникового эффекта. На графиках e-i рисунка 2 наблюдаются значительные согласованности изменений сравниваемых переменных с  $V = 0,48 \div 0,62$  изменениями барицентрических движений Солнца в продолжительном интервале наблюдений, проявляются особенности изменений солнечной активности и солнечной постоянной: минимумы в окрестностях 1700, 1800, 1900, 1960 годов, согласованные с изменениями переменной Baricentr.

В изменениях многочисленных гелиокосмических и климатических переменных в наблюдаемых интервалах времени влиянием барицентрических движений Солнца и взаимовлияний составляющих группы на графиках аппроксимаций второго порядка на рисунках обнаруживаются два типа изменчивости тесноты связи, – положительная и отрицательная согласованности между множествами переменных. При положительной тесноте связи наблюдается рост

коэффициента согласованности между переменными при приближении к концу интервала наблюдения. На графиках рисунка 2 к такому типу связи между переменными относятся все графики, кроме графиков с и j. К отрицательному типу относятся падение скоростей движений магнитных полюсов Земли влиянием переменной Baricentr (графики с на рисунке 2), и изменения переменных (скорости вращения Земли (V.Zemly), YMO, Osadky, Led.Arct, наступательных составляющих ледников на полушариях Земли (Lednicy,nast.NSH), морских льдов (More.Led)) влиянием переменной Baricentr, – графики j на рисунке 2. На длительных интервалах наблюдений, например, на графиках рисунка 2, проявляются оба типа согласованностей изменений переменных.

Приведенные графики, уровни согласованностей изменений элементов системы, характеризуют отклики взаимодействий между гелиокосмическими и климатическими переменными в самоорганизующейся климатической системе Земли на воздействие барицентрических движений Солнца (Baricentr), вулканических извержений и парниковых газов в фазо-временной области в продолжительных интервалах времени.

На графиках рисунка 2 проявляются закономерности: 1) изменения гелиокосмических и климатических переменных: солнечной активности, напряженности магнитных полей Солнца и Земли, инсоляции, вулканических извержений, землетрясений, парниковых газов и озонового слоя в атмосфере Земли, изменений температуры поверхности и уровня океана, аккумулированной энергии тропических циклонов и природных бедствий, глобальной температуры в фазо-временной области по наблюдениям в 1900–2020 годы значительно согласованы, с  $k = |0,51 \div 0,74|$  в среднем и обусловлены изменениями барицентрических движений Солнца; 2) в фазо-частотной области (графики a, b, g на рисунке 1), основной характеристики взаимообусловленностей изменений



гелиокосмических и климатических переменных, согласованности изменений между гелиокосмическими переменными (Sact, Insol, Naklon, Vulkan,  $CO_2$ , Ozon, MPS, MPZ, Srad, YMO, TPV, TPO, En.Trop.Cicl, E/N) и переменной Baricentr значительны с  $k = |0,42-0,94|$ . Это означает, что частотные характеристики этих переменных и их изменения по фазе значительно согласованы с изменениями Baricentr в частотной области; имеется существенная согласованность и изменений климатических переменных (T.global, T.Arct, TNH, TSH), ураганов, природных катастроф (Uragan, Disasters) и Baricentr с  $k = \sim|0,1-0,72|$  в фазо-частотной области; 3) изменения содержания наступающей составляющей горных ледников на полушариях Земли, интенсивность теплового течения Гольфстрим, уровня Каспийского моря, составляющих мирового водного баланса: стоков крупных рек, состояний ледников на полушариях, уровней морей и озер, уровней промерзаний почв [61], процессов, происходящих на Солнце [6], глобальное потепление [7], также обусловлены изменениями барицентрических движений Солнца; 4) на графиках рисунка 2 по данным переменных Baricentr, Sact, Vulkan,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , Tglobal в 1610–2012 годы наблюдается переломное время изменения современного климата, – это 1800 годы; в эти годы главные факторы климатической системы с фазы несогласованных изменений переходят в фазу согласованно возрастающих.

По наблюдениям в 1910–2020 годы интенсивность изменения теплового течения Гольфстрим согласована с изменениями Baricentr с  $k = 0,97$  в фазо-частотной области и с  $k = 0,88$  в фазо-временной области, согласовано изменение солнечной активности Sact с изменениями Baricentr с  $k = 0,77$  в фазо-частотной области и с  $k = 0,81$  в фазо-временной области по наблюдениям в 1610–2012 гг. Изменение уровня Каспия согласовано с изменениями Baricentr с  $k = -0,97$  в фазо-частотной области и с  $k = -0,41$  в фазо-временной области по наблюдениям в 1840–2016 гг.; изменение энергии тропических циклонов согласовано с изменениями Baricentr с  $k = 0,90$  и  $k = 0,61$  в фазовых областях по наблюдениям в 1900–2020 годы, вулканических извержений с  $k = 0,60$  и  $k = 0,71$  по наблюдениям в 1595–2014 гг., льдов в Арктике с  $k = 0,68$  и  $k = 0,28$  к изменениям Baricentr по наблюдениям в 1900–2005 гг., соответственно.

Анализом графических изображений вейвлетных фазо-временных функций  $\varphi_f(a,b)$  и  $\varphi_{a2}(a,b)$  по наблюдениям в 1002–2251 годы

оценены периоды изменений барицентрических движений Солнца в годах: 500,5, 178,5, 97,1 (23,8), 80,1 (21,0), 54,5 (11,2), 41,2 (11,9), 37,8 (11,2), 22,7 (6,6), 12,3 (3,8), 6,3 (1,8) (в скобках указаны ско  $CO_2$  в разрезах изображений при заданных значениях  $k$  масштаба вейвлета). Некоторые из этих периодов наблюдаются и на разрезах изображений вейвлетных фазо-временных функций всех гелиокосмических и климатических переменных. В изменениях солнечной активности Sact по наблюдениям в 1610–2012 гг. обнаруживаются периоды в годах: 179,9, 53,5 (13,4), 39,6 (8,4), 21,3 (4,8), 12,1 (1,0), 6,2 (2,0), близкие к периодам изменений Baricentr; в изменениях  $CO_2$  по наблюдениям в те же годы наблюдаются периоды: 176,9, 86,7 (23,0), 59,5 (10,7), 33,5 (4,8), 20,6 (3,0), 12,6 (3,0), 8,0 (2,9). Периоды изменений на графиках гелиокосмических и климатических переменных в окрестности 178 года, цикла Жозе [2], найдены также на разрезах изображений  $\varphi_f(a,b)$  переменных: Sconst,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , реконструированного графика изменений солнечного ветра [49], явления Эль-Ниньо [37], уровня Каспийского моря [64], температуры в Гренландии (T.Grenl) [60], отклонения угловой скорости вращения Земли от эталонной величины (dPotkl) [65] в изменениях фазо-временных характеристик  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$  переменных по наблюдениям в 1600–1968 гг. Период Жозе найден в графике изменений скорости снегонакопления с 1640 по 2014 гг. в Индоокеанском секторе Антарктиды, полученным геохимическим анализом ледяных шурфов и стратиграфических описаний снежных шурфов [66]; в спектре изменений имеются также периоды в годах: 170,4, 84,5, 67,7, 42,7, 30,7, 23,7, 20,9, 18,7, 12,3, 9,5, 4,4, некоторые из которых содержатся и в спектре периодов Baricentr. В интервале наблюдений графики ВФЧХ и ВФВХ скорости снегонакопления и Baricentr изменяются в противофазах и согласованы с  $k1 = -0,25$  и  $k2 = 0,04$ ; в окрестностях 1765, 1820, 1912, 1998 годов на графиках ВФВХ  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$ ,  $2a2 = -\varphi_{a2}(a,b)$  скорости снегонакопления наблюдаются перестройки в режиме изменений переменной, обусловленные изменениями Baricentr. В статье [62] обсуждается динамическая синхронизация колебаний климата океана с барицентрическим движением Солнца.

Получены значительные согласованные изменения барицентрических движений Солнца (Baricentr) с изменениями переменных, содержащих в своих изменениях ~178-летние циклы Жозе: Sact, Sconst, RSW, T.Grenl, E/N, Kaspy,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , dPotkl и Vulkan,

T.global по наблюдениям за переменными в 1600–1967,3 годы с  $k = |0,37 \div 0,96|$  в фазо-частотной области и с  $k = |0,39 \div 0,95|$  в фазо-временной области (с  $k = 0,04$  с T.global); в наблюдаемом интервале времени изменения T.Grenl, Kаспу, Vulkan, T.global происходили в противофазе с изменениями основной группы переменных, с изменениями Baricentr, характерное в изменениях глобального климата.

Значительные согласованные изменения переменной Baricentr с резонансными изменениями гелиокосмических и климатических переменных, с изменениями процессов, происходящих на Солнце, в средах климатической системы в разных интервалах времени наблюдений в фазовых областях (частотном, временном), приведены в статьях [3,4,6-9]. Они показывает значительную согласованность изменений гелиокосмических переменных, изменений магнитных полей Земли и Солнца, энергии циклонов, изменений тепловой энергии океана, приповерхностной температуры над океанами, уровней мирового океана, озер и стоков рек, глубин оттаиваний вечных мерзлот, таяния ледников и многое другое с изменениями барицентрических движений Солнца с  $k \sim |0,31-0,87|$  в фазо-частотной области.

В изменениях глобального климата в разных группах переменных наблюдаются противофазные изменения, но есть временные интервалы, в которых изменения большинства переменных в фазо-временной области происходят в одной фазе, согласованно, которые соответствуют глобальному потеплению, росту парникового эффекта. Такие рисунки наблюдаются на графиках с и d, e и f рисунка 1.

На графиках n и o рисунка 2 отображается глубокая циклическая связь грозных для людей процессов вулканических извержений Vulkan и землетрясений Z.Tres с  $k = 0,86$ , обусловленные вращением Земли, изменениями переменных LOD, dPOtkl, V.Zemly воздействием переменной Baricentr с  $k = 0,19-0,22$  в фазо-частотной области по наблюдениям за переменными в 1900–2010 гг. В работе [67] указана связь изменений вулканических извержений, землетрясений и вращательных движений Земли, но не указана основная причина этих изменений, – гравитационное воздействие барицентрических движений Солнца.

Изменения вейвлетных фазовых характеристик температурных переменных в южных теплых и северных холодных регионах Земли по наблюдениям в 1957–2010 гг.

Известны различия изменений приземной температуры в теплых и холодных странах, населенные пункты с аномально, в

среднем, высокими и низкими температурами. Целью исследований является установление характерных признаков, причин таких аномалий.

В исследованиях использованы графики изменений приземных температур в разных регионах, метеостанциях земного шара: жарких, холодных, с аномальными признаками. Анализированы графики изменений температур в: в среднем в Антарктиде (Antarctica), в пунктах Халли (Ant.Halley) и Восток Антарктики (Ant.Vostok), Оймяконе (Oymyakon) и Верхоянске (Verchojnsk) в Якутии, в Арктических Хатанге (Arct.Hatanga) и Акюрейри (Arct.Akureyri), Афинах (Afina), Аргентине (Argentina), Калифорнии (Californy), Бразилии (Brazil), Ираке (Irak), Израиле (Izrail), Мали (Maly), южной Африке (S.Africa), Сирии (Siria), Мехико (Mexico), Ливии (Livia), Т 0-90 Zona, Аляске (Alaska), Канаде (Canada), Гренландии (Grenlandy); анализированы также графики изменений Baricentr, NMPS, MMZ, MPZ, Mbuy, RSW, AccEnCiclon.

На графиках p и q рисунка 2 представлены графики относительных изменений фазо-временных характеристик температурных переменных стран, пунктов, принадлежащих к южным теплым и северным холодным регионам, соответственно. При этом изменения кривых на графиках коррелированы с  $k1 = (0,75 - 0,98)$  и  $k2 = |0,16 - 0,91|$ ; кривые на графиках в интервале наблюдений согласованы с  $v1 = 0,74$  и  $v2 = 0,36$ . (Коэффициенты корреляций  $r \geq |0,065|$  значимы с вероятностью 0,95 по критерию Стьюдента [63]). По графикам изменений вейвлетных фазо-временных характеристик группы исследуемых температурных переменных на территориях наблюдается значительный разброс в изменениях переменных на северных холодных территориях по сравнению с изменениями переменных, полученных в южных теплых регионах, обусловленный изменениями переменной Baricentr, магнитных полей Солнца и Земли.

Графики p и q являются яркими показателями отличий изменений климата на разных широтах земного шара влияниями комплекса гелиокосмических и климатических переменных системы, изменяемые движением Солнца относительно центра солнечной системы, влияниями планет-гигантов системы: Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. На этих графиках отражаются укоренный рост приземной температуры и хаотичность ее изменений на северных широтах по сравнению с ее изменениями в южных широтах.

Графики r и s на рисунке 2 характеризуют относительные изменения исследуемой группы тех же переменных в фазо-частотной



области, не совпадающее с распределением переменных в фазо-временной области, они изменяются в противофазе. В этой области не наблюдается разделение переменных по региональным, теплым, холодным признакам. На графиках наблюдаются две группы распределений переменных в фазо-частотной области, образованные: 1) область притяжения фазо-частотной характеристики (ФЧХ) изменения температуры в Антарктике (графики  $r$ ), численные значения фаз низких частот переменных отрицательные; 2) область притяжения ФЧХ изменений переменной *Baricentr* (графики  $s$ ), численные значения фаз переменных на низких частотах положительные; наблюдается разделение второй группы на две составляющие. В составе переменных имеются составляющие, склонные к положительным изменениям фаз частот; к ним относятся изменения ФЧХ температур в Гренландии и Аляске.

Графики  $t$  и  $u$  на рисунке 2 отражают циклически разную согласованность приземных температурных изменений в теплых южных и прохладных северных регионах земного шара по наблюдениям за переменными в 1957–2010 годы влияниями барицентрических движений Солнца и аккумулированной энергии тропических циклонов; наблюдается существенная несогласованность, хаотичность с отношением  $d = 0,72/0,34 = 2,1$ , изменений температур на разных регионах в северной части, по сравнению с согласованными изменениями температур в теплых (жарких) южных регионах. На графиках присутствуют 6, 10, 11, 16, 17, 19-летние циклы согласованных изменений температур воздуха на территориях.

Циклическость наблюдается в изменениях всех переменных климатической системы Земли с присутствием хаотической составляющей, обусловленной действиями и взаимодействиями как гелиокосмических, так и климатических, земных факторов, изменяющиеся барицентрическим движением Солнца, гравитационными силами.

#### **Анализ согласованностей изменений природных пожаров, катастроф, ураганов, наводнений с изменениями гелиокосмических и климатических переменных и барицентрических движений Солнца**

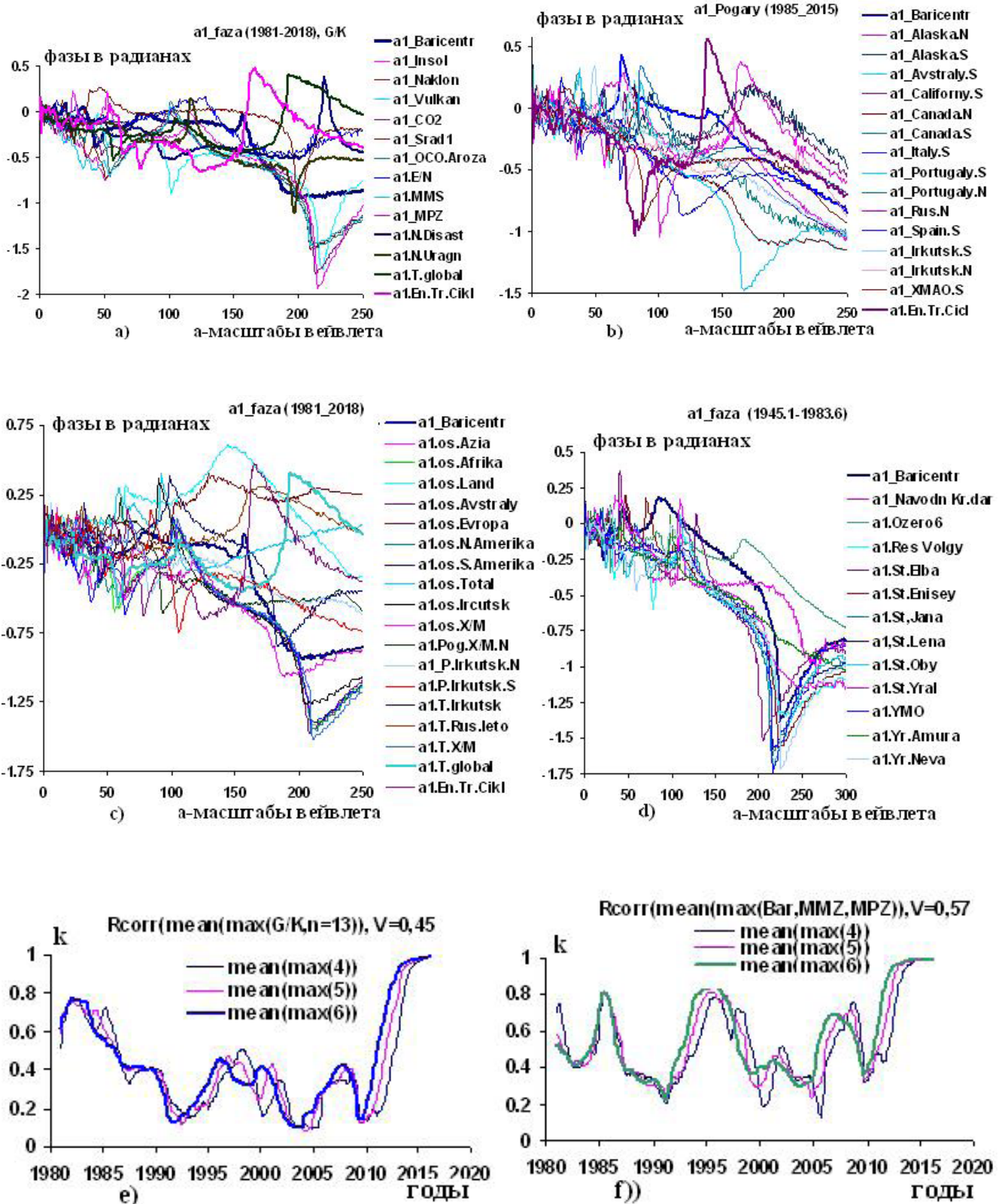
Представляют значительный интерес первопричины разрушительных природных явлений, таких как пожары, ураганы (смерчи, торнадо), половодья и наводнения и др. Заметим, что эти процессы также являются природными и возникают при взаимодействии воздушных потоков с океаном, водной средой

при определенных температурных условиях; разряды молнии, трение деревьев, самовозгорания некоторых веществ при определенных условиях окружающей среды, при хранении торфяных пластов при определенных климатических и микробиологических условиях, многое другое, и конечно, человеческий фактор. Все это происходит в окружающей нас среде с определенными климатическими условиями.

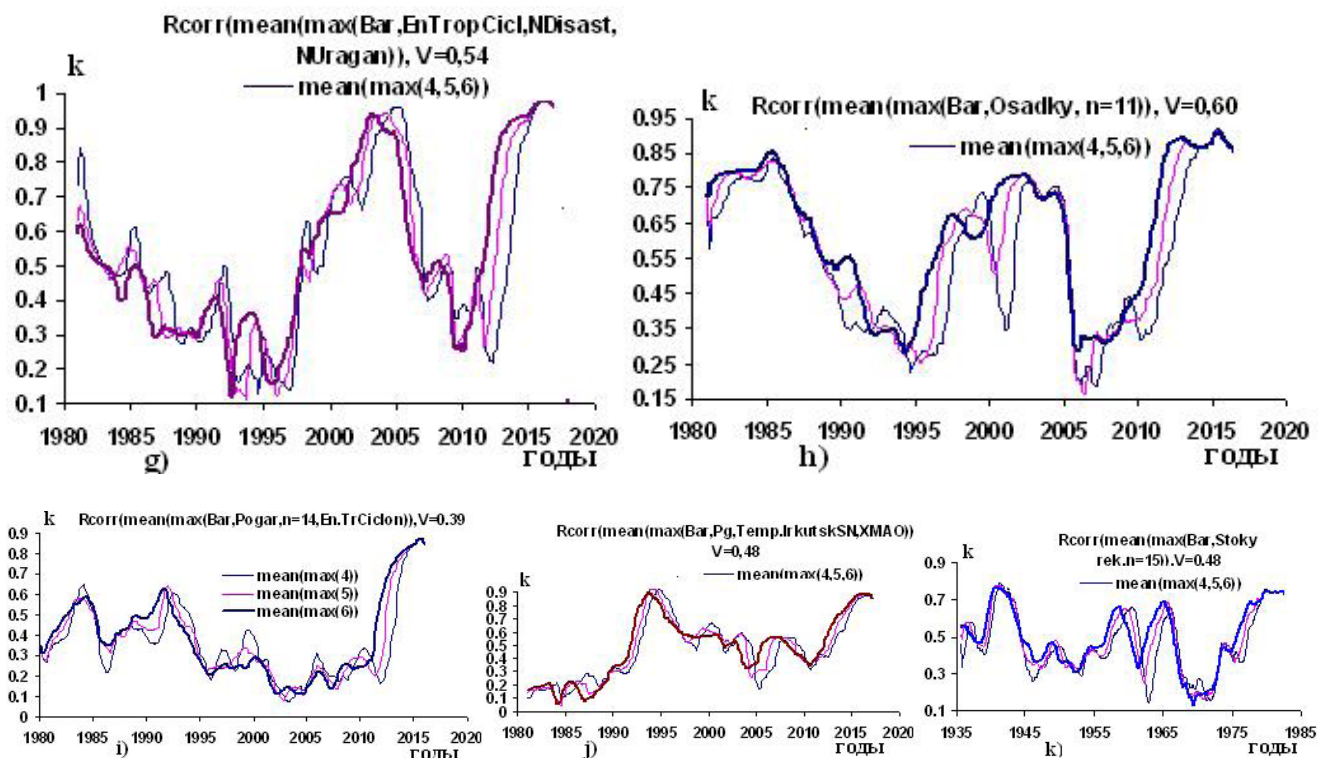
Эти условия могут быть установлены вычислением, построением графиков и анализом изменений вейвлетных фазо-частотных  $a1 = \varphi_f(a, \bar{b})$  и фазо-временных  $a2 = -\varphi_f(\bar{a}, b)$  характеристик множества взаимодействующих переменных: природных катастроф, ураганов, пожаров, изменений стоков  $f_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$  с изменениями переменной *Baricentr* в соответствующих равных интервалах времени. На графиках рисунка 3 отражены относительные изменения групп исследуемых переменных в фазо-частотной области и согласованностей изменений этих групп в фазо-временной области в наблюдаемых интервалах времени с изменениями гелиокосмических переменных, с изменениями главного фактора, – барицентрических движений Солнца.

