



# ВЕСТНИК

## Югорского государственного университета

Основан  
в 2005 году

### Основные материалы номера:

- К вопросу о привлечении адвокатов к уголовной ответственности за несообщение о преступлении
- Построение Экосистемы знаний на основе ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике
- Анализ учета неоднородности токоведущих жил самонесущих изолированных проводов
- Разработка технологии и опыт производства шаровых пальцев грузового автомобиля из экономно-легированной стали

# 4/2023



ВЕСТНИК  
ЮГОРСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

ВЫПУСК 4/2023

---

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

г. Ханты-Мансийск  
2023 г.

## **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» ЮУрГУ, Челябинск;

**Кожанов Александр Иванович** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН «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 «Электрообеспечение 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 «Электрообеспечение 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):**

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

**Баев Владимир Константинович** – доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБУН 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 ФГКОУ 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 ФГАОУ 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»;

**Сергеевич 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 ФГАОУ 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**

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ  
**Science Index** 

ISSN 1816-9228 (печатная версия)  
ISSN 2078-9114 (электронная версия)  
Журнал издается с 2005 года  
Журнал включен в РИНЦ

© ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| УГОЛОВНОЕ ПРАВО И КРИМИНОЛОГИЯ .....  | 7   |
| <i>Ельчанинов А. П., Строгович Ю. Н.</i><br>Международный опыт обращения осужденных в суд за защитой своих прав<br>(нормативное регулирование и причины таких обращений) .....  | 9   |
| <i>Лапшин В. Ф., Кемова Н. Н.</i><br>Хулиганские побуждения как обстоятельство, отягчающее уголовное наказание .....  | 17  |
| <i>Синичкин А. А.</i><br>К вопросу о привлечении адвокатов к уголовной ответственности<br>за несообщение о преступлении .....   | 27  |
| <i>Шеслер А. В., Шеслер С. С.</i><br>Корысть: соотношение цели и мотива совершения преступления .....   | 33  |
| МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....  | 39  |
| <i>Антипова Е. С.</i><br>Математическое моделирование конфликтов .....  | 41  |
| <i>Батанина Н. С., Куприянова Е. В., Муравьев Л. А.</i><br>Вопросы использования данных дистанционного зондирования в задачах комплексного<br>исследования поселений бронзового века (на примере Челябинской области) .....             | 57  |
| <i>Гаврилов С. В., Харитонов А. Л.</i><br>Физико-математическое моделирование сил динамического давления<br>и вязких напряжений в зонах литосферной субдукции .....   | 70  |
| <i>Массель Л. В., Массель А. Г.</i><br>Построение экосистемы знаний на основе<br>ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике .....  | 78  |
| <i>Петунин А. А., Котел Н. С., Таваева А. Ф.</i><br>Об одном примере оптимального решения интегрированной задачи<br>2D-раскроя и маршрутизации инструмента машины листовой резки с ЧПУ .....  | 88  |
| НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ .....  | 103 |
| <i>Негров Д. А., Путинцев В. Ю., Готов А. И.</i><br>Исследование влияния технологического режима ультразвукового прессования<br>с низкочастотной модуляцией на структуру политетрафторэтилена,<br>модифицированного нитридом бора ..... | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Горунов А. И., Нюхляев О. А., Гильмутдинов А. Х.</i><br>Лазерно-акустическая сварка образцов из стали 12х18н9т.....  | 112 |
| <i>Николаева М. А., Данзанова Е. В., Старостин Н. П.</i><br>Влияние температурно-временных режимов сварки полимерных труб<br>при низких температурах на структуру и свойства материалов соединений.<br>Часть II. Экспериментальные исследования.....        | 120 |
| <i>Астащенко В. И., Пуртова Е. В., Швеева Т. В., Пуртов А. В.</i><br>Разработка технологии и опыт производства шаровых<br>пальцев грузового автомобиля из экономно-легированной стали.....  | 133 |
| ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.....  | 141 |
| <i>Антонов А. И., Руди Д. Ю., Хацевский К. В.</i><br>Анализ результатов исследования качества электроэнергии<br>в электрических сетях ЗАО «Сибгазстройдеталь» .....   | 143 |
| <i>Бубенчиков А. А., Бубенчикова Т. В.</i><br>Анализ учета неоднородности токоведущих жил<br>самонесущих изолированных проводов .....   | 153 |
| <i>Сычев Ю. А., Аладын М. Е., Холодович У. А., Сериков В. А.</i><br>Оценка составляющих коэффициента мощности при несинусоидальных режимах<br>промышленных систем электроснабжения с линейной и нелинейной нагрузкой.....                                   | 161 |
| <i>Ткаченко В. А., Осипов Д. С.</i><br>Модернизация метода прогнозирования энергопотребления узлов нагрузки минигрида<br>путем использования экстраполяции линии тренда, полученной с помощью<br>вейвлет-преобразования графика электрических нагрузок..... | 169 |

УГОЛОВНОЕ ПРАВО  
И КРИМИНОЛОГИЯ

---

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ОБРАЩЕНИЯ ОСУЖДЕННЫХ В СУД  
ЗА ЗАЩИТОЙ СВОИХ ПРАВ  
(НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ПРИЧИНЫ ТАКИХ ОБРАЩЕНИЙ)**

**Ельчанинов Андрей Петрович**

*кандидат юридических наук,  
начальник отдела по совершенствованию  
нормативно-правового регулирования деятельности  
уголовно-исполнительной системы НИЦ-1,  
Научно-исследовательский институт  
Федеральной службы наказаний России  
Москва, Россия  
E-mail: petrovich2102@rambler.ru*

**Строгович Юрий Николаевич**

*старший научный сотрудник отдела  
по совершенствованию нормативно-правового регулирования  
деятельности уголовно-исполнительной системы НИЦ-1,  
Научно-исследовательский институт  
Федеральной службы наказаний России,  
Москва, Россия  
E-mail: ustrogovich@yandex.ru*

*Предмет исследования: международный опыт обращений осужденных и лиц, находящихся под стражей, за защитой своих прав в судебные органы государств, гражданами (подданными) которых они являлись.*

*Цель исследования: выявить основные причины обращений лиц, находящихся под стражей, а также отбывающих наказание в виде лишения свободы в иностранных государствах, в судебные инстанции стран пребывания за защитой своих прав. Использовать полученные результаты для проведения сравнительного анализа при последующем изучении причин и оснований обращений осужденных, отбывающих уголовные наказания в учреждениях уголовно-исполнительной системы Российской Федерации, в суды общей юрисдикции за защитой своих прав.*

*Перечень методов и объектов исследования: в качестве методологической основы исследования выступают диалектический, системный, логический и другие методы научного познания.*

*Основные результаты и выводы по результатам исследования: анализ международного опыта в сфере деятельности учреждений и органов, исполняющих уголовные наказания в иностранных государствах, позволил выявить определенные причины обращений в суды осужденных, находящихся в местах лишения свободы в иностранных государствах. Проведенное исследование позволило свести большинство причин обращений осужденных в суд в несколько групп, которые будут универсальны практически для любой страны.*

*Ключевые слова: осужденные, суд, права и законные интересы осужденных, персонал исправительных учреждений, нормативные правовые акты.*

**INTERNATIONAL EXPERIENCE OF CONVICTS APPLYING TO COURT FOR PROTECTION OF THEIR RIGHTS (REGULATORY REGULATION AND THE REASONS FOR SUCH APPEALS)**

**Andrey P. Elchaninov**

*Candidate of Law,  
Head of the Department for Improving  
the Regulatory and Legal regulation of the Activities  
of the Penal Enforcement System,  
Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia  
Moscow, Russia  
E-mail: petrovich2102@rambler.ru*

**Yuri N. Strogovich**

*Senior Researcher at the Department  
for Improving the Regulatory Regulation of the Activities  
of the Penal Enforcement System,  
Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia  
Moscow, Russia  
E-mail: ustrogovich@yandex.ru*

*Subject of research: international experience of appeals of convicted persons and persons in custody for the protection of their rights to the judicial authorities of the states of which they were citizens (subjects).*

*Purpose of research: to identify the main reasons for the appeals of persons in custody, as well as those serving sentences in the form of imprisonment in foreign countries, to the judicial authorities of the host countries for the protection of their rights. To use the obtained results as a comparison for the subsequent study of the reasons and grounds for the appeals of convicts serving criminal sentences in institutions of the penal enforcement system of the Russian Federation to the courts of general jurisdiction for the protection of their rights.*

*Methods and objects of research: dialectical, systematic, logical and other methods of scientific cognition act as the methodological basis of the research.*

*Main results of research: the analysis of international experience in the field of activities of institutions and bodies executing criminal penalties in foreign countries allowed us to identify certain reasons for appeals to the courts of convicts in places of deprivation of liberty in foreign countries. The study made it possible to reduce most of the reasons for the appeals of convicts to court into several groups that will be universal for almost any country.*

*Keywords: convicts, court, rights and legitimate interests of convicts, correctional personnel, regulatory legal acts.*

---

**Введение**

Права человека признаются наивысшими ценностями в подавляющем большинстве государств. Приоритет защиты таких прав закреплен как в международных актах, так и в национальных законодательствах. Между тем, права человека не безусловны и могут ограничиваться в отдельных случаях, строго определенных законодательством. Например, некоторые права граждан ограничиваются при уголовном преследовании лиц, совершивших преступления. Необходимо признать, что объем таких ограничений существенно отличается в различных государствах.

Одним из правовых инструментов в процессе реализации и обеспечения прав и законных интересов лиц, содержащихся в условиях изоляции, в том числе лишенных свободы, является институт подачи жалоб и обращений [3, С. 44]. Необходимо отметить, что возможность обращения в судебные инстанции за защитой своих прав имеют осужденные за уголовные преступления практически во всех странах мира, что находит свое отражение как в национальных нормативных правовых актах этих государств, так и закреплено в многосторонних международных договорах (конвенциях). В Российской Федерации осужденные также имеют возможность обжаловать в судебном порядке действия (бездействие) администрации учреждений уголовно-исполнительной системы, причем с каждым годом количество обращений осужденных в суд за защитой своих прав увеличивается. В связи с этим актуальность выбранной для исследования темы очевидна, поскольку изучение причин обращений в суд осужденных в иностранных государствах, международный опыт регулирования этого процесса позволяют лучше оценить организацию судебной защиты прав осужденных в Российской Федерации. Изучение международного опыта в данном вопросе позволит в последующих исследованиях выявить общие тенденции в России и в иностранных государствах обращений в суды осужденных и лиц, находящихся в заключении, а также подходы минимизации нарушений со стороны персонала исправительных учреждений, ставших основаниями таких обращений.

### **Результаты и обсуждение**

В соответствии с правилом 54 (b) Минимальных стандартных правил ООН, «при принятии в тюрьму каждому заключенному следует незамедлительно предоставлять письменную информацию, касающуюся, в том числе, процедур подачи заявлений или жалоб». В правиле 57 отмечено, что все заявления или жалобы подлежат срочному рассмотрению, и на них следует отвечать без каких-либо промедлений. В случаях их отклонения или неоправданной задержки податель заявления должен иметь право направить их в судебный или иной орган.

Право подачи заключенными просьб и жалоб предусмотрено также Европейскими пенитенциарными правилами (правило 70), Конвенцией против пыток и других жестоких, бесчеловечных или унижающих достоинство видов обращения и наказаний (ст. 13), Сводом принципов защиты всех лиц, подвергаемых задержанию или заключению в какой бы то ни было форме (принцип 33).

Следует отметить, что предусмотренное в вышеупомянутых международных нормативных актах право подачи жалоб, заявлений, просьб заключенными не имеет нормативно определенной процедуры реализации, от чего в значительной степени зависит эффективность соответствующего реагирования.

В национальных законодательствах зарубежных стран закреплены различные механизмы реализации права подачи жалоб лицами, осужденными к лишению свободы. Как правило, механизм подачи обращений осужденными предполагает досудебный порядок урегулирования спорных вопросов. Например, в ФРГ и Великобритании независимые надзорные советы по итогам проведенных ими расследований направляют рекомендации по реагированию на жалобы. Но эти советы не могут принимать решения, обязательные для исполнения [6, С. 483-488].

В Голландии (Нидерланды) решения местных комитетов по жалобам являются обязательными для исполнения, но могут обжаловаться начальником тюрьмы в центральном административном органе, который также обладает полномочиями по принятию решений. Схожий механизм действует в Бельгии [7, С. 51-54].

В перечисленных странах независимые надзорные советы действуют как первая инстанция приема и рассмотрения предоставленных осужденными жалоб и просьб. Члены этих советов участвуют в их разрешении путем посредничества, в рамках так называемого процесса медиации.

Если обратиться к зарубежному опыту обращения осужденных, находящихся в местах лишения свободы, в суды с исковыми требованиями в адрес государственных органов, исполняющих уголовное наказание, необходимо отметить разнообразные подходы реализации

данного права осужденных. Например, подход Великобритании заключается в разрешении административных споров в судах общей юрисдикции (доктрина единой юстиции). Во Франции жалобы на неправомерные административные акты и действия (бездействие) чиновников пенитенциарной системы рассматриваются в специальном порядке особыми судебными-административными органами (доктрина специальных административных судов – административная юрисдикция), отделенных от общих судов гражданской и уголовной юрисдикции. Помимо этого, создаются специальные пенитенциарные суды (Польша, Германия), которые, в том числе, рассматривают жалобы заключенных на действия администрации пенитенциарных учреждений. Например, уголовно-исполнительный кодекс Польши предусматривает, что судьи пенитенциарных судов могут отменять или изменять решения о применении к заключенному дисциплинарных взысканий.

Первая поправка к Конституции Соединенных Штатов гарантирует всем гражданам право «обращаться к правительству с петициями об удовлетворении жалоб». Это право с конца 60-х годов XX века также распространяется на заключенных, которым разрешен доступ в суды для рассмотрения определенных видов ходатайств. Две основные категории ходатайств, которые могут подавать заключенные, – это апелляции по уголовным делам, как правило, в рамках процедуры хабеас корпус, и иски о защите гражданских прав. Право подавать эти петиции известно как «право доступа к судам», которое было подробно рассмотрено судом в деле «Джонсон против Эйвери» (1969) (*Johnson v. Avery* (1969)) [1].

В США общий подход о возможности обращения осужденных в суд за защитой своих прав определяется позициями судов изложенных, в том числе в двух судебных решениях: «Хадсон против Палмер» (1984) и «Тернер против Сэфли» (1987). В первом из них отмечается, что «в то время как заключенные пользуются многими гарантиями Конституции, которые принципиально не противоречат самому тюремному заключению или несовместимы с целями тюремного заключения, тюремное заключение влечет за собой ограничение или утрату многих прав, необходимых для удовлетворения институциональных потребностей и целей тюремных учреждений, особенно связанных с внутренней безопасностью». Это означает, что несмотря на то, что заключенные имеют права, они все равно могут потерять некоторые из них, если будут нарушать тюремные правила.

В деле под названием «Тернер против Сэфли» суд признал, что «тюремные стены не являются барьером, отделяющим заключенных от защиты, предусмотренной Конституцией». Это означает, что заключенные по-прежнему пользуются определенными конституционными правами даже во время отбывания наказания. Однако если возникает конфликт между охраной тюрьмы и правами заключенного, охрана тюрьмы обычно ставится на первое место.

Для заключенных в США право на доступ к судам имеет первостепенное значение, поскольку оно позволяет им обжаловать свое задержание или условия содержания под стражей. Пользуясь этим правом, заключенные могут подавать апелляции и судебные иски против тюремной администрации за нарушение их конституционных прав. Это дает заключенным возможность получить защиту от несправедливых или незаконных действий тюремных чиновников.

Однако это право не является абсолютным и может быть ограничено по таким причинам, как соображения безопасности, или когда петиция считается несерьезной. Тюремные чиновники могут помешать заключенным подать петицию, если они считают, что это поставит под угрозу безопасность учреждения, и суд может отклонить любую петицию, которая будет признана несерьезной или необоснованной.

В настоящее время порядок рассмотрения в США обращений осужденных предусматривает 4 этапа досудебного решения конфликтных ситуаций. Лишь исчерпание административных средств правовой защиты является основанием судебного пересмотра дела. Следовательно, до обращения в суд с иском заключенный должен исчерпать все административные средства правовой защиты по внутренним тюремным каналам. Это требование об исчерпании прав было установлено Законом о реформе судебного разбирательства в тюрьмах *Prison Litigation Reform Act (PLRA)* (1995).

В нормативных правовых актах государств СНГ также закрепляется возможность обращений осужденных в суд за защитой своих нарушенных прав. Так, например, ст. 14 Уголовно-исполнительного кодекса Республики Казахстан устанавливает, что «обращения осужденных к аресту, лишению свободы, адресованные в вышестоящие органы управления учреждениями или органами, исполняющими наказания, суд, органы прокуратуры, иные государственные органы, общественные объединения, а также международные организации по защите прав и свобод человека, направляются через администрацию учреждений или органов, исполняющих наказания. Обращения, адресованные в суд, органы прокуратуры и иные государственные органы, осужденные могут подать в виде электронного документа. Администрации учреждений обеспечивают подачу таких обращений в местах непосредственного проживания осужденных к лишению свободы, за исключением учреждений с камерными условиями содержания, где подачу таких обращений администрации обеспечивают в доступных для осужденных местах в порядке, установленном правилами внутреннего распорядка учреждений. Осужденные к иным видам наказаний и мерам уголовно-правового воздействия направляют обращения самостоятельно. В учреждениях и органах, исполняющих наказание, обеспечивается функционирование специальных почтовых ящиков для подачи осужденными обращений на неправомерные действия их должностных лиц. С периодичностью один раз в неделю обращения, поданные в почтовые ящики, изымаются прокурором с участием представителей администрации учреждения или органа, исполняющего наказание, о чем составляется акт. Специальные почтовые ящики устанавливаются на территории и в помещениях учреждений и органов, исполняющих наказание, в доступных для осужденных местах».

Анализ международного опыта в сфере деятельности учреждений и органов, исполняющих уголовные наказания в иностранных государствах, позволил выявить определенные причины обращений в суды осужденных, находящихся в местах лишения свободы в иностранных государствах. Проведенное авторами исследование показало, что количество обращений осужденных в суд о нарушении их прав, как правило, в процентном соотношении от общего количества осужденных в конкретной стране не зависит от среднего уровня жизни в рассматриваемом государстве, от состояния пенитенциарной системы этого государства. Наказание в виде лишения свободы априори связано с ограничением определенных прав, перечень которых определен в национальных законодательствах. При организации исполнения наказаний в виде лишения свободы всегда и в любой стране возникают определенные условия, имеющие как объективные, так и субъективные причины, которые позволяют осужденным иногда надуманно, иногда обоснованно жаловаться на нарушение своих прав. Однако конкретные причины обращений в суд осужденных о защите своих прав существенно отличаются в разных странах и во многом зависят от состояния пенитенциарной системы и уровня развития общества.

Приведем лишь несколько показательных примеров таких различий.

Например, в благополучной Норвегии, известной высоким уровнем условий содержания лиц, отбывающих наказание в виде лишения свободы, осужденные, как и в других странах, подают обращение в суд о нарушении своих прав. В частности, такое обращение было подано Андерсом Берингом Брейвиком, осужденным на 21 год лишения свободы за убийство более 70 человек. В тюрьме в его распоряжении 3 комнаты (31 кв. м) и небольшой внутренний двор. Ему разрешено читать газеты, смотреть телевизор, у него есть игровая приставка. В обращении в суд на государство Норвегия Брейвик считает, что в заключении нарушаются его права человека, а также что заключение наносит ущерб его психическому здоровью. Суть его претензий в следующем:

- от изолированного содержания у него развилась своего рода «головная боль от изоляции»;
- «ему пришлось пройти более 800 обследований всего тела, включая все отверстия в теле. Этим должны были заниматься и женщины-надзиратели, так как на его участке не всегда было достаточно мужчин» [6].

В США, где существуют значительные проблемы с соблюдением прав осужденных, обращения в суды от лиц, находящихся в местах лишения свободы, являются одной из форм защиты своих прав.

Так, изученные материалы по исследуемой теме показали значительное количество обращений осужденных в США в судебные органы по причине нарушения их прав на лечение и реабилитацию, закрепленные, в том числе, Законом об американцах с ограниченными возможностями (ADA) (1990). В соответствии с данным законом инвалидность включает в себя как психические, так и физические заболевания.

Среди конкретных нарушений администрации тюрем, указанных в обращениях осужденных, можно назвать следующие:

- отказ в адекватной медицинской и психиатрической помощи;
- дискриминацию людей с ограниченными возможностями;
- использование одиночного заключения для людей с серьезными психическими заболеваниями;
- непредставление удобств для инвалидов;
- непредставление равного доступа осужденным с ограниченными возможностями к программам, услугам и мероприятиям, реализуемым в тюрьме;
- совместное размещение в период пандемии здоровых осужденных с осужденными, у которых подтверждено заболевание COVID-19;
- отсутствие в тюрьме достаточного количества сурдопереводчиков для глухонемых осужденных, что приводило к отказу в доступе их к образовательным и реабилитационным программам. Это, в свою очередь, поставило глухих людей в значительно невыгодное положение перед Комиссией по слушаниям по условно-досрочному освобождению, что, возможно, привело к тому, что глухие люди отбывали более длительные сроки заключения, чем их слышащие коллеги;
- заковывание в кандалы глухонемого осужденного, что не позволяло ему общаться с сурдопереводчиком.

Проведенное исследование также показало, что не менее распространенными причинами обращений североамериканских осужденных в суд являются факты чрезмерного и ненужного применения силы против заключенных со стороны сотрудников тюрем, а также несоблюдение условий содержания (например, злоупотребление длительными одиночными заключениями; создание негуманных, антисанитарных и небезопасных условий содержания; переполненность тюрем).

Отдельной темой обращений в суд американских осужденных являются нарушения, связанные с дискриминацией осужденных-мигрантов. Среди причин жалоб таких осужденных можно назвать:

- ограничение доступа к юридическим материалам, вызванное тем, что основная информация предоставляется заключенным только на английском языке, которым большинство не владеет;
- ограничение доступа «к открытым пространствам для свежего воздуха и солнечного света»;
- нарушение норм Закона о восстановлении свободы вероисповедания RFRA (1993);
- оскорбления со стороны тюремной администрации.

В странах Европейского Союза о наиболее типичных поводах обращения осужденных в национальные судебные инстанции можно судить исходя из проблематики решений Европейского Суда по правам человека (далее – ЕСПЧ), поскольку обращение в ЕСПЧ возможно лишь при условии исчерпания всех внутригосударственных средств защиты.

Как отмечалось выше, в странах СНГ на законодательном уровне разрешены обращения осужденных в различные государственные органы, в том числе и в судебные инстанции.

Анализ типичных причин обращений осужденных за защитой своих прав в Республике Казахстан показал следующее (данные взяты из Консолидированного доклада участников Национального превентивного механизма по итогам превентивных посещений, выполненных в 2019–2020 гг.) [2].

1. **Пытки и насилие в отношении осужденных.**

Ежегодно в Казахстане регистрируется порядка 700 заявлений о пытках и насилии. В 2020 году зарегистрировано 63 уголовных преступления и осуждено 13 человек по статье 146 Уголовного кодекса Республики Казахстан «Пытки». В большинстве заявлений причинами пыток и жестокого обращения указывается наказание за нарушение режима отбывания. В остальных случаях – это наказание за отказ вступить в общественные организации заключенных либо выполнить требования администрации, в том числе незаконные (отказ маршировать), за отказ от работы, за агрессивное поведение и т. д. Имеют место заявления о пытках в целях не допустить жалобы о незаконном обращении в отношении заключенных.