В изменениях вейвлетных фазо-частотных характеристик, представленных на графиках  $a \div d$  рисунка 3 и фазо-временных характеристиках групп гелиокосмических ( $G/k$ ), климатических переменных, изменений осадков, пожаров, температур, природных катастроф, наводнений, стоков, уровней рек и морей в выбранных в странах света наблюдениях в указанных интервалах времени, проявляются глубокая связь, взаимообусловленность, самонастройка колебательных контуров системы друг с другом в частотной и временной областях.

В изменениях переменных проявляются следующие закономерности с изменениями барицентрических движений Солнца: 1) в фазо-частотной области  $G/k$  переменные согласованы с  $k_1 = |0,23 \div 0,89|$ , пожары с  $k_2 = |0,18 \div 0,88|$ , осадки с  $k_3 = |0,48 \div 0,91|$ , природные катастрофы и ураганы с  $k_4 = |0,29 \div 0,92|$ , температуры с  $k_5 = |0,20 \div 0,96|$ , стоки, уровни рек и морей, наводнения с  $k_6 = |0,80 \div 0,96|$ ; в фазо-временной области согласованности изменения этих же групп переменных с изменениями переменной *Baricentr* составили:  $G/k$  переменные с  $k_1 = |0,18 \div 0,60|$ , пожары с  $k_2 = |0,31 \div 0,81|$ , осадки с  $k_3 = |0,21 \div 0,67|$ , природные катастрофы и ураганы с  $k_4 = |0,12 \div 0,70|$ ,







**Рисунок 3.** Графики изменений вейвлетных фазо-частотных характеристик гелиокосмических, климатических переменных, наблюдений осадков, пожаров, природных катастроф, наводнений, стоков и уровней крупных рек и согласованность их изменений с изменениями Baricentr и других переменных в фазо-временной области: а) Baricentr, Insol, Naklon, Vulkan,  $CO_2$ , Sradl, OCO Aroza, явление Эль\_Ниньо (E/N), магнитный момент Земли (MMZ [26]), магнитное поле Земли (MPZ) [49], число природных катастроф (N.Disaster) [68] и ураганов (N.Uragan [69], T.global, аккумулированная энергия тропических циклонов (En.Tr.Ciklon [70]) по наблюдениям в 1981–2018 гг.; б) Baricentr, количество (N) и площади (S) пожаров в частях света: Alaska.N, Alaska.S, Avstraly.S, Californy.S, Canada.S, Canada.N, Maly.S, Portugaly.S, Portugaly.N, Rus.N, Spain.S, Irkutsk.S, Irkutsk.N [71], XMAO (X/M).S, En.Tr.Ciklon по наблюдения в 1985–2015 гг.; в) Baricentr, осадки, температуры в странах света: Azia Africa, Land, Avstraly, Evropa, N.America, S.America, Total, T.Irkutsk [72], X/M [73,74], T.global, En.Tr.Ciklon по наблюдениям в 1981–2018 гг.; д) Baricentr, стоки (St) и уровни (Yr) морей, рек и озер, наводнений: наводнение в Краснодарском крае (Navodn Kr\_dar) (побережье Черного моря), Kaspy [75], ресурс Волги (Res.Volgy [76]), St.Elba, St.Enisey, St.Jana, St.Lena, St.Oby, St.Ural, YMO, Yr.Amur [77], Yr.Neva, St.Neva [78] по наблюдениям в 1945–2014 гг.; графики коэффициентов к корреляций между переменными в фазо-временной области в 4, 5 и 6 лет в скользящем режиме в интервале времени 1981–2018 гг., е) переменных, приведенных на графиках рисунка 3 а; ф) переменных Baricentr, MMZ, MMP приведенных на графиках а рисунка 3; г) переменных Baricentr, аккумулированной энергии тропических циклонов (En.Trop.Ciklon), числа природных катастроф (Disastes) и ураганов (Uragan), приведенных на графиках а рисунка 3; h) переменных Baricentr, Osadky n = 11, приведенных на графиках с рисунка 3; и) переменных Baricentr, лесных пожаров (количества и по площади охвата (Pogary)), n = 14 в странах света, приведенных на графиках b рисунка 3; j) переменных Baricentr, пожаров и температур в Иркутской области и XMAO (Pg.Irkutsk, Temp); к) переменных Baricentr, стоков рек, уровней водоемов (Stoky rek, Uroven), приведенных на графиках d рисунка 3.

температуры с  $k_5 = |0,12 \div 0,80|$ , стоки, уровни рек и морей, наводнения с  $k_6 = |0,12 \div 0,54|$ ; 2) графики согласованности изменений групп переменных с изменениями Baricentr в наблюдаемых интервалах времени циклические с периодичностью около 11 лет; 3) при приближении к современности наблюдается рост согласованности всех групп переменных в Мире в фазо-временной области: осадков, температур, пожаров, стоков рек, морей, наводнений, природных катастроф, ураганов и других характеристик к единице. Это согласуется с тем, что в интервалах времени 1610–2012 и 1900–2018 гг. на графиках исследований

наблюдается циклический рост согласованностей изменений гелиокосмических и климатических переменных, приближаясь к единице, рост парникового эффекта взаимодействия парниковых газов в атмосфере и глобальной температуры, рост уровня моря и теплосодержания океана, вулканических извержений на суше и в океане; наблюдается рост приземной температуры как ростом парникового эффекта в атмосфере, так и ростом теплосодержания океана, в том числе, скорее всего, и ростом вулканических извержений в океане; 4) по наблюдениям за переменными в 1980–2018 гг. наблюдается

сильное влияние изменений барицентрических движений Солнца: на изменчивость гелиокосмических переменных с  $V = 0,54$ , на изменчивость MMZ и MMP с  $V = 0,57$ , на изменчивость осадков в странах света с  $V = \sim 0,60$ , на возникновение и распространение природных пожаров в странах с  $V = \sim 0,39$ , на изменение стоков крупных рек и уровней водоемов, наводнений в мире с  $V = \sim 0,48$ , на возникновение и распространение региональных пожаров (в Иркутской области и ХМАО) с  $V = \sim 0,48$ .

Исследованы согласованности изменений уровней рек Невы, Эльбы и Амура с изменениями напряженности магнитного поля Солнца (NMPS) и магнитного момента Земли (MMZ) по наблюдениям в 1895–1995 годы с построением графиков изменений; при этом средние значения коэффициентов согласованностей  $V$  рек составили: 0,60, 0,63, 0,58, соответственно. Изменения уровней этих рек с вариациями переменной Baricentr согласованы с  $V \sim 0,60$ .

Полученные результаты исследований позволяют уточнить принятое понятие климатической системы Земли [79], состоящей из пяти взаимодействующих компонентов: атмосферы, гидросферы, криосферы, литосферы и биосферы введением компоненты планетосферы и понятие активной среды системы [80]. В планетосферу входят Солнце и крупные планеты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Земля солнечной системы, взаимодействующие и изменяющие траекторию движения Солнца (барицентр) в системе, элементы орбиты Земли (угол наклона, эксцентриситет и прецессия), инсоляцию и солнечную радиацию, скорость вращения Земли, продолжительность земных суток (LOD) и процессы, происходящие в неоднородных средах Солнца и Земли, гелио- и магнитосферу, океанические течения.

#### **Климатическая система Земли как активная среда, автоволны, самоорганизация**

Силы гравитации между планетами изменяют координаты центра масс Солнца в солнечной системе и процессы внутри неоднородной по структуре Солнца и Земли, изменяют орбитальные элементы Земли (эксцентриситет, наклон орбиты и климатическую процессию), изменяется энергия Солнца, получаемая Землей (инсоляция) пятью ее компонентами, взаимодействующие между собой. В солнечной системе солнечно-земные взаимодействия происходят в сложных циклических режимах.

В наблюдаемых неоднородных компонентах климата Земли происходят волновые, циклические процессы их изменений во времени, обусловленные изменениями элементов орбиты Земли, инсоляции и свойствами компонент климатической системы Земли, фиксируемые инструментальными датчиками во временных интервалах наблюдений (например, графики a, b, c, d, g, h на рисунке 1). Такими наблюдениями являются: T.global, T.Arct, Vulkan, Z.Tres, LOD, TPO, TPV, NMPS, MPZ. E/N, Osadky, M.bury и многие другие переменные, использованные в работе, в статьях автора [3, 4, 6-9], отражающие изменения в компонентах климатической системы, климат на Земле в соответствующих интервалах наблюдений.

Вычисленные и построенные графики вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик множества переменных климатической системы на двух рисунках характеризуют их относительную изменчивость. На рисунках с графиками фазо-временных характеристик многих переменных (например, графики c, d, h рисунка 1, графики b рисунка 4), проявляется структура, на которой наблюдается изменчивость согласованности между кривыми (элементами) структуры, изменяется форма и объем структуры во времени, характеризующие изменения климатических компонентов системы, обусловленные изменениями инсоляции, барицентрических движений Солнца, изменениями климатических элементов орбиты Земли, магнитных полей Солнца и Земли и других факторов. Изменяющиеся структуры, автоволны, в динамических системах были обнаружены в реакциях Белоусова-Жаботинского взаимодействия химических реагентов в реакциях, в активных средах [80], в автоволновых процессах (АВП) химических реакций [81].

Активность среды климатической системы Земли обусловлена тем, что: а) компоненты системы: атмосфера, гидросфера, криосфера, литосфера и биосфера находятся в режиме постоянного получения солнечной энергии; б) режим получения энергии Солнца компонентами системы обеспечивается взаимодействием крупных планет солнечной системы: Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Земли, приводящий к непрерывному изменению координат Солнца в гелиоцентрической системе, изменению элементов орбиты Земли и других планет: эксцентриситета, наклона орбиты к плоскости отсчета и климатической прецессии, изменяющие единицы солнечной энергии, получаемой Землей во времени; в) разнопериодичностью процессов, происходящих в составляющих компонентов климатической системы.



Под активной средой понимается среда, способная усиливать электромагнитные волны определенной частоты в результате процессов вынужденного испускания на воздействия солнечной энергии [80]. В таких средах могут существовать автоволны, незатухающие волновые процессы, которые поддерживаются за счет постоянных источников. В активной среде обеспечивается распределенная энергия, источники. В климатической системе Земли таким источником является солнечная энергия, непрерывно получаемая ее компонентами. Под автоволновым процессом (АВП) принято понимать самоподдерживающийся в активной нелинейной среде волновой процесс, сохраняющий свои характеристики постоянными за счет распределенного в среде источника энергии. В климатической системе имеет место возникновение автоволновых структур, обусловленных за счет локальных взаимодействий компонентов климатической системы. Примерами таких структур являются графики  $c$ ,  $d$ ,  $h$  на рисунке 1 статьи, графики фазо-временных характеристик многих переменных, приведенных в работах [6-9], графики изменений коэффициентов  $k$ , характеризующих меру согласованности изменений геликосмических и климатических переменных с изменениями переменной  $Varicentr$ , изменениями парниковых газов и концентрации озона в атмосфере, обусловленные изменениями вулканических извержений, изменений глобальной температуры, приведенных на графиках 2 статьи. Такие структуры в активных средах любой физической природы называются турбулентными, они проявляются на графиках изменений вейвлетных фазо-временных характеристик множества гелиокосмических и климатических переменных, графиках изменений коэффициентов  $k$  согласованностей изменений переменных в соответствующих интервалах наблюдений.

На графиках  $e$ ,  $f$ ,  $i$ ,  $j$  рисунка 1 отображаются усредненные согласованности элементов автоволновых структур, обусловленных локальным по времени взаимодействием компонентов (фазо-временных характеристик элементов компонентов) климатической системы, рост согласованности изменений переменных в современности, глобального потепления. Графики на рисунках 2, 3, 4 также отображают особенности локальных взаимодействий между элементами климатической системы, цикличность взаимодействующих составляющих, рост и изменчивость согласованности изменений переменных в эпоху глобального потепления и в глубоком палеоклимате в прошлом.

В компонентах климатической системы неравновесность и АВП поддерживаются за счет энергии Солнца и регулируются диффузией, теплопередачей, гидродинамическими потоками, конвекцией, испарениями, поверхностным натяжением в компонентах климатической системы Земли.

АВП являются одним из характерных проявлений самоорганизации, происходящей в распределенных, открытых и далеких от термодинамического равновесия системах [80], в климатической системе Земли. В этой системе, по причине разнопериодных взаимодействий между планетами, изменчивых (вероятностных) процессов на Солнце, солнечно-земных связях и взаимовлияний компонентов климатической системы Земли, на графиках обнаруживаются изменяющиеся по структуре автоволны, особенности самоорганизации климатической системы Земли; волны, изменяющиеся в интервале  $\pm \pi$  в фазовой области, с переменными скоростями. Изменчивость скоростей автоволн в структурах компонентов климатической системы Земли отражается на графиках уравнений аппроксимаций, характеризующих согласованность изменений составляющих в компонентах климатической системы Земли, множеством наблюдений в соответствующих интервалах времени.

В климатической системе Земли, как в любой вероятностной системе, точность оценивания характеристик автоволн (направленность, скорость, ширина (объем) изменений), определяется мощностью множества наблюдений в климатических элементах, длительностью и точностью наблюдений за изменениями переменных, характеризующих изменчивость климата.

По причине распределенности в пространстве компонентов системы автоволновые структуры в климатической системе Земли наблюдаются только на экране компьютера, на представленных графиках, полученных при совместной обработке наблюдаемых данных на компонентах системы, которые проявляются в климатических изменениях.

Климатические автоволны, признаки самоорганизующейся климатической системы Земли, проявляются и прогнозируются и по палеонаблюдениям, исследований ледовых кернов в Антарктике [82], донных отложений в океане [83], изотопных изменений химических элементов в природе [84], раскрывающие природу, закономерности климатических изменений на Земле в продолжительных интервалах времени в прошлом. Климатическая система Земли является самоорганизующейся потому, что она является результатом

взаимодействия планет самоорганизующейся солнечной системы, устойчивых солнечно-земных связей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе приводятся результаты анализа множества взаимообусловленных переменных, характеризующих изменения климата на Земле в разных временных интервалах наблюдений. Показано, что самоорганизованные изменения множества переменных обусловлены самоорганизованными взаимодействиями планет солнечной системы, барицентрическим движением Солнца и солнечно-земными связями, влияющими на изменения гелиокосмических и климатических переменных Земли.

Установлено изменение климата на Земле, обусловленное взаимодействием планет солнечной системы, влиянием барицентрических движений Солнца (Baricentr) с гелиокосмическими и климатическими переменными Земли, установившимися солнечно-земными связями как колебательных контуров в элементах климатической системы Земли: атмосферы, гидросферы, криосферы, литосферы, биосферы Земли и планетосферы. Закономерности изменений гелиокосмических, климатических переменных, природных сред, вулканических извержений и парниковых газов, уровня океана и его энергетики, природных пожаров и катастроф также согласованы с изменениями Baricentr, выявленные анализом вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик переменных по данным инструментальных измерений в 1955–2020, 1900–2020, 1621–2012 годы, палеоданным, полученным анализом ледяных кернов со станции «Восток» в Антарктике, донных отложений Антарктики, характеризующих историю климата Земли в 800 тысячелетии в прошлом.

В долговременных наблюдениях многих гелиокосмических, климатических переменных, переменной Baricentr в 1610–2012 гг., в вейвлетных фазо-временных характеристиках (ВФВХ)  $a2 = -\varphi_r(\bar{a}, b)$ ,  $2a2 = -\varphi_{a2}(a, b)$  найдены периоды Жозе в ~178 лет, с высокими корреляциями  $k = |0,64 \div 0,96|$  в фазо-частотной области; такие же корреляции получены и по наблюдениям групп переменных на малых интервалах времени.

Изменение климатической системы Земли представлено как проявление самоорганизации в активной среде взаимодействий атмо-, гидро-, крио-, лито-, биосферы Земли и планетосферы, обусловленной самоорганизованным взаимодействием планет

солнечной системы и солнечно-земных связей, в которой изменяющаяся активность климатических сред Земли обусловлена наличием взаимодействий планет и солнечно-земных связей. При совместном анализе измерений климатических изменений в разных средах вейвлетным фазовым методом с построением графиков фазо-временных характеристик переменных на экране монитора наблюдаются автоволны с резонансно изменяющимися амплитудами в интервале  $\pm\pi$ , характерное для самоорганизующихся колебательных систем.

На изображениях фазо-временных характеристик переменных проявляются два типа изменений частотных составов: «непрерывный» и «дискретный», характеризующие разнотипность изменений физико-химических состояний в изменяющихся средах Земли и Космоса.

Наблюдается значительное отличие в изменениях фазо-временных характеристик переменных, произведенных в южных, теплых и в северных, холодных широтах планеты. Отличие заключается в изменении согласованности изменений переменных на широтах, примерно в 2,1 раза, с большей хаотичностью изменений переменных в северных широтах, обусловленной влиянием переменной Baricentr, магнитных полей Солнца и Земли к изменениям климатических переменных на разных широтах планеты в частотной области. Точности приведенных в работе количественных результатов соответствуют точностям инструментальных измерений данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков, В. М. Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. / В. М. Большаков – М.: МГУ, 2003. – 256 с. – Текст: непосредственный.
2. Хлыстов, А. И. Барицентрические движения Солнца и его следствия для солнечной системы. / А. И. Хлыстов, В. П. Долгачев., Л. М. Доможилова. – Текст: непосредственный. // Труды ГАИШ, 1991. – Т. 62. – С. 111-118.
3. Алексеев, В.И. Исследование изменений глобального климата как сложной системы с использованием вейвлетных фазо-частотных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных. Часть 1. / В. И. Алексеев. – Текст: непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 1.331, № 7. – С. 238-250.
4. Алексеев, В. И. Исследование изменений глобального климата как сложной системы с использованием вейвлетных фазо-частотных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных. Часть 2. / В. И. Алексеев. – Текст: непосредственный. // Известия Томского



- политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т.1.331, № 8. – С. 99-111.
5. Дьяконов, В. П. Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс. 2010. – 400 с. – Текст: непосредственный.
  6. Алексеев, В. И. Применение вейвлетного фазового метода исследования сигналов к анализу асимметричных барицентрических движений Солнца и изменений процессов, происходящих на Солнце, околоземном пространстве и в недрах Земли / В. И. Алексеев. – Текст: непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2020. 3(58). – С. 7-35.
  7. Алексеев, В. И. Исследование согласованности изменений гелиокосмических и климатических переменных в условиях глобального потепления на основе вейвлетного фазового анализа. / В. И. Алексеев. – Текст: непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2022. 3(58). – С. 7-35.
  8. Алексеев, В. И. Исследование согласованности изменений вейвлетных фазовых характеристик гелиокосмических и климатических переменных и изменений составляющих мирового водного баланса. Часть 1. / В. И. Алексеев. – Текст: непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2022. – 3(66). – С. 121-136.
  9. Алексеев, В. И. Исследование согласованности изменений вейвлетных фазовых характеристик гелиокосмических и климатических переменных и изменений составляющих мирового водного баланса. Часть 2. / В. И. Алексеев. – Текст: непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – 3(68). – С. 43-59.
  10. Sayyad, R.A. How to Use Convolutional Neural Networks for Time Series Classification. – 2020. – URL: <https://medium.com/Rehan/how-to-use-convolutional-neural-networks-for-time-series-classification-80575131a474> (data of application: 25.05.2023).
  11. Mehtab, S., Sen J/ Stock Price Prediction Using Convolutional; Neural Networks on a Multivariate Project: Timeseries. Analysis and Forecasting of Financial Time Series. – 2020. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/338477393\\_Stock\\_Price\\_Prediction\\_Using\\_Convolutional\\_Neural\\_Networks\\_on\\_a\\_Multivariate\\_Timeseries](https://www.researchgate.net/publication/338477393_Stock_Price_Prediction_Using_Convolutional_Neural_Networks_on_a_Multivariate_Timeseries) (data of application: 25.05.2023)
  12. Falco, M., Costa P., Romano P. Solar flare forecasting using morphological properties of sunspot groups. Journal Astrophysics. – 2019. – URL: <https://arxiv.org/abs/1905.05759> (data of application: 25.05.2023)
  13. Benson, B., Pan W., Prasad A., Gary G.A., Hu O. Forecasting Solar Cycle 25 Using Deep Neural Networks. Solar Physics. – 2020. – V.295. – № 65. URL: <https://doi.org/10.1007/s11207-020-01634-y> (data of application: 25.05.2023)
  14. Covas, E., Peixinho, N., Fernandes, J. Neural network forecast of the sunspot butterfly diagram. Solar Phys. – 2019. – 294(3), 24. DOI 10.1007/s11207-019-1412z
  15. Géron, A. Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and Tensorflow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems, O'Reilly Media, Newton. – 2019. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/hands-on-machine-learning/9781492032632/>
  16. Pala, Z., Atici, R., Forecasting sunspot time series using deep learning methods. Solar Phys. – 2019. – 294(5), 50. DOI: 10.1007/s11207-019-1434-6 <https://ui.adsabs.harvards.edu/abs/2019SoPh..50P/abstract>
  17. Labonville, F., Charbonneau, P., Lemerle, A A dynamo-based forecast of solar cycle 25. Solar Phys. – 2019. – 294(6), 82. DOI .10.1007/s11207-019-1480-0
  18. Siami-Namini, S., Tavakoli, N., Siami Namin, A. A comparison of arima and lstm in forecasting time series. In: 2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 1394. DOI . 10.1109/ICMLA.2018.00227
  19. David Randall. Nobel winners made possible prediction of global warming and modern weather forecasting. 2021. – URL: <https://coloradonews.com/2021/10/12/nobel-prize-physic-mathematics-climate-modeling/> (data of application: 25.05.2023)
  20. Охлопков, В. П. Основные периодичности движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и солнечная активность / В. П. Охлопков. – Текст: непосредственный // Вестник московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2011. – № 6. – С. 138-142.
  21. International sunspot number. – 2021 – URL: [https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img\\_url=https%3A%2F%2Fwww.iaa.rwth-aachen.de/](https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Fwww.iaa.rwth-aachen.de/) (Sact) (data of application: 25.05.2023)
  22. Федоров, В. М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. – М.: Физматлит. – 2018. – 232 с. – Текст: непосредственный.
  23. Volcano eruptions of 2014 and all eruptions since 1600 to present // The Big Wobble. 18 June 2016. – URL: <http://www.thebigwobble.org/2016/06/volcano-eruptions-of-2014-and-all.html1> (data of application: 25.05.2023)
  24. Гладильщикова, А. А. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК): цикл шестого оценочного доклада / А. А. Гладильщикова, С. М. Семенов. – Текст: непосредственный // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – Т. 2. – С. 13–25.
  25. Total ozone series at Arosa (CH): homogenization and data comparison / J. Staehelin, A. Renaud, J. Bader, R. McPeters, P. Viatte, B. Hoegge, V. Bugnion, M. Giroud, H. Schill // Journal Geophysics Research. – 1998. vol. D5. № 103, pp. 5827–5841.
  26. Кокоуров, В. Д. Многолетние изменения в системе Солнце-Земля / В. Д. Кокоуров. – Текст: электронный // Солнечно-земная физика. ИСЗФ СО РАН. – 2012. – URL: <http://rcrc2016.msu.ru/irkutsk/kok/changes.htm> (дата обращения: 10.04.2023)
  27. Sea level. – 2020. – URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>. (data of application: 25.05.2023)

28. Прогноз на 2018-й: Землю будет трясти со страшной силой. Газета.ru, – 20.11.2017 //gazeta.ru/science/2017/11/20\_a\_1094156.html (дата обращения: 20.04.2023)
29. Сидоренков, Н. С. Нестабильности вращения Земли и глобальные изменения природных ресурсов / Н. С. Касимов, Р. К. Клиге. – Текст: непосредственный. // Современные глобальные изменения природной среды. – Т. 2. – М. Научный мир, 2006. – С. 19-34.
30. Федоров, В. М. О возможной физической природе мультидекадного колебания в климатической системе Земли / В. М. Федоров, Д. М. Фролов. – Текст: непосредственный // Сложные системы. – 2019. – № 1 (30). – С. 26-40.
31. Flis, A. The Gulf Stream continues to slow down, new data shows, with freshwater creating an imbalance in the current, pushing it close to a collapse point. 2020. – URL: <https://www.severe-weather.eu/global-weather/gulf-stream-amoc-circulation-collapse-freshwater-imbalance-usa-europe-fa/> (data of application: 25.05.2023)
32. The evolution of the solar wind. – 2021 – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41116-021-00029-w> (data of application: 25.05.2023)
33. Sunspot cycle and annual numbers of magnetic storms. – 2020. – URL: [https://www.researchgate.net/figure/Sunspot-cycle-and-annual-numbers-of-magnetic-storms-Base-upon-The-earth-magnetic-fig5\\_335474902](https://www.researchgate.net/figure/Sunspot-cycle-and-annual-numbers-of-magnetic-storms-Base-upon-The-earth-magnetic-fig5_335474902) (data of application: 25.05.2023)
34. Федоров, В. М. Тенденции изменения площади морских льдов в северном полушарии и их причины. Криосфера Земли. – 2015. – Т. XIX. – № 3. – С. 52-64. – Текст: непосредственный.
35. Федоров, В. М. Прогноз аномалии ТПО. – 2021. – URL: [solar-climate.com/geo/ocean.htm](http://solar-climate.com/geo/ocean.htm) (дата обращения: 20.05.2023).
36. Федоров, В. М. Прогноз аномалии ПТВ. – 2021. – URL: [solar-climate.com/geo/ocean.htm](http://solar-climate.com/geo/ocean.htm) (дата обращения: 20.05.2023).
37. El Nino unusually active in the late 20th century, study finds. – 2020. – URL: [https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img\\_url=https%3A%2F%2Fniwa.co.nz](https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Fniwa.co.nz) (data of application: 25.05.2023)
38. Global precipitation anomaly. Our World in Data. – 2020.- URL: <https://ourworldindata.org/grapher/global-precipitation-anomaly> (data of application: 25.05.2023)
39. Climate Change Indicators: Ocean Heat. EPA: United States Environmental Protection Agency. – 2020. – URL: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-ocean-heat>. (data of application: 25.05.2023)
40. Semenov, V.A. modern Arctic Climate Research: Progress, Change of Concepts, and urgent Problems. Izvestiya, Atmospheric and Oceans Physics. Vol. 57, № 1, pp. 18-28. – 2021. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/50001433821010114> (data of application: 25.05.2023)
41. Global Temperature Report for 2018. Posted on January 24, 2019 by Robert Rohde/berkeleyearth.org/2018-temperatures-new. 2019. – URL: <http://berkeleyearth.org/2018-temperatures-new/> (data of application: 25.05.2023)
42. По результатам мониторинга климата России, ведущегося в ИГКЭ, прошедшая зима была самой теплой за всю историю наблюдений. – Текст: электронный. – 2021. – URL: [www.igce.ru/2020/04/по-результатам-мониторинга-климата-p/](http://www.igce.ru/2020/04/по-результатам-мониторинга-климата-p/)
43. Hemispheric temperature change. – 2021. – URL: [researchgate.net/figure/hemispheric-temperature-change-Trend-of-hemispherical-temperature-anomaly-is-shown-for-fig2\\_350990531](https://researchgate.net/figure/hemispheric-temperature-change-Trend-of-hemispherical-temperature-anomaly-is-shown-for-fig2_350990531) (data of application: 25.05.2023)
44. Hurricanes and climate change. – 2021. – URL: <https://www.ucsusa.org/resources/hurricanes-and-climate-change> (data of application: 25.05.2023)
45. Ecological disasters and mental health: causes, consequences, and interventions. – 2021. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsy.2020.00001/full> (data of application: 25.05.2023)
46. Climate change indicators tropical cyclone activity. -2021. – URL: <https://www.climate-indicators.org/climate-change-indicators-tropical-cyclone-activity> (data of application: 25.05.2023)
47. Зверева, Т. И. Динамика главного магнитного поля Земли с 2001 по 2009 годы по данным спутника CHAMP. Научная конференция: Базы данных, инструментальные и информационные основы геофизических исследований 22-28 мая 2012 года. ИЗМИРАН.
48. The Earth's magnetic field: an overview. – 2021. – URL: <https://geomag.bgs.ac.uk/education/eartcmag.html> (data of application: 25.05.2023)
49. Lockwood M. Reconstruction and Prediction of Variations in the Open Solar Magnetic Flux and Interplanetary Conditions. Living Reviews in Solar Physics. 10 (4). – 2013. – URL: <https://link.springer.com/article/10.12942/lrsp-2013-4> (data of application: 25.05.2023)
50. Зверева, Т. И. Динамика главного магнитного поля Земли с 2001 по 2009 годы по данным спутника CHAMP. – Текст: электронный. – URL: [https://docs.ruindex.ru/docs/view/?tm=1686788984&ted=ru&land=ru&name=Pol ar\\_2012\\_Zvereva.pdf&text=графики](https://docs.ruindex.ru/docs/view/?tm=1686788984&ted=ru&land=ru&name=Pol ar_2012_Zvereva.pdf&text=графики) (data of application: 25.05.2023)
51. Global temperature change – a geological perspective. – 2021.- URL: <https://rockyrexscience.blogspot.com/p/this-graph-shows-how-temperatures-have.htm> (data of application: 25.05.2023)
52. Concentrations of greenhouse gases from 0 to 2005. 2006. – URL: [googl.com/search?q=графики%20изменений%20парниковых%20газов%20новой%20э.рe&tbm=ringCTT HproYj0ikYa7KXZFBsql](http://googl.com/search?q=графики%20изменений%20парниковых%20газов%20новой%20э.рe&tbm=ringCTT HproYj0ikYa7KXZFBsql). (data of application: 25.05.2023)
53. International sunspot number: Yearly mean and 13-months smoothed number. – 2022. – URL: [https://yandex.ru/image/search?img\\_ure=https%3A%2F%2Fniwa.co.nz](https://yandex.ru/image/search?img_ure=https%3A%2F%2Fniwa.co.nz) (data of application: 25.05.2023)

54. Нестационарность средних значений в многолетнем ряду среднемесячных температур на метеостанции Халли. – 2022ю – URL: <https://cyberlenica.ru/article/n/temperaturnyy-rezhim-antarctidu-i-ego-izmereniya/viewer> (data of application: 25.05.2023). – Текст: электронный.
55. Годовое изменение температуры в Оймяконе. – 2022. – URL: [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Оймякон\\_Россия\\_2122311](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Оймякон_Россия_2122311) (data of application: 25.05.2023). – Текст: электронный.
56. Годовое изменение температуры Верхоянск. – 2022. – URL: [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Верхоянск\\_Россия\\_2013465](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Верхоянск_Россия_2013465) (data of application: 25.05.2023). – Текст: электронный.
57. Годовое изменение температуры Якутск. – 2022. – URL: [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Якутск\\_Россия\\_2013159](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Якутск_Россия_2013159) (data of application: 25.05.2023). – Текст: электронный.
58. Годовое изменение температуры Хатанга. – 2022. – URL: [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Хатанга\\_Россия\\_2022572](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Хатанга_Россия_2022572) (data of application: 25.05.2023). – Текст: электронный.
59. Годовое изменение температуры Акюрейри. – 2022. – URL: [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Акюрейри\\_Исландия\\_2633274](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Акюрейри_Исландия_2633274) (data of application: 25.05.2023). – Текст: электронный.
60. Unprecedented medieval warming temperatures. – 2022. – URL: [https://yandex.ru/mages/seach?from\\_url=tabbar&img\\_url=https%3A%2F%2F](https://yandex.ru/mages/seach?from_url=tabbar&img_url=https%3A%2F%2F) (Grenland 1000-2000) (data of application: 25.05.2023)
61. Калюжный, И. Л. Влияние климатических изменений на глубину промерзания почв в бассейне реки Волги. / И. Л. Калюжный, С. А. Лавров. – Текст: непосредственный // Лед и снег. – 2016. – Т. 56, № 2. – С. 207-220.
62. Шерстюков, Б. Г. Динамическая синхронизация колебаний климата океана с барицентрическим движением Солнца. / Б. Г. Шерстюков. – Текст: непосредственный // Известия РАН. Серия географическая, – 2021, – Т. 85, № 3. – С. 380-391.
63. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. – 2003. – 573 с.
64. Межвековой ход уровня каспийского моря с начала нашей эры. – 2000. -URL:<https://caspiy.net/dir3/sol/sol8.html?ysclid=ljh1ubor57255782481>(дата обращения: 30.05.2023). – Текст: электронный.
65. Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3. Факторы глобальных изменений / под ред. Клиге Р. К., Хлыстова А. И. – М.: Научный мир, 2012. – 444 с. – Текст: непосредственный.
66. Владимирова, Д. О. Изменения климата в индоокеанском секторе Восточной Антарктиды за последние 350 лет. / Д. О. Владимирова А. А. Екайкин, В. Я. Липенков. – Текст: непосредственный // Лед и снег. – 2015. – Т. 55, № 4. – С. 5-18.
67. Ахвердиев, А. Т. Новые взгляды о происхождении вулканов и землетрясений / А. Т. Ахвердиев, Н. Ф. Нагиев, Р. Ю. Мамедов. – Текст: непосредственный // Евразийский союз ученых (ЕСУ). – 2020. – № 4 (73). – С. 41-44.
68. Неизбежность природных катастроф. – URL: [https://yandex.ru/images/search?img\\_url=https%3A%2Fpbs.twimg.com](https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2Fpbs.twimg.com) (data of application: 25.05.2023). – Текст: электронный.
69. Annual number of Hurricanes and major Hurricanes (cat 3-5). – URL: [https://yandex.ru/images/search?img\\_url=https%3A%2Ffinkonspekta.net%2Finfopediase](https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2Ffinkonspekta.net%2Finfopediase) (data of application: 25.05.2023)
70. Accumulated cyclone energy index. Atlantic ocean 1948-2020. – URL: [https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img\\_url=https%3A%2F](https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F) (data of application: 25.05.2023)
71. Гамышев, В. В., Вацалова Т. В. Мониторинг лесных пожаров на территории Иркутской области на основе ретроспективного анализа. / В. В. Гамышев, Т. В. Вацалова // Вестник ИРГСХА. – 2019. № 93.
72. Гафики изменений температуры, осадков в иркутской области в 1979-2021 гг. – URL: [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Иркутская-область\\_Россия\\_2023468](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Иркутская-область_Россия_2023468) (дата обращения: 20.05. 2023). – Текст: электронный.
73. Графики изменений температуры ХМАО в 1897-2022 гг. – URL: [www.pogodaiklimat.ru/history/23933.htm?ysclid=ljhahp6c3x473329073](http://www.pogodaiklimat.ru/history/23933.htm?ysclid=ljhahp6c3x473329073)(дата обращения: 20.05. 2023)
74. Графики изменений температуры, осадков в ХМАО в 1979-2021 гг. – URL; [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Ханты-Мансийск\\_Россия\\_1503772](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Ханты-Мансийск_Россия_1503772) (дата обращения: 20.05. 2023). – Текст: электронный.
75. Observed Caspian sea level (CSL) change: 1840-2015. – URL: [https://yandex.ru/images\\_search?img\\_url=https%3A%2F%2Fwindow2baku.com52Fimages](https://yandex.ru/images_search?img_url=https%3A%2F%2Fwindow2baku.com52Fimages) (data of application: 25.05.2023)
76. Основные гидрологические характеристики рек бассейна верхней Волги./ Под ред. В. Ю. Георгиевского. Ливны. 2015. – Текст: электронный.
77. Архив данных по уровню реки Амур. – URL:<https://amur-bereg.ru/theards/archiv-dannyx-po-urovnju-r-amur.3149/?ysclid=lji3jyul2340399> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст: электронный.
78. Общая характеристика речного бассейна реки Нева. Книга 1. – Санкт-Петербург. – 2010. – 189 с. – Текст: непосредственный.
79. Мякишева, Н. В. Климатическая система Земли: прошлое и настоящее. Учебное пособие. – Санкт-Петербург. РГГМУ. – 2022. – 194 с. – Текст: непосредственный.
80. Активная среда. – URL: <https://руни.рф/index/php/Активная-среда> (дата обращения: 20.05. 2023)
81. Трубецков, Д. И., Короновский А. А., Храмов А. Е., Ремпен И. С. Волны, структуры, самоорганизация. 2022. – URL: <https://www.squ.ru/sites/default/fibes/textdocsfiles> (дата обращения: 20.05. 2023). – Текст: электронный.

82. Васильев, Н. И., Результаты бурения скважины 5Г на российской станции “Восток” и исследование кернов льда. – Записки горного института) / Н. И. Васильев, А. Н. Дмитриев, В. Я. Липенков. – Текст: непосредственный // Геология. – Санкт-Петербург. – 2016. – Т. 218. – С.161-170.
83. Некоторые хроностратиграфические результаты сопоставления орбитально-климатической диаграммы с глобально-осредненной записью  $IrO_4$  для интервалов времени 0 – 1,5 млн лет. – URL: <https://pandia.ru/text/82/625/17910.php> (дата обращения: 20.05. 2023). – Текст: электронный.
84. Изотопы в климатических исследованиях. – 2019. – URL: [https://www.iava.org/sites/default/32406880915\\_ru.pdf](https://www.iava.org/sites/default/32406880915_ru.pdf) (дата обращения: 20.05. 2023). – Текст: электронный.







## РАЗРЕШИМОСТЬ НАЧАЛЬНО-КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ КВАЗИГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ В СЛУЧАЕ СЛАБОСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

**Евсеев Федор Александрович**

аспирант,  
Инженерная школа цифровых технологий,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: fedor\_evseev@rambler.ru

Предмет исследования: разрешимость первой начально-краевой задачи для квазигидродинамической системы уравнений в случае слабосжимаемой жидкости.

Методы исследования: доказательство основано на методе Галеркина с использованием априорных оценок.

Основные результаты исследования: доказана теорема существования обобщенных решений.

**Ключевые слова:** начально-краевая задача, квазигидродинамическая система, априорные оценки, теорема существования.

## SOLVABILITY OF INITIAL BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR A QUASIHYDRODYNAMIC SYSTEM OF EQUATIONS IN THE CASE OF A WEAKLY COMPRESSIBLE FLUID

**Fedor A. Evseev**

Postgraduate Student,  
Engineering School of Digital Technologies,  
Yugra State University  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: fedor\_evseev@rambler.ru

Subject of research: solvability of the first initial-boundary value problem for a quasi-hydrodynamic system of equations in the case of a weakly compressible fluid.

Method of research: the proof is based on the Galerkin method using a priori estimates.

Main results of research: the existence theorem for generalized solutions is proven.

**Keywords:** initial-boundary value problem, quasi-hydrodynamic system, a priori estimate, existence theorem.

### ВВЕДЕНИЕ

Система квазигидродинамических (далее, КГид) уравнений в случае слабосжимаемой жидкости имеет вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \bar{u} &= \operatorname{div} \bar{w}, (t, x) \in Q = (0, T) \times G, G \subset \mathbb{R}^3, \\ \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + (\bar{u} - \bar{w}, \nabla) \bar{u} + \frac{1}{\rho} \nabla p &= \\ \bar{f} + \mu \Delta \bar{u} + \mu \nabla (\operatorname{div} \bar{u}) + (\bar{u}, \nabla) \bar{w} + \bar{w} \operatorname{div} \bar{u}, \\ \mu &= \frac{\eta}{\rho}, \bar{w} = \tau \left( (\bar{u}, \nabla) \bar{u} + \frac{1}{\rho} \nabla p - \bar{f} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где плотность  $\rho$ , динамическая вязкость  $\mu$  и характерное время релаксации  $\tau$  считаются заданными положительными константами. Векторное поле  $\bar{f} = \bar{f}(x, t)$  определяет массовую плотность внешних сил. Система (1) замкнута относительно неизвестных функций – вектора скорости  $\bar{u} = \bar{u}(x, t)$  и давления  $p = p(x, t)$ . Символы  $\operatorname{div}$  и  $\nabla$  определяют операции дивергенции и градиента соответственно. Уравнение рассматривается в ограниченной области  $G$  с границей  $\Gamma \in C^2$ .

Система (1) дополняется начально-краевыми условиями:

$$\begin{aligned} \bar{u}|_{\bar{\Lambda}} &= 0, \bar{w} \cdot \nu|_S = 0, \bar{u}|_{t=0} = \\ \bar{u}_0(x), \int_G p(t, x) dx &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\nu$  – единичный вектор внешней нормали к  $\Gamma$ .

Система (1) в более общем виде была выведена в статьях [1], [2] на основе известной кинетической модели. Первые варианты системы называются системой квазигазодинамических (далее – КГД) уравнений. Посвященную ей теорию и ее вывод можно найти в монографиях [3], [4]. Позднее, на основе более общего уравнения состояния, была предложена еще одна модель [5], [6] (КГид система уравнений). В частности, вывод этой модели и некоторые результаты можно найти в монографии [7]. Здесь в случае слабосжимаемой жидкости (т. е. для системы (1)) были доказаны теоремы о диссипации полной энергии, а также теоремы единственности для классических решений системы. В статьях [8, 9, 10] Злотником А.А. были получены результаты по части анализа некоторых неклассических задач для КГид уравнений. Для линеаризованной КГид системы им получены результаты о существовании и единственности обобщенных решений задач Коши и начально-краевых задач в случае реального и политропного газа на произвольном временном промежутке. Позднее на основе линеаризованной КГД системы уравнений на постоянном решении строилась система с общей регуляризующей скоростью, а также устанавливалось вырождение свойства параболичности исходной системы [11]. Для КГид системы уравнений в случае слабосжимаемой жидкости авторами работы [12] были доказаны теоремы существования и единственности обобщенных и регулярных решений при некоторых условиях на данные. В работе [13] исследуется модель на основе КГД и КГид уравнений в многомасштабных средах, которую можно использовать в приложениях с пористыми средами. В качестве



основы для такой модели был предложен вычислительный многомасштабный метод, основанный на идее минимизаций энергии связи, для решения задач КГД и повышения точности моделирования. Стоит отметить, что в последнее время регуляризованные уравнения гидродинамики КГД-типа широко используются для построения численных методов. Некоторые последние результаты представлены в [13-17]. Несмотря на обширные исследования, посвященные решению задач квазигидродинамики, работы, посвященные доказательству теоремы о существовании и единственности глобального решения начально-краевой задачи для нелинейных систем КГД уравнений, вероятно, отсутствуют. В данной работе будет предпринята попытка восполнить этот пробел.