2. **Нарушение условий содержания осужденных и лиц, содержащихся под стражей, включая ненадлежащее коммунально-бытовое обеспечение.**

Значительное количество обращений осужденных на несоответствие санитарным нормам различных помещений и необходимость капитального ремонта учреждений уголовно-исполнительной системы. Так, основными проблемами, требующими решения, являются ветхие здания исправительных колоний, большинство которых построены в середине прошлого века, несоблюдение температурного режима в зимнее время, острая нехватка медицинских кадров в учреждениях, проблемы с обеспечением надлежащего питания осужденных и т. д.

3. **Практика крайней милитаризованности порядка и условий отбывания наказания в виде лишения свободы.**

Это проявляется в использовании армейской казарменной атрибутики, в маршевых построениях осужденных и подачи в отношении к ним армейских команд. Фактически во всех регионах Казахстана в исправительных учреждениях осужденные, согласно внутренним инструкциями, должны использовать такие формулировки ответов на вопросы персонала исправительных учреждений, как «так точно» и «никак нет». Также причинами жалоб осужденных является требования администрации учреждений исполнять государственный гимн Республики Казахстан. Еще одной причиной жалоб является навязывание осужденным без соответствующей необходимости со стороны администраций исправительных учреждений предельной короткой стрижки, искажающей их привычный внешний вид. Подобная стрижка с максимальным снятием волосяного покрова с головы нарушает эстетические чувства и противоречит инструкциями КУИС МВД Республики Казахстан, допускающим хотя и короткую прическу осужденным, но при этом сохраняющую волосяной покров головы. В данной ситуации не только нарушаются права осужденных в сфере самоидентификации их внешнего вида, но и возникает угроза для их здоровья в условиях достаточно холодного зимнего времени и температурных перепадов. Отсутствует элементарная защищенность от механических повреждений головы, различных травм и ранений. Очевидно, что в подобных условиях милитаризованных начал в работе с осужденными и жесткого психологического давления на них не только нарушается право на человеческое достоинство, но и исключаются какие-либо возможности для успешной ресоциализации осужденных и их возвращения в общество.

4. **Проблемы реализации права на свободу совести и вероисповедания. Причинами таких жалоб послужили закрытия комнат для соблюдения религиозных обрядов.**

5. **Проблемы защиты прав женщин, осужденных-трансгендеров.** Например, в одном из исправительных учреждений сотрудники наладили своего рода «криминальный бизнес», понуждая заключенных женщин оказывать сексуальные услуги представителям криминальной среды лицам, занимающим привилегированное положение в преступной иерархии осужденных.

### Заключение и выводы

Резюмируя сказанное, можно отметить, что право на подачу обращения (жалобы) в судебные инстанции закреплено в законодательстве большинства стран мира. Между тем, механизмы реализации этого права существенно разнятся: в отдельных странах (например, США) процедуре рассмотрения жалобы осужденного в суде предшествует многоэтапное досудебное урегулирование конфликта, возникшего между осужденным и администрацией мест лишения свободы. В странах континентальной Европы жалобы осужденных, как правило, передаются администрацией учреждений, исполняющих наказание, непосредственно в судебные инстанции, которые могут быть или специализированным судебным органом или судом общей юрисдикции.

Конкретные причины обращений в суд осужденных о защите своих прав существенно отличаются в разных странах и во многом зависят от состояния пенитенциарной системы и уровня развития общества. Между тем, проведенное исследование позволяет свести большинство причин обращений осужденных в суд в несколько групп, которые будут универсальны практически для любой страны. Среди таких групп можно выделить обращения осужденных в суд в связи:

- с нарушениями условий содержания в исправительных учреждениях;
- с отсутствием своевременной и качественной медицинской помощи;
- с плохим качеством питания;
- с посягательством на жизнь и здоровье осужденного как со стороны других осужденных, так и со стороны администрации.

### Литература

1. «Джонсон против Эйвери». – Текст : электронный – URL: <https://www.docmckee.com/WP/cj/criminal-justice-an-overview-of-the-system/criminal-justice-section-6-3-prisoners-rights/> (дата обращения: 12.07.2023).
2. Консолидированный доклад участников Национального превентивного механизма по итогам превентивных посещений, выполненных в 2019-2020 гг. – Текст : электронный – URL: [https://bureau.kz/wp-content/uploads/2021/09/report\\_npm-2021.pdf](https://bureau.kz/wp-content/uploads/2021/09/report_npm-2021.pdf) (дата обращения: 12.07.2023).
3. Коробова, И. Н. Проблемы, возникающие при злоупотреблении осужденными правом на обращение, и возможные пути их решения / И.Н. Коробова. – Текст: непосредственный // Уголовно-исполнительное право. – 2021. – Т. 16(1–4), № 1. – С. 44–49.
4. Hubert's Seite. – Текст : электронный – URL: <https://hubwen.wordpress.com/2016/03/19/anders-behring-breivik-beklagt-sich-ueber-seine-haftbedingungen/> (дата обращения: 12.07.2023).
5. Мусалева, А. В. Гарантии реализации права на обращения осужденных к лишению свободы / А. В. Мусалева. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского юридического института. – 2010. – № 1. – С. 133–136.
6. Kelk C. The Netherlands / C. Kelk // Deventer: Kluwer Law International, 2001, p. 483–488.
7. Snacken S. Belgium / S. Snacken // Deventer: Kluwer Law International 2001, p. 51–54.

**ХУЛИГАНСКИЕ ПОБУЖДЕНИЯ  
КАК ОБСТОЯТЕЛЬСТВО, ОТЯГЧАЮЩЕЕ УГОЛОВНОЕ НАКАЗАНИЕ**

**Лапшин Валерий Фёдорович**  
доктор юридических наук, доцент,  
проректор по научной работе,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: kapitan-44@yandex.ru

**Кемова Наталья Николаевна**  
аспирант Высшей школы права,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: natalyakoluntaeva@mail.ru

*Предмет исследования: хулиганские побуждения (мотив) как квалифицирующий признак состава преступления и обстоятельство, отягчающее наказание.*

*Цель исследования: обоснование необходимости включить факт совершения преступления из хулиганских побуждений в перечень обстоятельств, отягчающих наказание.*

*Методы и объекты исследования: при проведении исследования в совокупности применялись общенаучные и частнонаучные методы познания, которые преимущественно используются в гуманитарных (юридических) науках: диалектический метод, анализ, синтез, формально-логический, системно-структурный и др. Объектом исследования выступили общественные отношения, которые складываются при оценке степени общественной опасности уголовно-наказуемого деяния, совершаемого из хулиганских побуждений, для последующего назначения справедливого наказания за его совершения.*

*Результаты исследования: любое преступление, совершённое из хулиганских побуждений, характеризуется повышенной степенью общественной опасности. Если состав преступления не включает в себя хулиганские побуждения в качестве квалифицирующего признака, то этот мотив должен учитываться при назначении наказания. Результаты исследования могут использоваться для исследований в области средств дифференциации и индивидуализации уголовной ответственности.*

*Ключевые слова: отягчающие обстоятельства, хулиганский мотив, соразмерность уголовного наказания, квалифицированные составы преступлений, принцип справедливости, дифференциация и индивидуализация наказания.*

**HOLIGAN INCIDENTS AS AN AGGRAVATING CIRCUMSTANCE  
OF CRIMINAL PUNISHMENT**

**Valery F. Lapshin**  
Doctor of Law, Associate Professor,  
Vice-Rector for Research,  
Yugra State University  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: kapitan-44@yandex.ru

**Natalya N. Kemova**

Graduate Student at the Higher School of Law,  
Yugra State University  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: natalyakoluntaeva@mail.ru

*Subject of research: hooligan motives (motive) as a qualifying feature of a crime and an aggravating circumstance.*

*Purpose of research: to justify the need to include the fact of committing a crime for hooligan motives in the list of circumstances aggravating punishment.*

*Methods and objects of research: when conducting the research, general scientific and special scientific methods of cognition were used, which are mainly used in the humanities (legal) sciences: dialectical method, analysis, synthesis, formal-logical, systemic-structural, etc. The object of the research was social relations, which are formed when assessing the degree of public danger of a criminal act committed out of hooligan motives, for the subsequent imposition of a fair punishment for its commission.*

*Main results of research: any crime committed with hooligan motives is characterized by an increased degree of public danger. If the corpus delicti does not include hooligan motives as a qualifying feature, then this motive must be taken into account when assigning punishment. The results of the study can be used for research in the field of means of differentiation and individualization of criminal liability.*

*Keywords: aggravating circumstances, hooligan motive, proportionality of criminal punishment, qualified crimes, principle of justice, differentiation and individualization of punishment.*

---

## Введение

Дифференциация и индивидуализация уголовной ответственности, наряду с общеправовыми и отраслевыми принципами, представляют собой базовые начала построения уголовного права и ключевые ориентиры для его применения. Должная оценка общественной опасности деяния, достаточной для его криминализации, учёт типовых особенностей личности преступника, сопоставление социальной ценности различных объектов уголовно-правовой охраны – все эти и многие другие обстоятельства должны обязательно учитываться при формировании положений уголовного законодательства [1, с. 999]. Они не только фиксируют границы «преступного и непроступного» поведения, но и позволяют обеспечить разграничение всех преступлений по различным основаниям, ключевым из которых является общественная опасность (характер и степень). Разработка системы всех средств дифференциации ответственности, равно как и отграничение от средств её индивидуализации, обеспечит их системное применение в уголовном законодательстве и повысит степень справедливости принимаемых решений по уголовным делам.

В современной теории уголовного права средства дифференциации и индивидуализации ответственности по-прежнему не имеют строгого разграничения. Подробно не останавливаясь на данной проблеме, отметим, что средства дифференциации обеспечивают сужение нижних и верхних пределов границ ответственности, установленной уголовным законом, как правило, до точно определяемых сроков/размеров конкретного вида наказания за отдельное преступление. В уголовных законах любого государства это обеспечивается средствами дифференциации, к которым относятся квалифицирующие признаки, отягчающие наказание обстоятельства и другие [2, с. 177]. Индивидуализация уголовной ответственности обеспечивает справедливость назначенной меры ответственности конкретному лицу, виновному в совершении инкриминируемого деяния, то есть максимальную соразмерность тяжести совершённого преступления и опасности личности виновного со строгостью уголовно-правового воздействия.

Количество предусмотренных в уголовном законе средств дифференциации прямо пропорционально возможности определить наиболее справедливую меру ответственности по каждому уголовному делу. Поэтому одной из задач, стоящих перед уголовно-правовой наукой, является выявление обстоятельств, которые действительно могут претендовать на роль средств дифференциации уголовной ответственности, и обоснование необходимости их включения в действующий уголовный закон.

В этой связи следует отметить, что один из распространённых мотивов совершения преступления – хулиганские побуждения – до настоящего времени не рассматривается в качестве одного из обстоятельств, отягчающих наказание. Думается, что вопрос об обосновании возможности его включения в перечень обстоятельств, предусмотренных ст. 63 УК, является достаточно актуальным.

### **Результаты и обсуждение**

В современной уголовно-правовой литературе, равно как и в текстах официальных документов, наблюдается смешение таких уголовно-правовых категорий, как «квалифицирующий признак» состава преступления и «обстоятельство, отягчающее наказание». Подтверждением последнему являются, в том числе, и некоторые действующие постановления Пленума Верховного Суда РФ. Например, в п. 17 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 27.12.2002 № 29 (ред. от 15.12.2022) «О судебной практике по делам о краже, грабеже и разбое» указывается: «В случае совершения кражи, грабежа или разбоя при отягчающих обстоятельствах, предусмотренных несколькими частями статей 158, 161 или 162 УК РФ, действия виновного...». Аналогичная формулировка встречается в Постановлении Пленума Верховного Суда РФ от 06.04.2021 № 3.

Такое же несоответствие содержится и в ч. 2 ст. 63 УК РФ. Здесь указано, что если «отягчающее обстоятельство» предусмотрено соответствующей статьей Особенной части в качестве признака преступления, то оно само по себе не может повторно учитываться при назначении наказания. Л.Л. Кругликов называет такие случаи примерами «сбоя в законодательной технике, неточности языкового обозначения», что усиливает правоприменительный хаос и демонстрирует пренебрежение к общепринятой терминологии [3, с. 7]. Всё это указывает на отсутствие должного качества уголовно-правовых предписаний.

Социальная сущность квалифицирующих признаков и отягчающих наказание обстоятельств схожа. На это исследователи стали обращать внимание ещё во второй половине прошлого века. Рассматриваемые уголовно-правовые средства меняют объём ответственности, не входят в совокупность признаков основного состава преступления, характеризуют деяние, а в отдельных случаях – и личность виновного. На этом основании в теории высказывались предложения о возможной унификации квалифицирующих признаков и отягчающих обстоятельств путём формирования их единого перечня [4, с. 5-7].

Т.П. Русакова считала, что при решении указанной проблемы таким образом отпала бы необходимость включения квалифицирующих признаков в конкретные составы преступлений, они могли бы располагаться в Общей части, с возможностью ужесточения наказания при их наличии в любом составе [5, с. 181-182]. Данная точка зрения в целом поддерживается О.М. Войтюк, которая доказывает, что обстоятельства, отягчающие наказание на стадии его назначения, указываются в статьях Общей части УК. В то же время они типичны для многих видов преступлений [6, с. 26].

С.П. Пилипенко характеризует обстоятельства, отягчающие наказание, как факты, события, явления, характерные для достаточно широкого круга преступных деяний и повышающие степень общественной опасности совершенного преступления и (или) личности преступника, причем направленность их влияния не может изменяться в зависимости от каких-либо других обстоятельств дела и, соответственно, обуславливает целесообразность назначения более строгого наказания в пределах санкции уголовного закона [7, с. 10]. Из этого определения можно выделить следующие специфические черты обстоятельств, отягчающих

наказание: их характерность для широкого круга преступлений, влияние на степень общественной опасности преступного деяния и личности преступника, а также изменение наказания в пределах санкции статьи. В качестве критериев, характеризующих сущность обстоятельств, отягчающих наказание, совокупность которых выражает отличительные особенности обстоятельств, указанных в ч. 1 ст. 63 УК РФ, от других обстоятельств дела, имеющих также уголовно-правовое значение, автор выделяет: распространенность, обязательность, существенную вредоносность и определенную направленность влияния [7, с. 26-27].

Иные авторы относят к категории отягчающих обстоятельств только те, которые предусмотрены ст. 63 УК и влияют на строгость избираемой меры ответственности. Так, Т.А. Лесниевски-Костарева определяет данные обстоятельства как подлежащие обязательному учёту при избрании конкретной меры наказания [8, с. 234]. С ней соглашается С.Е. Кротов, который под рассматриваемыми обстоятельствами понимает законодательно закреплённые в соответствующем перечне, не подлежащие расширительному толкованию и исключающие двусмысленное толкование в процессе правоприменения [9, с. 10-11].

С.П. Пилипенко отмечает, что обстоятельства, отягчающие наказание, составляют второй после квалифицирующих признаков уровень измерения общественной опасности преступного деяния и личности его совершившего. Законодатель включил в перечень, содержащийся в ст. 63 УК РФ, только те обстоятельства, которые наиболее распространены в действительности и оказывают существенное влияние на увеличение степени общественной опасности преступления и личности виновного [7, с. 24].

Л.Л. Кругликов определяет отягчающие обстоятельства как значительно влияющие (увеличивающие) на степень общественной опасности преступления и личности (либо только личности) [3, с. 5]. Он справедливо указывает на юридическое значение названных обстоятельств не только для наказания, но и для ответственности в целом. В отличие от ныне действующего уголовного законодательства, ст. 39 УК РСФСР 1960 года содержала понятие «обстоятельства, отягчающие ответственность». Такое значение рассматриваемых обстоятельств актуально и для действующего уголовного закона. Согласно ч. 6 ст. 15 УК отсутствие отягчающих обстоятельств является общим условием изменения категории преступления, что, в свою очередь, напрямую влияет на решение вопроса о сроках погашения судимости. Поэтому обстоятельства, перечисленные в ст. 63 УК, в действительности выходят за пределы института наказания, поскольку могут корректировать пределы ответственности, влияя и на иные институты Общей части уголовного закона [10, с. 65].

Решая вопрос об отнесении обстоятельств, предусмотренных ст. 63 УК, к средствам дифференциации либо индивидуализации уголовной ответственности, авторы также не приходят к единому мнению. Так, О.М. Войтюк, С.П. Пилипенко признают их средствами индивидуализации уголовного наказания. Это решение поддерживается и рядом иных исследователей [8, с. 47; 11, с. 180].

Представители иной группы авторов отказываются от столь радикальных заявлений, хотя в целом разделяют мнение о признании подавляющего большинства обстоятельств, предусмотренных ст. 63 УК, средствами индивидуализации наказания. Исключение они видят только в случаях, когда отдельные смягчающие или отягчающие обстоятельства, установленные в процессе производства по уголовному делу, корректируют границы санкции соответствующей нормы Особенной части [12, с. 199-200].

Так, в ч. 2 ст. 68 УК указано, что срок наказания при любом виде рецидива не может быть менее одной трети части максимального срока наиболее строгого вида наказания, предусмотренного за совершение преступления, но в пределах санкции статьи Особенной части УК. По ч. 1 ст. 62 УК, при наличии смягчающих обстоятельств, предусмотренных п. п. «и» и (или) «к» ч. 1 ст. 61 УК, и отсутствии отягчающих обстоятельств срок и размер наказания не могут превышать двух третей максимального срока или размера наиболее строгого вида наказания, предусмотренного соответствующей статьей УК.

Существует мнение о невозможности дать однозначного ответа на вопрос: дифференцирующую или индивидуализирующую роль выполняют обстоятельства, отягчающие наказание [3, с. 6]. С одной стороны, дифференциация – это сфера деятельности законодателя, который для отдельных отягчающих обстоятельств определил меры их влияния на наказание, но, с другой стороны, дифференциация есть необходимая ступень последующей индивидуализации наказания, при этом данная ступень находит закрепление в уголовном законодательстве. В связи с этим далеко не всё, что закреплено в законе, можно причислить к средствам дифференциации.

Третья группа учёных, напротив, склонна считать, что средства дифференциации уголовной ответственности включают в себя все смягчающие и отягчающие обстоятельства, содержащиеся в УК [13, с. 170-171; 14, с. 71; 15, с. 31]. Подтверждением является то, что: во-первых, все смягчающие и отягчающие обстоятельства определены законодателем – субъектом дифференциации уголовной ответственности.

Во-вторых, в УК определено направление, а иногда и их мера влияния на ответственность в зависимости от характера и степени общественной опасности деяния и лица, его совершившего. А.В. Васильевский, в частности, указывает: «Институт смягчающих и отягчающих обстоятельств ... это самостоятельный институт, который выполняет резервную функцию дифференциации уголовной ответственности» [16, с. 19]. В связи с этим институт смягчающих и отягчающих обстоятельств является именно средством дифференциации уголовной ответственности [17, с. 151].

Разрешая данную проблему, следует раскрыть общую сущность индивидуализации, а равно указать её специфические особенности при установлении и реализации уголовной ответственности. Так, в отличие от средств дифференциации, средства индивидуализации уголовной ответственности не могут быть зафиксированы в положениях уголовного законодательства. Сущность индивидуализации (в рассматриваемом контексте) заключается в установлении специфических особенностей отдельно взятой личности – лица, признанного виновным в совершении преступления.

К.А. Айнутдинова верно отмечает, что индивидуализация наказания является вторым этапом конкретизации меры наказания, который следует после его дифференциации. В этом случае виновному определяется вид (подвид, форма) наказания, размер или срок, а в ряде случаев – и особенности (условия) исполнения или отбывания. В основе индивидуализации находится не типовая, а характерная для одного преступления и человека степень общественной опасности [18, с. 9-10]. Учитывая данные обстоятельства, следует признать, что и квалифицирующие признаки, и отягчающие наказание обстоятельства относятся к средствам дифференциации уголовной ответственности.

Перечень обстоятельств, отягчающих наказание, является закрытым и не подлежит расширительному толкованию. Несмотря на соответствие принципу экономии уголовной репрессии, данное законодательное решение не получило всеобщего одобрения в уголовно-правовой литературе. Некоторые авторы полагают, что такой прием не позволяет учесть должным образом динамично изменяющиеся условия общественной жизни [19, с. 154].

Другие исследователи также критически оценивают неравенство обстоятельств, смягчающих и отягчающих наказание по причине того, что перечень отягчающих обстоятельств является исчерпывающим, в свою очередь, перечень смягчающих обстоятельств таковым не является [20, с. 150], что нарушает некий баланс между карательным и поощрительным уголовно-правовым воздействием.

Думается, исчерпывающий перечень обстоятельств, отягчающих наказание, необходим для ограничения судебного усмотрения. Закрытость данного перечня является гарантией признания отягчающими только тех обстоятельств, которые обладают необходимыми для этого свойствами, то есть служит дополнительной гарантией обеспечения принципа гуманизма при назначении наказания, так как учет указанных в нем обстоятельств является обязанностью правоприменителя. А чтобы соответствовать быстро меняющимся реалиям, со-

держатся в УК перечень, в случае обнаружения «претендентов» на роль таковых, может быть дополнен и усовершенствован. Таким образом, недопустимо усиление наказания с помощью учета судом обстоятельств, не указанных в УК, в качестве отягчающих наказание, а совершенствование перечня этих обстоятельств должно осуществляться только в законодательном порядке путем выявления и включения в уголовный закон фактов, удовлетворяющих соответствующим требованиям.

Следует признать правоту тех учёных, которые считают необходимым отнести к разряду главных и некоторые другие обстоятельства, которые пока остаются вне поля зрения законодателя. То есть следует формализовать силу влияния, помимо указанных в законе, также и ряда других обстоятельств, одним из которых вполне может стать такой мотив совершения преступления как хулиганские побуждения [21, с. 4].

Вряд ли могут быть сомнения в том, что установление такого мотива, как «хулиганские побуждения» не свидетельствует о повышении степени общественной опасности любого запрещенного уголовным законом деяния. Это предположение подтверждается и современным содержанием уголовного закона, в котором хулиганский мотив признается квалифицирующим признаком для некоторых составов преступлений и фиксируется в соответствующих нормах Особенной части. Несомненно, хулиганские побуждения оказывают дестабилизирующее воздействие на общество, так как действия хулигана свидетельствуют о желании перейти границы дозволенного, показать, что он выше общества. Поведение хулигана является открытым вызовом общественному порядку и обусловлено желанием противопоставить себя обществу, чаще всего в агрессивной форме, продемонстрировать пренебрежительное отношение к окружающим, тем самым повышая вероятность наступления вредных последствий.

Хулиганские побуждения реализуются в создании ситуации унижительного положения члена общества, осознающего необоснованность, ничтожность притязаний преступника, их противоречие социальной справедливости. Преступления, совершённые из хулиганских побуждений, представляют опасность не только для отдельного пострадавшего, но и для общества в целом. При совершении такого рода преступных деяний жертвой может стать любой человек, а потому посягательство направлено, прежде всего, не на отдельное лицо, а на общественный порядок. Преступник демонстрирует своё пренебрежение к общепризнанным ценностям общества, заставляя окружающих испытывать негативные эмоции и переживания, осознавать свою незащищённость от преступных действий.

Преступления, совершаемые из хулиганских побуждений, всегда привлекали внимание населения. Действия хулиганов часто необъяснимы, у людей такое деяние вызывает страх, беспокойство, тревогу; в связи со своей публичностью имеет место отрицательный пример, который хулиган подает неустойчивым лицам; совершенное хулиганство представляет собой явное «заявление» хулигана обществу о своей опасности. В связи с этим Н.А. Колоколов отмечает, что хулиган опасен для общества, его боятся окружающие независимо от того, наступили ли последствия от его действий или нет, так как общественный порядок есть составная часть свободы [22, с. 3-6].

Совершение запрещенного уголовным законом деяния из хулиганских побуждений соответствует критериям отнесения юридически значимого факта к обстоятельствам, отягчающим уголовное наказание, а, возможно, и криминализации [23, с. 88-90]. Современные формы статистической отчетности ни одного из российских правоохранительных органов не предусматривают показатель о количестве преступлений, совершённых из хулиганских побуждений. В этой связи представить объективные результаты анализа статистических данных о количестве таких преступлений не представляется возможным. Поэтому данная проблема может быть решена за счёт анализа уже имеющихся сведений в иных научных работах по заявленной тематике.

Результаты исследований свидетельствуют, что хулиганские побуждения являются одним из распространенных признаков преступлений. Так, А.И. Долгова, выделяя преступления по их мотивационной направленности, отмечает, что преступления из хулиганских по-

буждений занимают третье место после корыстной и бытовой мотивации (ссора, ревность и т. д.) в динамике преступных посягательств [24, с. 152]. Ю.И. Ветчинова, проводя выборочные исследования среди несовершеннолетних осужденных, отбывающих уголовное наказание за насильственные преступные деяния, тоже обратила внимание, что хулиганские побуждения были выявлены в 34 % случаев совершения убийств и причинения телесных повреждений [25, с. 359]. Также о распространенности хулиганских побуждений считаем возможным судить по тому, что они носят универсальный характер, то есть могут присутствовать при совершении преступлений, посягающих на самые разные объекты уголовно-правовой охраны. Помимо общественного порядка здесь могут нарушаться общественные отношения в области охраны жизни и здоровья человека, собственности, экологической безопасности, правосудия, порядка управления и др.

В последнее время наблюдается тенденция увеличения количества составов преступлений, которые могут быть совершены из хулиганских побуждений. На момент принятия действующий уголовный закон содержал гораздо меньше упоминаний о хулиганских мотивах. В настоящее время УК содержит 12 норм, в которых хулиганский мотив предусмотрен в качестве юридически значимого признака соответствующего состава преступления. К таковым относятся: убийство из хулиганских побуждений (п. «и» ч. 2 ст. 105), умышленное причинение тяжкого вреда здоровью из хулиганских побуждений (п. «д» ч. 2 ст. 111), умышленное причинение средней тяжести вреда здоровью из хулиганских побуждений (п. «д» ч. 2 ст. 112), умышленное причинение легкого вреда здоровью из хулиганских побуждений (п. «а» ч. 2 ст. 115), побои (ст. 116), умышленное уничтожение или повреждение имущества из хулиганских побуждений (ч. 2 ст. 167), заведомо ложное сообщение об акте терроризма (ст. 207), приведение в негодность объектов жизнеобеспечения (ст. 2152), самовольное подключение к нефтепроводам, нефтепродуктопроводам и газопроводам либо приведение их в негодность (ч. 3 ст. 2153), жестокое обращение с животными (ст. 245), действия, угрожающие безопасной эксплуатации транспортных средств (ст. 2671) и, наконец, непосредственно хулиганство (ст. 213).

Некоторые авторы даже называют хулиганский мотив вторым по встречаемости в Особенной части УК, насчитывающий 17 упоминаний в качестве признака основного и квалифицированного составов: так, хулиганский мотив представлен в качестве признака основного состава (указан в ст. 116, 148, 207, 213, 2152, ч. 3 ст. 2153, 245, 2671, ч. 3 ст. 3541 УК; не указан, но подразумевается в частях первых ст. 214, 244, 329 УК), в качестве квалифицирующего признака (п. «и» ч. 2 ст. 105, п. «д» ч. 2 ст. 111, п. «д» ч. 2 ст. 112, п. «а» ч. 2 ст. 115, ч. 2 ст. 167 УК) [26, с. 34]. Обоснованием такого вывода служит то, что основной формой выражения хулиганского мотива в тексте уголовного закона является дословное указание на мотив «из хулиганских побуждений» или через использование конструкции «явное неуважение к обществу» (ст. 148, 213, 3541 УК). В ряде составов законодатель не указывает на хулиганский мотив, но подразумевает его наличие через характеристику деяния, включающего эмоциональный заряд противопоставления себя обществу и нормам морали: «осквернение», «порча» или «надругательство» (ст. 214, 329, 244, 3541 УК) [26, с. 34].

В то же время хулиганский мотив имеет место в тех преступлениях, где он не является признаком состава. Повышенная общественная опасность преступлений, совершенных из хулиганских побуждений, распространенность хулиганских побуждений, возможность их установления по отношению ко многим видам разнородных преступлений, влечет целесообразность закрепления хулиганских побуждений как обстоятельства, отягчающего наказание.

Проведённое в ходе настоящего исследования интервьюирование сотрудников правоохранительных органов, представителей судейского корпуса, а также представителей профессорско-преподавательского состава юридических вузов и факультетов (более 40 человек) позволило установить, что 100 % респондентов утвердительно ответили на вопрос о повышенной степени опасности деяния, совершаемого из хулиганских побуждений. Примерно 3/4 опрошенных считают возможным рассмотреть на уровне законопроекта вопрос о включении

данного мотива в перечень обстоятельств, отягчающих наказание, и только 10% указали на отсутствие необходимости в принятии такого решения.

### Заключение и выводы

По итогам исследования установлено, что содержащийся в ст. 63 УК перечень обстоятельств, отягчающих наказание, следует дополнить ещё одним обстоятельством – «совершение преступления из хулиганских побуждений». Во-первых, установление хулиганского мотива совершения любого преступления существенно увеличивает его общественную опасность, так как при совершении преступлений из хулиганских побуждений происходит причинение дополнительного вреда обществу, то есть неопределённому кругу лиц, которым преступник демонстрирует свое пренебрежение общепризнанными ценностями общества, заставляя испытывать негативные эмоции и переживания, осознать свою незащищенность от преступных действий.

Во-вторых, хулиганский мотив совершения запрещённого уголовным законом деяния соответствует выделяемым в современной уголовно-правовой доктрине критериям отнесения юридически значимого факта к обстоятельствам, отягчающим уголовное наказание:

- а) распространенность – установлено, что хулиганские побуждения являются одним из распространенных признаков преступлений, совершенных при отягчающих обстоятельствах;
- б) возможность установления по отношению ко многим видам разнородных преступлений (так, п. «и» ст. 105 УК «Убийство из хулиганских побуждений», ч. 2 ст. 167 УК «Умышленное уничтожение или повреждение имущества», ст. 245 УК «Жестокое обращение с животными» и т. д.).

Таким образом, хулиганский мотив может оказывать побудительное воздействие к совершению многих разнородных преступлений, в результате которых причиняется вред самым различным охраняемым уголовным законом общественным отношениям. В этой связи «хулиганские побуждения» следует рассматривать не только в качестве квалифицирующего признака отдельных составов преступлений, но и как обстоятельство, отягчающее наказание. Для реализации данного предложения необходимо внести соответствующие дополнения в ст. 63 УК.

### Литература

1. Егорова, Т. И. Справедливость наказания: теоретический формат и правоприменительная практика / Т. И. Егорова. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского университета. Право. – 2021. – Т. 12, вып. 4. – С. 984–1002.
2. Чанхай, Лун. Проблему уголовно-правых санкций в Китае: современное состояние и перспективы развития / Лун Чанхай. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского университета. Право. – 2020. – Т. 11, вып. 1. – С. 173–179.
3. Кругликов, Л. Л. Отягчающие обстоятельства как ограничительное средство в российском уголовном праве / Л. Л. Кругликов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы уголовного права на современном этапе (вопросы дифференциации ответственности и законодательной техники). 2017. – № 6. – С. 3–12.
4. Гальперин, И. М. Уголовная ответственность за кражу личного имущества с проникновением в жилище / И. М. Гальперин, В. С. Минская, Т. Ю. Орешкина. – М. : Всесоюз. ин-т по изуч. причин и разраб. мер предупреждения преступности, 1986. – 23 с. – Текст : непосредственный.
5. Русакова, Т. П. Пути дальнейшего совершенствования советского уголовного права. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы правоведения в период совершенствования социалистического общества. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – С. 181–182.
6. Войтюк, О. М. Уголовно-правовые способы ужесточения наказания: автореф. дис. ... канд. юрид. наук / О. М. Войтюк. – Тюмень, 2009. – 26 с. – Текст : непосредственный.

7. Пилипенко, С. П. Институт обстоятельств, отягчающих наказание, в уголовном законодательстве (теоретико-прикладной анализ) : автореф. дис. ... канд. юр. наук. / С. П. Пилипенко. – Н. Новгород, 2007. – 31 с. – Текст : непосредственный.
8. Лесниевски-Костарева, Т. А. Дифференциация уголовной ответственности. Теория и законодательная практика / Т. А. Лесниевски-Костарева. – М. : Норма, 2000. – 400 с. – Текст : непосредственный.
9. Кротов, С. Е. Дифференциация уголовной ответственности в зависимости от категоризации преступлений, квалифицирующих признаков и обстоятельств, отягчающих наказание: автореф. дис. ... канд. юрид. наук / С. Е. Кротов. – М., 2005. – 22 с. – Текст : непосредственный.
10. Масалитина, И. В. Судимость за преступления, совершённые в возрасте до восемнадцати лет / И. В. Масалитина. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Право. – 2021. – № 39. – С. 60–68.
11. Каплин, М. Н. Сущность дифференциации уголовной ответственности / М. Н. Каплин. – Текст : непосредственный // Юрид. зап. ЯрГУ им П.Г. Демидова. – Ярославль: Яросл. ун-т, 2001. – Вып. 5. – С. 178–182.
12. Рогова Е.В. Учение о дифференциации уголовной ответственности: Дис. ... д-ра юрид. наук. М., 2014. 596 с.
13. Васильевский, А. В. Дифференциация ответственности и наказания в Общей части уголовного права: дис... канд. юрид. наук / А. В. Васильевский. – Ярославль, 2000. – 219 с.
14. Соловьев, О. Г. О средствах дифференциации уголовной ответственности в Общей и Особенной части УК РФ / О. Г. Соловьев, А. А. Ильин. – Текст : непосредственный // Вестник ЯрГУ. Серия Гуманитарные науки. – 2011. – № 3. – С. 70–73.
15. Чупрова, О. Н. Средства дифференциации уголовной ответственности / О. Н. Чупрова. – Текст : непосредственный // Юрист-Правовед. – 2007. – № 6. – С. 30–33.
16. Васильевский, А. В. Дифференциация уголовной ответственности и наказания в Общей части уголовного права: автореф. дис. ... канд. юрид. наук / А. В. Васильевский. – Н.Новгород, 2000. – 22 с. – Текст : непосредственный.
17. Долгополов, К. А. Отягчающие обстоятельства как средство дифференциации уголовной ответственности / К. А. Долгополов. – Текст : непосредственный // Правовая парадигма. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 148–152.
18. Айнутдинова, К. А. Критерии индивидуализации уголовного наказания при его назначении в теории, законодательстве и судебной практике: автореф. дис. ... канд. юрид. наук / К. А. Айнутдинова. – Казань, 2017. – 32 с. – Текст : непосредственный.
19. Кузнецов, А. П. Обстоятельства, отягчающие наказание / А. П. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Пенитенциарная наука. – 2019. – №2. – С. 153–161.
20. Петрушенков, А. Н. Лейтмотив закрепления и реализации института обстоятельств, смягчающих и отягчающих наказание в Уголовном кодексе Российской Федерации / А. Н. Петрушенков. – Текст : непосредственный // Юридическая наука и практика: Вестник Нижегородской академии МВД России. – 2016. – № 1. – С. 150–157.
21. Кругликов, Л. Л. Отягчающие обстоятельства – средство дифференциации или индивидуализации наказания в уголовном праве? / Л. Л. Кругликов. – Текст : непосредственный // Научный поиск. – 2014. – № 3.1. – С. 3–6.
22. Колоколов, Н. А. Хулиганство: генезис, эволюция и современное состояние состава преступления. Статья 2 (часть вторая). Текущие проблемы применения ст. 213 УК РФ / Н. А. Колоколов. – Текст : непосредственный // Мировой судья. – 2014. – № 5. – С. 3–6.
23. Козаченко, И. Я. Новая криминализация: философско-юридический путеводитель по миру преступного и непроступного / И. Я. Козаченко, Д. Н. Сергеев. – Екатеринбург: SAPIENTIA, 2020. – 256 с. – Текст : непосредственный.

24. Долгова, А. И. Преступность, ее организованность и криминальное общество / А. И. Долгова. – М. : Российская криминологическая ассоциация, 2003. – 575 с. – Текст : непосредственный.

25. Ветчинова, Ю. И. Уголовная ответственность несовершеннолетних за преступления, совершенные из хулиганских побуждений / Ю. И. Ветчинова. – Текст : непосредственный // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки. – 2021. – № 1. – С. 355–361.

26. Турышев, А. А. Хулиганский мотив преступления / А. А. Турышев, Н. А. Черемнова. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского юридического института МВД России. – 2020. – № 3. – С. 33–39.

**К ВОПРОСУ О ПРИВЛЕЧЕНИИ АДВОКАТОВ  
К УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НЕСООБЩЕНИЕ О ПРЕСТУПЛЕНИИ**

**Синичкин Андрей Аркадьевич**  
кандидат юридических наук, доцент, адвокат,  
доцент кафедры уголовно-правовых дисциплин  
Юридического факультета,  
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова  
Чебоксары, Россия  
E-mail: sianar@bk.ru

*В статье рассматриваются проблемы правоприменения при привлечении адвокатов к уголовной ответственности за несообщение о преступлении.*

*Предмет исследования: правовая коллизия между УК РФ и Федеральным Законом «Об адвокатской деятельности и адвокатуре в Российской Федерации» от 31.05.2002 № 63-ФЗ в части правового регулирования адвокатской тайны и ее ограничения.*

*Цель исследования: анализ затронутой проблемы и выработка рекомендаций законодателю по совершенствованию действующего уголовного законодательства в части уточнения специального основания освобождения от уголовной ответственности, закрепленного в примечании к ст. 205.6 УК РФ.*

*Методы исследования: в ходе исследования использованы логический, исторический и сравнительно-правовой методы исследования.*

*Основные результаты исследования: в результате проведенного исследования сформулировано несколько предложений в уголовное законодательство – уточнения специального основания освобождения от уголовной ответственности, закрепленного в примечании к ст. 205.6 УК РФ.*

*Ключевые слова: прикосновенность к преступлению, несообщение о преступлении, правовая коллизия, уголовная ответственность за несообщение о преступлении, субъект преступления, адвокатская тайна.*

**TO THE QUESTION OF ATTRACTING A LAWYER  
TO CRIMINAL RESPONSIBILITY FOR FAILURE TO REPORT A CRIME**

**Andrey A. Sinichkin**  
Candidate of Legal Sciences, Lawyer,  
Assistant Professor of the Department of Criminal Law,  
Chuvash State University named after I. N. Ulyanov  
Cheboksary, Russia  
E-mail: sianar@bk.ru

*The article discusses the theoretical and practical aspects of criminal prosecution for failure to report a crime.*

*Subject of research: legal conflict between the Criminal Code of the Russian Federation and the Federal Law “On advocacy and the legal profession in the Russian Federation” dated May 31, 2002 No. 63-FZ in terms of the legal regulation of attorney-client privilege and its limitations.*

*Purpose of research: a comprehensive study of the problem raised and development of recommendations for the legislator to improve the current criminal legislation.*

*Methods of research: during the study, logical, historical and comparative legal research methods were used.*

*Main results of research: as a result of the study, several proposals were formulated for criminal legislation.*

*Keywords: criminal responsibility, involvement in a crime, failure to report a crime, conflict of laws, criminal liability( criminal responsibility) for failure to report a crime, subject of crime(или perpetrator), special subject of crime (specific perpetrator), lawyer, attorney-client privilege, the activity of solicitor.*

---

## Введение

Современная политическая деятельность государства направлена на обеспечение безопасности каждого гражданина страны. Однако обстановка в мире привела к тому, что вероятность повышения количества преступлений против общественной безопасности и преступлений против основ конституционного строя РФ и безопасности государства на сегодняшний день только возрастает.

В целях предупреждения подобных преступлений законодателем предусмотрительно в 2016 году были внесены изменения в Уголовный Кодекс РФ, в результате чего была включена новая статья в Особенную часть – статья 205.6 УК РФ «Несообщение о преступлении», в которой установлена уголовная ответственность за несообщение в органы власти, уполномоченные рассматривать сообщения о преступлении, о лице (лицах), которое по достоверно известным сведениям готовит, совершает или совершило хотя бы одно из преступлений, предусмотренных статьями 205, 205.1, 205.2, 205.3, 205.4, 205.5, 206, 208, 211, 220, 221, 277, 278, 279, 360 и 361 УК РФ» (Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 375-ФЗ, вступил в силу с 20 июля 2016 г.).

Криминализируя данное деяние, законодатель в очередной раз трансформировал одну из форм прикосновенности к преступлению в самостоятельный состав преступления.

Актуальность темы исследования заключается в возникшей правовой неопределенности в вопросе о том, какие нормы отечественного законодательства имеют приоритет в части регулирования затронутого вопроса: нормы законодательства об адвокатуре, устанавливающие адвокатскую тайну, или нормы уголовного законодательства, устанавливающие уголовную ответственность за несообщение о преступлении.

## Результаты и обсуждение

Прикосновенность к преступлению – это умышленная общественно опасная деятельность, которая возникает в связи с преступным действием иного лица и является препятствием для обнаружения преступника [4].

Как известно, для понятия прикосновенности характерны три вида деятельности: укрывательство, недонесение и попустительство. В статье 205.6 УК РФ была закреплена одна из форм прикосновенности: недонесение о преступлении, под которым понимается бездействие лица, которое выражается в несообщении в соответствующие органы о достоверно известном готовящемся или совершенном преступлении до момента раскрытия этого преступления.

Недонесение осуществляется в виде неинформирования о доподлинно известном готовящемся преступлении, а также о достоверно известном совершенном преступлении. Умысел виновного состоит в том, что лицо знает о готовящемся либо совершенном преступлении и не сообщает об этом в соответствующие правоохранительные органы.

Сразу хотелось бы обратить внимание на достаточно спорное решение законодателя об установлении возраста уголовной ответственности по данной статье – с 14 лет (ч. 2 ст. 20 УК РФ), что, по нашему мнению, не совсем согласуется со степенью общественной опасности рассматриваемого преступления. Представляется, что было бы более разумным и обоснованным установить общий возраст уголовной ответственности. По нашему мнению, лица в воз-

расте с 14 до 16 лет еще не в полной мере осознают и понимают характер и степень общественной опасности данного специфического преступления.

Также имеются определенные вопросы относительно перечня статей, перечисленных в диспозиции ст. 205.6 УК РФ (ст. 205, 205.1, 205.2, 205.3, 205.4, 205.5, 206, 208, 211, 220, 221, 277, 278, 279, 360 и 361 УК РФ). Как видно, в статье перечислены отдельные преступления против общественной безопасности, против государственной власти, мира и безопасности человечества. Избирательность законодателя не совсем понятна, учитывая, что указанные преступления – не самые опасные и не самые тяжкие. Представляется, что можно было бы ограничиться ссылкой на все особо тяжкие преступления.

Проблемам несообщения о преступлении были посвящены научные исследования различных авторов (Беницкий А. С. [2], Зарубин А. В. [3], Мамедова Ф. Ф. и Барышева К. А. [5] и др.). В данных работах рассматривались вопросы квалификации, законодательной конструкции ст. 205.6 УК РФ, сроков несообщения о преступлении, перечня уполномоченных государственных органов, в которые должно быть направлено сообщение о преступлении, возраста субъекта преступления, отграничения от смежных составов преступлений и другие значимые юридические аспекты указанной статьи.

Криминализация несообщения о преступлениях террористического характера законодателем была обоснована дополнительными мерами противодействия терроризму. Не вдаваясь в проблему изучения правовой природы и особенностей квалификации данной формы прикосновенности к преступлению, поскольку это не входит в предмет настоящей публикации, хотелось бы остановиться на явном и очевидном противоречии, которое имеется между уголовным законодательством и законодательством, регулирующим адвокатскую деятельность.

В примечании к статье 205.6 УК РФ закреплено специальное основание освобождения от уголовной ответственности, согласно которому «лицо не подлежит уголовной ответственности за несообщение о подготовке или совершении преступления его супругом или близким родственником». Как видно, родственные и супружеские отношения между лицом, готовящимся совершить или уже совершившим преступление, указанное в диспозиции ст. 205.6 УК РФ, и лицом, которое не сообщает об этом в компетентные органы, полностью исключают возможность привлечения последних к уголовной ответственности по данной статье.

Этой нормой законодатель четко обозначил круг субъектов, не подлежащих уголовной ответственности по ст. 205.6 УК РФ, близкими родственными отношениями. Норма полностью соответствует смыслу ч. 1 ст. 51 Конституции РФ, что вполне логично. Исключение супруга и близкого родственника из числа субъектов данного преступления оправданно, учитывая особый характер взаимоотношений между указанными лицами. Вместе с тем очевидно, что в данный список также должны попасть и иные лица, о которых идет речь в ч. 2 ст. 51 Конституции РФ.

Согласно ч. 2 ст. 51 Конституции РФ, федеральным законом могут устанавливаться иные случаи освобождения от обязанности давать свидетельские показания. Применительно к затронутой теме исследования, эта конституционная норма получила свою реализацию в ч. 3 ст. 56 УПК РФ.

Так, согласно части 3 ст. 56 УПК РФ, не подлежат допросу в качестве свидетелей: ... 2) адвокат, защитник подозреваемого, обвиняемого – об обстоятельствах, ставших ему известными в связи с обращением к нему за юридической помощью или в связи с ее оказанием, за исключением случаев, если о допросе в качестве свидетеля ходатайствует адвокат, защитник подозреваемого, обвиняемого с согласия и в интересах подозреваемого, обвиняемого; 3) адвокат – об обстоятельствах, которые стали ему известны в связи с оказанием юридической помощи, за исключением случаев, если о допросе в качестве свидетеля ходатайствует адвокат с согласия лица, которому он оказывал юридическую помощь.

Аналогичное требование закреплено и в п. 2 ст. 8 Федерального закона РФ от 31 мая 2002 г. № 63-ФЗ «Об адвокатской деятельности и адвокатуре в Российской Федерации», согласно которой адвокат не может быть вызван и допрошен в качестве свидетеля об обстоя-

тельствах, ставших ему известными в связи с обращением к нему за юридической помощью или в связи с ее оказанием.

Иммунитет от допроса в качестве свидетеля и несообщение о преступлении несут в себе разные процессуальные действия и правовую природу, но в то же время взаимосвязаны и взаимообусловлены между собой. Если адвокат является субъектом преступления по ст. 205.6 УК РФ, то очевидно, что его можно и нужно допрашивать в качестве свидетеля по уголовным делам террористической направленности, перечисленных в диспозиции ст. 205.6 УК РФ.