В настоящей работе устанавливается, что при определенных условиях на данные КГД системы уравнений существует обобщенное решение первой начально-краевой задачи и его можно найти как предел приближенных решений, вычисляемых по методу Галеркина с использованием априорных оценок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Вспомогательные результаты и определения

Пусть  $u, p$  – достаточно гладкое решение задачи (1), (2). Первое и второе уравнение системы умножим на функции  $\varphi$  и  $\bar{\psi}$  соответственно, такие что

$$\varphi \in L_2(0, T; W_2^1(G)), \int_G \varphi(x) dx = 0,$$

$$\bar{\psi} \in L_2(0, T; W_2^1(G)), \bar{\psi}|_S = 0.$$

Интегрируя по  $G$ , приходим к равенствам:

$$\int_G \bar{u} \cdot \nabla \varphi dx = \int_G \bar{w} \cdot \nabla \varphi dx = \tau((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \nabla \varphi) +$$

$$\frac{\tau}{\rho}(\nabla p, \nabla \varphi) - \tau(\bar{f}, \nabla \varphi),$$

$$\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}, \bar{\psi}\right) + \left((\bar{u} - \bar{w}), \nabla\right) \bar{u}, \bar{\psi} +$$

$$\frac{1}{\rho}(\nabla p, \bar{\psi}) = (f, \bar{\psi}) - \mu(\nabla \bar{u}, \nabla \bar{\psi}) -$$

$$\mu(\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{\psi}) + ((\bar{u}, \nabla) \bar{w}, c\psi) +$$

$$(\bar{w} \operatorname{div} \bar{u}, \bar{\psi}), \quad (3)$$

где точка  $\cdot$  означает скалярное произведение в  $\mathbb{R}^3$  и  $(u, v) = \int_G uv dx$  для скалярных

функций и  $(\bar{u}, \bar{v}) = \int_G \bar{u} \cdot \bar{v} dx$  для векторных. Ин-

тегрируя по частям, имеем:

$$\begin{aligned} ((\bar{u}, \nabla) \bar{w}, \bar{\psi}) &= \int_G ((\bar{u}, \nabla) \bar{w}) \cdot \bar{\psi} dG = \\ &= - \int_G \operatorname{div} \bar{u} \bar{w} \cdot \bar{\psi} dG - \int_G ((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}) \cdot \bar{w} dG \end{aligned} \quad (4)$$

Используя это равенство в (3), получаем равенства:

$$\begin{aligned} (\bar{u}, \nabla \varphi) &= (\bar{w}, \nabla \varphi), \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}, \bar{\psi}\right) - \\ &= \left((\bar{u} - \bar{w}), \nabla\right) \bar{\psi}, \bar{u} + \frac{1}{\rho}(\nabla p, \bar{\psi}) + \\ &= \mu(\nabla \bar{u}, \nabla \bar{\psi}) + \mu(\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{\psi}) \\ &+ \left((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}\right) = (f, \bar{\psi}), \end{aligned} \quad (5)$$

справедливые при п.в.  $t$ . Равенство (5) может служить основой для определения обобщенного решения задачи. Пусть  $p_0 \in [1, 3/2]$ ,  $q_0 = 2p_0 / (4p_0 - 3)$ ,  $p_1 = 5/4$ .

Функции

$$\bar{u} \in L_2(0, T; W_2^1(G)) \cap L_\infty(0, T; L_2(G)),$$

$$u_t \in L_{p_1}(0, T; W_{p_1}^{-1}(G)), p \in L_{p_1}(0, T; W_{p_1}^1(G))$$

такие, что  $\frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \in L_2(Q)$ , удовлет-

воряющие (2) называются обобщенным решением задачи (1), (2), если

$$\int_0^T (\bar{u}, \nabla \varphi) dt = \int_0^T (\bar{w}, \nabla \varphi) dt, \int_0^T \left[\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}, \bar{\psi}\right) -$$

$$\left((\bar{u} - \bar{w}), \nabla\right) \bar{\psi}, \bar{u} + \frac{1}{\rho}(\nabla p, \bar{\psi}) +$$

$$\mu(\nabla \bar{u}, \nabla \bar{\psi}) + \mu(\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{\psi}) +$$



$$((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}) \operatorname{igr}] dt = \int_0^T (\bar{f}, \bar{\psi}) dt,$$

для всех функций  $\varphi \in L_2(0, T; W_2^1(G))$  с

$$\int_G \varphi(t, x) dx = 0, \bar{\psi} \in L_5(0, T; W_5^1(G)) \text{ и}$$

$$\bar{\psi}|_S = 0.$$

Пусть

$$a(\bar{u}, \bar{\psi}) = \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}, \bar{\psi} \right) - ((\bar{u} - \bar{w}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}) +$$

$$\frac{1}{\rho} (\nabla p, \bar{\psi}) + \mu (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{\psi}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{\psi}) +$$

$$((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}).$$

### Основные результаты

**Теорема.** Пусть  $f \in L_2(Q)$ ,  $u_0 \in L_2(G)$ .

Тогда существует обобщенное решение задачи (1), (2) что  $\nabla p, (u, \nabla u) u \in L_{q_0}(0, T; L_{p_0}(G))$  для любого  $p_0 \in [1, 3/2]$ , где  $q_0 = 2p_0 / (4p_0 - 3)$ .

**Доказательство.** Вначале для гладких решений задачи получим первую априорную оценку. Пусть  $\varphi = p$  и  $\bar{\psi} = \bar{u}$  в (5), тогда:

$$\tau((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \nabla p) + \frac{\tau}{\rho} (\nabla p, \nabla p) -$$

$$\tau(\bar{f}, \nabla p) - (\bar{u}, \nabla p) = 0,$$

$$\left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}, \bar{u} \right) - ((\bar{u} - \bar{w}, \nabla) \bar{u}, \bar{u}) +$$

$$\frac{1}{\rho} (\nabla p, \bar{u}) + \mu (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{u}) +$$

$$\left( (\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \left( \tau (\bar{u}, \nabla) \bar{u} + \frac{\tau}{\rho} \nabla p - \tau \bar{f} \right) \right) = (\bar{f}, \bar{u}). \quad (6)$$

Разделив первое из равенств в (6) на  $\rho$  и сложив его со вторым равенством и используя равенство  $((\bar{u} - \bar{w}, \nabla) \bar{u}, \bar{u}) = 0$  в силу первого уравнения в (1) и интегрирования по частям, получим

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_G \frac{|\bar{u}|^2}{2} dx + \mu (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) +$$

$$\mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{u}) + \frac{\tau}{\rho^2} (\nabla p, \nabla p) +$$

$$\frac{\tau}{\rho} ((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \nabla p) - \frac{\tau}{\rho} (\bar{f}, \nabla p) - \frac{1}{\rho} (\bar{u}, \nabla p) +$$

$$\frac{1}{\rho} (\nabla p, \bar{u}) + \tau ((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, (\bar{u}, \nabla) \bar{u}) +$$

$$\frac{\tau}{\rho} (\nabla p, (\bar{u}, \nabla) \bar{u}) - \tau ((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \bar{f}) = (\bar{f}, \bar{u}), \quad (7)$$

Приводя подобные, заключаем, что

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_G \frac{|\bar{u}|^2}{2} dx + \mu (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) +$$

$$\mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{u}) + \frac{\tau}{\rho^2} (\nabla p, \nabla p) +$$

$$\tau ((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, (\bar{u}, \nabla) \bar{u}) + \frac{2\tau}{\rho} ((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \nabla p) -$$

$$\frac{\tau}{\rho} (\bar{f}, \nabla p) - \tau ((\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \bar{f}) = (\bar{f}, \bar{u}), \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_G \frac{|\bar{u}|^2}{2} dx + \mu (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{u}) +$$

$$\tau \left( \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right) =$$

$$\tau \left( \bar{f}, \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right) + (\bar{f}, \bar{u}), \quad (9)$$

Оценим правую часть, используя неравенство Коши:

$$|ab| \leq \frac{\varepsilon}{2} a^2 + \frac{1}{2\varepsilon} b^2, \quad (\varepsilon > 0). \quad (10)$$

Имеем, что

$$\tau \left( \bar{f}, \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right) \leq \tau \int_G \frac{|\bar{f}|^2}{2} dx + \frac{\tau}{2} \int_G$$

$$\frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \Big|^2 dx, \quad (11)$$

$$\left| (\bar{f}, \bar{u}) \right| \leq \frac{\varepsilon}{2} \int_G |\bar{u}|^2 dx + \int_G |\bar{f}|^2 dx \frac{1}{2\varepsilon}, \quad (12)$$

Используя эти неравенства в (9), получим

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_G \frac{|\bar{u}|^2}{2} dx + \mu (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{u}) +$$

$$\frac{\tau}{2} \left( \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right) \leq$$

$$\frac{\tau}{2} \int_G |\bar{f}|^2 dx + \frac{1}{2\varepsilon} \int_G |\bar{f}|^2 dx + \frac{\varepsilon C_0}{2} \int_G |\nabla \bar{u}|^2 dx, \quad (13)$$

где постоянная  $C_0$  взята из неравенства Пуанкаре  $\int_G |\bar{u}|^2 dx \leq C_0 \int_G |\nabla \bar{u}|^2 dx$ ,

справедливого для всех  $\bar{u} \in W_2^1(G)$ , таких, что  $\bar{u}|_{\bar{\lambda}} = 0$ . Возьмем  $\varepsilon = \frac{\mu}{C_0}$ , тогда получим

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_G \frac{|\bar{u}|^2}{2} dx + \frac{\mu}{2} (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{u}) +$$

$$\frac{\tau}{2} \left( \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right) \leq$$

$$\int_G |\bar{f}|^2 dx \left( \frac{\tau}{2} + \frac{C_0}{2\mu} \right). \quad (14)$$

Пусть  $J = \frac{\mu}{2} (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{u}) +$

$$\frac{\tau}{2} \left( \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right).$$

Интегрируем от 0 до t:

$$\int_G \frac{|\bar{u}|^2}{2} dx + \iint_{0G} J dx dt \leq$$

$$C_1 \iint_{0G} |\bar{f}|^2 dx dt + \int_G \frac{u_0^2}{2} dx = M \quad (15)$$

Отсюда получим оценки

$$\max_t \int_G |\bar{u}(t)|^2 dx \leq M, \quad (16)$$

$$\int_G \frac{\mu}{2} (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{u}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u})^2 +$$

$$\frac{\tau}{2} \left( \frac{\nabla \bar{p}}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u}, \frac{\nabla \bar{p}}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right) \leq M \quad (17)$$

Как следствие, имеем априорные оценки для решений:

$$\|\bar{u}\|_{L_2(0,T;W_2^1(G))} + \|\operatorname{div} \bar{u}\|_{L_2(Q)} +$$

$$\left\| \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla) \bar{u} \right\|_{L_2(Q)} \leq C_1(M). \quad (18)$$

где  $C_1(M)$  – некоторая постоянная, зависящая от  $M, \mu, \tau$ ,

$$\|\bar{u}\|_{L_{p_0}(0,T;L_2(G))} \leq C_1(M). \quad (19)$$

Оценим все слагаемые, входящие в определение обобщенного решения. Покажем, что

$$\|(\bar{u}, \nabla) \bar{u}\|_{L_{p_0}(0,T;L_{p_0}(G))} \leq C, \quad p_0 \in [1, 3/2]. \quad (20)$$

Оцениваем по неравенству Гельдера:

$$\|(\bar{u}, \nabla) \bar{u}\|_{L_{p_0}(G)} \leq C \|\nabla \bar{u}\|_{L_2(G)} \cdot \|\bar{u}\|_{L_{p_0q}(G)}, \quad (21)$$

где  $q = \frac{2}{2-p_0}$ . Далее, используем теорему

вложения:  $W_2^S(G) \subset L_r(G)$ . Возьмем

$$p_0 q = r = \frac{6}{3-2S},$$

тогда

$$\frac{p_0}{2-p_0} = \frac{3}{3-2S} \Rightarrow S = \frac{3(p_0-1)}{p_0}.$$

Необходимое неравенство  $S \leq 1$  эквивалентно неравенству  $p_0 \leq 3/2$ . Из (21) вытекает оценка:

$$\|(\bar{u}, \nabla) \bar{u}\|_{L_{p_0}(G)} \leq C_1 \|\nabla \bar{u}\|_{L_2(G)} \cdot \|\bar{u}\|_{W_2^S(G)}. \quad (22)$$



Последний множитель оцениваем, используя интерполяционное неравенство:

$$\|\bar{u}\|_{W_2^S(G)} \leq C \|\bar{u}\|_{W_2^1(G)}^\Theta \cdot \|\bar{u}\|_{L_2(G)}^{1-\Theta}, \quad (23)$$

где  $S = \Theta$ . Из (22) получаем оценку:

$$\|(\bar{u}, \nabla)\bar{u}\|_{L_{p_0}(G)} \leq C \|\bar{u}\|_{W_2^1(G)}^{1+S} \cdot \|\bar{u}\|_{L_2(G)}^{1-S}. \quad (24)$$

Воспользовавшись (19), получим

$$\|(\bar{u}, \nabla)\bar{u}\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} \leq C_1(M) \left( \int_0^T \|\bar{u}\|_{W_2^1(G)}^{q_0(1+S)} dt \right)^{1/q_0} \leq C_2(M), \quad (25)$$

где выберем:

$$q_0(1+S) = 2, \text{ т.е., } q_0 = 2p_0 / (4p_0 - 3). \quad (26)$$

Легко увидеть, в силу условий на параметр  $p_0$ , что  $q_0 \geq 1$ . Имеем из оценки (18), что

$$\left\| \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla)\bar{u} \right\|_{L_2(Q)} \leq C. \quad (27)$$

Отметим, что

$$\|\bar{u}\|_{L_2(Q)} \geq C \|\bar{u}\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))}. \quad (28)$$

Действительно, используя неравенство Гельдера, получим:

$$\left[ \int_0^T \left( \int_G |\bar{u}|^p dx \right)^{q_0/p_0} dt \right]^{1/q_0} \leq C_0 \left[ \int_0^T \left( \int_G |\bar{u}|^2 dx \right)^{q_0/2} dt \right]^{1/q_0} \leq C_1 \|\bar{u}\|_{L_2(Q)}. \quad (29)$$

Отсюда получим:

$$C(M) \geq \left\| \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla)\bar{u} \right\|_{L_2(Q)} \geq C \left\| \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla)\bar{u} \right\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} \geq \frac{\nabla p}{\rho} \Big|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} - \|(\bar{u}, \nabla)\bar{u}\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} \geq$$

$$\left\| \frac{\nabla p}{\rho} \right\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} - C_3(M). \quad (30)$$

Получаем оценки:

$$\left\| \frac{\nabla p}{\rho} \right\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} + \|(\bar{u}, \nabla)\bar{u}\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} \leq C_4(M), \quad (31)$$

Как следствие, при  $p_0 = p_1 = 5/4$ , поскольку

ку  $p_0 = q_0$ , в этом случае, имеем:

$$\left\| \frac{\nabla p}{\rho} \right\|_{L_{p_1}(Q)} + \|(\bar{u}, \nabla)\bar{u}\|_{L_{p_1}(Q)} \leq C_4(M). \quad (32)$$

Так как

$$\bar{w} = \tau \left( \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla)\bar{u} - \bar{f} \right), \quad (33)$$

то отсюда имеем равенство для нормы  $\bar{w}$ :

$$\|\bar{w}\|_{L_2(Q)} \leq \left\| \frac{\nabla p}{\rho} + (\bar{u}, \nabla)\bar{u} \right\|_{L_2(Q)} + \|\bar{f}\|_{L_2(Q)} \leq C_5(M). \quad (34)$$

Оценим слагаемые из определения обобщенного решения. Имеем:

$$\left( (\bar{u} - \bar{w}, \nabla)\bar{\psi}, \bar{u} \right) = \int_G \sum_{i,j} (\bar{u}_i - \bar{w}_i) \bar{\psi}_{jx_i} \bar{u}_j dx \quad (35)$$

Используем неравенство Гельдера:

$$I = \int_G \bar{w}_i \bar{\psi}_{jx_i} \bar{u}_j dx, |I| \leq \|\bar{w}_i \bar{u}_j\|_{L_{p_0}(G)} \cdot \|\bar{\psi}_{jx_i}\|_{L_q(G)}, 1/p_0 + 1/q = 1. \quad (36)$$

Показатель  $p_0$  тот же. Далее, аналогично получаем (см. (19)):

$$I_1 = \left[ \int_G (\bar{w}_i)^{p_0} (\bar{u}_j)^{p_0} dx \right]^{1/p_0} \leq \|\bar{w}_i\|_{L_2(G)} \cdot \|\bar{u}_j\|_{L_{p_0q}} \leq C_6 \|\bar{w}_i\|_{L_2(G)} \cdot \|\bar{u}_j\|_{W_2^S(G)} \leq \|\bar{w}_i\|_{L_2(G)} \cdot \|\bar{u}_j\|_{W_2^1(G)}^S \cdot \|\bar{u}_j\|_{L_2(G)}^{1-S} \leq C_7 \|\bar{w}_i\|_{L_2(G)} \cdot \|\bar{u}_j\|_{W_2^1(G)}^S. \quad (37)$$

Имеем оценку интеграла:

$$\|I_1\|_{L_{q_0}(0,T)} \leq \left[ \int_0^T \|\bar{w}_i\|_{L_2(G)}^{q_0} \cdot \|\bar{u}_j\|_{W_2^{S q_0}(G)} dt \right]^{\frac{1}{q_0}}. \quad (38)$$

Применим неравенство Гельдера с  $q = \frac{2}{q_0}$ :

$$\|I_1\|_{L_{q_0}(0,T)} \leq \|\bar{w}_i\|_{L_2(G)} \cdot \left[ \int_0^T \|\bar{u}_j\|_{W_2^{S q_0}(G)}^{\frac{2}{2-q_0}} dt \right]^{\frac{2-q_0}{2q_0}}. \quad (39)$$

Отметим, что  $\frac{2S q_0}{2-q_0} \leq 2$ . Тогда

$$\|I_1\|_{L_{q_0}(0,T)} \leq C_8(M). \quad (40)$$

Воспользуемся неравенством (см. (36)):

$$I \leq C_7 \|\bar{w}_i \bar{u}_j\|_{L_{p_0}(G)} \cdot \|\bar{\psi}\|_{W_q^1(G)}. \quad (41)$$

Выражение

$$l(\bar{\psi}) = \sum_{i,j} \int_G \bar{w}_i \bar{\psi}_{jx_i} \bar{u}_j dx = ((\bar{w}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}) \quad (42)$$

– есть линейный непрерывный функционал над  $W_q^1(G)$ . Из (37), (41) вытекает, что

$$\|l(\bar{\psi})\|_{W_{p_0}^{-1}(G)} = \sup_{\bar{\psi} \in W_q^1(G)} \frac{\|l(\bar{\psi})\|}{\|\bar{\psi}\|_{W_q^1(G)}} \leq C_9 \|\bar{w}\|_{L_2(G)} \cdot \|\bar{u}\|_{W_2^S(G)}, \quad q = p_0 / (p_0 - 1) \quad (43)$$

Используя (40), получим

$$\|l(\bar{\psi})\|_{L_{q_0}(0,T;W_{p_0}^{-1}(G))} \leq C_{10}(M). \quad (44)$$

Обозначим

$$(\nabla p, \bar{\psi}) = l_1(\bar{\psi}), \nabla p \in L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G)). \quad (45)$$

Выражение имеет смысл для

$$\forall \bar{\psi} \in L_{q_0}(0,T;L_q(G)).$$

Тогда имеем

$$l_1(\bar{\psi}) \leq \|\nabla p\|_{L_{p_0}} \cdot \|\bar{\psi}\|_{L_q(G)}. \quad (46)$$

Значит, имеем оценку:

$$\|l_1(\bar{\psi})\|_{L_{q_0}(0,T;W_{p_0}^{-1}(G))} \leq C_{11}(M). \quad (47)$$

Для интегралов вида

$$l_2(\bar{\psi}) = \int_0^T ((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}) dt =$$

$$\int_0^T \sum_{i,j} \int_G \bar{u}_i \bar{\psi}_{jx_i} \bar{u}_j dx dt, l_3(\bar{\psi}) = \int_0^T ((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}) dt$$

аналогично оценке (46) получим оценку:

$$\|l_i(\bar{\psi})\|_{L_{q_0}(0,T;W_{p_0}^{-1}(G))} \leq C_{12}(M), i = 2, 3. \quad (48)$$

Пусть  $\{\varphi_i\}$  – базис в подпространстве пространства  $W_2^1(G)$ , состоящего из функций  $\varphi$ , удовлетворяющих условию  $\int_G \varphi dx = 0$ .