Важное значение имеет то обстоятельство, что вышеуказанные нормы предусматривают свидетельский иммунитет для адвоката только в рамках невозможности его допроса по обстоятельствам, ставшим ему известными в связи с его профессиональной деятельностью, а не всей его личной жизни. Соответственно, если адвокату стало известно о готовящемся или совершенном преступлении террористической направленности не в связи с его профессиональной деятельностью (например, он случайно узнал об этом из разговора третьих лиц), то он обязан сообщить об этом в правоохранительные органы без каких-либо исключений. Данное решение законодателя абсолютно логично и справедливо, и никак не посягает на адвокатскую тайну; такой адвокат в случае бездействия подлежит привлечению к уголовной ответственности по ст. 205.6 УК РФ, и он может быть допрошен в качестве свидетеля в соответствии со ст. 56 УПК РФ.

Совершенно другая ситуация, если адвокату стало известно о готовящемся или совершенном преступлении террористической направленности в связи с его профессиональной деятельностью. В этом случае коллизия между уголовным и адвокатским законодательством очевидна, и ее нужно разрешать.

В затронутой проблеме очевидна сложная моральная дилемма для законодателя, когда на чаше весов на одной стороне находятся интересы общества и государства, их безопасность, а на другой – интересы адвокатуры как органа социального контроля за государством. К сожалению, компромисс в этом вопросе труднодостижим, но проблема все равно требует своего разрешения.

Безусловно, адвокатское сообщество не заинтересовано в распространении террористической опасности, в которую, к сожалению, вовлекаются все больше и больше различных слоев нашего общества, поэтому своевременная и достоверная информация о готовящихся или совершенных актах террористической деятельности крайне важна для повышения эффективности борьбы с такими преступлениями. Однако нельзя забывать и о других, не менее важных задачах современного правового государства, в том числе о необходимости четкого правового регулирования профессиональной деятельности адвокатов. Это является необходимым условием не только повышения ее эффективности в современном правовом государстве, но и существования вообще. Трудно себе представить адвокатскую деятельность без адвокатской тайны как ее неотъемлемой составляющей.

Обязанность адвоката хранить тайну доверителя является одним из основных и базовых начал института адвокатуры, что в современных условиях рачительно отличает адвоката от иных юристов, оказывающих правовые услуги доверителям, которые, в свою очередь, такой обязанностью не обладают [6].

По нашему мнению, игнорирование адвокатом своего профессионального долга по защите адвокатской тайны, даже если сведения связаны с совершением преступлений, перечисленных в статье 205.6 УК РФ, может подорвать авторитет не только конкретного адвоката, но адвокатской деятельности в целом.

Стоит обратить внимание на международное законодательство. Так, Общий кодекс правил для адвокатов стран Европейского сообщества в пункте 2.3 закрепляет, что «особенность профессии адвоката состоит в том, что адвокат должен хранить тайны своего клиента и принимать конфиденциальные сообщения. Без обеспечения конфиденциальности доверие к адвокату не возникнет. Таким образом, профессиональная тайна является фундаментальным и исконным правом и долгом адвоката» [1].

В Уголовном Кодексе Республики Беларусь (далее по тексту – УК РБ) также установлена уголовная ответственность за недонесение о преступлении (ст. 406 УК РБ). Сопоставляя диспозиции правовых норм отечественного уголовного законодательства с законодательством Республики Беларусь, можно выявить следующие отличия:

1. Объективная сторона по ст. 406 УК РБ по сравнению со ст. 205.6 УК РФ включает в себя более широкий круг общественно опасных деяний, которые дифференцированы на два состава преступления (простой и квалифицированный):
  - а) недонесение о достоверно известном совершенном особо тяжком преступлении либо о достоверно известном лице, совершившем это преступление, или о месте нахождения такого лица (ч. 1 ст. 406 УК РБ);
  - б) недонесение о достоверно известном готовящемся тяжком или особо тяжком преступлении (ч. 2 ст. 406 УК РБ).

Как видно, часть первая отличается от части второй характером несообщенной информации: в первой части речь идет о совершенном преступлении, а во второй части – о готовящемся преступлении. При этом ответственность по части второй более строгая.

По нашему мнению, такая редакция статьи УК РФ, предусматривающая дифференцированную уголовную ответственность за несообщение об уже совершенном преступлении от несообщения о готовящемся преступлении, является справедливой и более предпочтительной.

Кроме того, выглядит более логичным решение белорусского законодателя не ограничивать перечень составов преступлений, за недонесение о которых предусмотрена уголовная ответственность, только преступлениями против общественной безопасности, конституционного строя, мира и безопасности человечества, как это сделано в отечественном уголовном законодательстве.

2. В примечании к ст. 406 УК РБ закреплено, что уголовной ответственности за недонесение о преступлении не подлежат члены семьи и близкие родственники лица, совершившего преступление, священнослужитель, узнавший о преступлении на исповеди, а также защитник, узнавший о преступлении во время исполнения своих профессиональных обязанностей.

Как видно, данный перечень лиц, исключенных из числа субъектов преступления за недонесение о преступлении, является также более широким по сравнению с отечественным законодательством; включает в себя не только адвокатов, но и священнослужителей, что, по нашему мнению, также является более логичным законодательным решением.

Уголовное уложение Германии также содержит основания освобождения от уголовной ответственности за несообщение. Так, не привлекаются к ответственности священники в случае, если о преступлении стало известно на исповеди; адвокаты, врачи, психотерапевты и психиатры не обязаны сообщать информацию, которая была им известна в связи с исполнением профессиональных обязанностей, их профессиональные помощники также не обязаны сообщать информацию, которая была им доверена в связи с исполнением профессиональных обязанностей [5].

Анализ сложившейся судебной практики в РФ показывает, что с момента введения данной статьи в состав Особенной части УК РФ обвинительных приговоров по ст. 205.6 УК РФ в отношении адвокатов не выносилось, равно как и оправдательных. Данное обстоятельство вовсе не означает, что адвокаты не попадали в поле зрения правоохранительных органов при расследовании подобных преступлений. Скорее всего, это объясняется риском вынесения оправдательных приговоров в связи с возникшей правовой коллизией в правовом регулировании данного вопроса. Однако такое положение дел не соответствует интересам правового государства и должно быть в скорейшем времени разрешено.

### **Заключение и выводы**

По итогам проведенного исследования предлагаем изложить примечание к ст. 205.6 УК РФ в следующей редакции:

«Примечание. Лицо не подлежит уголовной ответственности за несообщение о подготовке или совершении преступления его супругом или близким родственником. Аналогичным образом не подлежит уголовной ответственности за несообщение о подготовке или совершении преступления адвокат, которому данные сведения стали известны в связи с обращением к нему за юридической помощью или в связи с ее оказанием».

### Литература

1. Общий кодекс правил для адвокатов стран Европейского сообщества от 28.10.1988 (принят Советом коллегии адвокатов и юридических сообществ Европейского Союза в Страсбурге the Council of the Bar Association and Legal 28.10.1988, пересмотрен в Лионе 28.11.1998, в Communities of the European Union in Strasbourg Дублине 06.12.2002 и в Порто 19.05.2006). – Текст : электронный. – URL: [fparf.ru/documents/international-acts/general-code-of-rules-for-lawyers-of-countries-of-the-european-community/](http://fparf.ru/documents/international-acts/general-code-of-rules-for-lawyers-of-countries-of-the-european-community/) (Дата обращения: 13.06.2023).

2. Беницкий, А. С. Субъект несообщения о преступлении / А. С. Беницкий. – Текст : непосредственный // Вестник ВГУ. Серия: Право. – 2015. – № 2. – С. 199–204.

3. Зарубин, А. В. Уголовно-правовое регулирование прикосновенности к преступлению: автореф. дисс. ... канд. юр. н. / А. В. Зарубин. – Красноярск, 2004. – 21 с. – Текст : непосредственный.

4. Новиков, С. С. Понятие и признаки прикосновенности к преступлению / С. С. Новиков, С. М. Шмееров. – Текст : непосредственный // Борьба с преступностью: теория и практика : тезисы докладов III Международной научно-практической конференции (Могилев, 20 марта 2015 года) : в 2-х ч. / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь»; редкол.: Ю. П. Шкаплеров (отв. ред.) [и др.]. – Могилев : Могилевский институт МВД, 2015. – Ч. 1. – С. 249–252.

5. Мамедова, Ф. Ф. Уголовно-правовой запрет на несообщение о преступлении (правовые и нравственные аспекты) / Ф. Ф. Мамедова, К. А. Барышева. – Текст : непосредственный // Право. Журнал Высшей школы экономики. – 2021. – № 5. – С. 122–147.

6. Синичкин, А. А. Адвокатская тайна: проблемы обеспечения в уголовном судопроизводстве / А. А. Синичкин, И. А. Зайцев. – Текст : непосредственный // Вестник Российского университета кооперации. – 2022. – № 2. – С. 141–147.

**КОРЫСТЬ: СООТНОШЕНИЕ ЦЕЛИ И МОТИВА  
СОВЕРШЕНИЯ ПРЕСТУПЛЕНИЯ**

**Шеслер Александр Викторович**  
*доктор юридических наук, профессор,  
профессор кафедры уголовного права и уголовного процесса  
Кузбасского института ФСИН России,  
Новокузнецк, 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: толкование Верховным Судом РФ корысти в виде корыстного мотива и корыстной цели совершения преступления в постановлениях по конкретным категориям уголовных дел.*

*Цель исследования: выработка единого подхода в определении понятий «корыстный мотив» и «корыстная цель» для последующего использования в судебной практике РФ в части квалификации преступлений корыстной направленности.*

*Методы исследования: при анализе толкования Верховным Судом РФ корыстного мотива и корыстной цели преступления были использованы формально-логический метод, а также методы анализа и синтеза.*

*Основные результаты исследования: без корыстного мотива, состоящего в побуждении виновного извлечь в результате совершения преступления выгоду имущественного характера или избавиться от определенных материальных затрат, отсутствует корыстная цель, состоящая в мысленно представляемом виновным результате в виде обращения имущества в свою пользу, пользу других лиц, извлечения иной имущественной выгоды, избавления от материальных затрат.*

*Ключевые слова: преступление, корысть, корыстный мотив, корыстная цель.*

**SELF-INTEREST: CORRELATION OF PURPOSE AND MOTIVE  
FOR COMMITTING A CRIME**

**Aleksandr V. Shesler**  
*Doctor of Law Sciences, Professor,  
Criminal Law Department,  
Kuzbass Institute of the FPS of Russia  
Novokuznetsk, Russia  
E-mail: sofish@inbox.ru*

**Sof'ya S. Shesler**

*Candidate of Law Sciences, Assistant Professor,  
State Law Disciplines and Law Enforcement Activities Department,  
Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics  
Tomsk, Russia  
E-mail: sofish@inbox.ru*

*Subject of research: interpretation by the Supreme Court of the Russian Federation of self-interest in the form of self-interested motive and self-interested purpose of committing a crime in rulings on specific categories of criminal cases.*

*Purpose of research: to develop a unified approach in defining the concepts of «selfish motive» and «selfish purpose» for subsequent use in the judicial practice of the Russian Federation in terms of the qualification of crimes of a mercenary orientation.*

*Methods and objects of research: when analyzing the interpretation by the Supreme Court of the Russian Federation of self-interested motive and self-interested purpose of a crime, the formal-logical method, as well as methods of analysis and synthesis were used.*

*Main results of research: without self-interested motive, consisting in the inducement of the guilty to extract as a result of committing a crime a benefit of a property nature or to get rid of certain material costs, there is no self-interested purpose, consisting in the mentally represented by the guilty result in the form of conversion of property in its own favor, the favor of other persons, the extraction of other property benefits, getting rid of material costs.*

*Keywords: crime, self-interest, selfish motive, selfish purpose.*

---

## **Введение**

Действующее уголовное законодательство терминологически употребляет корысть в двух значениях, а именно: как мотив преступления (побуждениях) и как цель преступления (например, в примечании 1 к ст. 158 УК РФ речь идет о корыстной цели). Однако определение этих терминов в УК РФ не дано, поэтому как в науке уголовного права, так и в практике применения уголовного закона его понимание не является однозначным. Не дано однозначного понимания данных терминов и в разъяснениях Верховного Суда РФ, цель которых – стабилизировать судебную практику, оказывать помощь судам в единообразном толковании и применении норм права. В результате отсутствия единого подхода в определении понятий «корыстный мотив» и «корыстная цель» это не способствует качеству вынесения судебных решений по преступлениям корыстной направленности и требует выработки единого терминологического подхода.

## **Результаты и обсуждение**

Анализ высказанных точек зрения об определении терминов «корыстный мотив» и «корыстная цель» в УК РФ среди исследователей можно свести к следующим позициям.

Сторонники первой позиции утверждают, что содержание корыстной цели составляет стремление лица, совершающего преступление, обратить имущество в свою пользу, распорядиться им как своим, либо обратить имущество в пользу третьих лиц [3, 8, 9]. Такая позиция находит закрепление в п. 26 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 30 ноября 2017 г. № 48 «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате». В нем отмечается, что обязательным признаком хищения является наличие у лица корыстной цели, то есть стремления изъять и (или) обратить чужое имущество в свою пользу, либо распорядиться указанным имуществом как своим собственным, в том числе путем передачи его в обладание других лиц, круг которых не ограничен. В целом суть рассматриваемой

позиции состоит в том, что корыстная цель не связана с корыстными побуждениями. Получается, что корыстная цель при хищении состоит в стремлении выполнить его объективную сторону. Однако такое стремление характеризует не цель хищения, а волевой момент прямого умысла, с которым оно совершается. Аналогичная трактовка корыстной цели через волевой момент умысла содержится и в п. 14 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 29 июня 2021 г. № 21 «О некоторых вопросах судебной практики по делам о преступлениях против интересов службы в коммерческих и иных организациях (статьи 201, 201.1, 202, 203 Уголовного кодекса Российской Федерации)». В нем цель извлечения выгод и преимуществ для себя или других лиц определяется как стремление путем неправомерных действий получить выгоду имущественного характера (незаконное получение кредита либо льготных условий кредитования, освобождение от каких-либо имущественных затрат, возврата имущества, погашения долга, оплаты услуг, уплаты налогов и т. п.).

Данная позиция не учитывает того обстоятельства, что противоправное завладение чужим имуществом может быть с целью его временного использования с последующим возвращением собственнику либо в связи с предполагаемым правом на это имущество. Это стремление корыстной цели не образует. На такое обстоятельство обращено внимание в п. 7 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 29 «О судебной практике по делам о краже, грабеже и разбое», где отмечается, что при наличии такого обстоятельства нет состава кражи или грабежа.

В.В. Векленко несколько конкретизирует эту позицию, отмечая, что корыстная цель имеет место в тех случаях, когда она сопровождается причинением ущерба владельцу имущества [2, С. 182-184]. Данное уточнение не вносит ясности в раскрытие содержания корыстной цели. Ущерб владельцу имущества может быть причинен в результате того, что имущество изымается у него для уничтожения, а деяние не квалифицируется как хищение. В частности, в п. 26 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 9 декабря 2008 г. № 25 «О судебной практике по делам о преступлениях, связанных с нарушением правил дорожного движения и эксплуатации транспортных средств, а также с их неправомерным завладением без цели хищения» указывается, что неправомерное завладение автомобилем или иным транспортным средством без цели хищения и последующее его умышленное уничтожение или повреждение подлежат квалификации по совокупности преступлений, предусмотренных соответствующей частью статьи 166 УК РФ и при наличии к тому оснований статьей 167 УК РФ.

Сторонники второй позиции характеризуют корыстные побуждения через корыстную цель, понимая под ними стремление виновного к обогащению, т. е. эти признаки субъективной стороны преступления отождествляются [5, С. 79-80; 1, 4, 6]. Полагаем, что такое отождествление корыстной цели и корыстного мотива основано на их толковании в ряде постановлений Пленума Верховного Суда РФ, исходя из которых корысть предполагает стремление виновного путем совершения преступления извлечь выгоду имущественного характера или избавиться от материальных затрат.

В одних постановлениях Пленума Верховного Суда РФ корыстный мотив определяется через корыстную цель. Так, в п. 11 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 27 января 1999 г. № 1 «О судебной практике по делам об убийстве (ст. 105 УК РФ)» корыстные побуждения характеризуется как цель получения материальной выгоды для виновного или других лиц (денег, имущества или прав на его получение, прав на жилплощадь и т. п.) или избавления от материальных затрат (возврата имущества, долга, оплаты услуг, выполнения имущественных обязательств, уплаты алиментов и др.). В п. 8 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 24 декабря 2019 г. № 58 «О судебной практике по делам о похищении человека, незаконном лишении свободы и торговле людьми» корыстные побуждения определяются через цель получения материальной выгоды для виновного или других лиц (денег, имущества или прав на его получение и т. п.) или избавления от материальных затрат (возврата имущества, долга, оплаты услуг, выполнения

имущественных обязательств, уплаты алиментов и др.), а равно по найму, обусловленному получением исполнителем преступления материального вознаграждения или освобождением от материальных затрат.

В других постановлениях Пленума Верховного Суда РФ корыстная цель определяется через корыстный мотив. В п. 27 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 9 декабря 2008 г. № 25 «О судебной практике по делам о преступлениях, связанных с нарушением правил дорожного движения и эксплуатации транспортных средств, а также с их неправомерным завладением без цели хищения» указывается на наличие хищения при намерении виновного, неправомерно завладевшим транспортным средством, возратить его владельцу за вознаграждение. Очевидно, имеется в виду в данном случае наличие корыстной цели. В п. 26 этого же постановления указывается, что неправомерное завладение автомобилем или иным транспортным средством без цели хищения и последующее его умышленное уничтожение или повреждение подлежат квалификации по совокупности преступлений, предусмотренных соответствующей частью статьи 166 УК РФ, и при наличии к тому оснований статьей 167 УК РФ. В п. 28 отмечается, что если указанные неправомерные действия лица совершены лишь для поездки на угнанном автомобиле (транспортном средстве) или в иных целях без корыстных побуждений, то содеянное при наличии к тому оснований подлежит правовой оценке как неправомерное завладение автомобилем или иным транспортным средством без цели хищения по соответствующей части статьи 166 УК РФ.

В отдельных постановлениях Пленума Верховного Суда РФ корыстный мотив, как и корыстная цель в п. 26 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 30 ноября 2017 г. № 48 «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате», определяется через волевой момент умысла. Так, в п. 22 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 15 июня 2006 г. № 14 «О судебной практике по делам о преступлениях, связанных с наркотическими средствами, психотропными, сильнодействующими и ядовитыми веществами» корыстные побуждения определяются как направленность умысла на получение материальной выгоды (денег, имущества или прав на их получение и т. п.) либо избавление от материальных затрат (например, возврата имущества, долга, оплаты услуг, выполнения имущественных обязательств) в результате совершения преступления. В п. 16 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 16 октября 2009 г. № 19 «О судебной практике по делам о злоупотреблении должностными полномочиями и о превышении должностных полномочий» корыстная заинтересованность характеризуется как стремление должностного лица путем неправомерных действий получить выгоду имущественного характера (незаконное получение льгот, кредита, освобождение от каких-либо имущественных затрат, возврата имущества, погашения долга, оплаты услуг, уплаты налогов и т. п.).

Несмотря на явную терминологическую небрежность в характеристике корыстной цели и корыстного мотива преступления судебная практика исходит из того, что эти категории тесно взаимосвязаны между собой. Во всякой случае корыстная цель отсутствует, если цель совершения преступления не сопряжена с мотивацией преступления, которая является корыстной. Этой же позиции придерживается В.В. Хилюта [7, С. 93]. В ряде случаев Верховный Суд РФ достаточно определенно высказывает такую позицию. Так, п. 26 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 30 ноября 2017 г. № 48 «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате» акцентируется внимание на том, что от хищения следует отличать случаи, когда лицо, изымая и (или) обращая в свою пользу или пользу других лиц чужое имущество, действовало в целях осуществления своего действительного или предполагаемого права на это имущество (например, если лицо обратило в свою пользу вверенное ему имущество в целях обеспечения долгового обязательства, не исполненного собственником имущества). При наличии оснований, предусмотренных статьей 330 УК РФ, подобные действия предлагается квалифицировать как самоуправство. В п. 23 Постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 9 июля 2013 г. № 24 «О

судебной практике по делам о взяточничестве и об иных коррупционных преступлениях» имущественная выгода исключается при наличии двух условий. Во-первых, когда за совершение должностным лицом действий (бездействия) по службе имущество передается, имущественные права предоставляются, услуги имущественного характера оказываются не лично ему либо его родным или близким, а заведомо другим лицам, в том числе юридическим, во-вторых, когда при этом должностное лицо, его родные или близкие не извлекают из этого имущественную выгоду. В данном случае очевидно отсутствие у виновного корыстной цели при отсутствии корыстного мотива.

### **Заключение и выводы**

Полагаем, что общий вывод о соотношении корыстной цели и корыстного мотива при совершении преступления должен быть основан на взаимосвязи этих признаков субъективной стороны преступления, а именно: без корыстного мотива, состоящего в побуждении виновного извлечь в результате совершения преступления выгоду имущественного характера или избавиться от определенных материальных затрат, отсутствует корыстная цель, состоящая в мысленно представляемом виновным результате в виде обращения имущества в свою пользу, пользу других лиц, извлечения иной имущественной выгоды, избавления от материальных затрат.

### **Литература**

1. Бойцов, А. И. Преступления против собственности / А. И. Бойцов. – СПб. : Юрид. центр. Пресс, 2002. – С. 294. – Текст : непосредственный.
2. Векленко, В. В. Квалификация хищений / В. В. Векленко. – Омск : Омская академия МВД России, 2001. – С. 182–184. – Текст : непосредственный.
3. Кузнецова, Н. Ф. Комментарий к Уголовному кодексу Российской Федерации / Н. Ф. Кузнецова – М. : Зерцало, 1998. – С. 363. – Текст : непосредственный
4. Лопашенко, Н. А. Посягательство на собственность / Н. А. Лопашенко. – М. : Норма, Инфра-М, 2012. – С. 151. – Текст : непосредственный.
5. Тенчев, Э. С. Уголовно-правовая охрана социалистической собственности. / Э. С. Тенчев. – Иваново : Изд-во Иван. ун-та, 1980. – С. 79–80. – Текст : непосредственный
6. Турышев, А. А. Корыстный мотив преступления / А. А. Турышев. – Текст : непосредственный // Научный вестник Омской академии МВД России. – 2020. – № 4 (79). – С. 17–21.
7. Хилюта, В. В. Корыстная цель в хищении: существуют ли пределы расширительного толкования? / В. В. Хилюта. – Текст : непосредственный // Lex russica. – 2020. – Т. 73, № 4. – С. 93–102.
8. Яни, П. С. Мошенничество и иные преступления против собственности, уголовная ответственность / П. С. Яни. – М. : Интел-Синтез, 2002. – 136 с. – Текст : непосредственный.
9. Яни, П. С. Корысть как признак хищения / П. С. Яни. – Текст : непосредственный // Законность. – 2019. – № 2.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

---

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНФЛИКТОВ**

**Антипова Екатерина Сергеевна**

*старший преподаватель  
кафедры математических методов в экономике и управлении,  
Государственный университет управления  
Москва, Россия  
E-mail: antipovaes@live.ru*

*Предмет исследования: конфликты различного происхождения.*

*Цель исследования: разработать математическую модель конфликта, получить единое строгое определение конфликта, позволяющее формализовать любой конфликт и описать его математически.*

*Методы исследования: в работе применяются методы теории управления и методы теории динамических систем. Модель конфликта описывается разностными уравнениями.*

*Основные результаты исследования: сформулировано определение конфликта, которое позволяет формализовать любой конфликт. Построена математическая модель конфликтов. Рассмотрены и проанализированы возможные способы воздействия конфликтующих сторон друг на друга. Проведенный анализ показал, что управление конфликтными ситуациями принципиально отличается от управления техническими объектами. Если в теории управления можно влиять на причину возникновения рассогласования, то в конфликтной ситуации, как правило, отсутствует такая возможность. На основе представленной модели рассмотрен конфликт работника и работодателя и проведен анализ этого конфликта с точки зрения теории управления. Получены необходимые и достаточные условия бесконфликтного состояния системы с двумя субъектами.*

*Ключевые слова: конфликт, конфликтующие стороны, математическая модель конфликтов, теория управления, теория динамических систем.*

## **MATHEMATICAL MODELING OF CONFLICTS**

**Ekaterina S. Antipova**

*Senior Lecturer,  
Department of Mathematical Methods in Economics and Management,  
State University of Management  
Moscow, Russia  
E-mail: antipovaes@live.ru*

*Subject of research: conflicts of various origins.*

*Purpose of research: to develop a mathematical model of the conflict, to obtain a single strict definition of the conflict, allowing to formalize any conflict and describe it mathematically.*

*Methods and objects of research: the methods of control theory and methods of the theory of dynamical systems are used in the work. The conflict model is described by difference equations.*

*Main results of research: the definition of conflict is formulated, which allows to formalize any conflict. A mathematical model of conflicts is constructed. The possible ways of the conflicting parties' influence on each other are considered and analyzed. The analysis has shown that the management of conflict situations is fundamentally different from the management of technical facilities. If in management theory it is possible to influence the cause of the mismatch, then in a conflict*

*situation, as a rule, there is no such possibility. Based on the presented model, the conflict between an employee and an employer is considered and an analysis of this conflict is carried out from the point of view of management theory. The necessary and sufficient conditions for a conflict-free state of a system with two subjects are obtained.*

*Keywords: conflict, conflicting parties, mathematical model of conflicts, management theory, theory of dynamic systems.*

---

## Введение

Конфликты являются движущей силой развития общества. Вся история развития человеческой цивилизации и отдельных ее составляющих представляет собой череду различных конфликтов: на каждом этапе развития общества люди ищут способы разрешения существующих конфликтов, что приводит к эволюции общества, и, одновременно, порождает новые конфликты [34]. Отметим, что это относится не только к человеку, но и к другим социальным животным.

Существуют различные виды конфликтов: военные [18, 38], политические [20], семейные [25], террористические угрозы [26, 31, 33, 35], социальные [22, 23, 31] и т. д.

Исследованием конфликтов занимается конфликтология [2, 16]. Конфликтология как наука возникла на стыке нескольких научных направлений [28]. В связи с этим существует множество определений конфликта и подходов к изучению конфликтов.

Конфликты с разных точек зрения изучаются в рамках таких наук, как социология [21], психология [17], политология [11], философия [2, 16] и др. В рамках этих направлений разработаны методы анализа соответствующих конфликтных ситуаций, а также рекомендации по разрешению различного вида конфликтов [2, 4, 12]. В основном эти исследования носят описательный, философский характер, закладывая фундамент для решения различных прикладных задач, однако они не имеют предсказательной силы и не позволяют на основе имеющихся эмпирических данных спрогнозировать возможную конфликтную ситуацию, описать ее развитие во времени и рассчитать допустимые пути выхода из нее.

С этой точки зрения представляет интерес математическое моделирование конфликтов.

В настоящее время для моделирования конфликтов применяются различные математические методы: теория игр [23, 24, 29, 36], алгебраический подход [5, 6, 19], динамическое моделирование конфликтов [1, 20, 25, 31, 35], логические методы [8, 9, 13, 27], вероятностные и статистические методы [18, 23, 26, 33, 38] и др.

В рамках теории игр рассматриваются две и более противоборствующие стороны, ведущие борьбу за свои интересы. Игроки обладают набором стратегий и выигрышем, который количественно оценивается при выборе стратегий. Данный подход применяется для принятия решений при анализе военных конфликтов, экономических противоборств, политических конкуренций и других социально-экономических конфликтов. В [29] рассмотрены конфликтные отношения между врачами и пациентами, которые могут выбрать стратегию конфликта или стратегию сотрудничества.

В [36] рассматривается применение кооперативных и некооперативных теоретико-игровых имитационных моделей водных конфликтов.

Наиболее известными задачами теории конфликтов, которые решаются методами теории игр, являются «Дилемма заключенного», «Семейный спор», «Рыбалка в прибрежных водах и открытом море» [37].

В алгебраической модели конфликтные ситуации в больших системах описываются с помощью теории полурешеток [19] и матричных моделей, позволяющих представлять и прогнозировать развитие ситуаций [5]. Такие модели позволяют решать задачи при нечетко заданных параметрах и связях между объектами, исследуя отклонения от заданной нормы для построенной ситуационной матрицы. Динамическая модель конфликтов описывает кон-

фликтные ситуации в сложных системах с помощью дифференциальных уравнений [20, 25]. Так, например, в [25] рассмотрен семейный конфликт, и построена его модель на основе разностных уравнений, позволяющая предсказывать стабильность или распад брака. В [20] на основе модели Лотки-Вольтерры разработана модель, описывающая урегулирование двустороннего конфликта в результате экономического сотрудничества. В работах [1, 31, 35] представлены модели конкуренции идеологий – динамические модели, основанные на моделях эпидемиологического типа.

В работах [18, 26] рассмотрены статистические модели. В [18] разработана сетевая модель, для прогнозирования войны и мира в определенных городах. Открытой проблемой для статистических моделей остается нелинейный, изменяющийся во времени характер конфликта.

В работах [33, 38, 23] рассмотрены механистические модели для описания нелинейной динамики конфликта, использующие процесс Хоукса. В работе [38] моделируется поведение самовозбуждения. В работе [33] были рассмотрены одномерные и многомерные модели террористических угроз. В [23] представлена агентная модель, способная имитировать соперничество различных преступных группировок не только во времени, но и в пространстве. Эта модель позволяет описать развитие конфликтной ситуации во времени, анализировать переходы системы из одного состояния в другое, исследовать устойчивость различных состояний системы и т. п.

Логическая модель конфликтов использует булеву алгебру, нечеткие множества и теорию графов [8, 9, 13, 27]. С помощью логической модели определяется принадлежность того или иного субъекта системы к одной из конфликтующих групп и в каком отношении находятся стороны (сотрудничество, конфликт или нейтральное состояние).

В работах [22, 32] анализ конфликта описан моделью Павлака [30]. Отметим также подход, основанный на иерархической модели, в основе которой лежит анализ иерархий Т. Сатаи [7, 14, 15], позволяющий прогнозировать исход конфликтной ситуации, но решение конфликта данный подход не предлагает.

Следует отметить, что в каждой математической модели конфликта фактически используется свое определение конфликта и даже свое представление о том, что называть конфликтом. Более того, и с философской точки зрения не существует единого общепринятого определения, что такое конфликт.

В настоящее время известно несколько определений конфликта, которые рассматривают это явление с философской или психологической точки зрения. Приведем некоторые из них. «Конфликт... – наиболее деструктивный способ развития и завершения значимых противоречий, возникающих в процессе социального взаимодействия, а также борьба подструктур личности» [3, С. 158]. «Это противоборство, и способ разрешения возникающих противоречий, и эмоционально окрашенный процесс социального взаимодействия» [10, С. 101]. Конфликт – разновидность нелогического противоречия» [16, С. 51].

Несмотря на безусловную полезность и правомерность таких определений, следует отметить, что они не позволяют формализовать конфликт, и перейти к его математическому описанию.

В настоящей работе впервые предлагается общее формальное определение конфликта, которое позволяет перейти к математическому описанию любых конфликтных ситуаций, а также позволяет с единых позиций количественно описать конфликты, относящиеся к самым разным предметным областям.

### Результаты и обсуждение

Дадим определение конфликта, от которого далее будем отталкиваться в своих рассуждениях, и которое позволяет перейти к формальному математическому описанию конфликтов.

Конфликт – это рассогласование между желанием субъекта и его возможностями, т. е. между тем, что он хочет, и тем, что он имеет.

Таким образом, считается, что конфликтом может быть названа любая ситуация, в которой желание (цель) субъекта не совпадает с тем, что он имеет в данный момент, независимо от того, в какой конкретной области деятельности субъекта это рассогласование возникло.

Согласно этому определению, любой конфликт характеризуется как минимум двумя параметрами: то, что субъект хочет (его цель)  $W$ , и то, что он в данный момент имеет  $H$ .

Таким образом, причиной (движущей силой) конфликта является рассогласование

$$u = \begin{cases} [W - H], W \geq H \\ [H - W], W \leq H \end{cases} \quad (1)$$

где  $[x] = \begin{cases} x, x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases}$ .

По определению, считается, что в отсутствие конфликта  $u = 0$ , а конфликт имеет место, если  $u > 0$ .

Предмет конфликта – объективно существующие или несуществующие субъекты или объекты, с которыми связано возникшее рассогласование.

В конфликтологии при описании и анализе конфликтов обычно говорят о конфликте между двумя и более субъектами [2, 16]. Из данного выше определения следует, что правильное говорить о том, что у этих субъектов имеется общий предмет конфликта, в то время как сам конфликт у каждого из конфликтующих субъектов будет свой: у каждого из них имеется свое рассогласование  $u$ , а, значит, и своя степень (интенсивность) конфликта. Кроме того, разные субъекты могут по-разному относиться к одному и тому же конфликту (рассогласованию), а, следовательно, для каждого из них один и тот же конфликт будет иметь разную значимость: для одних субъектов данный конфликт может иметь первостепенную значимость, и они будут прилагать все возможные усилия для разрешения этого конфликта, в то время как для других этот же конфликт может быть совершенно незначимым, и они просто не будут обращать на него внимание. Иными словами, когда говорят о конфликте двух и более субъектов, нужно иметь в виду, что у каждого из них имеется свой (по значимости и интенсивности) конфликт, связанный с одним и тем же предметом, и каждый из них пытается разрешить свой конфликт по-своему с учетом имеющихся возможностей, обстоятельств и реакции других субъектов.

В связи с этим далее будем различать конфликт и конфликтную ситуацию.

Конфликтная ситуация – это ситуация (состояние системы, стратегия), в которой участвуют несколько субъектов, имеющих общий предмет конфликта, при этом у разных субъектов могут быть разные параметры конфликтов, разные рассогласования  $u$ , а, значит, и разные причины (движущие силы) конфликтов.

Конфликтующие стороны (участники конфликта) – субъекты, участвующие в данной конфликтной ситуации.

Таким образом, конфликтная ситуация характеризуется полным набором параметров  $\{W_i, H_i\}$  и, соответственно, рассогласований  $\{u_i\}$  всех участников конфликтной ситуации.

Параметры конфликта не всегда могут быть выражены количественно, однако в дальнейшем мы будем применять к ним формальные математические операции, позволяющие, по крайней мере, сократить запись при формулировке проблемы.

Параметры конфликта  $W$  и  $H$ , а вместе с ними и рассогласование  $u$ , даже если они не могут быть выражены количественно, могут принимать как непрерывные, так и дискретные значения.

Вследствие этого можно говорить о конфликте с непрерывным рассогласованием и конфликте с дискретным рассогласованием. В последнем случае рассогласование  $u$  может принимать только два значения: 0 или 1, в зависимости от того, удовлетворено данное желание субъекта или нет. В случае конфликта с непрерывным рассогласованием под действием разных факторов (в том числе под действием усилий, предпринимаемых конфликтующими сто-

ронами) рассогласование (1) может уменьшаться, что приводит к ослаблению конфликта, или увеличиваться, что приводит к усилению конфликта.

Параметры конфликта могут быть внутренними и внешними. Внутренние параметры конфликта присущи самому субъекту, и субъект всегда может влиять на эти параметры (т. е. он может изменять соответствующий параметр, прикладывая различные усилия – психологические, интеллектуальные, физические, материальные, экономические, политические и т. п.), хотя в ряде случаев это влияние может быть ограничено в силу различных причин. Внешние параметры присущи другим субъектам или объектам, и данный субъект либо не имеет возможности влиять на эти параметры (т. е. не имеет возможности их изменять), либо его влияние на эти параметры является ограниченным, либо он может на них влиять только косвенно (опосредованно) через другие субъекты или объекты.

Параметр  $W$  является внутренним параметром субъекта, и субъект может его изменять непосредственно. В то же время параметр  $H$  может, как принадлежать данному субъекту, т. е. быть его внутренним параметром, так и не принадлежать ему, т. е. являться внешним параметром субъекта. В зависимости от этого будем различать внутренний и внешний конфликты.

Внутренний конфликт (конфликт с внутренним рассогласованием) – когда параметр  $H$  принадлежит тому же субъекту, что и параметр  $W$ , т. е. этот субъект имеет возможность самостоятельно и непосредственно изменять параметр  $H$ . Пример 1: субъект имеет вес  $H$ , а хочет иметь  $W < H$  (т. е. хочет похудеть); в результате у него имеется внутренний конфликт, связанный с его весом. В этом случае, у него имеются два способа разрешить этот конфликт: (а) смириться с собственным весом, т. е. изменить свой параметр  $W$ ; (б) приложить усилия для изменения собственного веса  $H$ , например, заняться спортом, сесть на диету и т. д.

Внешний конфликт (конфликт с внешним рассогласованием) – когда данный субъект не имеет возможности непосредственно изменять параметр  $H$ . Например, когда параметр  $H$  принадлежит другому субъекту или управляется другим субъектом, который может непосредственно изменять этот параметр  $H$ . Пример 2: работник хочет получать зарплату  $W$ , а работодатель платит ему зарплату  $H < W$ . В результате у работника возникает конфликт, связанный с рассогласованием (1). В этом случае работник не может непосредственно изменить свою зарплату  $H$ ; это может сделать только работодатель, а работник может оказывать на работодателя воздействие с целью заставить его повысить зарплату. Отметим, что пока работник не оказывает на работодателя воздействия, направленного на повышения своей зарплаты, у работодателя в этой ситуации нет никакого конфликта. Другой тип внешнего конфликта – когда параметр  $H$  вызван внешними обстоятельствами непреодолимой силы (например, когда то, что хочет субъект, ограничено или запрещено законами природы). В этом случае единственный способ субъекта разрешить этот конфликт – приспособиться, т. е. изменить свой параметр  $W$ , приблизив его или даже сделав равным внешнему параметру  $H$ .

Согласно данному выше определению, конфликт возникает лишь тогда, когда у человека имеется цель, не совпадающая с существующим состоянием, и возникает желание достичь этой цели, т. е. необходимым условием для возникновения конфликта является желание субъекта достичь поставленную цель или желание субъекта преодолеть возникшее противоречие.

Таким образом, возникший у субъекта конфликт по определению вызывает у него реакцию (усилие, желание), направленную на разрешение этого конфликта, т. е. на уменьшение имеющегося рассогласования.

Согласно (1) этого он может добиться либо за счет уменьшения параметра  $W$  (хочу), либо за счет увеличения параметра  $H$  (имею). Таким образом, поиск способов разрешения любого конфликта, в конечном счете, сводится к поиску методов, способов и средств соответствующего изменения параметров конфликта  $W$  и  $H$ .

В частности, для разрешения внешнего конфликта при постоянном  $W$  субъект должен оказать такое воздействие на оппонента, управляющего параметром  $H$ , чтобы оппонент был вынужден изменить этот параметр в нужную сторону. Существует единственный способ

воздействовать на оппонента: создать ему конфликт, разрешая который оппонент будет вынужден изменить контролируемый им параметр  $H$  в нужную для данного субъекта сторону.

Рассмотрим пример конфликтов с непрерывным рассогласованием (конфликты с дискретным рассогласованием будут рассмотрены в следующих работах). Работник выполняет некую работу, и получает определенную зарплату, но эта зарплата его не устраивает, т. к. он хочет получать больше за свою работу. В свою очередь, работодателя не устраивает качество работы работника, или он хочет, чтобы работник работал больше. У каждого из них возникает рассогласование между тем, что они хотят, и тем, что имеют. Пусть для определенности рассогласование работника  $u_1 = W_1 - H_2$ , где  $W_1$  – желаемая зарплата работника,  $H_2$  – реальная зарплата работника, которую ему платит работодатель. Рассогласование работодателя  $u_2 = W_2 - H_1$ , где  $W_2$  – желаемое работодателем качество или объем работы, выполняемой работником,  $H_1$  – реальное качество или объем работы, выполняемой работником.

На рис. 1 представлена схема описанной выше конфликтной ситуации с двумя субъектами.

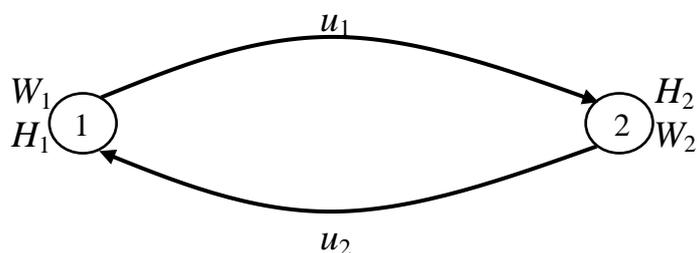


Рисунок 1 – Схема конфликтной ситуации между двумя субъектами

На рис. 2 приведена схема управления этой же конфликтной ситуацией.

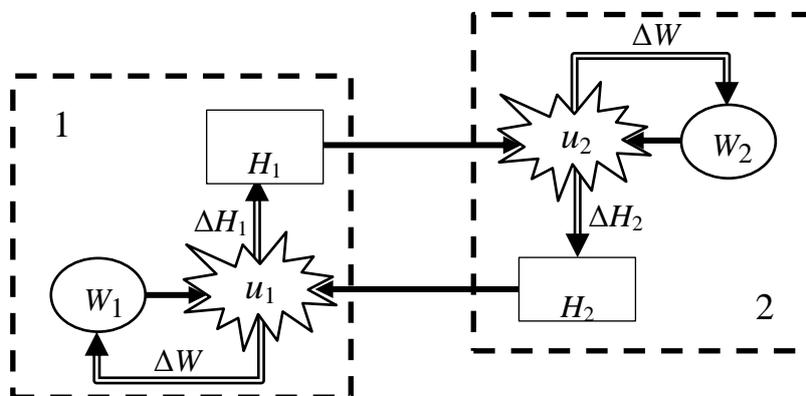


Рисунок 2 – Схема управления конфликтной ситуацией с двумя участниками

Штриховыми рамками на рис. 2 выделены субъекты (участники конфликта). Звездой показаны сами конфликты (рассогласования); двойными стрелками показаны усилия, направленные на изменение параметров конфликта. Здесь  $\Delta W_i$  и  $\Delta H_i$  – управляющие усилия, прилагаемые субъектом  $i$ , и направленные на изменение его собственных параметров  $W_i$  и  $H_i$ .

Изменяя параметры  $H_1$  и  $H_2$ , участники данной конфликтной ситуации могут воздействовать друг на друга, заставляя оппонента изменять свой параметр  $H_i$  в нужном направлении: если ты увеличишь свой параметр  $H$ , чтобы уменьшить мое рассогласование (конфликт), то и я могу увеличить свой параметр  $H$ , чтобы уменьшить твое рассогласование (конфликт), и наоборот, если ты будешь уменьшать свой параметр  $H$ , увеличивая мое рассогласование (усиливая мой конфликт), то и я могу уменьшать свой параметр  $H$ , увеличивая твое рассогласование (усиливая твой конфликт).

Вместе с тем, у каждого из участников данной конфликтной ситуации имеется свое представление о том, каким должен быть его параметр  $H_i$ .

Рассмотрим динамику конфликта.

Рассмотрим случай, когда  $W_1, W_2$  – постоянные величины, при достижении которых конфликт исчезает, и рассогласование для каждого участника конфликтной ситуации равно нулю.

Будем считать, что контакты между субъектами происходят периодически, и при каждом контакте субъекты могут изменять свои параметры  $H_i$  в зависимости от имеющегося рассогласования. В результате к следующему контакту они подойдут с параметрами  $H_1 + \Delta H_1$  и  $H_2 + \Delta H_2$ , где  $\Delta H_1, \Delta H_2$  – изменения соответствующих параметров конфликта за один контакт.

В этом случае динамика конфликта описывается уравнениями

$$H_1^{(n)} = [H_1^{(n-1)} + \Delta H_1] \quad (2)$$

$$H_2^{(n)} = [H_2^{(n-1)} + \Delta H_2] \quad (3)$$

или, учитывая (1),

$$u_1^{(n)} = [u_1^{(n-1)} - \Delta H_2] \quad (4)$$

$$u_2^{(n)} = [u_2^{(n-1)} - \Delta H_1] \quad (5)$$

где верхний индекс означает номер контакта (цикл взаимодействия) субъектов; где  $[x] = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$

В стационарном состоянии системы  $u_1 = 0$  и  $u_2 = 0$ , и конфликтующие стороны не изменяют свои параметры  $H_i$ .

В общем случае  $\Delta H_1 = \Delta H_1(u_1, u_2)$ ;  $\Delta H_2 = \Delta H_2(u_1, u_2)$ , т. е. субъекты принимают решения изменить свои параметры  $H_i$  не только в зависимости от собственного рассогласования, но и от рассогласования оппонента (т. е. они учитывают не только свою неудовлетворенность существующей ситуацией, но и неудовлетворенность самого оппонента). В зависимости от вида функций  $\Delta H_1(u_1, u_2)$ ;  $\Delta H_2(u_1, u_2)$  конфликт (рассогласование) у каждого субъекта может либо усиливаться, либо затухать.

Рассмотрим простейшую модель, когда

$$\Delta H_1(u_1, u_2) = k_{11}u_1 + k_{12}u_2; \Delta H_2(u_1, u_2) = k_{21}u_1 + k_{22}u_2 \quad (6)$$

где  $k_{ij}$  – постоянные параметры, характеризующие  $i$ -ого субъекта.

В этом случае уравнения (4) и (5) принимают вид

$$u_1^{(n)} = [u_1^{(n-1)} - k_{21}u_1^{(n-1)} - k_{22}u_2^{(n-1)}] \quad (7)$$

$$u_2^{(n)} = [u_2^{(n-1)} - k_{11}u_1^{(n-1)} - k_{12}u_2^{(n-1)}] \quad (8)$$

Из определения (6) понятен смысл параметров  $k_{ij}$ , которые характеризуют психологию (стратегию поведения) субъектов в данной конфликтной ситуации. Параметры  $k_{11}$  и  $k_{22}$  характеризуют интенсивность воздействия соответствующего субъекта на оппонента, учитывая интенсивность собственного конфликта (рассогласования). Эти параметры отражают рациональность соответствующего субъекта. Параметры  $k_{12}$  и  $k_{21}$  показывают, что соответствующий субъект при воздействии на оппонента учитывает также и его конфликт (рассогласование). Эти параметры характеризуют толерантность соответствующего субъекта по отношению к его оппоненту.

При  $k_{11} < 0$  чем меньшую зарплату получает работник (чем больше  $u_1$ ), тем хуже он работает (тем больше  $u_2$ ). В этом случае работник воздействует на работодателя, показывая ему, что повышая зарплату, он будет стимулировать работника работать лучше.

При  $k_{22} < 0$  чем хуже работник работает (чем больше  $u_2$ ), тем меньшую зарплату ему платит работодатель (тем больше  $u_1$ ). В этом случае работодатель воздействует на работника, показывая ему, что работая лучше, он будет получать большую зарплату.

При  $k_{11} > 0$  чем меньшую зарплату получает работник (чем больше  $u_1$ ), тем лучше он работает (тем меньше  $u_2$ ). Этот случай кажется иррациональным, однако он может иметь ме-

сто, когда работник надеется, что если он будет работать лучше, работодатель это заметит, и повысит ему зарплату.