В качестве вектор-функций  $\{\bar{\psi}_i\}$  выбираем собственные функции задачи:

$$-\Delta \bar{\psi} = \lambda \bar{\psi}, \bar{\psi}|_{\bar{\Lambda}} = 0, \bar{\psi} =$$

$$(\psi_1, \psi_2, \psi_3) \in W_2^2(G) \cap W_2^1(G). \quad (49)$$

Они образуют ортонормированный базис в  $L_2(G)$  (после нормировки) и ортогональный базис в пространстве  $V = W_2^2(G) \cap W_2^1(G)$ , если в последнем взять в качестве скалярного произведения выражение

$$\langle \bar{u}, \bar{v} \rangle_V = (\Delta \bar{u}, \Delta \bar{v}).$$

Пусть  $P_N$  – ортопроектор в  $L_2(G)$  на подпространство  $V_N = \text{Lin}\{\bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2, \dots, \bar{\psi}_N\}$ .

Очевидно, что  $P_N \in L(V, V)$  и в силу двойственности и самопряженности он допускает продолжение до ограниченного оператора класса  $L(V', V')$ , где  $V'$  – двойственное пространство, построенное по  $L_2(G)$  и  $V$  как пополнение  $L_2(G)$  относительно нормы

$$\|u\|_{V'} = \sup_{v \in V} |\langle u, v \rangle_V| / \|v\|_V.$$

В частности, имеем, что  $(u, P_N v) = (P_N u, v)$  для всех  $v \in V, u \in V'$ . Отметим, что  $W_2^2(G) \cap W_2^1(G) \subset W_5^1(G)$  и вложение плотное. Это следствие теорем вложения. Поскольку  $V \subset W_5^1(G)$ , имеем, что  $W_{5/4}^{-1}(G) \subset V'$ . Пусть  $\lambda_i$  – соответствующие собственные значения.

Ищем приближенное решение задачи в виде:

$$u_N = \sum_{i=1}^N c_i(t) \bar{\psi}_i(x), \quad p_N = \sum_{i=1}^N \alpha_i(t) \varphi_i(x),$$

где  $c_i(t)$  и  $\alpha_i(t)$  есть решение системы:

$$\begin{aligned} (\bar{u}_N - \bar{w}_N, \nabla \varphi_j) &= 0, \quad a(\bar{u}_N, \bar{\psi}_j) = \\ (\bar{f}, \bar{\psi}_j), c_i(0) &= (\bar{u}_0, \bar{\psi}_i), \quad j = 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (50)$$

Первое уравнение системы можно переписать в виде

$$\left( \bar{u}_N - \frac{\tau \nabla p_N}{\rho} - \tau (\bar{u}_N \nabla) \bar{u}_N + f \tau, \nabla \varphi_i \right) = 0. \quad (51)$$

Имеем, что

$$\begin{aligned} \left( \frac{\tau \nabla p_N}{\rho}, \nabla \varphi_i \right) &= \frac{\tau}{\rho} \sum_{j=1}^N \alpha_j(t) (\nabla \varphi_j, \nabla \varphi_i), \\ \det(\nabla \varphi_j, \nabla \varphi_i) &\neq 0 \end{aligned} \quad (52)$$

Последний определитель – определитель Грама и он отличен от нуля. Действительно, напомним, что имеет место оценка:

$$\|\nabla p\|_{L_2(G)} \geq c_0 \|p\|_{L_2(G)}$$

$$\forall p \in W_2^1(G): \int_G p \, dx = 0$$

Это неравенство гарантирует, что в искомом подпространстве функций  $\varphi$  можно ввести эквивалентное скалярное произведение  $\langle u, v \rangle = (\nabla u, \nabla v)$ , что и гарантирует утверждение. Пусть  $A$  – матрица с элементами  $a_{ij} = (\nabla \varphi_i, \nabla \varphi_j)$ . Тогда система (51) перепишется в виде

$$\bar{\alpha} = \frac{\rho}{\tau} A^{-1} \begin{pmatrix} (\bar{u}_N - \tau (\bar{u}_N, \nabla) \bar{u}_N + \tau f, \varphi_1) \\ (\bar{u}_N - \tau (\bar{u}_N, \nabla) \bar{u}_N + \tau f, \varphi_N) \end{pmatrix}. \quad (53)$$

Подставляя  $\bar{\alpha}$  во вторую систему, получим нелинейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений для функций  $c_i(t)$ . Априорная оценка ниже гарантирует, что задача Коши для этой системы имеет решение на всем промежутке  $[0, T]$ .

Далее получим априорные оценки для приближенных решений. Умножим первое и

второе уравнение системы (50) на  $\alpha_i$  и на  $c_i$ , соответственно, и суммируем равенства по  $i$ . Тогда получим:

$$(\bar{u}_N - \bar{w}_N, \nabla p_N) = 0, \quad a(\bar{u}_N, \bar{u}_N) = (f, \bar{u}_N). \quad (54)$$

Для решений мы имеем уже доказанную оценку (18), (19), и, таким образом,

$$\begin{aligned} \|\bar{u}_N\|_{L_2(0,T;W_2^1(G))} + \|\operatorname{div} \bar{u}_N\|_{L_2(Q)} + \\ \|\frac{\nabla p_N}{\rho} + (\bar{u}_N, \nabla) \bar{u}_N\|_{L_2(Q)} \leq C_1(M), \end{aligned} \quad (55)$$

где  $C_1(M)$  – некоторая постоянная, зависящая от  $M, \mu, \tau$ ,

$$\|\bar{u}_N\|_{L_\infty(0,T;L_2(G))} \leq C_1(M). \quad (56)$$

Оценка имеет тот же самый вид, поскольку

$$\|P_N f\|_{L_2(G)} \leq \|f\|_{L_2(G)}, \quad \|P_N u_0\|_{L_2(G)} \leq \|u_0\|_{L_2(G)},$$

$$u_N(0, x) = P_N u_0.$$

$$\begin{aligned} \|\nabla p_N\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} + \|(\bar{u}_N, \nabla) \bar{u}_N\|_{L_{q_0}(0,T;L_{p_0}(G))} \leq C_4(M), \end{aligned} \quad (57)$$

Как следствие из (25), (27), (32), (34), имеем:

$$\begin{aligned} \|w_N\|_{L_2(Q)} + \|\nabla p_N\|_{L_{5/4}(Q)} + \\ \|(\bar{u}_N, \nabla) \bar{u}_N\|_{L_{5/4}(Q)} \leq C_4(M), \end{aligned} \quad (58)$$

Получим оценку на производную по времени от решения. Перепишем второе уравнение системы в виде:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial \bar{u}_N}{\partial t}, \bar{\psi} \right) &= ((\bar{u}_N - \bar{w}_N, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}_N) - \\ &\frac{1}{\rho} (\nabla p_N, \bar{\psi}) + \mu (\nabla \bar{u}_N, \nabla \bar{\psi}) - \\ &\mu (\operatorname{div} \bar{u}_N, \operatorname{div} \bar{\psi}) - ((\bar{u}_N, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}_N) + \\ &(\bar{f}, \bar{\psi}) = L_0(\bar{\psi}), \end{aligned} \quad (59)$$

где  $\vec{\psi} \in V_N$ . Выражение  $L_0(\vec{\psi})$  есть линейный непрерывный функционал над пространством  $W_5^1(G)$  в силу оценок (46), (47), (48) (где вместо  $\vec{u}$  используется вектор  $\vec{u}_N$ ) и, следовательно, и над пространством  $V$ . Следовательно, найдется  $g_N(t) \in V'$  такой, что  $L_0(\vec{\psi}) = (g_N, \vec{\psi})$  для всех  $\psi \in V$ . В силу оценок (46), (47), (48), (54)-(58) имеем, что

$$\|g_N\|_{L_{5/4}(0,T;V')} \leq \|g_N\|_{L_{5/4}(0,T;W_5^1(G))} \leq C_{12}(M),$$

где  $C_{12}$  – некоторая постоянная, зависящая от величины  $M$  и не зависящая от  $N$ . Равенство (59) можно переписать в виде:

$$u_{Nt} = P_N g_N.$$

Тогда из предыдущей оценки и ограниченности оператора  $P_N$  в  $V'$  вытекает неравенство

$$\|u_{Nt}\|_{L_{5/4}(0,T;V')} \leq C_{12}(M). \quad (60)$$

Далее мы воспользуемся теоремой о компактности (теорема 5.1 в [18]). Отметим, что вложение  $W_2^1(G) \subset L_2(G)$  компактно (теоремы вложения). Последовательность  $u_N$  ограничено в пространстве с нормой

$$\|u\| = \|u\|_{L_2(0,T;W_2^1(G))} + \|u_t\|_{L_{5/4}(0,T;V')}$$

и, следовательно, по теореме о компактности, существует подпоследовательность  $u_{N_k}$  и функция  $u \in L_2(Q)$  такие, что  $u_{N_k} \rightarrow u$  в  $L_2(Q)$  и п. в. в  $Q$ . Выделяя еще подпоследовательности из этой подпоследовательности, если необходимо, без ограничения общности можем считать, что

$$u \in L_2(0,T;W_2^1(G)), \quad u_{N_k x_i} \rightarrow u_{x_i}$$

$$\text{слабо в } L_2(Q), \quad u_{N_k t} \rightarrow u_t$$

$$\text{слабо в } L_{5/4}(0,T;V'), \quad \text{div} u_{N_k} \rightarrow \text{div} u$$

$$\text{слабо в } L_2(Q), \quad w_N \rightarrow w,$$

$$\text{слабо в } L_2(Q), \quad p_N \rightarrow p \text{ в } L_{5/4}(Q),$$

$$\nabla p_N \rightarrow \nabla p \text{ и } (u_N, \nabla) u_N \rightarrow u_1$$

$$\text{слабо в } L_{5/4}(Q), \quad u_N \rightarrow u^*.$$

слабо в  $L_\infty(0,T;L_2(G))$ . Покажем, что

$$\vec{w} = \frac{\nabla p}{\rho} + (\vec{u}, \nabla) \vec{u} - \vec{f}, \quad \vec{u}_1 = (\vec{u}, \nabla) \vec{u}, \quad (61)$$

Имеем, что  $\nabla p_{N_k} \rightarrow \nabla p$  слабо в  $L_{5/4}(Q)$ , покажем, что  $(\vec{u}_{N_k}, \nabla) \vec{u}_{N_k} \rightarrow (\vec{u}, \nabla) \vec{u}$  в некотором слабом смысле. Действительно, рассмотрим

$$\int_Q ((\vec{u}_{N_k}, \nabla) \vec{u}_{N_k} - (\vec{u}, \nabla) \vec{u}) \cdot \vec{\psi} dQ =$$

$$\int_Q ((\vec{u}_{N_k} - \vec{u}), \nabla) \vec{u}_{N_k} + (\vec{u}, \nabla) (\vec{u} - \vec{u}_{N_k}) \cdot \vec{\psi} dQ.$$

Для удобства считаем, что  $\vec{\psi} \in L_\infty(Q)$ . Для первого интеграла имеем оценку

$$\left| \int_Q ((\vec{u}_{N_k} - \vec{u}, \nabla) \vec{u}_{N_k}) \cdot \vec{\psi} dQ \right| \leq C_{13} \|\vec{u}_{N_k} - \vec{u}\|_{L_2(Q)}$$

$$\|\nabla \vec{u}_{N_k}\|_{L_2(Q)} \rightarrow 0 \text{ при } k \rightarrow \infty$$

Для второго интеграла имеем:

$$\int_Q (\vec{u}, \nabla) (\vec{u} - \vec{u}_{N_k}) \cdot \vec{\psi} dQ \rightarrow 0 \text{ при } k \rightarrow \infty,$$

в силу слабой сходимости  $\nabla u_{N_k}$  в  $L_2(Q)$ .

Возьмем набор функций  $\alpha_i(t) \in C([0, T])$ ,  $c_i(t) \in C([0, T])$ , умножим соответствующие равенства (50) с  $N = N_k$  на эти функции, просуммируем результат по  $i$  от 1 до  $n$  ( $n \leq N_k$ ) и проинтегрируем полученные равенства по  $t$ . В результате имеем:

$$\int_0^T (\vec{u}_{N_k} - \vec{w}_{N_k}, \nabla \varphi) dt =$$

$$0, \int_0^T a(\vec{u}_{N_k}, \vec{\psi}) dt = \int_0^T (\vec{f}, \vec{\psi}) dt, \quad (62)$$

$$\text{где } \vec{\psi} = \sum_{i=1}^n c_i \psi_i \text{ и } \varphi = \sum_{i=1}^n \alpha_i \varphi_i.$$



Рассмотрим последовательно все слагаемые. По уже доказанному мы можем перейти к пределу в первом равенстве и получим предельное равенство:

$$\int_0^T (\bar{u} - \bar{w}, \nabla \varphi) dt = 0,$$

$$\bar{w} = \tau \left( (\bar{u}, \nabla) \bar{u} + \frac{1}{\rho} \nabla p - \bar{f} \right). \quad (63)$$

Во втором равенстве мы рассмотрим только нелинейные слагаемые, поскольку в линейной части переход осуществляется за счет слабой сходимости.

Возьмем слагаемое:

$$J_{N_k} = \int_0^T ((\bar{u}_{N_k} - \bar{w}_{N_k}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}_{N_k}) dt.$$

Покажем что  $J_{N_k} \rightarrow J = \int_0^T ((\bar{u} - \bar{w}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}) dt$ .

Составим разность:

$$J_{N_k} - J = \int_0^T ((\bar{u}_{N_k} - \bar{w}_{N_k}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}_{N_k} - \bar{u}) dt +$$

$$\int_0^T ((\bar{u}_{N_k} - \bar{w}_{N_k}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}) dt$$

Второй интеграл стремится к нулю в силу слабой сходимости, а для первого интеграла имеем оценку

$$\left| \int_0^T ((\bar{u}_{N_k} - \bar{w}_{N_k}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}_{N_k} - \bar{u}) dt \right| \leq c \| \bar{u}_{N_k} - \bar{u} \|_{L_2(Q)} \rightarrow 0 \text{ при } k \rightarrow \infty,$$

Аналогично показываем, что

$$\int_0^T ((\bar{u}_{N_k}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}_{N_k}) dt \rightarrow \int_0^T ((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}) dt$$

при  $k \rightarrow \infty$ . Переходя к пределу

при  $k \rightarrow \infty$ , приходим к тому, что выполнено интегральное тождество

$$\int_0^T \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}, \bar{\psi} \right) - ((\bar{u} - \bar{w}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{u}) + \frac{1}{\rho} (\nabla p, \bar{\psi}) -$$

$$\mu (\nabla \bar{u}, \nabla \bar{\psi}) + \mu (\operatorname{div} \bar{u}, \operatorname{div} \bar{\psi}) +$$

$$((\bar{u}, \nabla) \bar{\psi}, \bar{w}) dt = \int_0^T (\bar{f}, \bar{\psi}) dt$$

В силу базисности выбранных функций  $\varphi_i, \bar{\psi}_i$  мы получим, что  $\bar{u}$  есть обобщенное решение задачи. Доказательство последнего утверждения теоремы, т. е. включений  $\nabla p, (u, \nabla u) u \in L_{q_0}(0, T; L_{p_0}(G))$  для любого  $p_0 \in [1, 3/2]$ , мы фактически уже провели в первой половине доказательства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе рассмотрена разрешимость первой начально-краевой задачи для квазигидродинамической системы уравнений в случае слабосжимаемой жидкости. Доказана теорема существования обобщенных решений. Доказательство было основано на методе Галеркина с использованием априорных оценок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Elizarova, T. G. On a computational algorithm for the calculation of gas-dynamic flows / T. G. Elizarova, B. N. Chetverushkin // Soviet Physics. Doklady. –1984. – V. 29. – P. 907-909.
2. Елизарова, Т. Г. Использование кинетических моделей для расчета газодинамических течений / Т. Г. Елизарова, Б. Н. Четверушкин. – Текст : непосредственный // Математическое моделирование: процессы в нелинейных средах. – М.: Наука. – 1986. – С. 261-278.
3. Elizarova, T. G. Quasi-Gas Dynamic Equations / T. G. Elizarova // Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg. – 2009.
4. Четверушкин, Б. Н. Кинетически согласованные схемы в газовой динамике / Б. Н. Четверушкин. – Текст : непосредственный. – Москва, МГУ. – 1999. – 232 с.
5. Шеретов, Ю. В. Об одной новой математической модели в гидродинамике / Ю. В. Шеретов. – Текст : непосредственный // В книге Применение функционального анализа в теории приближений (Тверь: Тверской государственный университет). – 1996. – С. 124-134.
6. Шеретов, Ю. В. Квазигидродинамические уравнения как модель течений сжимаемой вязкой теплопроводной среды / Ю.В. Шеретов. – Текст : непосредственный // В книге Применение функционального анализа в теории приближений. (Тверь: Тверской государственный университет). – 1997. – С. 127-155.
7. Шеретов, Ю. В. Регуляризованные уравнения гидродинамики / Ю. В. Шеретов. – Текст : непосредственный // Тверь: Тверской государственный университет. – 2016. – 222 с.
8. Злотник, А. А. О параболичности квазигидродинамической системы уравнений и устойчивости малых возмущений для нее / А. А. Злотник. – Текст : непосредственный // Матем. Заметки. – 2008. – Т. 83, № 5. – С. 667-682. – DOI: 10.4213/mzm4722

9. Злотник, А. А. О критериях параболичности квазигидродинамической системы уравнений в случае реального газа / А. А. Злотник, В. А. Гаврилин. – Текст : непосредственный // Вестник Московского энергетического института (Вестник МЭИ). – 2009. – № 6. – С. 116-126.
10. Злотник, А. А. Линеаризованная устойчивость равновесных решений квазигазодинамической системы уравнений / А. А. Злотник. – Текст : непосредственный // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 433, № 6. – С. 599-603.
11. Zlotnik, A. A. On properties of aggregated regularized systems of equations for a homogeneous multicomponent gas mixture / A. A. Zlotnik, A. S. Fedchenko // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. – 2022. – V. 45. No. 15. – P. 8906-8927. – DOI: 10.1002/mma.8214
12. Evseev, F.A. On Some Properties of a Linearized Quasi-Hydrodynamical System of Equations / F.A. Evseev, S.G. Pyatkov // *Lobachevskii J Math*. – V. 44, 3266–3276 (2023). – DOI: 10.1134/S1995080223080139
13. Chetverushkin, B. Chung E, Efendiev Y, Pun SM, Zhang Z. Computational multiscale methods for quasi-gas dynamic equations / B. Chetverushkin, E. Chung, Y. Efendiev, SM. Pun, Z. Zhang // *Journal of Computational Physics*. – 2021. – V. 440. P. 110352. – DOI: 10.1088/1361-6420/ac99f9
14. Балашов, В. А. Регуляризованная модель типа фазового поля для описания системы «жидкость-твердое тело» с учетом химических реакций / В. А. Балашов, Е. Б. Савенков. – Текст : непосредственный // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2021. – № 82. – С. 1-20.
15. Kraposhin, M. V. Numerical algorithm based on regularized equations for incompressible flow modeling and its implementation in OpenFOAM / M.V. Kraposhin, D.A. Ryazanov, T.G. Elizarova // *Computer Physics Communications*. – 2022. – V. 271, № 1. – ID 108216.
16. Chetverushkin, B. N. Numerical solution of high-temperature gas dynamics problems on high-performance computing systems / B. N. Chetverushkin, O. G. Olkhovskaya, I. P. Tsigvintsev // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. – 2021. – V. 390. – P. 113374. – DOI: 10.1016/j.cam.2020.113374
17. Елизарова, Т. Г. Численное моделирование газовых смесей в рамках квазигазодинамического подхода на примере взаимодействия ударной волны с пузырьком газа / Т. Г. Елизарова, Е. В. Шильников. – Текст : непосредственный // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2021. – Т. 61, № 1. – С. 124-135.
18. Лионс, Ж. Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач / Ж. Л. Лионс. – Текст : непосредственный. – М.: Мир. – 1972. – 588 с.



## ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО МНЕНИЯ В КОАЛИЦИЯХ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЛЕЗНОСТИ

**Жилин Роман Андреевич**

кандидат технических наук,  
старший преподаватель кафедры  
тактико-специальной подготовки,  
Воронежский институт МВД России  
Воронеж, Россия  
E-mail: zhilin99.zhilin@yandex.ru

Предмет исследования: формирование альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов.

Цель исследования: разработка численного метода по формированию альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов с использованием относительного показателя полезности и с последующей его реализацией в виде программы для ЭВМ.

Методы исследования: анкетирование, формализация, системный анализ, корреляционный анализ, критерий Хэмминга, натурный эксперимент, объектно-ориентированное программирование.

Основные результаты исследования: 1. Предложенный автором подход, основанный на комбинировании методов математической статистики и учета индивидуальных компетенций экспертов, представляет новые возможности для формирования альтернативного мнения в коалициях экспертов и позволяет повысить эффективность в сфере принятия решений. 2. Верификация разработанного численного метода осуществлена на примере опроса сотрудников полиции в отношении нарушителей систем безопасности в сфере критической информационной инфраструктуры. 3. Разработана компьютерная программа, реализующая созданный метод. 4. В ходе исследования выяснилось, что относительный показатель полезности  $j$ -ого эксперта предоставляет возможность сформировать альтернативные экспертные позиции, которые обладают достоверным обобщенным мнением. 5. Практическая значимость работы заключается в разработке компьютерной программы, которая может использоваться при проведении экспертных опросов и получении на их основе достоверных экспертных оценок.