При  $k_{22} > 0$  чем хуже работник работает (чем больше  $u_2$ ), тем большую зарплату ему платит работодатель (тем меньше  $u_1$ ). Этот случай также кажется иррациональным, однако он может иметь место, когда работодатель надеется, что если он будет больше платить работнику, то работник будет лучше работать.

Таким образом, параметры  $k_{11}$  и  $k_{22}$  описывают (характеризуют) стратегию воздействия одного субъекта на другого, когда субъекты пытаются разрешить собственный конфликт (обратную связь).

При  $k_{21} > 0$  чем меньшую зарплату получает работник (чем больше  $u_1$ ), тем сильнее работодатель повышает его зарплату (уменьшает рассогласование  $u_1$ ). Т. е. работодатель идет навстречу работнику, независимо от того, как работник работает.

При  $k_{12} > 0$  чем хуже работник работает (чем больше  $u_2$ ) тем быстрее он повышает качество своей работы (уменьшает рассогласование  $u_2$ ). Т. е. работник идет навстречу работодателю, независимо от того, какую зарплату тот ему платит.

При  $k_{21} < 0$  работодатель снижает зарплату работнику, например, считая, что тот слишком много получает, или показывая работнику, что работодатель в нем не заинтересован.

При  $k_{12} < 0$  работник снижает качество работы, например, считая, что он и так слишком много делает, или показывая работодателю, что он не держится за эту работу.

Таким образом, можно выделить несколько задач моделирования конфликтных ситуаций:

- а) найти стратегии поведения данного субъекта (т. е. значения его параметров  $k_{ij}$ ), при которых он может разрешить свой конфликт, если стратегии поведения (т. е. параметры  $k_{ij}$ ) остальных участников конфликтной ситуации заданы, и не изменяются;
- б) найти такие стратегии поведения (т. е. параметры  $k_{ij}$ ) всех участников конфликтной ситуации, при которых все имеющиеся конфликты могут быть разрешены;
- в) найти такие стратегии поведения (т. е. параметры  $k_{ij}$ ) всех участников конфликтной ситуации, при которых можно разрешить определенные конфликты, и при этом усилить остальные (например, разрешить свой конфликт, но при этом создать конфликт оппоненту).

Проведем анализ полученной модели. С точки зрения поставленных задач моделирования конфликтных ситуаций представляет интерес выяснить, при каких параметрах  $k_{ij}$  (т. е. при каких стратегиях конфликтующих сторон) система придет в стационарное бесконфликтное состояние  $u_1 = 0$  и  $u_2 = 0$  (т. е. все возникшие в системе конфликты будут разрешены), а при каких существующие в системе конфликты не удастся разрешить, и как они в этом случае будут развиваться.

Для этого рассмотрим решение системы уравнений (7), (8).

Легко показать, что при  $k_{12} = k_{21} = 0$ , когда субъекты при принятии решений не учитывают интересы оппонентов, система уравнений (7), (8) имеет решения:

$$u_1^{(n)} = u_1^{(0)} \sum_{m=0}^{n-1} \frac{1}{(2m)!} (n)_{2m} k_{11}^m k_{22}^m - k_{22} u_2^{(0)} \sum_{m=0}^{n-1} \frac{1}{(2m+1)!} (n)_{2m+1} k_{11}^m k_{22}^m$$

$$u_2^{(n)} = u_2^{(0)} \sum_{m=0}^{n-1} \frac{1}{(2m)!} (n)_{2m} k_{11}^m k_{22}^m - k_{11} u_1^{(0)} \sum_{m=0}^{n-1} \frac{1}{(2m+1)!} (n)_{2m+1} k_{11}^m k_{22}^m$$

где  $(n)_{2m} = n(n-1)(n-2) \dots (n-2m+1)$ ,  $(n)_{2m+1} = n(n-1)(n-2) \dots (n-2m)$ ,  $n, m \in N$ .

В общем случае решение системы уравнений (7), (8) будем искать в виде

$$u_1^{(n)} = a\lambda^n; u_2^{(n)} = b\lambda^n \quad (9)$$

Подставляя (9) в уравнения (7), (8), получим систему алгебраических уравнений

$$(\lambda - 1 + k_{21})a + k_{22}b = 0 \quad (10)$$

$$k_{11}a + (\lambda - 1 + k_{12})b = 0 \quad (11)$$

из которой следует характеристическое уравнение

$$(\lambda - 1)^2 + (k_{12} + k_{21})(\lambda - 1) - k_{11}k_{22} + k_{12}k_{21} = 0 \quad (12)$$

имеющее решения

$$\lambda_{1,2} = 1 - \frac{1}{2}(k_{12} + k_{21}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(k_{12} - k_{21})^2 + 4k_{11}k_{22}} \quad (13)$$

Рассмотрим сначала случай, когда  $4k_{11}k_{22} \geq -(k_{12} - k_{21})^2$  и параметры  $\lambda$  – действительные.

Учитывая, что по определению рассогласования (1) могут принимать только неотрицательные значения, приходим к выводу, что при  $\lambda < 1$  стационарное (бесконфликтное) состояние  $u_1 = 0$  и  $u_2 = 0$  будет асимптотически устойчивым. Т. е. пока  $u_1 > 0$  и  $u_2 > 0$  рассогласования  $u_1$  и  $u_2$  будут монотонно убывать. Таким образом, в этом случае условие устойчивости имеет вид  $\lambda_1 < 1$  и  $\lambda_2 < 1$  или, учитывая (13),

$$-(k_{12} + k_{21}) \pm \sqrt{(k_{12} - k_{21})^2 + 4k_{11}k_{22}} < 0 \quad (14)$$

Из условия (14) получим

$$\sqrt{(k_{12} - k_{21})^2 + 4k_{11}k_{22}} < (k_{12} + k_{21}) \quad (15)$$

$$-\sqrt{(k_{12} - k_{21})^2 + 4k_{11}k_{22}} < (k_{12} + k_{21}) \quad (16)$$

Если  $k_{12} + k_{21} > 0$ , то условие (16) выполняется автоматически, а из условия (15) следует, что

$$k_{11}k_{22} < k_{12}k_{21} \quad (17)$$

Если  $k_{12} + k_{21} < 0$ , то условие устойчивости (15) не выполняется.

В силу нелинейности уравнений (7) и (8) может оказаться, что одно из рассогласований достигло нуля в то время, как другое отличается от нуля. В этом случае будет иметь место только одно из уравнения (7) и (8). Пусть для определенности  $u_2 = 0$ . В этом случае уравнение (7) принимает вид

$$u_1^{(n)} = [1 - k_{21}]u_1^{(n-1)} \quad (18)$$

И одновременно должно выполняться условие

$$k_{11} > 0 \quad (19)$$

следующее из уравнения (8) и обеспечивающее сохранение  $u_2 = 0$ .

Для того, чтобы и в этом случае рассогласование  $u_1$  монотонно убывало, из (18) следует условие

$$k_{21} > 0 \quad (20)$$

Аналогичным образом, получим условия

$$k_{22} > 0; k_{12} > 0 \quad (21)$$

Таким образом, для действительных значений параметров  $\lambda$  достаточными условиями устойчивости бесконфликтного состояния системы ( $u_1 = 0, u_2 = 0$ ) является  $\lambda < 1$ , т. е. условия

$$\begin{cases} k_{12} + k_{21} > 0 \\ k_{11}k_{22} < k_{12}k_{21} \end{cases} \quad (22)$$

Система может приходить в бесконфликтное состояние даже, когда  $\lambda \geq 1$ . Рассмотрим эту ситуацию более подробно. Пусть

$$\begin{cases} u_1^{(n)} = a_1 \lambda_1^{(n)} + a_2 \lambda_2^{(n)} \\ u_2^{(n)} = b_1 \lambda_1^{(n)} + b_2 \lambda_2^{(n)} \end{cases} \quad (23)$$

Система уравнений для начальных рассогласований  $u_1^{(0)}, u_2^{(0)}$  и рассогласований на первом шаге  $u_1^{(1)}, u_2^{(1)}$  итерационного процесса имеет следующий вид:

$$\begin{cases} a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2 = u_1^{(0)} - k_{21} u_1^{(0)} - k_{22} u_2^{(0)} \\ b_1 \lambda_1 + b_2 \lambda_2 = u_2^{(0)} - k_{11} u_1^{(0)} - k_{12} u_2^{(0)} \\ a_1 + a_2 = u_1^{(0)} \\ b_1 + b_2 = u_2^{(0)} \end{cases} \quad (24)$$

Для определенности будем считать, что  $\lambda_1 > 1, \lambda_2 < 1$ . Тогда в (23) можно пренебречь слагаемыми  $a_2 \lambda_2^{(n)}, b_2 \lambda_2^{(n)}$  при  $n \rightarrow \infty$ . Из (24) получим

$$\begin{cases} a_1 = \frac{u_1^{(0)}(1-k_{21})-k_{22}u_2^{(0)}-u_1^{(0)}\lambda_2}{\lambda_1-\lambda_2} \\ b_1 = \frac{u_2^{(0)}(1-k_{12})-k_{11}u_1^{(0)}-u_2^{(0)}\lambda_2}{\lambda_1-\lambda_2} \end{cases} \quad (25)$$

Для того чтобы рассогласования были затухающими и равными 0, необходимо, чтобы  $a_1 < 0, b_1 < 0$  в силу неотрицательности рассогласований  $u_1, u_2$  и уравнений (7), (8). Тогда из (25) получим условия, при которых  $a_1, b_1$  будут меньше нуля

$$\begin{cases} u_1^{(0)}(1-k_{21}-\lambda_2)-k_{22}u_2^{(0)} < 0 \\ u_2^{(0)}(1-k_{12}-\lambda_2)-k_{11}u_1^{(0)} < 0 \\ \lambda_1-\lambda_2 > 0 \end{cases} \quad (26)$$

Таким образом, критерием устойчивости бесконфликтного состояния системы для действительных значений параметров  $\lambda$  являются условия

$$\begin{cases} 1-k_{21}-\lambda_2 < k_{22} \frac{u_2^{(0)}}{u_1^{(0)}} \\ 1-k_{12}-\lambda_2 < k_{11} \frac{u_1^{(0)}}{u_2^{(0)}} \end{cases} \quad (27)$$

В случае, когда у одного из участников конфликта конфликт затух ( $u = 0$ ), а для второго участника конфликта критерий (27) не выполняется, но выполняются условия (19)–(21), то его рассогласование также будет стремиться к нулю, и его конфликт затухнет.

Если  $4k_{11}k_{22} < -(k_{12}-k_{21})^2$ , то параметр  $\lambda$  (12) является комплексным. В этом случае можно записать

$$\lambda = |\lambda| \exp(\pm i\theta)$$

$$\text{где } |\lambda| = \sqrt{(1-k_{21})(1-k_{12})-k_{11}k_{22}}, \text{tg}\theta = \frac{\sqrt{-(k_{12}-k_{21})^2-4k_{11}k_{22}}}{2-k_{12}-k_{21}}.$$

В этом случае функция  $\lambda^n$  будет знакопеременной, и в силу неотрицательности рассогласований (1) стационарное бесконфликтное состояние будет устойчивым. Однако, если одно из рассогласований достигло нуля, то достаточными условиями бесконфликтного состояния системы являются условия (19)–(21).

Конфликтную ситуацию можно изобразить точкой в фазовом пространстве  $(u_1, u_2)$ , а динамику развития конфликта – фазовой траекторией.

Некоторые результаты расчетов конфликтных ситуаций приведены на рисунках 3–11.

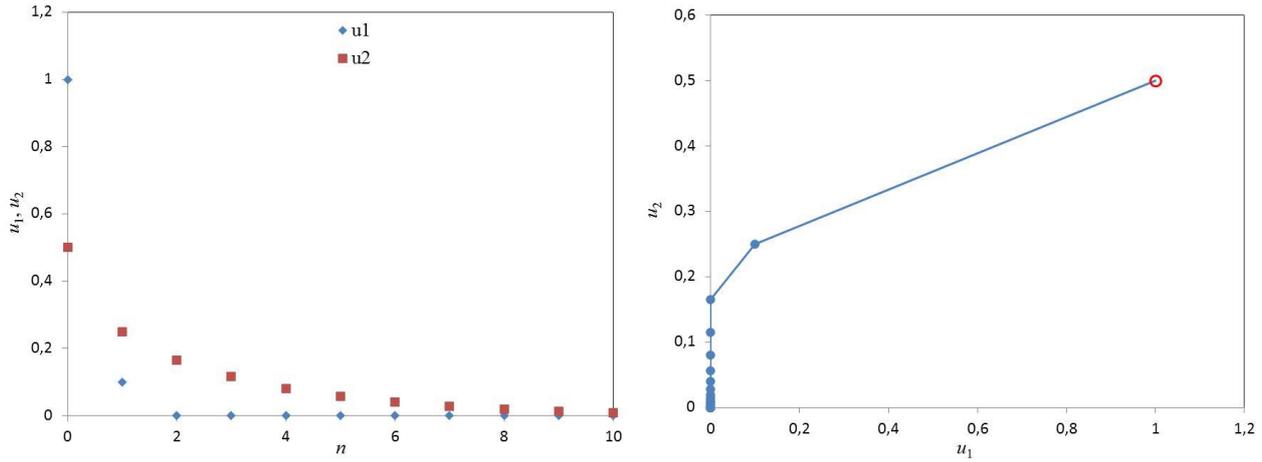


Рисунок 3 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = 0.1$ ;  $k_{22} = 0.2$ ;  $k_{12} = 0.3$ ; и  $k_{21} = 0.8$  ( $\lambda_1 = 0.737$ ;  $\lambda_2 = 0.163$ )

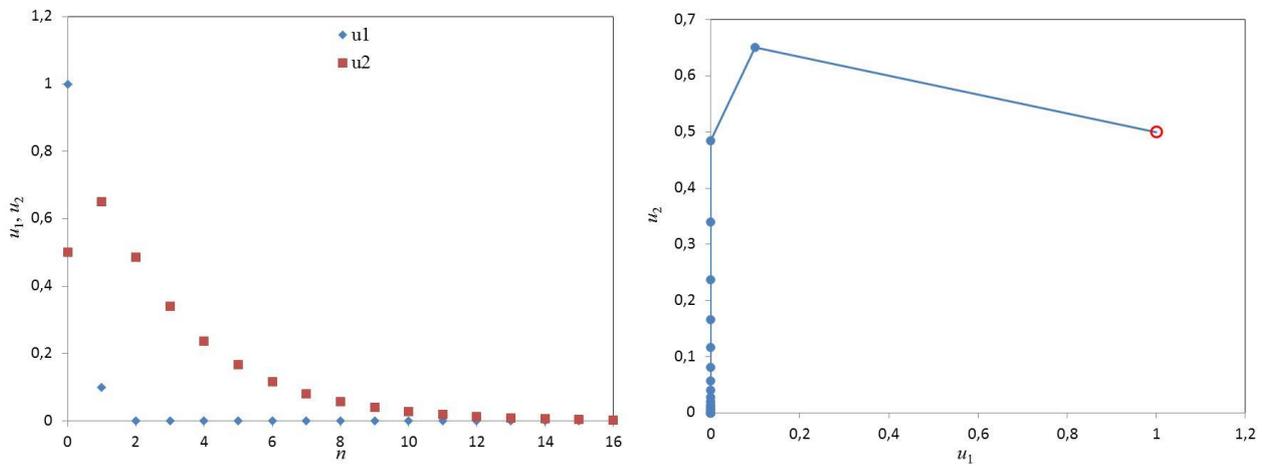


Рисунок 4 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = -0.3$ ;  $k_{22} = 0.2$ ;  $k_{12} = 0.3$ ; и  $k_{21} = 0.8$  ( $\lambda_1 = 0.5$ ;  $\lambda_2 = 0.4$ )

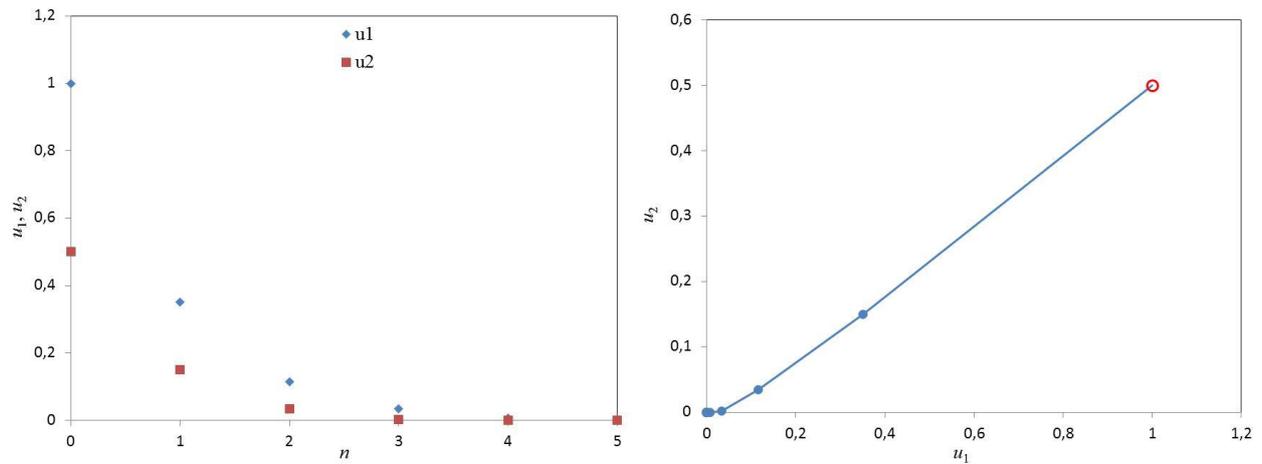


Рисунок 5 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = 0.2$ ;  $k_{22} = -0.3$ ;  $k_{12} = 0.3$ ; и  $k_{21} = 0.8$  ( $\lambda_1 = 0.5$ ;  $\lambda_2 = 0.4$ )

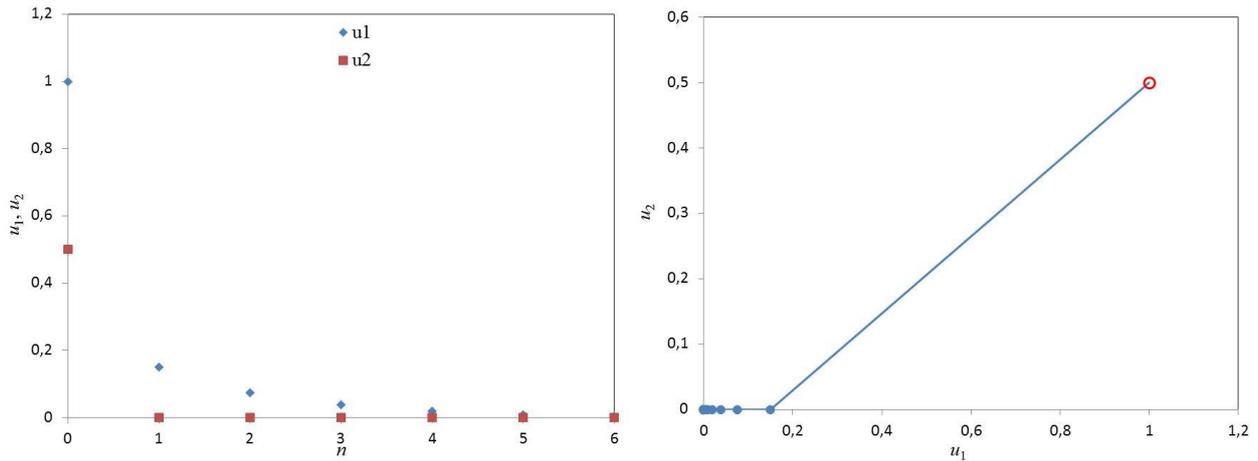


Рисунок 6 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = 0.3$ ;  $k_{22} = 0.7$ ;  $k_{12} = 0.4$ ; и  $k_{21} = 0.5$  ( $\lambda_1 = 1.01$ ;  $\lambda_2 = 0.089$ )

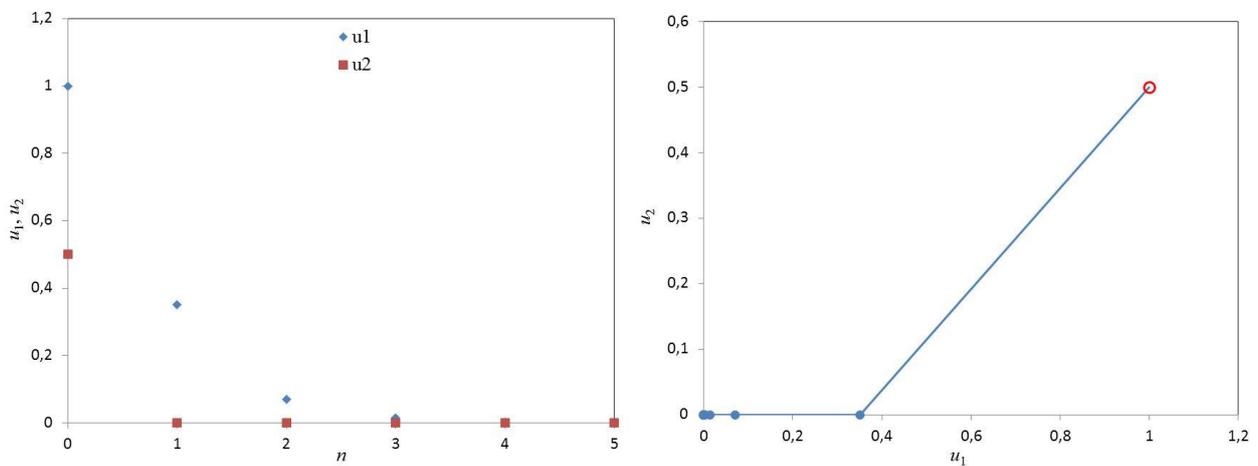


Рисунок 7 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = 0.4$ ;  $k_{22} = -0.3$ ;  $k_{12} = 0.3$ ; и  $k_{21} = 0.8$  ( $|\lambda| = 0.51$ ;  $\theta = 8.27$ )

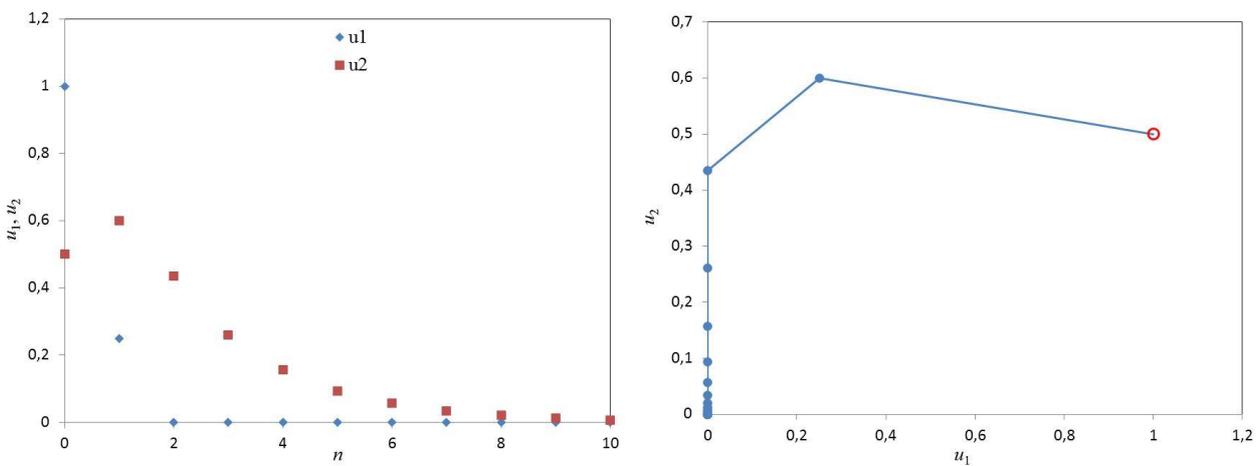


Рисунок 8 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = -0.3$ ;  $k_{22} = 0.5$ ;  $k_{12} = 0.4$ ; и  $k_{21} = 0.5$  ( $|\lambda| = 0.671$ ;  $\theta = 10.18$ )

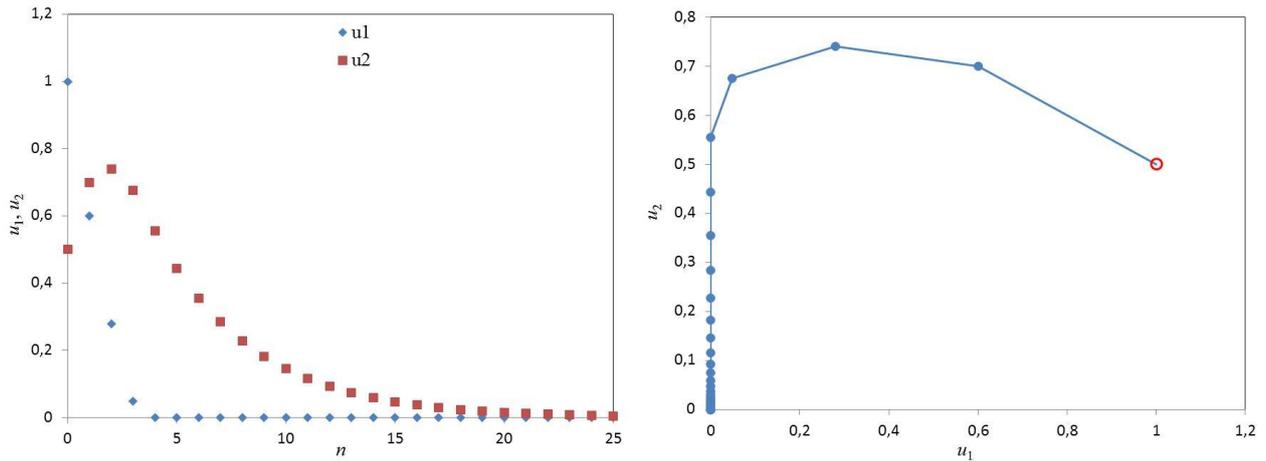


Рисунок 9 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = -0.3$ ;  $k_{22} = 0.2$ ;  $k_{12} = 0.2$ ; и  $k_{21} = 0.3$  ( $|\lambda| = 0.787$ ;  $\theta = 19.53$ )

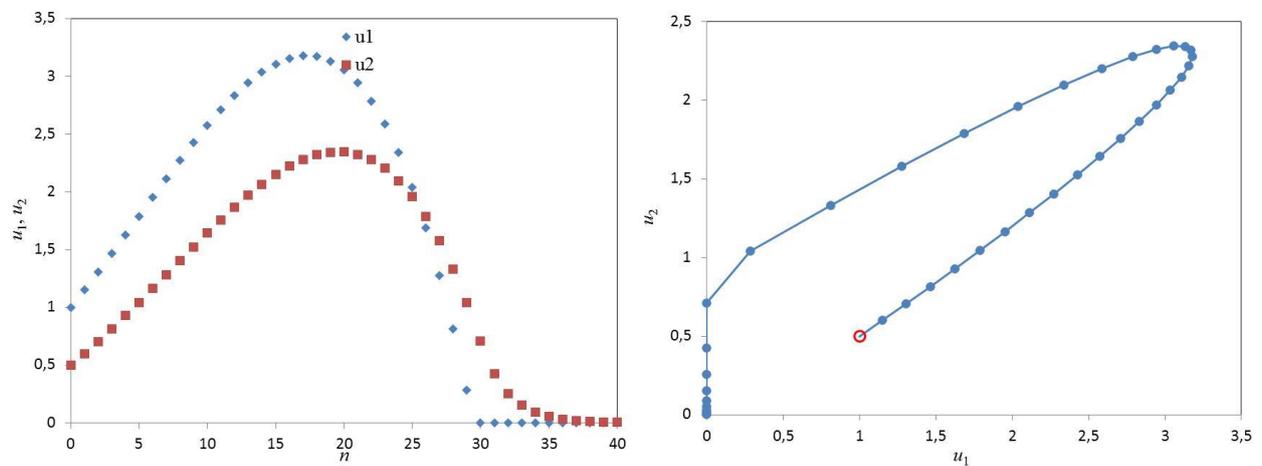


Рисунок 10 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = -0.3$ ;  $k_{22} = 0.7$ ;  $k_{12} = 0.4$ ; и  $k_{21} = -0.5$  ( $|\lambda| = 1.05$ ;  $\theta = 11.45$ )

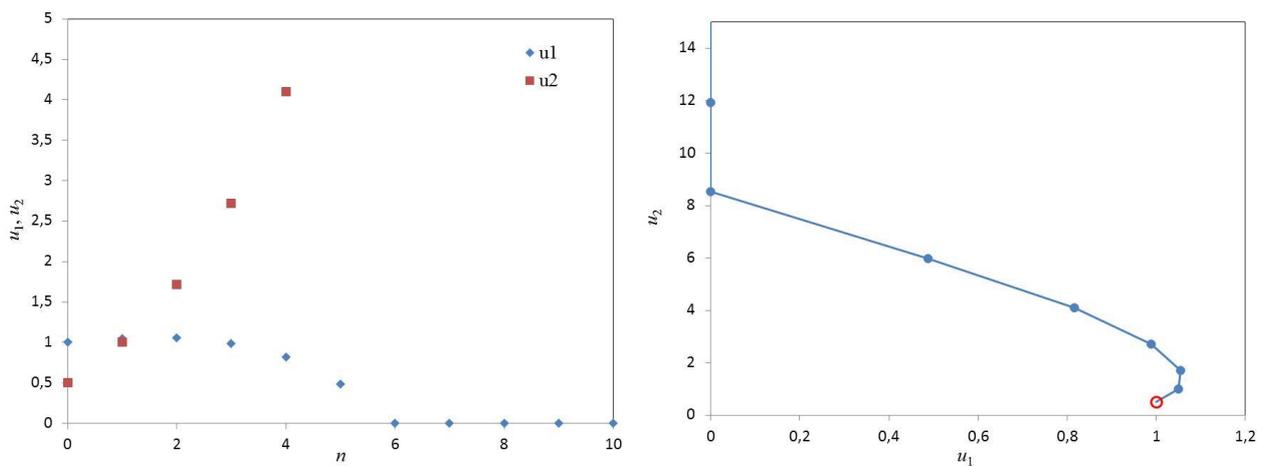


Рисунок 11 – Зависимости  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  (слева) и фазовая траектория конфликта работник-работодатель (справа) для  $u_1^{(0)} = 1$ ;  $u_2^{(0)} = 0.5$ ;  $k_{11} = -0.3$ ;  $k_{22} = 0.1$ ;  $k_{12} = -0.4$ ; и  $k_{21} = -0.1$  ( $|\lambda| = 1.25$ ;  $\theta = 34.66$ )

На рисунках 3–6 показано монотонное уменьшение рассогласований обоих субъектов и, следовательно, затухание (убывание) конфликтов, т. е. компромиссное завершение конфликта: и сотрудник, и начальник приходят к компромиссу.

Рисунки 7–10 иллюстрируют затухание конфликтов обоих субъектов при комплексном значении параметра  $\lambda$ .

На рис. 11 показано уменьшение рассогласования одного из субъектов и увеличение рассогласования второго, т. е. при убывании конфликта одного из участников происходит возрастание конфликта другого участника – победное завершение конфликта одним из участников. Это происходит потому, что при данном комплексном параметре  $\lambda$  одно из рассогласований достигло нуля, а достаточные условия устойчивости бесконфликтного состояния системы (19) – (21) не выполняются.

### Заключение и выводы

В данной статье сформулирована математическая теория конфликта. Даны определения, которые позволяют описать процессы в конфликтологии математическим языком. Получены уравнения, описывающие параметры конфликта для двух субъектов. Построена модель конфликтной ситуации между двумя субъектами. Особенностью модели является то, что для разрешения собственного конфликта субъекты не могут воздействовать (влиять) непосредственно на параметры  $(W_i, H_i)$  другого субъекта. Они могут изменять только собственные параметры  $(W, H)$  и таким образом влиять на другого субъекта косвенно (опосредованно): при изменении собственных параметров  $H_i$  субъект может вызвать конфликт у оппонента, тем самым вынуждая его поменять свои параметры в нужную для данного субъекта сторону.

В этом заключается принципиальное отличие управления конфликтной ситуацией от управления техническими объектами. Если при управлении техническими объектами обычно имеется возможность непосредственно влиять на причину, вызывающую рассогласование  $u$ , то в рассматриваемой конфликтной ситуации такая возможность отсутствует.

Рассмотрен пример конфликтной ситуации между двумя субъектами работник – работодатель, и построена динамическая модель развития данной конфликтной ситуации. Рассмотренная модель позволяет воспроизвести все возможные варианты развития конфликтных ситуаций в зависимости от психологического состояния ее участников.

С практической точки зрения, анализируя различные конфликтные ситуации с участием разных оппонентов, для каждого субъекта можно определить диапазон параметров  $k_{ij}$ , характеризующих его психологию (стратегию поведения), т. е. построить количественный психологический портрет субъекта. Считая, что психология субъекта не изменяется в конфликтах с другими оппонентами, полученные таким образом коэффициенты  $k_{ij}$  можно использовать для анализа других конфликтных ситуаций с участием данного субъекта.

### Литература

1. Антипова, Е. С. Математическое моделирование конкуренции двух идеологий с внутренними конфликтами. – Текст : непосредственный // Вестник СибГУТИ. – 2022. – №. 4 (60). – С. 27–42.
2. Анцупов, А. Я. Структура конфликта / А. Я. Анцупов, А. И. Шипилов. – Текст : непосредственный // Конфликтология. – М. : ЮНИТИ, 1999. – 551с.
3. Анцупов А. Я. Словарь конфликтолога. 2-е изд. / А. Я. Анцупов, А. И. Шипилов. – СПб. : Изд-во Питер. – 2006. – Текст : непосредственный.
4. Васильев, Н. Н. Тренинг преодоления конфликтов / Н. Н. Васильев. – СПб. : Речь, 2007 – 174 с. – Текст : непосредственный.
5. Ивашкин, Ю. А. Структурно-параметрическое моделирование и идентификация аномальных ситуаций в сложных технологических системах / Ю. А. Ивашкин. – Текст : непосредственный // Проблемы управления. – 2004. – № 3. – С. 39–42.

6. Крюков, Н. А. Модельные представления в конфликтологии / Н. А. Крюков, Т. В. Крюкова. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского университета. Философия и конфликтология. – 2013. – № 4. – С. 67–77.
7. Крючева, Я. В. Иерархическая процедура Т. Саати в конфликтологии / Я. В. Крючева, М. Е. Турбина. – Текст : непосредственный // Динамика социальной трансформации российского общества: региональные аспекты. – 2017. – С. 169–175.
8. Левин, В. И. Логико-алгебраические методы в теории конфликта систем / В. И. Левин. – Текст : непосредственный // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. ВГ Белинского. – 2011. – №. 26. – С. 596–608.
9. Левин, В. И. Логико-алгебраический подход к моделированию конфликтов / В. И. Левин // Системы управления, связи и безопасности. – 2015. – № 4. – С. 69–87.
10. Лукин, Ю. Ф. Конфликтология: управление конфликтом / Ю. Ф. Лукин. – М. : Академический проект, 2008. – 101 с. – Текст : непосредственный.
11. Липсет, М. Политический человек : социальные основания политики / М. Липсет ; пер. с англ. Е. Г. Генделя, В. П. Гайдамака, А. В. Матешук. – Москва : Мысль, 2016. – 612 с. – Текст : непосредственный.
12. Майерс, Д. Социальная психология / Д. Майерс ; пер. с англ. – СПб. : Питер, 1997. – 688 с. – ISBN 5-88782-141-8. – Текст : непосредственный.
13. Пьянков, О. В. Математическое моделирование информационно-аналитической системы на основе теории конфликтов / О. В. Пьянков. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т. 10. – № 1. – С. 75–79.
14. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. – М. : Радио и связь, 1989. – 316 с. – Текст : непосредственный.
15. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с. – Текст : непосредственный.
16. Светлов, В. А. Введение в конфликтологию : учебное пособие / В. А. Светлов. – М. : Флинта, 2018. – 520 с. – Текст : непосредственный.
17. Социальная психология : учебное пособие для вузов / под ред. А. Н. Сухова, А. А. Деркача). – Серия : Высшее образование. – 2001. – 600 с. – ISBN 5-7695-0627-X. – Текст : непосредственный.
18. Aquino G., Guo W., Wilson A. Nonlinear dynamic models of conflict via multiplexed interaction networks // arXiv preprint arXiv:1909.12457. – 2019.
19. Basile C., Cappadonia A., Lioy A. Algebraic models to detect and solve policy conflicts // Computer Network Security: Fourth International Conference on Mathematical Methods, Models, and Architectures for Computer Network Security, MMM-ACNS 2007 St. Petersburg, Russia, September 13–15, 2007 Proceedings 4. – Springer Berlin Heidelberg, 2007. – С. 242–247.
20. Chilachava T., Pochkhua G. Research of the dynamic system describing mathematical model of settlement of the conflict by means of economic cooperation // Computer Science & Telecommunications. – 2018. – Т. 55. – № 3.
21. Wieviorka M. Social conflict // Current Sociology. – 2013. – Т. 61. – № 5–6. – С. 696–713.
22. Deja R. et al. Conflict analysis, rough set methods and applications // Studies in Fuzzyness and Soft Computing. – 2000. – С. 491–520.
23. Egesdal M. et al. Statistical and stochastic modeling of gang rivalries in Los Angeles // SIAM Undergraduate Research Online. – 2010. – Т. 3. – С. 72–94.
24. Egorova A. A. Data Mining using the Theory Cooperative Games in C-core to form clusters // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Т. 1392. – №. 1. – С. 012033.
25. Gottman J., Swanson C., Murray J. The mathematics of marital conflict: Dynamic mathematical nonlinear modeling of newlywed marital interaction // Journal of Family Psychology. – 1999. – Т. 13. – №. 1. – С. 3.

26. Guo W. Common statistical patterns in urban terrorism // Royal Society open science. – 2019. – Т. 6. – № 9. – С. 190645.
27. Ismaili S., Fidanova S. Application of Intuitionistic Fuzzy Sets for Conflict Resolution Modeling and Agent Based Simulation // International Journal Bioautomation. – 2019. – Т. 23. – № 2. – С. 175.
28. Vinyamata E. Conflictology: A multidisciplinary vision // Journal of Conflictology. – 2010. – Т. 1. – № 1. – С. 1.
29. Liu J. et al. Cooperation or conflict in doctor-patient relationship? An analysis from the perspective of evolutionary game // IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 42898–42908.
30. Pawlak Z. Conflicts and negotiations // Rough Sets and Knowledge Technology: First International Conference, RSKT 2006, Chongqing, China, July 24–26, 2006. Proceedings 1. – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – С. 12–27.
31. Santonja F. J., Tarazona A. C., Villanueva R. J. A mathematical model of the pressure of an extreme ideology on a society // Computers & Mathematics with Applications. – 2008. – Т. 56. – № 3. – С. 836–846.
32. Skowron A., Ramanna S., Peters J. F. Conflict analysis and information systems: a rough set approach // Rough Sets and Knowledge Technology: First International Conference, RSKT 2006, Chongqing, China, July 24–26, 2006. Proceedings 1. – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – С. 233–240.
33. Tench S., Fry H., Gill P. Spatio-temporal patterns of IED usage by the Provisional Irish Republican Army // European Journal of Applied Mathematics. – 2016. – Т. 27. – № 3. – С. 377–402.
34. Turchin P. et al. War, space, and the evolution of Old World complex societies // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2013. – Т. 110. – № 41. – С. 16384–16389.
35. Wang Y., Bu F. Modeling radicalization of terrorism under the influence of multiple ideologies // AIMS Mathematics. – 2022. – Т. 7. – № 3. – С. 4833–4850.
36. Wei S. On the use of game theoretic models for water resources management : дис. – ВТУ Cottbus-Senftenberg, 2008.
37. Wierzbicki A. P. Negotiation and mediation in conflicts I: The role of mathematical approaches and methods // IFAC Proceedings Volumes. – 1983. – Т. 16. – № 17. – С. 163–177.
38. Zammit-Mangion A. et al. Point process modelling of the Afghan War Diary // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2012. – Т. 109. – № 31. – С. 12414–12419.

**ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
В ЗАДАЧАХ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПОСЕЛЕНИЙ БРОНЗОВОГО ВЕКА (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

**Батанина Наталья Сергеевна**

*заведующая отделом археологии*

*Учебно-научного центра изучения проблем природы и человека,*

*Челябинский государственный университет*

*Челябинск, Россия*

*E-mail: bata567@inbox.ru*

**Куприянова Елена Владиславовна**

*кандидат исторических наук,*

*директор Учебно-научного центра изучения проблем природы и человека,*

*Челябинский государственный университет*

*Челябинск, Россия*

*E-mail: dzdan@mail.ru*

**Муравьев Лев Анатольевич**

*кандидат технических наук,*

*заведующий лабораторией региональной геофизики,*

*Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича*

*Уральского отделения РАН,*

*Екатеринбург, Россия*

*E-mail: mlev@mail.ru*

*Исследование выполнено за счет*

*гранта Российского научного фонда*

*№ 23-11-20007, <https://rscf.ru/project/23-11-20007/>*

*Предмет исследования: вопросы комплексного анализа данных дистанционного зондирования археологических объектов, полученных с использованием нескольких различных по физическим принципам дистанционных методов.*

*Цель исследования: разработка процедур комплексного анализа данных об археологических объектах с применением средств современных информационных технологий и компьютерного моделирования на примере памятников бронзового века Южного Зауралья – укрепленного поселения Верхнеуральское и селища Нижнеуспенское.*

*Методы и объекты исследования: в качестве археологических объектов использованы поселения бронзового века в Южном Зауралье: укрепленное поселение Верхнеуральское и селище Нижнеуспенское. Данные об археологических объектах получены с применением методов дешифрирования аэрофотоснимков и космоснимков, локальной аэрофотосъемки с помощью беспилотных летательных аппаратов, съемки фотопланов археологических памятников на основе глобальной навигационной спутниковой системы и средств площадного электромагнитного профилирования индукционной системой АЭМП-14.*

*Основные результаты исследования: комплексное применение различных методов дистанционного зондирования позволило выявить на археологических объектах несколько разновременных строительных горизонтов и уточнить форму и контуры поселений.*

*Ключевые слова: Южное Зауралье, археология, бронзовый век, поселение, неразрушающие методы, компьютерное моделирование.*

**ISSUES IN THE USE OF REMOTE SENSING DATA IN THE TASKS  
OF A COMPREHENSIVE STUDY OF BRONZE AGE SETTLEMENTS  
(ON THE EXAMPLE OF THE CHELYABINSK REGION)**

**Natalya S. Batanina**

*Head of Department of Archeology  
Scientific and Educational Center of Study of History and Human,  
Chelyabinsk State University,  
Chelyabinsk, Russia  
E-mail: bata567@inboxl.ru*

**Elena V. Kupriyanova**

*Candidate of Historical Sciences,  
Director Scientific and Educational Center of Study of History and Human,  
Chelyabinsk State University Chelyabinsk, Russia  
E-mail: dzdan@mail.ru*

**Lev A. Muravyev**

*Candidate of Technical Sciences,  
Head of Laboratory of Regional Geophysics,  
Institute of Geophysics,  
Ural Branch of Russian Academy of Sciences  
Ekaterinburg, Russia  
E-mail: mlev@mail.ru*

*The research was carried out at the expense of a grant  
from the Russian Science Foundation № 23-11-20007,  
<https://rscf.ru/project/23-11-20007/>*

*Subject of research: is the issues of complex analysis of remote sensing data of archaeological objects obtained using several remote methods that differ in physical principles.*

*Purpose of research : to develop procedures for the comprehensive analysis of data on archaeological sites using modern information technologies and computer modeling, as archaeological objects used Bronze Age settlements in the Southern Trans-Urals: Verkhneurskoye fortified settlement and Nizhneurskoye settlement.*

*Methods and objects of research : data on archaeological sites were obtained using methods of interpretation aerial photographs and satellite images, local aerial photography using unmanned aerial vehicles, photographing photographic plans of archaeological sites based on the global navigation satellite system and means of areal electromagnetic profiling by the AEMP-14 induction system.*

*Main results of research : the joint use of various remote sensing methods made it possible to identify several construction horizons of different times at archaeological sites and to clarify the shape and contours of settlements.*

*Keywords: Southern Trans-Urals, archaeology, Bronze Age, settlement, non-destructive methods, computer modeling.*

---

**Введение**

В современной археологии выявление и изучение новых памятников все дальше отходит от методов классической разведки и выполняется с помощью различных приборов и автоматизированных систем. Активно используются методы дешифрирования аэрофото- и космо-

снимков, получение цифровых моделей рельефа с помощью LIDAR или съемки с квадрокоптеров, различные методы геофизики, методы компьютерного моделирования.

Целью исследования является сравнение результатов нескольких методов для изучения архитектуры открытых в 2023 году новых археологических объектов – укрепленных поселений бронзового века в Челябинской области. Система укрепленных поселений – так называемая «Страна городов» – относится к синташтинской археологической культуре (XXI–XVIII вв. до н. э.) и располагается на юге Челябинской области и частично в Северном Казахстане. Каждое поселение, обладающее мощной фортификацией, представляет собой уникальный архитектурный ансамбль. До настоящего времени было известно 23 подобных объекта [2]. Большинство из них были открыты и описаны в конце 1980-х – середине 1990-х гг., в том числе самое известное широкой публике поселение Аркаим.

В 2023 г. было открыто два новых укрепленных поселения, расположенных в северной периферии территории обитания синташтинского населения в бронзовом веке. Открытие каждого нового укрепленного поселения само по себе является большим событием, а открытые новые памятники к тому же отчасти заполняли собой лагуну, «белое пятно» на карте «Страны городов» между двумя самыми северными поселениями (Степное и Черноречье) и остальными объектами (рис. 1).