**Ключевые слова:** численный метод, высококвалифицированный специалист, компьютерная программа, коалиция экспертов, альтернативное мнение, относительный показатель полезности.

## NUMERICAL METHOD FOR FORMING AN ALTERNATIVE OPINION IN COALITIONS OF HIGHLY QUALIFIED SPECIALISTS USING RELATIVE USEFULNESS INDICATOR

**Roman A. Zhilin**

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,  
Department of Tactical and Special Training,  
Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs  
of Russia  
Voronezh, Russia  
E-mail: zhilin99.zhilin@yandex.ru

Subject of research: the formation of an alternative opinion in coalitions of highly qualified specialists.

Purpose of research: development of a numerical method for the formation of an alternative opinion in coalitions of highly qualified specialists using a relative utility indicator and its subsequent implementation in the form of a computer program.

Methods of research: survey, formalization, system analysis, correlation analysis, Hamming criterion, natural experiment, object-oriented programming.

Main results of research: 1. The approach proposed by the author, based on combining methods of mathematical statistics and taking into account the individual competencies of experts, provides new opportunities for the formation of an alternative opinion in coalitions of experts and allows for increased efficiency in decision-making. 2. Verification of the developed numerical method was carried out using the example of a survey of police officers regarding violators of security systems in the field of critical information infrastructure. 3. A computer program has been developed that implements the created method. 4. The study revealed that the relative usefulness indicator of the  $j$ -th expert provides an opportunity to form alternative expert positions that have a reliable generalized opinion. 5. The practical significance of the work lies in the development of a computer program that can be used to conduct expert surveys and obtain reliable expert assessments based on them.

**Keywords:** numerical method, highly qualified specialist, computer program, coalition of experts, alternative opinion, relative utility indicator.

## ВВЕДЕНИЕ

В различных научных областях разработаны подходы к организации экспертных опросов, формализованы методы обработки данных, оценки точности и достоверности экспертных оценок, а также установлены требования к квалификации экспертов. В свою очередь, в процессе разработки математической модели в предметной области, которая

характеризуется низкой степенью формализуемости, существует вероятность возникновения противоположных мнений высококвалифицированных специалистов [1, 2 и др.].

Некоторые предметные области могут не обладать достаточным количеством экспертов, что требует привлечения специалистов из смежных предметных областей для проведения экспертной оценки. В таких ситуациях,

когда мнения экспертов не согласуются (например, в социально-экономической сфере), может быть полезным применение метода по формированию альтернативных позиций в коалициях экспертов [3, 4 и др.].

В данной работе автором предложен метод формирования альтернативных коалиций экспертов в случае слабоформализуемых задач, основанный на реальных данных.

Целью данной работы является разработка метода формирования альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов с использованием относительного показателя полезности.

Практическая значимость работы заключается в разработке компьютерной программы, которая может использоваться при проведении экспертных опросов и получении на их основе достоверных экспертных оценок.

Рассмотренные в многочисленных работах [5, 6, 7 и др.] методы формирования коалиций экспертов, как правило, верификацию проводят на малочисленной экспертной группе. Поэтому требуется проверить методы в вышеуказанных работах на многочисленной экспертной группе.

Реальная практика экспертиз объектов требует значительно большего учета количества экспертов, особенно когда необходимо выбрать согласованных экспертов из многочисленной экспертной группы. Тогда может получиться так, что количество выделенных коалиций может быть не одна, а несколько [8, 9 и др.].

Вопросам разработки численных методов, необходимых для решения задачи данного исследования, посвящены работы [10, 11, 12 и др.], однако в них основное внимание уделялось формированию 1-2 альтернативных коалиций экспертов. Реальные задачи экспертного оценивания свидетельствуют о необходимости выделения 3-4 и более коалиций, что требует разработки соответствующих численных методов.

Исследования Е. А. Буркова [10] и К. Е. Волковицкого [11] посвящены вопросам формирования и анализа альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов (каждый из вышеперечисленных авторов предложил свой подход к исследуемой проблеме).

Е. А. Бурков предлагает использовать методы математической статистики для формирования альтернативного мнения в коалициях экспертов (он признает возможным тот факт, что с помощью статистических методов и простейшего анализа данных возможно выделение множества экспертных групп, которые имеют схожие мнения или подходы к

исследуемой проблеме). Методика, рассматриваемая в его работе, позволяет учесть различные аспекты исследования и получить более детальные результаты.

С другой стороны, К. Е. Волковицкий утверждает, что альтернативные коалиции формируются на основе полного согласия или полного отрицания определенной точки зрения. Проведенные исследователем вычислительные эксперименты показывают, что эксперты могут разделиться на несколько противоречащих друг другу коалиций. Однако в этих исследованиях не представлена специфика объекта исследования, что может привести к ограничениям в использовании только одной альтернативной позиции.

В контексте сформировавшихся экспертных групп, где высококвалифицированные специалисты с разным опытом и знаниями собираются для решения сложных проблем, важно разработать метод, который позволил бы выявить и учесть множество альтернативных позиций.

Учитывая данные подходы, автор предлагает свой, который учитывает специфику объекта исследования и предоставляет возможность формирования нескольких альтернативных позиций.

Разрабатываемый численный метод основан на комбинировании методов математической статистики и учета индивидуальных компетенций высококвалифицированных специалистов (автор предлагает использовать алгоритмы кластерного анализа, которые позволяют выделить группы экспертов на основе их сходства или различия во мнениях, при этом, учитывая специфику объекта исследования, можно определить, какие альтернативные позиции могут быть наиболее полезными и релевантными).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Численный метод по формированию альтернативного мнения в коалициях экспертов с использованием относительного показателя полезности состоит из следующих этапов.

1. Проведение экспертного опроса и получение оценок высококвалифицированных специалистов.

2. Формирование высокосогласованной экспертной группы.

3. Составление вектор-строки ранжированных значений последней строки расширенной корреляционной матрицы.

4. Получение вектора приоритетов альтернатив.

5. Нормировка элементов собственного вектора.



6. Вычисление относительного показателя полезности.

7. Нахождение расстояния Хэмминга.

Далее перейдем к подробному рассмотрению каждого из этапов исследуемого численного метода.

### 1. Проведение экспертного опроса и получение оценок высококвалифицированных специалистов.

Собираются данные от экспертов, включающие их оценки и предпочтения по заданной проблеме. Оценки могут быть числовыми или категориальными, в зависимости от характера проблемы.

На основе опроса экспертов формируется матрица  $Z_{M \times N}$  [13]:

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & \dots & z_{1N} \\ z_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & z_{ij} & \dots \\ z_{M1} & \dots & \dots & \dots & z_{MN} \end{pmatrix} \quad (1)$$

где  $N$  – количество экспертов;  $M$  – количество признаков нарушителя;  $z_{ij}$  – оценка  $i$ -ого признака  $j$ -ым экспертом.

Проведен опрос среди 72 действующих сотрудников полиции, проходящих службу на различных должностях из 15 регионов Российской Федерации и имеющих опыт работы с объектами рассматриваемой предметной области, прибывших в Воронежский институт МВД России для переподготовки и повышения квалификации по программам дополнительного профессионального образования и программам профессионального обучения.

Экспертам было предложено ранжировать критерии по уровню значимости по шкале от 1 до 10. В ходе экспертного оценивания составлена прямоугольная матрица размера  $72 \times 10$ .

### 2. Формирование высокосогласованной экспертной группы.

На основе матрицы  $Z$  сформируем расширенную корреляционную матрицу строк  $r_i$  размером  $(N + 1) \times N$  [14]:

$$r_i = (r_1; r_2 \dots r_n) \quad (2)$$

где  $r_n$  – элементы расширенной корреляционной матрицы.

Полученные данные позволяют исключить несогласованных экспертов, для которых

значение коэффициента корреляции меньше заданного значения:  $r_i < r_{\min}$ .

Для выделения высокосогласованной экспертной группы следует исключить несогласованных экспертов, которые не удовлетворяют условию  $r_i > 0,7$  матрицы  $r_i$  (0,7 – пороговое значение для решения задачи по формированию альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов).

### 3. Формирование вектор-строки ранжированных значений последней строки расширенной корреляционной матрицы.

Ранжируем значения последней строки расширенной корреляционной матрицы  $r_i$  и сформируем вектор-строку  $P$ .

$$P(\bar{r}_1; \bar{r}_2; \dots \bar{r}_n) \quad (3)$$

где  $P$  – вектор-строка ранжированных значений последней строки расширенной корреляционной матрицы  $r_i$ ;  $\bar{r}_n$  – элементы вектор-строки ранжированных значений последней строки расширенной корреляционной матрицы  $r_i$ .

### 4. Получение вектора приоритетов альтернатив.

Приоритеты – это числа, которые связаны с элементами иерархии. Чем больше величина приоритета, тем более значимым является соответствующий ему элемент.

Вектор коэффициентов относительной важности признаков (вектор приоритетов), предложенный в работе [15], имеет следующий вид:

$$\Gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m) \quad (4)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$  – элементы собственного вектора матрицы парных сравнений относительной значимости признаков.

### 5. Нормировка элементов собственного вектора.

В работе [16] предложена нормировка элементов собственного вектора делением на сумму его элементов:

$$\hat{\Gamma} = (\hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2, \dots, \hat{\gamma}_m),$$

где

$$\hat{\gamma}_i = \frac{\gamma_i}{\sum_{i=1}^m \gamma_i}. \quad (5)$$



Таблица 1. Обработанные результаты исследования.

Тип нарушителя Параметры	Нарушитель систем безопасности в сфере критической информационной инфраструктуры (КИИ)			
Общее количество высококвалифицированных специалистов, принимающих участие в проведении экспертизы альтернатив ( $N_{общ}$ )	72			
Исходное значение коэффициента конкордации Кендела экспертной группы из 72 специалистов ( $W_{исх}$ )	0,26			
Количество экспертов в сформированной высокосогласованной экспертной группе ( $n$ ) при	26			
Значение коэффициента конкордации Кендела в сформированной высокосогласованной экспертной группе ( $W$ )	0,70			
Тип экспертной коалиции	Основная коалиция		Альтернативная коалиция	
Условие формирования альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов	$r_{\min} \geq 0,7; B > 0,557$		$r_{\min} \geq 0,7; B < 0,557$	
Количество экспертов в сформированных высокосогласованных альтернативных экспертных группах ( $n$ )	13		13	
Значение коэффициента конкордации Кендела в сформированных высокосогласованных альтернативных экспертных группах ( $W_{ал}$ )	0,70		0,73	
Расстояние Хэмминга между рангами рассматриваемых признаков ( $h$ )	8			
$Z_i$	$\bar{Z}_i$	$\bar{V}_i$ (ранг)	$\bar{Z}_j$	$\bar{V}_j$ (ранг)
$Z_1$	9	10	9,53	10
$Z_2$	6,07	6	5,61	5
$Z_3$	3,61	3	3,23	4
$Z_4$	1,38	1	2,92	2
$Z_5$	2,38	2	2,07	1
$Z_6$	3,69	4	3,15	3
$Z_7$	8,30	9	7,84	9
$Z_8$	7,38	8	6,61	7
$Z_9$	5,92	5	6,30	6
$Z_{10}$	7,23	7	7,69	8



Нормирование обеспечивает соотношение  $\sum y_i = 1$ . С точки зрения функционального анализа такая норма соответствует пространству  $R_1^m$ .

### 6. Вычисление относительного показателя полезности эксперта.

Вычислим относительный показатель полезности  $j$ -ого эксперта по формуле:

$$B = \frac{\hat{A}}{|z_{ij} - v_i| + 1} \quad (6)$$

где  $B$  – относительный показатель полезности  $j$ -ого эксперта  $B_{max} = 1$ ;  $B_{min} \rightarrow 0$ ;  $\hat{A}$  – вектор, созданный на основе идеально согласованной матрицы парных сравнений;  $z_{ij}$  – оценка, выставленная  $j$  экспертом по  $i$  признаку;  $v_j$  – ранги признаков оцениваемых альтернатив.

Относительный показатель полезности  $j$ -ого эксперта зависит от количества  $i$ -ых признаков.

После расчета произведем разделение экспертов на коалиции, принимая во внимание условие (6):

$$\begin{cases} r_{min} \geq 0,7; B > 0,557 \\ r_{min} \geq 0,7; B < 0,557 \end{cases} \quad (7)$$

### 7. Нахождение расстояния Хэмминга.

Используя критерий Хэмминга, рассчитываем расстояние между сформированными вектор-столбцами средних значений оцениваемых альтернатив (признаков) [17]:

$$h(x, y) = \sum_{i=1}^m [(x_i + y_i) \bmod 2] \quad (8)$$

где:  $m$  – длина характеристического вектора;  $x$  и  $y$  – вектор столбцы матрицы.

Значительный объем различных вычислений определяет реализацию данного численного метода с использованием ЭВМ. С этой целью автором разработана компьютерная программа по формированию альтернативного мнения в коалициях экспертов на языке программирования C#.

Верификация разработанного численного метода по формированию альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов с использованием относительного показателя полезности осуществлена на примере опроса сотрудников

полиции в отношении нарушителей систем безопасности в сфере критической информационной инфраструктуры [18, 19, 20].

Результаты вычислительного эксперимента по формированию альтернативного мнения в коалициях высококвалифицированных специалистов представлены в таблице.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В современном информационном обществе получение качественной и объективной информации является неотъемлемой частью принятия обоснованных решений в различных сферах деятельности. Особенно важным является учет альтернативных позиций, которые смогут противоречить установившимся консенсусам или привносить новые идеи и подходы.

Исследования Е. А. Буркова и К. Е. Волковицкого представляют разные подходы к данной проблеме, однако учет специфики объекта исследования является необходимым для получения более точных результатов.

В ходе исследования выяснилось, что относительный показатель полезности  $j$ -ого эксперта предоставляет возможность сформировать альтернативные экспертные позиции, которые обладают достоверным обобщенным мнением.

Использование мнений альтернативных коалиций при разработке математических моделей позволяет получить более точное описание предметной области, а проведенные вычислительные эксперименты показали устойчивость данного метода к исходным данным (к экспертной информации).

Предложенный автором подход, основанный на комбинировании методов математической статистики и учете индивидуальных компетенций экспертов, представляет новые возможности для формирования альтернативного мнения в коалициях экспертов и позволяет повысить эффективность в сфере принятия решений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов, А. И. Экспертные оценки : Учебное пособие / А. И. Орлов. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 57 с. – Текст : непосредственный.
2. Haocheng, T. A brief history and technical review of the expert system research / T. Haocheng // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017 – № 242.
3. The application of expert system: a review of research and applications / C. F. Tan [and others]// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – № 4. – Т. 11. – С. 2448-2453.

4. Oravec, J. A. Expert systems and knowledge-based engineering (1984-1991): implications for instructional systems research / J. A. Oravec // *International Journal of Designs for learning*. – 2014. – № 5. – Т. 2. – С. 66-75.
5. Мельников, А. В. Кластерно-иерархические методы экспертизы технических и экономических объектов: дисс. ... докт. техн. наук: 05.13.18 / Мельников Александр Владимирович. – Воронеж, 2014. – 354 с. . – Текст : непосредственный.
6. Shu-Hsien, L. Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004 / L. Shu-Hsien // *Expert Systems with Applications*. – 2005. – № 28. – С. 93-103.
7. Angeli, C. Diagnostic Expert Systems: From Expert's Knowledge to Real-Time Systems / C. Angeli// *Advanced Knowledge Based Systems: Model, Applications & Research*. – 2010. – № 1. – С. 50-73.
8. Жилин, Р. А. Численный метод оценки необходимости использования альтернативных коалиций при анализе интегральных показателей опасности нарушителей в сфере физической защиты объектов / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, И. В. Щербакова. – Текст: непосредственный // *Вестник Воронежского института ФСИН России*. – 2020. – № 3. – С. 45-52.
9. Avolio G. Applications of advanced data analysis and expert system technologies in the atlas trigger – daq controls framework. / G. Avolio, A.C. Radu, A. Kazarov, G. Lehmann Miotto, L. Magnoni // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2012. – Т. 396 (1).
10. Бурков, Е. А. Методы и алгоритмы анализа и агрегирования групповых экспертных оценок: дис..... канд. техн. наук: 05.13.01 / Бурков Евгений Александрович. – Санкт-Петербург, 2011. – 189 с. – Текст : непосредственный.
11. Волковицкий, К.Е. Исследование пространства ранговых оценок и разработка пакета прикладных программ классификационной обработки данных экспертного оценивания: дис.....канд. физ-мат. наук: 01.01.09 / Волковицкий Кирилл Евгеньевич. – Москва, 1984. – 154 с. . – Текст : непосредственный.
12. Melnikov, A. V. Method of forming expert coalitions in the context of solving the expertise problem of alternatives with weakly formalized criteria / A. V. Melnikov, I. V. Shcherbakova, R. A. Zhilin // *Journal of Physics: Conference Series : Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems, Voronezh, 11–13 ноября 2019 года*. Vol. 1479. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012071. .
13. Мельников, А. В. Метод формирования коалиций экспертов в рамках решения задачи экспертизы альтернатив со слабоформализуемыми критериями / А. В. Мельников, И. В. Щербакова, Р. А. Жилин. – Текст : непосредственный // *Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 11–13 ноября 2019 года*. – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2020. – С. 968-975.
14. Жилин, Р. А. Численный метод предварительной экспертизы альтернатив нарушителей охраны объектов общекриминальной направленности / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, И. В. Щербакова. – Текст : непосредственный // *Вестник Воронежского института МВД России*. – 2019. – № 3. – С. 46-54.
15. Моделирование оценки эффективности функционирования систем безопасности объектов органов внутренних дел / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, С. Б. Ахлюстин, В. В. Горлов. – Воронеж : Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2023. – 104 с. – Текст : непосредственный
16. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — Москва : Радио и связь, 1993. — 320 с. . – Текст : непосредственный.
17. Кузьмин, А. С. Линейные рекуррентные последовательности и их приложения / А. С. Кузьмин, В. Л. Куракин, В. Т. Марков, А. В. Михалев, А. А. Нечаев. – Текст : непосредственный // *Московский университет и развитие криптографии*. – Москва: МЦНМО, 2003. – С. 122-173.
18. Жилин, Р. А. Категориальная иерархия нарушителей объектов критической информационной инфраструктуры / Р. А. Жилин. – Текст : непосредственный // *Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии*. – 2019. – № 5-2. – С. 257-260.
19. Жилин, Р. А. Анализ результатов вычислительного эксперимента по формированию однородных групп нарушителей охраны объектов критической информационной инфраструктуры / Р. А. Жилин, В. Г. Саркисов. – Текст : непосредственный // *Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии*. – 2019. – № 5-2. – С. 253-257.
20. Жилин, Р. А. Об экспертном опросе в отношении нарушителей систем безопасности / Р. А. Жилин. – Текст : непосредственный // *Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии*. – 2021. – № 7-3. – С. 64-68.





## МЕТОД ФРАНКА-ВУЛЬФА В МОДЕЛИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

### Семахин Андрей Михайлович

кандидат технических наук, доцент  
доцент кафедры программного обеспечения  
автоматизированных систем,  
Курганский государственный университет  
Курган, Россия  
E-mail: Semakhinandrew@yandex.ru

Предмет исследования: процесс выбора наилучшего варианта структуры информационной системы при заданных условиях на этапе проектирования.

Цель исследования: повышение эффективности и качества обоснованности принятия решений, снижение временных и финансовых затрат при выборе структуры информационной системы на этапе проектирования.

Методы и объекты исследования: объектом исследования является информационная система. Формулируется задача нелинейного программирования. Представляется математическая модель выбора оптимального варианта информационной системы. Методом экспертных оценок определяются проекты информационной системы с балльными значениями. Выбираются проекты информационной системы с максимальными значениями баллов для определения оптимального варианта. Методом условного градиента Франка-Вульфа определяется оптимальное решение нелинейной математической модели. Сущность градиентных методов заключается в последовательном изменении значения целевой функции при движении от начальной точки области допустимых решений до оптимального значения функции. Алгоритм метода Франка-Вульфа включает этапы: определение начального значения точки области допустимых решений, вычисление градиента, определение оптимального решения задачи линейного программирования, переход в новую точку, проверка условия окончания итерационного процесса. Итерационный процесс определения оптимального решения заканчивается, когда расчетное значение точности вычислений будет меньше заданной величины.

Основные результаты исследования: определены предварительные проекты информационной системы с помощью метода экспертных оценок, найдено оптимальное решение математической модели нелинейного программирования методом Франка-Вульфа. Математическая модель определения оптимального проекта информационной системы позволит повысить эффективность и качество обоснованности принимаемых решений, сократить финансовые затраты и сроки проектирования информационных систем. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях по данной теме.

**Ключевые слова:** информационная система, математическая модель, метод экспертных оценок, метод условного градиента, оптимальное решение, алгоритм.

## THE FRANK-WULF METHOD IN MODELING INFORMATION SYSTEMS

### Andrey M. Semakhin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Software  
for Automated Systems,  
Kurgan State University  
Kurgan, Russia  
E-mail: Semakhinandrew@yandex.ru

Subject of research: the process of choosing the best option for the structure of an information system under given conditions at the design stage.

Purpose of research: to increase the efficiency and quality of the validity of decision-making, to reduce time and financial costs when choosing the structure of an information system at the design stage.

Methods and objects of research: the object of research is an information system. The problem of nonlinear programming is formulated. A mathematical model of choosing the optimal variant of an information system is presented. By the method of expert assessments, information system projects with point values are determined. Information system projects with maximum values of scores are selected to determine the optimal option. The method of the conditional Frank-Wolf gradient determines the optimal solution of a nonlinear mathematical model. The essence of gradient methods is a sequential change in the value of the objective function when moving from the starting point of the domain of acceptable solutions to the optimal value of the function. The algorithm of the Frank-Wulff method includes the following steps: determining the initial value of the point of the domain of acceptable solutions, calculating the gradient, determining the optimal solution to a linear programming problem, moving to a new point, checking the condition for the end of the iterative process. The iterative process of determining the optimal solution ends when the calculated value of the calculation accuracy is less than the given value.

Main results of research: preliminary projects of the information system were determined using the method of expert assessments, the optimal solution of the mathematical model of nonlinear programming by the Frank-Wolf method was found. A mathematical model for determining the optimal design of an information system will improve the efficiency and quality of the validity of decisions made, reduce financial costs and design time of information systems. The results obtained can be used in further research on this topic.

**Keywords:** information system, mathematical model, expert evaluation method, conditional gradient method, optimal solution, algorithm.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный период развития общества характеризуется переходом от индустриального к информационному состоянию. Развитие информационных технологий является приоритетным направлением. Информационные технологии – совокупность технических и программных средств, приемов работы, с помощью которых выполняются операции по обработке информации.

Повышение эффективности проектирования информационных систем является актуальной задачей. Для ее решения применяются математическое моделирование и реализация алгоритмов решения задачи на ПЭВМ. Математические модели нелинейного программирования имеют широкое применение в решении практических задач в проектировании информационных систем. Преимущества нелинейных математических

Таблица 1. Таблица экспертных показателей выбора проекта.

Критерий выбора	Вес	Факторы					
1. Стандарт передачи данных	2	Аналоговый			Цифровой		
		1			5		
2. Диапазон частоты, ГГц	3	С (3-6)		Ku (10-12)		Ka (28-48)	
		3		8		10	
3. Поляризация	2	Линейная			Круговая		
		1			5		
4. Скорость передачи данных, Мбит/с	5	до 0,5	0,5-1	1-10	10-20	20-30	30-50
		1	2	4	6	8	10
5. Ошибка (FEC)	3	до 0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0	
		8	6	4	2	1	
6. Уровень сигнала, дБВт	4	до 30	30-35	35-40	40-45	45-50	св. 50
		1	3	6	8	9	10
7. Уровень надежности	3	Низкий		Средний		Высокий	
		2		4		6	
8. Абонентская плата	2	Объемная		Часовая		Месячная	
		1		3		5	
9. Стоимость оборудования, тыс. \$	5	До 0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	5-10	св. 10
		0	8	6	4	2	1
10. Стоимость установочных и пуско-наладочных работ, \$	4	До 50	50-100	100-200	200-500	500-1000	Св.1000
		10	8	6	4	2	1

моделей – небольшие финансовые и временные затраты на разработку, полный и точный учет зависимостей между факторами и показателями, влияющими на критерий эффективности и ограничения в системе ограничений [1; 2].

Максимизировать чистый приведенный эффект проектов информационных систем, предварительно отобранных в портфель инвестиций методом экспертных оценок. Финансирование проектов информационных систем распределено по периодам времени при выполнении условий ограничений:

1 сумма произведения инвестиционных затрат информационных проектов на доли финансирования в периодах времени не больше выделенных финансовых средств;

2 сумма долей финансирования информационных проектов равна 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Математическая модель включает два этапа:

1. Методом экспертных оценок выбираются проекты информационных систем со спутниковым интернетом с наибольшими оценками.

2. Методом нелинейного математического программирования определяется оптимальный вариант из числа проектов информационных систем, выбранных на первом этапе.

Пусть  $i = \overline{1, n}$  – число вариантов проектов информационных систем со спутниковым интернетом;  $q = \overline{1, t}$  – число экспертов, оценивающих варианты проектов информационных систем;  $k = \overline{1, p}$  – число факторов;  $\beta_{qk}$  – вес,



Таблица 2. Затраты на реализацию проектов.

Проект	Затраты, млн. руб.		
	Вычислительная техника, программное обеспечение и т.д.	Спутниковое оборудование	Общие
Триколор	4,4	3,0	7,4
Open Sky	4,4	0,3	4,7

Таблица 3. Исходные данные для определения оптимального проекта.

Период времени f, лет	Инвестиционные затраты, млн. руб.		Итого инвестиционных затрат, млн. руб.	Имеющиеся средства финансирования, млн. руб.
	Триколор	Open Sky		
F=0	-5,4	-3,2	-8.6	6,5
F=1	-2,0	-1,5	-3.5	3
NPV	+1.53	+0.74		

присвоенный q экспертом k фактору,  $Z_{qk}^i$  – оценка, данная q экспертом k фактору, тогда усредненная оценка i-го варианта проекта информационной системы рассчитывается по формуле:

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{q} \sum_{q=1}^t \sum_{k=1}^p \beta_{qk} * Z_{qk}^i \quad (1)$$

Ранжирование позволяет выявить наиболее подходящие варианты проектов информационных систем [3–5].

На втором этапе выбирается оптимальный проект информационной системы из числа проектов, определенных на первом этапе. Формулируется задача нелинейного программирования.

Математическая модель выбора оптимального проекта информационной системы имеет вид:

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{q} \sum_{q=1}^t \sum_{k=1}^p \beta_{qk} * Z_{qk}^i$$

$$\max \leftarrow Z = \sum_{i=1}^n (P_i - k_i * X_i) * X_i =$$

$$(P_1 - k_1 * X_1) * X_1 + \dots + (P_n - k_n * X_n) * X_n$$

при ограничениях (2)

$$\begin{cases} V_1^0 * X_1 + V_2^0 * X_2 + \dots + V_n^0 * X_n JS^0 \\ V_1^1 * X_1 + V_2^1 * X_2 + \dots + V_n^1 * X_n JS^1 \\ \vdots \\ V_1^m * X_1 + V_2^m * X_2 + \dots + V_n^m * X_n JS^m \\ X_1 + \dots + X_n = 1 \\ X_i \geq 0, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m} \end{cases}$$

где  $P_i$  – чистый приведённый эффект проекта; млн руб;  $V_i^j$  – инвестиционные затраты i-го проекта в j-ом периоде времени, млн руб.;  $S^j$  – имеющиеся средства финансирования в j-ом периоде времени, млн руб.;  $X_i$  – доля финансирования инвестиционного проекта;  $k_i$  – коэффициент изменения чистого приведенного эффекта;  $i = \overline{1, n}$  – номер инвестиционного проекта;  $j = \overline{1, m}$  – номер периода времени, год.

Используя математическую модель, осуществим выбор оптимального проекта информационной системы со спутниковым интернетом.

На первом этапе выберем варианты проектов информационных систем с помощью метода экспертных оценок. В таблице 1 приведены критерии выбора, значения факторов и весовые коэффициенты.

После ранжирования проектов информационных систем со спутниковым интернетом получим проекты «Триколор» (196 баллов), «Open Sky» (175 баллов), «LanSat» (154 баллов), «Skydsl» (150 балла) и «GxSAT» (132 баллов). Выберем в портфель инвестиций первые два проекта с наибольшими баллами «Триколор» (196 баллов), «Open Sky» (175 баллов).

В таблице 2 приведены затраты на реализацию проектов информационных систем со спутниковым интернетом, отобранных на первом этапе математической модели.

В таблице 3 приведены исходные данные для выбора оптимального проекта спутникового Internet из портфеля инвестиций.

Пусть  $X_1$  – доля финансирования проекта информационной системы со спутниковым интернетом «Триколор»,  $k_1 = 0,7$  – коэффициент изменения чистого приведенного эффекта,  $X_2$  – доля финансирования проекта информационной системы со спутниковым интернетом «Open Sky»,  $k_2 = 0,6$  – коэффициент изменения чистого приведенного эффекта. Точность вычислений  $\varepsilon = 0.0001$ .

Используя исходные данные из таблицы 3, математическую модель можно записать в виде целевой функции и ограничений

$$\begin{aligned} \max \leftarrow Z &= (1,53 - 0,7 * X_1) * \\ &X_1 + (0,74 - 0,6 * X_2) * X_2 \end{aligned}$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 5,4 * X_1 + 3,2 * X_2 \leq 6,5 \\ 2,0 * X_1 + 1,5 * X_2 \leq 3,0 \\ X_1 + X_2 = 1 \\ X_1, X_2 \geq 0 \end{cases}$$

Оптимальное решение задачи нелинейного программирования определяется методом условного градиента. Сущность градиентных методов заключается в последовательном изменении значения целевой функции при движении от начальной точки  $X^0$  области допустимых решений до  $X^*$  оптимального значения функции [6–12].

Алгоритм метода Франка-Вульфа включает этапы.

Этап 1. Определение начального допустимого значения  $X^0 = (x_1^0, \dots, x_n^0)$ .

Этап 2. Вычисление градиента  $\nabla f(X^0)$  в точке  $X^0 = (x_1^0, \dots, x_n^0)$ .

Этап 3. Определение оптимального решения  $Q^l = (q_1^l, \dots, q_n^l)$  задачи линейного программирования, целевая функция математической модели которой равна скалярному произведению вектора-градиента  $\nabla f(X^l)$  и вектора  $X = (x_1, \dots, x_n)$  при ограничениях исходной задачи ( $l$  – номер итерации,  $l = 1..f$ ).

Этап 4. Переход в новую точку  $X^{(l+1)}$ , принадлежащую области допустимых решений. Значения координат новой точки  $X^{(l+1)}$  рассчитываются по формуле

$$X^{(l+1)} = X^l + \lambda_l (Q^l - X^{(l)}) \quad (4)$$

Этап 5. Определение величины шага  $\lambda_l$  ( $0 \leq \lambda_l \leq 1$ ). Подстановка правой части уравнения 4 в целевую функцию математической модели исходной задачи, определение производной целевой функции по  $\lambda_l$  и приравнение нулю, определение значения  $\lambda_l$ . Расчет значений точки  $X^{(l+1)}$  и целевой функции  $f(X^{(l+1)})$ .

Этап 6. Проверка условия окончания итерационного процесса по математическому выражению

$$|f(X^{(l+1)}) - f(X^l)| \leq \varepsilon, \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  – заданная точность вычислений [6]. Если условие неравенства 6 не выполняется, то переход к новой точке на этап 2.

Определим оптимальное решение математической модели 3.

Итерация 0. 1 Начальное допустимое значение  $X^0 = (0,4; 0,6)$ . Значение целевой функции

$$f(X^0) = 1,53 * 0,4 - 0,7 * 0,4^2 +$$

$$0,74 * 0,6 - 0,6 * 0,6^2 = 0,728$$

## 2 Определение градиента

$$\nabla f(X^0) = (1,53 - 1,4 * x_1;$$

$$0,74 - 1,2 * x_2) = (0,97; 0,02) \text{ в точке } X^0.$$

3 Определение оптимального решения математической модели задачи линейного программирования, целевая функция которой определяется как скалярное произведение вектора-градиента  $\nabla f(X^0)$  и вектора  $X = (x_1, x_2)$  при ограничениях исходной задачи

$$\max \leftarrow F_0(X^0) = 0,97x_1 + 0,02x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 5,4x_1 + 3,2x_2 \leq 6,5 \\ 2x_1 + 1,5x_2 \leq 3 \\ x_1 + x_2 = 1 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Оптимальное решение задачи линейного программирования

$$X^{0*} = (1; 0), F_0(X^{0*}) = 0,97.$$

4 Переход в новую точку  $X^1 = (x_1^1, x_2^1)$ . Определяем значения искоемых переменных  $x_1$  и  $x_2$ .

$$x_1^1 = x_1^0 + \lambda_0(x_1^{*0} - x_1^0) =$$

$$0,4 + \lambda_0(1 - 0,4) = 0,4 + 0,6\lambda_0$$

$$x_2^1 = x_2^0 + \lambda_0(x_2^{*0} - x_2^0) =$$

$$0,6 + \lambda_0(0 - 0,6) = 0,6 - 0,6\lambda_0$$

5 Определяем шаг вычислений  $\lambda_0$  ( $0 \leq \lambda_0 \leq 1$ ). Подставим  $x_1^1$  и  $x_2^1$  в целевую функцию исходной математической модели

$$\max \leftarrow f(0,4 + 0,6\lambda_0; 0,6 - 0,6\lambda_0) =$$

$$0,728 + 0,570\lambda_0 - 0,468\lambda_0^2$$

Находим первую производную функции по  $\lambda_0$  и приравниваем к нулю

$$f'(X^1) = 0,570 - 0,936\lambda_0 = 0.$$

Значение шага вычислений

$$\lambda_0 = \frac{0,570}{0,936} = 0,609.$$

Значение

$$x_1^1 = 0,4 + 0,609(1 - 0,4) = 0,765.$$

Значение  $x_2^1 = 0,6 - 0,6 * 0,609 = 0,235$ .

6 Определим значение целевой функции в точке  $X^1$ .

$$f(x_1^1; x_2^1) = f(0,765; 0,235) = 0,902$$

7 Проверим условие точности вычислений

$$|f(X^1) - f(X^0)| = |0,902 - 0,728| =$$

$$0,174 > 0,0001.$$

Разность значений функций

$$|f(X^1) - f(X^0)|$$

больше заданной точности вычислений  $\varepsilon = 0,0001$ , следовательно переходим на следующую итерацию.

Итерация 1.

1 Значение

$X^1 = (0,765; 0,235)$  принадлежит области допустимых решений. Значение целевой функции математической модели

$$f(X^1) = f(0,765; 0,235) = 0,902.$$

2 Определение градиента

$$\nabla f(X^1) = (0,459; 0,458) \text{ в точке } X^1.$$

3 Определение оптимального решения математической модели задачи линейного

программирования, целевая функция которой определяется как скалярное произведение вектора-градиента  $\nabla f(X^1)$  и вектора  $X = (x_1, x_2)$  при ограничениях исходной задачи

$$\max \leftarrow F_1(X^1) = 0,459x_1 + 0,458x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 5,4x_1 + 3,2x_2 \leq 6,5 \\ 2x_1 + 1,5x_2 \leq 3 \\ x_1 + x_2 = 1 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Оптимальное решение задачи линейного программирования

$$X^{1*} = (1; 0), F_1(X^{1*}) = 0,459.$$

4 Переход на новую точку  $X^2 = (x_1^2, x_2^2)$ . Определяем значения искомых переменных  $x_1$  и  $x_2$ .

$$x_1^2 = x_1^1 + \lambda_1(x_1^{1*} - x_1^1) =$$

$$0,765 + \lambda_1(1 - 0,765) = 0,765 + 0,235\lambda_1$$

$$x_2^2 = x_2^1 + \lambda_1(x_2^{1*} - x_2^1) =$$

$$0,235 + \lambda_1(0 - 0,235) = 0,235 - 0,235\lambda_1$$

5 Определяем шаг вычислений  $\lambda_0$  ( $0 \leq \lambda_0 \leq 1$ ). Подставим  $x_1^2$  и  $x_2^2$  в целевую функцию исходной математической модели

$$\max \leftarrow f(0,765 + 0,235\lambda_1; 0,235 - 0,235\lambda_1) =$$

$$0,9015575 + 0,000235\lambda_1 - 0,0717925\lambda_1^2$$

Находим первую производную функции по  $\lambda_1$  и приравняем к нулю

$$f'(X^2) = 0,000235 - 0,0717925\lambda_1 = 0.$$

Значение шага вычислений

$$\lambda_1 = \frac{0,000235}{0,0717925} = 0,003273.$$

Значение

$$x_1^2 = 0,765 + 0,235 * 0,003273 = 0,766.$$

Значение

$$x_2^2 = 0,235 - 0,235 * 0,003273 = 0,234.$$

6 Определим значение целевой функции в точке  $X^1$ .

$$f(x_1^2; x_2^2) = f(0,766; 0,234) = 0,901557$$

7 Проверим условие точности вычислений

$$\begin{aligned} |f(X^2) - f(X^1)| &= |0,901557 - 0,901555| = \\ &0,000002 < 0,0001. \end{aligned}$$

Разность значений функций  $|f(X^2) - f(X^1)|$  меньше заданной точности вычислений  $\varepsilon = 0,0001$ , следовательно конец итерационного процесса.

Оптимальное решение

$$X^* = \{0,766; 0,234\}, f(X^*) = 0,901557.$$

Проект информационной системы с интернетом «Триколор» имеет максимальную долю финансирования, равную 0,766. Проект информационной системы с интернетом «Open Sky» имеет минимальную долю финансирования, равную 0,234. Максимальный чистый приведенный эффект проектов информационной системы

$$f(X^*) = 0,901557 \text{ миллионов рублей.}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Математическое моделирование явлений, процессов и объектов позволяет получить научно обоснованные результаты, заслуживающие доверия с наименьшими временными и финансовыми затратами.

Результаты проведенных исследований можно эффективно использовать при выборе наилучшего варианта структуры информационной системы организации и позволили сделать следующие выводы.



1. Определены предварительные проекты информационных систем с помощью метода экспертных оценок.

2. Использована нелинейная математическая модель оптимизации информационных систем.

3. Найдено оптимальное решение математической модели нелинейного программирования методом Франка-Вульфа.

4. Математическая модель определения оптимального проекта информационной системы позволит повысить эффективность и обоснованность принимаемых решений, сократить финансовые затраты и сроки проектирования информационных систем.

5. Полученные результаты могут быть использованы для разработки визуального программного приложения на ПЭВМ и в дальнейших исследованиях по данной теме.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пятибратов, А. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Звездин. – Москва : Финансы и статистика, 2002. – 512 с. – Текст : непосредственный.
2. Бройдо В. Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 703 с. – Текст : непосредственный.
3. Семахин, А. М. Метод Гаусса-Жордана в моделировании информационной системы / А. М. Семахин. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – 2014. – №5(73) С. 153–163.
4. Семахин, А. М. Линейное программирование в моделировании информационных систем: учебное пособие. – Курган : Изд-во КГУ, 2016. – 68 с. – ISBN 978-5-4217-40366-2. – Текст : непосредственный.
5. Семахин, А. М. Нелинейное программирование в моделировании информационных систем / А. М. Семахин. – Текст : непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 1. – С. 49–53.
6. Костевич, Л. С. Математическое программирование: информационные технологии оптимизации решений: учеб. пособие / Л. С. Костевич. – Минск: Новое знание, 2003. – 424 с. – Текст : непосредственный.
7. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с. – Текст : непосредственный.
8. Базара, М. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. – Москва : Мир, 1982. – 345 с. – Текст : непосредственный.
9. Зангвилл, У. И. Нелинейное программирование. Единый подход / У. И. Зангвилл. – Москва : Советское радио, 1973. – 312 с. – Текст : непосредственный.
10. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – Москва : Мир, 1975. – 534 с. – Текст : непосредственный.
11. Кюнце, Г. П. Нелинейное программирование / Г. П. Кюнце, В. Крелле. – Москва : Мир, 1965. – 325 с. – Текст : непосредственный.
12. Эльстер, К. Х. Введение в нелинейное программирование / К. Х. Эльстер, Р. Рейнгардт, М. Шойбле, Г. Донат. – Москва : Наука, 1985. – 264 с. – Текст : непосредственный.



## ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ РЗА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

### Сушко Александр Александрович

аспирант,  
Югорский государственный университет,  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: enegy2020@inbox.ru

### Пятков Сергей Григорьевич

доктор физико-математических наук, профессор,  
Югорский государственный университет,  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: s\_pyatkov@ugrasu.ru

Предмет исследования: методы технического обслуживания и наладки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в электроэнергетических системах.

Цель исследования: анализ существующих методов обслуживания и наладки, разработка предложений по их оптимизации для повышения эффективности и надежности работы электроэнергетических систем.

Методы исследования: в рамках исследования были использованы методы анализа нормативных документов, опроса специалистов и анализе публикаций.

Основные результаты исследования: выявление недостатка стандартизации процедур, проблемы с квалификацией персонала и несоответствие некоторых устройств заявленным характеристикам. Выводы подчеркивают необходимость разработки унифицированных подходов к техническому обслуживанию и наладке, а также улучшения профессиональной подготовки специалистов. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования практик технического обслуживания и наладки РЗА, что способствует повышению надежности электроэнергетических систем.

**Ключевые слова:** релейная защита и автоматика, техническое обслуживание, наладка устройств, электроэнергетические системы, стандартизация процедур.

## MAINTENANCE OF RZA EQUIPMENT ACCORDING TO TECHNICAL CONDITION

### Alexander A. Sushko

Graduate Student,  
Yugra State University  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: enegy2020@inbox.ru

### Sergey G. Pyatkov

Doctor of Physical and Mathematical  
Sciences, Professor,  
Yugra State University,  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: s\_pyatkov@ugrasu.ru

Subject of research: methods of maintenance and adjustment of relay protection and automation devices (RPA) in electrical power systems.

Purpose of research: analysis of existing maintenance and adjustment methods, development of proposals for their optimization to increase the efficiency and reliability of electrical power systems.

Methods of research: the research used methods of analysis of regulatory documents, survey of specialists and analysis of publications.

Main results of research: identification of a lack of standardization of procedures, problems with personnel qualifications and the discrepancy of some devices with the declared characteristics. The findings highlight the need to develop unified approaches to maintenance and commissioning, as well as improve the professional training of specialists. The results of the study can be used to improve the practices of maintenance and adjustment of relay protection and automation systems, which helps to increase the reliability of electric power systems.

**Keywords:** relay protection and automation, maintenance, device setup, electric power systems, standardization of procedures.

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях эксплуатации электроэнергетических систем особенно актуален вопрос обеспечения их надежности и безопасности, что непосредственно связано с качеством технического обслуживания и наладки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Учитывая важность этих устройств в предотвращении аварий и обеспечении стабильной работы энергосистем, оптимизация процессов их обслуживания и настройки становится приоритетной задачей. Актуальность данной проблематики обусловлена не только необходимостью повышения эффективности работы энергетического оборудования, но и стремлением минимизировать риски, связанные с потенциальными сбоями в его функционировании.

Необходимость данного исследования также подтверждается анализом существующей литературы по данной тематике, который показывает, что, несмотря на значительное

количество работ, посвященных техническому обслуживанию и наладке устройств РЗА, вопросы стандартизации этих процессов, обучения специализированного персонала и разработки новых методик остаются недостаточно разработанными. В связи с этим, введение новых подходов и методов исследования, направленных на улучшение существующих процедур, представляет собой значительный вклад в развитие данной области.

Целью настоящей работы является комплексный анализ методов технического обслуживания и наладки устройств РЗА, выявление основных проблемных моментов на различных этапах этих процессов и разработка предложений по их оптимизации. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: изучение нормативно-правовой базы, регулирующей процессы технического обслуживания и наладки РЗА; выявление наиболее актуальных проблем и трудностей в существующей практике; изучение результатов экспериментальной работы





**Таблица 1.** Основные требования к организации работ по техническому обслуживанию и наладке устройств РЗА.

Аспект	Требования
Подготовка	<ul style="list-style-type: none"><li>- Разработка и утверждение плана технического обслуживания.</li><li>- Обеспечение наличия всех необходимых инструментов, приборов и материалов.</li><li>- Подготовка рабочего места и обеспечение безопасности.</li></ul>
Персонал	<ul style="list-style-type: none"><li>- Обеспечение наличия квалифицированного персонала, прошедшего соответствующее обучение и имеющего разрешение на выполнение работ.</li><li>- Определение ответственных за проведение и контроль качества выполненных работ.</li></ul>
Процедура выполнения	<ul style="list-style-type: none"><li>- Соблюдение установленной последовательности операций при техническом обслуживании и наладке.</li><li>- Применение только утвержденных методик и инструкций.</li><li>- Осуществление контроля качества на каждом этапе работ.</li></ul>
Безопасность	<ul style="list-style-type: none"><li>- Соблюдение требований охраны труда и техники безопасности.</li><li>- Использование средств индивидуальной защиты.</li><li>- Предотвращение возможности несанкционированного доступа к месту проведения работ.</li></ul>
Документация	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ведение и актуализация технической документации по устройствам РЗА.</li><li>- Оформление протоколов выполнения работ и актов приемки.</li><li>- Систематическое внесение изменений в исполнительные схемы и руководства по эксплуатации в соответствии с выполненными работами.</li></ul>

для проверки эффективности устройств РЗА и их соответствия заявленным характеристикам; определение наиболее перспективных направлений для дальнейших разработок. Работа проводилась на основе критического анализа существующих исследований в данной области.

Используемые в исследовании методы включали анализ нормативной документации и анализ публикаций. Такой комплексный подход позволил не только всесторонне изучить проблематику, но и обеспечить объективность и надежность полученных результатов. Важной частью работы стал критический анализ существующих исследований

в данной области, который способствовал определению наиболее перспективных направлений для дальнейших разработок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках проведенного исследования был выполнен анализ существующих методов технического обслуживания и наладки оборудования релейной защиты и автоматики (РЗА), с особым вниманием к выявлению основных проблем и трудностей, возникающих на различных этапах этих процессов. Исследование охватывает анализ нормативных документов, опросы специалистов, а также



**Таблица 2.** Результаты опроса специалистов в области технического обслуживания и наладки РЗА.

Выявленные трудности	Процент специалистов, сталкивающихся с этими трудностями
Недостаток стандартизации процедур	75%
Отсутствие или устаревание технической документации	65%
Нехватка квалифицированного персонала	55%
Сложность доступа к оборудованию для обслуживания	50%
Недостаточное обучение и подготовка персонала	45%
Проблемы с совместимостью нового и старого оборудования	40%
Временные ограничения и давление сроков	35%
Недостаток специализированного инструментария	30%
Проблемы связанные с обеспечением безопасности	25%
Неопределенность в интерпретации нормативных требований	20%

анализ публикаций, направленных на практическую проверку теоретически выявленных проблемных моментов [6, с. 34].

В рамках первоначального этапа исследования был выполнен тщательный анализ нормативно-правовой базы и методических рекомендаций, которые регулируют процедуры технического обслуживания и настройки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Среди основных документов, подвергшихся детальному рассмотрению, были:

Правила технологического функционирования электроэнергетических систем, утвержденные Правительством Российской Федерации, определяющие общие требования к эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования в электроэнергетических системах, включая устройства РЗА [1].

Правила переключений в электроустановках, утвержденные приказом Минэнерго России, содержащие требования к организации и выполнению переключений в электроустановках для обеспечения безопасности и надежности работы энергосистемы, важный компонент которой составляют устройства РЗА [2].

Методические указания по техническому обслуживанию и ремонту устройств РЗА, разработанные ведущими отраслевыми институтами, предоставляющие практические рекомендации по проведению регламентных работ, диагностики, наладке и испытаниям устройств РЗА.

Стандарты и технические условия производителей оборудования РЗА, содержащие спецификации, технические характеристики

устройств, а также руководства по их эксплуатации, настройке и техническому обслуживанию [14].

Изучение данных документов позволило выявить комплекс требований к организации работ по техническому обслуживанию и наладке устройств РЗА, обеспечению их надежного функционирования и безопасности выполнения работ. Также были определены области, требующие дополнительного анализа и уточнения, что стало основой для дальнейшего исследования (см. табл. 1) [5, с. 42].

На следующем этапе проводился анализ литературы, содержащей сведения об опросе специалистов, занятых в области технического обслуживания и наладки РЗА, с целью выявления их мнения о наиболее часто встречающихся проблемах и трудностях. Данный этап позволил получить реальную обратную связь от лиц, непосредственно сталкивающихся с проблемами в процессе своей профессиональной деятельности [3].

Ниже представлена таблица, взятая из работы [11], отражающая результаты опроса 100 специалистов в области технического обслуживания и наладки РЗА относительно наиболее часто встречающихся проблем и трудностей, а также процент людей, сталкивающихся с этими проблемами (см. табл. 2).

Эти данные позволяют увидеть, с какими основными трудностями сталкиваются специалисты в процессе своей работы, и подчеркивают важные аспекты, на которые следует обратить внимание при планировании мероприятий по улучшению процессов технического обслуживания и наладки устройств РЗА [8].



Таблица 3. Результаты эксперимента по тестированию устройств РЗА.

Наименование устройства РЗА	Тест на точность срабатывания	Анализ времени реакции (мс)	Оценка стабильности работы	Выявленные недостатки
Реле защиты типа А	Соответствует	20	Стабильно	-
Реле защиты типа Б	Не соответствует	35	Нестабильно	Отклонение во времени реакции
Автоматика типа В	Соответствует	15	Стабильно	-
Контрольное устройство типа Г	Соответствует	25	Стабильно	-
Реле защиты типа Д	Не соответствует	50	Нестабильно	Неточность срабатывания

В работе [13] были проведены экспериментальные исследования технического обслуживания и наладки устройств РЗА с целью оценки соответствия устройств заявленным характеристикам и требованиям нормативных документов. Для этого были выбраны устройства РЗА различных типов, включая защитные реле, автоматику и контрольно-измерительные устройства, используемые в электроэнергетических системах.

Процесс эксперимента включал несколько ключевых тестов.

Тест на точность срабатывания. Этот тест направлен на проверку соответствия момента срабатывания устройства РЗА заданным параметрам при различных условиях нагрузки. Испытания проводились путем моделирования условий короткого замыкания и перегрузки для выявления способности устройства корректно реагировать на экстремальные условия [15].

Анализ времени реакции. В этом тесте измерялось время от момента возникновения условий, требующих срабатывания устройства, до фактического срабатывания. Значения времени реакции сравнивались с заявленными производителем параметрами для оценки быстродействия устройств [9].

Оценка стабильности и надежности работы. Этот комплексный тест был проведен в работе [10] и включал в себя долгосрочные наблюдения за работой устройств в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, с целью выявления возможных отклонений в работе или сбоев в функционировании устройств РЗА.

В результате испытаний были собраны и систематизированы данные, отражающие характеристики и выявленные недостатки

каждого из проверенных устройств РЗА. Данные результаты позволили сформулировать выводы относительно текущего состояния технического обслуживания и наладки устройств и выделить направления для улучшения (см. табл. 3) [10].

Реле защиты типа А представляет собой устройство, предназначенное для надежной и точной защиты электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий, характеризующееся быстрым временем реакции и стабильностью работы. Реле защиты типа Б – это тип реле, разработанный для работы в более сложных условиях, например, с переменными нагрузками, однако в эксперименте показало отклонения во времени реакции, указывающие на необходимость дополнительной настройки. Автоматика типа В относится к устройствам автоматического управления, обеспечивающим высокий уровень контроля и регулирования работы электроэнергетических систем, выделяющимся своей быстродейственностью и надежностью. Контрольное устройство типа Г используется для мониторинга и диагностики состояния электрооборудования, обладая хорошей стабильностью работы и точностью измерений. Реле защиты типа Д, аналогично типу Б, предназначено для защиты сложных электроустановок, но в ходе тестирования продемонстрировало несоответствие некоторым техническим характеристикам, в частности неточность срабатывания, что подчеркивает важность проведения тщательного тестирования перед вводом в эксплуатацию.

В результате экспериментов было выявлено, что устройства типа А и В полностью соответствуют заявленным характеристикам, показывая высокую стабильность работы. В то

**Периодичность проведения технического обслуживания устройств РЗА  
электрических сетей 0,4-35 кВ**

Место установки устройств РЗА	Цикл технического обслуживания, лет	Количество лет эксплуатации													
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
В помещениях I категории (вариант 1)	12	Н	К1	-	О	-	К	-	О	-	К	-	В	-	О
В помещениях I категории (вариант 2)	8	Н	К1	-	К	-	О	-	В	-	О	-	К	-	О
В помещениях I категории (вариант 3)	6	Н	К1	-	К	-	В	-	К	-	К	-	В	-	К
В помещениях II категории (вариант 1)	6	Н	К1	-	К	-	В	-	К	-	К	-	В	-	К
В помещениях II категории (вариант 2)	3	Н	К1	В	-	-	В	-	-	В	-	-	В	-	-

Примечания: 1. Н - проверка (наладка) при новом включении; К1 - первый профилактический контроль; К - профилактический контроль; В - профилактическое восстановление; О — опробование.  
2. В таблице указаны обязательные опробования. Кроме того, опробования рекомендуется производить в годы, когда не выполняются другие виды обслуживания. Если при проведении опробования или профилактического контроля выявлен отказ устройства или его элементов, то производится устранение причины, вызвавшей отказ, и при необходимости в зависимости от характера отказа - профилактическое восстановление.

**Рисунок 1.** Цикл технического обслуживания для устройств РЗА.

же время устройства типа Б и Д демонстрировали отклонения от нормы, в частности, по времени реакции и точности срабатывания, что указывает на необходимость дополнительной настройки или возможной замены.

По результатам исследования в качестве ключевых проблем были выделены следующие аспекты:

Недостаточная точность срабатывания некоторых устройств РЗА, что может привести к неправильной работе защитных механизмов.

Значительные временные задержки в действии защиты, превышающие нормативно установленные пределы.

Пониженная надежность работы устройств в условиях повышенной влажности и температурных колебаний.

Сложность проведения технического обслуживания и наладки из-за недостаточной стандартизации процессов и отсутствия унифицированных методических материалов.

Также был выявлен оптимальный цикл технического обслуживания для устройств РЗА, зависящий от категории помещений, где они эксплуатируются. Для устройств, установленных в помещениях I категории, рекомендуемый цикл составляет 12, 8, или 6 лет, тогда как для устройств в помещениях II категории

– 6 или 3 года. Эти рекомендации основаны на среднем сроке службы устройств и учитывают местные условия, влияющие на скорость их износа (см. рис. 1) [11].

Исходя из проведенного анализа нормативной базы и анализа публикаций, были получены результаты, которые подчеркивают несколько ключевых направлений для улучшения текущих практик в области технического обслуживания и наладки. Недостаток стандартизации процедур, выявленный как в теоретическом анализе, так и в ходе опроса специалистов, подчеркивает критическую потребность в разработке единых стандартов и подходов к техническому обслуживанию и наладке, которые могли бы обеспечить более высокую эффективность и надежность устройств РЗА [7].

Анализ времени реакции и точности срабатывания устройств РЗА в ходе экспериментальной работы, проведенной в работах [7-15] подтвердил, что отклонения от заявленных характеристик могут привести к сбоям в работе защитных систем, что, в свою очередь, увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций в электроэнергетических системах. Таким образом, результаты экспериментальной части исследования, проведенных в работах

[7-15], подчеркивают необходимость усиления контроля качества устройств РЗА на этапах их производства и ввода в эксплуатацию.

Обсуждение полученных результатов позволяет сделать вывод о значимости комплексного подхода к обеспечению надежности и безопасности функционирования устройств РЗА. Анализ, проведенный в рамках данного исследования, демонстрирует, что улучшение процессов технического обслуживания и наладки может быть достигнуто за счет внедрения унифицированных процедур, обеспечения постоянного профессионального развития персонала и использования современных методик диагностики и испытаний.

Изучение полученных ранее данных [4] показывает, что проблема недостаточной стандартизации и квалификации персонала остается актуальной на протяжении многих лет. Тем не менее, внимание к этим вопросам со стороны отраслевых специалистов и научного сообщества продолжает расти, что дает основание ожидать положительных изменений в будущем.

Таким образом, результаты данного исследования не только подтверждают значимость существующих проблем в области технического обслуживания и наладки устройств РЗА, но и предлагают конкретные направления для дальнейших усилий по их решению. Ожидается, что реализация предложенных рекомендаций позволит повысить надежность и безопасность электроэнергетических систем, а также сократить риски возникновения аварийных ситуаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Можно сделать следующие выводы о том, что проведенное исследование выявило ряд ключевых проблем и трудностей, связанных с техническим обслуживанием и наладкой устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Целью работы было исследование существующих методов обслуживания и наладки оборудования РЗА, а также выявление основных проблемных моментов на различных этапах этих процессов. Сопоставление полученных результатов с изначально поставленной целью позволяет заключить, что цель была достигнута: выявлены конкретные проблемы, такие как недостаток стандартизации процедур, отсутствие или устаревание технической документации, нехватка квалифицированного персонала, а также сложности доступа к оборудованию для обслуживания.

На основе анализа нормативных документов, на основании анализа литературы, содержащей сведения о опросе, и о

экспериментальных исследованиях были сформулированы рекомендации по улучшению текущей практики в данной области. Эти рекомендации включают в себя разработку и внедрение унифицированных методик технического обслуживания и наладки, повышение квалификации специалистов и обновление технической документации. Подчеркивается важность этих мер для повышения надежности и безопасности работы электроэнергетических систем.

Практическая значимость полученных в ходе исследования результатов заключается в возможности использования выявленных данных для корректировки существующих процессов технического обслуживания и наладки, что может способствовать улучшению работы электроэнергетических систем в целом.

Таким образом, данное исследование подчеркивает необходимость системного подхода к улучшению процессов технического обслуживания и наладки устройств РЗА. Результаты работы могут служить основой для разработки конкретных мер, направленных на повышение эффективности и надежности электроэнергетических систем, а также для формирования дальнейших научных исследований в этой важной области.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 13.08.2018 N 937 (ред. от 31.01.2024) «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». – Текст: непосредственный.
2. Приказ Минэнерго России от 13.09.2018 N 757 (ред. от 01.09.2023) «Об утверждении Правил переключений в электроустановках». – Текст: непосредственный.
3. Агафонов, А. И. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учебное пособие / А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, Н. Б. Джазовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 300 с. – Текст: непосредственный.
4. Горемыкин, С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие / С. А. Горемыкин. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 191 с. – Текст: непосредственный.
5. Ершов, Ю. А. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учеб. пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина, А. В. Малеев и др. – Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2020. – 68 с. – Текст: непосредственный.
6. Ковалёв, Д. В. Анализ методов выбора комплектов защит для терминалов релейной автоматики /

- Д. В. Ковалев. – Текст: непосредственный // Автоматика и вычислительная техника в промышленности. – 2022. – № 4. – С. 34-40.
7. Куксин, А. В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / А. В. Куксин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 200 с. – Текст: непосредственный.
  8. Основы релейной защиты и автоматики интеллектуальной электрической сети : монография / В. И. Антонов, В. А. Наумов, М. В. Мартынов [и др.]. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 324 с.
  9. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие / В. И. Бирюлин, А. Н. Горлов, Д. В. Куделина [и др.]. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 197 с. – Текст: непосредственный.
  10. Сипягина, П. С. Анализ существующих методов и средств расчёта устройств релейной защиты и автоматики / П. С. Сипягина. – Текст : непосредственный. – Текст: электронный // Молодой ученый. – 2023. – № 38 (485). – С. 19-21. – URL: <https://moluch.ru/archive/485/106166/> (дата обращения: 03.04.2024).
  11. Жраков, С. В. Развитие релейной защиты в электроэнергетической системе России / С. В. Жраков, В. И. Зацепина. – Текст: электронный // StudNet. – 2021. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-releynoy-zaschity-v-elektroenergeticheskoy-sisteme-rossii> (дата обращения: 03.04.2024).
  12. Зайцев, А. А. Разработка автоматизированной системы мониторинга и анализа функционирования релейной защиты и автоматики распределительных подстанций / А. А. Зайцев, Д. А. Коледа. – Текст: электронный // SAF. – 2023. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-avtomatizirovannoy-sistemy-monitoringa-i-analiza-funktsionirovaniya-releynoy-zaschity-i-avtomatiki-raspre-delitelnyh> (дата обращения: 03.04.2024).
  13. Зацепина, В. И. Итоговая надёжность электроснабжения и систем релейной защиты и автоматики / В. И. Зацепина, С. С. Астанин. – Текст: электронный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 10. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/itogovaya-nadyozhnost-elektrosnabzheniya-i-sistem-releynoy-zaschity-i-avtomatiki> (дата обращения: 03.04.2024).
  14. Моисеев, Д. В. Проектирование архитектуры программного комплекса диагностики централизованной системы РЗА / Д. В. Моисеев, Н. А. Галанина, Н. Н. Иванова. – Текст: электронный // Вестник ЧГУ. – 2021. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-arhitektury-programmnogo-kompleksa-diagnostiki-tsentralizovannoy-sistemy-rza> (дата обращения: 03.04.2024).
  15. Тымкив, А. С. Об измерении интервалов времени при проверке средств испытаний и диагностики устройств РЗА / А. С. Тымкив, П. В. Никитин. – Текст: электронный // Компетентность. – 2022. – № 8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-izmerenii-intervalov-vremeni-pri-poverke-sredstv-isyptaniy-i-diagnostiki-ustroystv-rza> (дата обращения: 03.04.2024).
  16. Котеленко, С. В. Модернизация длительно эксплуатирующихся систем релейной защиты и автоматики энергосистем / С. В. Котеленко. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-dlitelno-ekspluatiruyuschih-sistem-releynoy-zaschity-i-avtomatiki-nergosisistem?ysclid=lum5wlgbpj357775263> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный.
  17. Колесников, А. А. Особенности сбора и обработки данных для расчета надёжности современной релейной защиты / А. А. Колесников, Б. В. Папков. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sbora-i-obrabotki-dannyh-dlya-rascheta-nadyozhnosti-sovremennoy-releynoy-zaschity?ysclid=lum6h32z3118886817> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный
  18. Корнюшкин, Д. А. Средства релейной защиты и автоматики: состояние и перспективы / Д. А. Корнюшкин, А. А. Крылов. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-releyno-zaschity-i-avtomatiki-sostoyanie-i-perspektivy?ysclid=lum6dr2q3q561318492> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный.
  19. Симаков, А. В. Разработка математической модели функционирования электротехнических комплексов релейной защиты цифровых подстанций / А. В. Симаков, В. В. Харламов, М. Ю. Чернев. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-matematicheskoy-modeli-funktsionirovaniya-elektrotehnicheskikh-kompleksov-releynoy-zaschity-tsifrovyyh-podstantsiy?ysclid=lum6empw67914713118> (дата обращения: 04.04.2024).
  20. Симаков, А. В. Проверка электрических и временных характеристик токовой защиты цифровых подстанций / А. В. Симаков, В. В. Харламов, В. И. Скороходов. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proverka-elektricheskikh-i-vremennykh-kharakteristik-tokovoy-zaschity-tsifrovyyh-podstantsiy?ysclid=lum6g72icw396871770> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный.



# ВЕСТНИК

ЮГОРСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

# BULLETIN

YUGRA STATE UNIVERSITY

Научное издание  
Том 20, выпуск 2 (2024)  
Цена свободная  
16+

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

Подписано в печать: 28.06.2024  
Дата выхода в свет: 30.06.2024  
Формат 60x84 1/8. Гарнитура Montserrat.  
Усл. печ. л. 14,40. Тираж 1000 экз. Заказ № 282.

Адрес учредителя, издателя и редакции:  
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,  
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Отпечатано в секторе редакционно-издательской работы  
Научной библиотеки ФГБОУ ВО ЮГУ:  
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,  
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Главный редактор – Лапшин Валерий Федорович,  
тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 559)