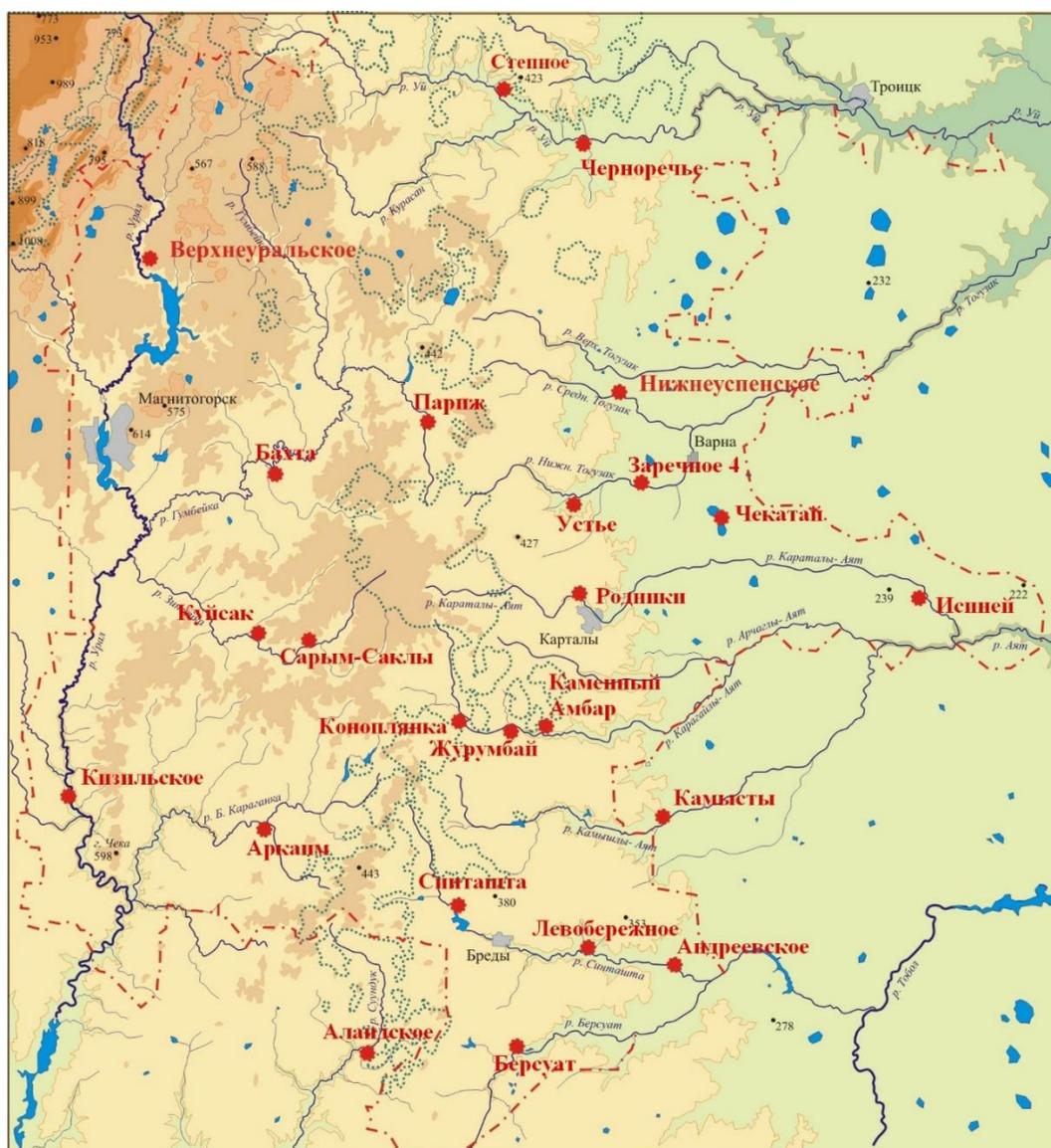


Рисунок 1 – Карта укрепленных поселений бронзового века в Южном Зауралье

Укрепленное поселение Верхнеуральское было обнаружено на космоснимке Google сотрудником Музея-заповедника «Аркаим» А.Н. Страховым. Селище Нижнеуспенское, известное с 1960-х годов, было переобследовано по аэрофотоснимкам Н.С. Батаниной и классифицировано как укрепленное поселение. Авторским коллективом статьи при участии студентов и сотрудников Челябинского государственного университета и Музея-заповедника «Аркаим» были проведены полевые исследования новых памятников. Изучение архитектуры поселений проводилось пятью методами: дешифрирование аэрофотоснимков, космоснимков, площадное электромагнитное профилирование индукционной системой АЭМП-14, съемка с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS), построение ортофотопланов и цифровой модели рельефа по данным съемки с беспилотного летательного аппарата. Полученные разными методами данные совмещались с помощью компьютерных программ с целью получения целостного образа памятников.

## **Результаты и обсуждение**

### ***Примененные в исследовании методы***

Метод дешифрирования аэрофотоснимков применяется для поиска и изучения археологических памятников археологами Челябинского государственного университета с 1980-х гг. Его принципы неоднократно описаны в научной литературе [например: 1; 2, с. 24-32]. Метод основан на изучении черно-белых аэрофотоснимков широких территорий советского периода, делавшихся для нужд геологии, геодезии, сельского и лесного хозяйства. На снимках объекты антропогенного происхождения отличаются от природных более четкой структурой и планировкой. Рельеф археологических памятников выделяется более светлым (возвышения – валы, стены, насыпи курганов) и более темным (углубления – жилищные впадины, рвы, могильные ямы) фототонном. Использование стереопар позволяет увидеть объемное изображение объекта. Снимки, сделанные в разные сезоны года (изменение растительного покрова) и в разное время суток (угол падения света), позволяют выделять дополнительные детали. Важными являются возможность определения последовательности культурных наслоений на поселенческих объектах и ретроспективный мониторинг памятников, основанный на изучении снимков одного объекта разных лет с последующим мониторингом на местности [2, с. 25].

Метод дешифрирования космоснимков стал применяться относительно недавно, с появлением данных спутниковой съемки. Снимки из открытых баз данных на сегодняшний день являются неотъемлемой частью археологических отчетов. Принципы выделения памятников на изображениях сходны с аэрометодом: темным и светлым фототонном выделяются углубления и возвышения в конструкциях памятников. Снимки разных лет и сопоставление их со старыми аэрофото позволяют проводить мониторинг состояния памятников и фиксировать факторы их разрушения.

Съемка планов памятников с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) производилась при помощи приемника GNSS, закрепленного на рюкзаке оператора, перемещающегося по территории объекта по сетке профилей через 1 метр в процессе геофизической съемки. Съемка велась в режиме Real Time Kinematics с использованием поправок от базового приемника, установленного в непосредственной близости. При этом кроме плановой привязки точек геофизических наблюдений приемник фиксирует свою высотную отметку, что дает возможность получения данных о рельефе поверхности. Затем производится анализ данных, которые могут быть преобразованы в облако точек или изображение, где цветовой шкалой выделяются углубления и возвышения, отражающие архитектурные детали объекта. Получаемые данные сходны с теми, которые фиксируются при тахеометрической съемке топографического плана.

Площадное электромагнитное профилирование индукционной системой АЭМП-14 является одним из методов геофизики, применяемых в археологии. Метод зарекомендовал себя как наиболее быстрый и эффективный, и относительно недорогой. Результаты, полученные ранее при изучении других памятников археологии, позволяют получить данные не только о

видимых на поверхности архитектурных деталях, но и о скрытых объектах, не фиксируемых в рельефе визуально.

Прибор разработан и изготавливается в Институте нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения РАН [3]. В отличие от магнитометрии, прибор позволяет получать информацию о распределении электромагнитных свойств грунта на нескольких частотах, соответствующих различным глубинам проникновения сигнала. Кроме того, прибор фиксирует две составляющих сигнала, одна отвечает именно магнитным объектам, а другая – проводящим. Можно анализировать эти сигналы отдельно, в сумме и в соотношении между собой. Реальная глубинность исследований ограничена затуханием магнитного поля дипольного источника в комплексе с чувствительностью приемников аппаратуры. Для аппаратуры АЭМП-14 глубина исследования не превышает 10 м при идеальных электрических свойствах проводящих пород. Измерения проводились во время движения оператора с измерительным прибором, приблизительно раз в 1 секунду (соответствует шагу около 0,5 метра) последовательно на всех 14 частотах. Обработка данных осуществлялась с помощью программ iSystem 3.3 и iiSystem 4.04.

Локальная аэрофотосъемка с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) получила в последнее время широкое распространение в исследовании территории. Относительная дешевизна приборов, детальность получаемой информации и богатство выбора программных продуктов, обрабатывающих полученные данные, позволяют решать широкий круг задач. Для исследования рассматриваемых памятников был использован квадрокоптер DJI Mini 2. На основе полученных данных составлялись ортофотоплан и цифровая модель рельефа, используемые для уточнения данных о современном состоянии площадки памятника и составления ситуационного плана. Полученные аэрофотоснимки обрабатывались при помощи программных средств Agisoft metashape. При этом метод, который предполагался к использованию как вспомогательный, дал в некоторых случаях результаты, превосходящие другие методы, и позволил оперативно скорректировать результаты работы. На поселении Верхнеуральское благодаря применению цифровой модели рельефа, сделанной для ситуационного плана и охватывающего большую площадь, выявлены более ранний горизонт строительства поселения и овальная структура, не замеченная на космоснимках. Заметим, что существует ряд методических решений, применение которых может повысить эффективность использования БПЛА.

### ***Результаты исследований***

#### ***Укрепленное поселение Верхнеуральское (рис. 2)***

Памятник был обнаружен при просмотре космоснимков из открытого источника Google Earth. Объект расположен на левом берегу р. Урал в 4,7 км на ССЗ от пос. Спасский Верхнеуральского района Челябинской области. Натурные обследования подтвердили наличие поселения. С целью определения границ памятника было забито 6 шурфов за пределами читаемых на поверхности и космоснимках прямоугольных оборонительных сооружений, из которых 3 дали археологический материал – керамику бронзового века, кости, кремневые сколы. Поселение относительно хорошей сохранности, на поверхности читаются некоторые детали архитектуры, такие как развалы обводных и промежуточных стен, ряды жилищных впадин и единичные впадины, возможно, фрагменты рва. Комплекс использованных методов позволил выделить на площадке минимум 3 строительных горизонта, каждый из которых читался наилучшим образом на данных разных источников.

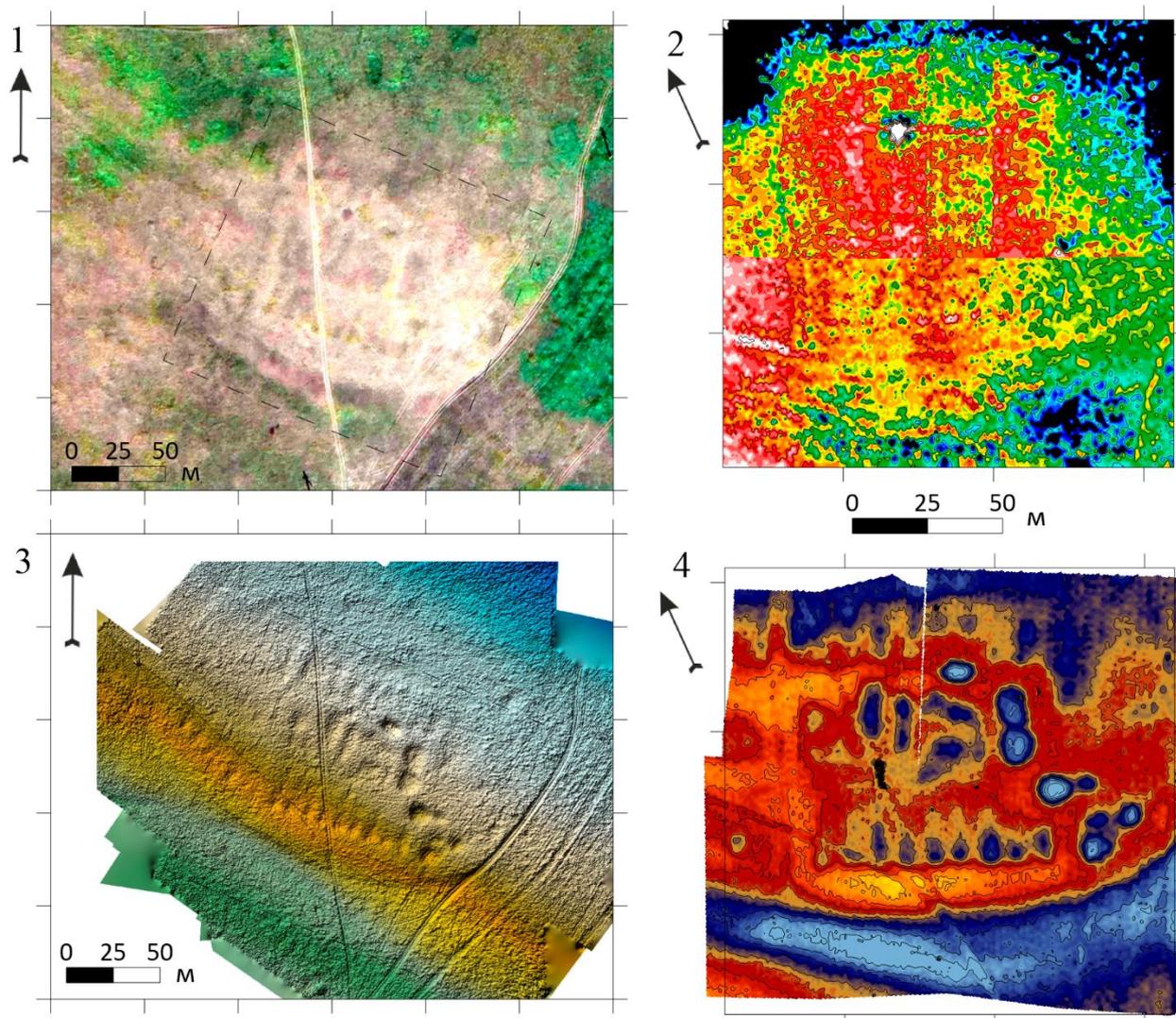


Рисунок 2 – Укрепленное поселение Верхнеуральское: 1 – фрагмент спутникового снимка, (Источник: Google Earth, дата съемки 15.08.2021); 2 – карта кажущегося электрического сопротивления; 3 – цифровая модель рельефа, сделанная на основании съемки с квадрокоптера; 4 – цифровая карта рельефа, сделанная на основании GNSS съемки

#### *Результаты дешифрирования космоснимка (источник Google Earth) (рис.2.1)*

Данные космической съемки позволили выявить и изучить второй горизонт строительства, который первоначально принимался за весь памятник – укрепленное поселение подпрямоугольной формы, ориентированное по линии северо-запад – юго-восток. Читаемые на снимке размеры поселения составляют около 110×140 м. На снимке четко видны северо-западная, северо-восточная и юго-западная внешние оборонительные стены и рвы за их пределами. Юго-восточная граница памятника выглядит размыто. Развалы стен поселения имеют сложную структуру. С юго-запада фиксируется две стены, разделенные рвом, по которому впоследствии прошел естественный лог. Наружная стена ориентирована северо-запад – юго-восток, обрывается в юго-восточной части. Размеры сооружения: 95×10 м. За наружной стеной идет замкнутая прямоугольная конструкция размером 80×90 м, окружающая жилое пространство поселения. Ширина развала стен прямоугольника варьирует от 10 до 20 м, такой диапазон связан с тем, что северо-восточная и юго-западная стороны прямоугольника, вероятно, двойные: юго-западная стена дублирует стену предыдущего овального поселения, к северо-восточной стене пристроена прямоугольная структура, вероятно, размытая впоследствии. Внутри читаются несколько рядов жилищных впадин, ориентированных по линии северо-запад – юго-восток. Ряд из 10 овальных впадин располагается с внутренней стороны

вдоль юго-западной стены, примыкая к ней торцевыми сторонами. Размеры впадин, читаемые на космоснимке, 6–10×10–20 м. К северо-востоку от этого ряда нечетко читаются еще несколько (4?) впадин, образующих второй параллельный ряд. По центру поселения по линии северо-запад – юго-восток фиксируется внутренняя промежуточная стена. За ней проходит еще один параллельный ей ряд из 6 впадин, за которым следует еще один плохо читаемый ряд из 6 впадин. За северо-восточной стеной, параллельно и вплотную к ней, проходит еще одна стена, которая в северо-западной части делает поворот под прямым углом на север-северо-восток и через 20 м обрывается. Вдоль нее тянется ряд из 5 жилищных впадин, не ограниченных с востока оборонительными сооружениями. Впадины читаются вблизи стены и нивелируются по направлению к краю площадки. По территории поселения (западная часть) проходит с севера на юг полевая дорога.

Таким образом, судя по данным космоснимка, структура поселения представляет собой несколько (4?) рядов жилищных впадин и разделяющую их внутреннюю стену, вписанных в квадрат внешних оборонительных сооружений. Вероятно, вплотную к северо-восточной стороне прямоугольного поселка стоял еще один, также, видимо, прямоугольный, от которого мы на снимке можем фиксировать одну целую стену, одну размытую (?) стену, угол между ними, а также ряд впадин. В целом площадка характеризуется нестабильным пестрым фото-тоном, определенно структура памятника значительно более сложная, чем удалось описать по данным снимка.

*Результаты съемки с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) (рис. 2.4)*

Полученная картина во многом согласуется с данными спутникового снимка и уточняет их. На GNSS плане превосходно виден третий горизонт застройки площадки – неукрепленное поселение, вероятно датируемое поздним бронзовым веком, стоящее поверх овального и прямоугольного укрепленных поселений в центральной и восточной частях площадки. Впадины глубокие и более округлые, чем впадины предыдущих строительных горизонтов, вытянуты в неправильный ряд по линии северо-запад – юго-восток. Частично котлованы вписаны в квадратное поселение: на GNSS плане северо-восточный ряд впадин отличается от космоснимка, здесь можно видеть две впадины, стоящие, вероятно, в котлованах более ранних жилищ, примыкающих к СВ стене, поздние же впадины частично разрушили ее. В этом ряду еще две, видимо, поздние впадины стоят перпендикулярно ранним, вдоль стены, несколько впадин стоят поверх северо-восточной и юго-восточной стен укрепленного поселения, три из них имеют восьмеркообразную форму.

Что касается прямоугольного укрепленного поселения, – на плане четко видны северо-западная и юго-западная внешние стены поселения, а также ряд впадин, расположенный параллельно юго-западной стене. В ряду выделяется 9 впадин, еще 3 поздние впадины стоят за юго-восточной стеной. Северо-восточная стена отражает все позднейшие вмешательства: на ней расположилась одна из поздних жилищных впадин, еще две поздние впадины подрезали ее с юго-запада. Юго-восточная стена читается плохо, так же как и внутренняя, предполагаемая по космоснимку.

Во втором с северо-востока ряду фиксируются только две впадины. В северо-восточной половине памятника в основном читаются поздние впадины, описанные выше. Более четко виден крайний северо-восточный ряд впадин и относящаяся к нему стена, примыкающие к разрушенной северо-восточной стене прямоугольного поселения. Совершенно четко видны четыре центральные впадины, по краям от них можно увидеть еще 2–3 впадины, а также угол стены, ограждающей этот ряд.

Хорошо видна на плане и полевая дорога, пролегающая через памятник.

Таким образом, на полученном изображении какие-то архитектурные детали поселения видны также хорошо, как на снимке (северо-западная, юго-западная стены, юго-западный ряд жилищных впадин), какие-то хуже (остальные ряды впадин, внутренняя стена), а какие-

то лучше (крайний северо-восточный ряд впадин за пределами оборонительных сооружений). Юго-восточная граница поселения на обоих изображениях видна одинаково нечетко.

*Результаты съемки с использованием индукционной системы электромагнитного профилирования АЭМП-14 (рис. 2.2)*

Геофизическая съемка была выполнена на площади 150×150 м, на территории второго и третьего строительных горизонтов: квадратного укрепленного и позднего неукрепленного поселений.

Анализ полученного плана показал, что на территории квадратного поселения кажущееся электромагнитное сопротивление в основном, за исключением северо-восточной стороны отснятой площадки, имеет более высокие показатели на участках возвышения рельефа и более низкие – на понижениях. При этом абсолютных значений, которые были бы показателями определенных конструкций или высот, не выявлено, выводы можно сделать лишь по контрастности изображения в определенном месте. В северо-восточной части отснятой площади, за пределами квадратного укрепленного поселения, картина меняется: фиксируется высокое сопротивление при общем понижении рельефа, что, возможно, связано с тем, что площадка в этом месте подмывалась, и состав грунтов в связи с этим менялся.

На карте кажущегося сопротивления читаются валы квадратного поселения. Наиболее четко видны северо-западная и юго-западная стороны квадрата, юго-восточная сторона не читается вовсе, северо-восточная двойная стена не фиксируется, однако превосходно виден ров шириной 3 м, разделяющий стену квадратного поселения и пристроенную к нему с северо-востока часть стены. При этом данные геофизики – единственный источник, который демонстрирует самый северо-восточный ров, ограничивающий ряд жилищных впадин, пристроенный к северо-восточной стене квадрата. Можно предположить, что стена была сnivelирована, как вся северо-восточная часть памятника, ров же, уходящий ниже материка, зафиксирован геофизической съемкой. Обращает на себя внимание структура северо-западной стены, она более сложная, нежели можно видеть на других данных, и, видимо, так же, как юго-западная и северо-восточная стены, двойная. С напольной западной стороны проходит вал шириной 3–4 м, далее понижение (ров?), маркируемое цепочкой пятен с низким сопротивлением, шириной от 1,5 до 3 метров, далее еще один вал шириной 3–5 м.

В южной половине участка фиксируется часть рва овального укрепленного поселения по пониженному, в сравнении с окружающей местностью, сопротивлению, шириной 3–4 м. Жилищные впадины четко идентифицировать на карте кажущегося электросопротивления не удается.

*Результаты съемки с БПЛА (рис. 2.3)*

Массив аэрофотоснимков, полученных при аэрофотосъемке с квадрокоптера, был обработан в программной среде Agisoft metashape, построены ортофотоплан и цифровая модель рельефа (ЦМР). Анализ ЦМР позволил выделить более ранний по отношению к прямоугольному укрепленному поселению строительный горизонт: укрепленное поселение овальной формы. Прямоугольное поселение на ЦМР также хорошо читается и дает схожую картину с материалами космической съемки и GNSS планом с некоторыми уточнениями.

Укрепленное поселение овальной формы имеет размеры 220×150 м, ориентировано по линии запад-северо-запад – восток-юго-восток. Ширина обводного вала составляет 15–18 м. Наилучшая сохранность конструкций овального поселения зафиксирована в южной и западной частях. Северная часть сnivelирована, возможно, паводковыми водами, читается значительно хуже. Восточная часть овальной конструкции не читается, вероятно, развал стены разрушен полевыми дорогами и распашкой, подходившей вплотную к ним.

На плане с БПЛА четко виден овальный развал стены, в южной и восточной частях читается обводной ров. Внутренняя структура памятника пострадала от поздних построек, что усложняет анализ планиграфии. Четко читается ряд жилищных впадин, стоящих вдоль южного вала, примыкая к нему торцевыми сторонами. В этот ряд вписан юго-западный ряд впадин квадратного поселения, описанный выше. В сохранившейся без поздних вмешательств западной части фиксируется 5 впадин. Севернее можно видеть валообразную насыпь, идущую

щую вдоль ряда впадин по линии запад-северо-запад – восток-юго-восток, за ней севернее – понижение, похожее на остатки рва, еще севернее – еще один вал. Понижение, похожее на ров, проходит по западной части площадки через западный развал стены, разделяя овальное поселение на две части, северную и южную. Валообразные насыпи, расположенные с двух сторон от «рва», упираются в западной части в обводной вал. Севернее фиксируется понижение вплоть до снивелированной северной части обводного вала, вероятно, размывый ряд жилищных впадин.

В итоге каждый из примененных методов изучения объекта позволил выявить детали, не фиксируемые другими методами, либо дополнить видимую на других изображениях картину. Примечательно, что в данном случае качество изображения памятника на архивных аэрофотоснимках было гораздо хуже, чем на современных космоснимках, и показывало гораздо меньше деталей, чем изображения, полученные иными методами.

*Селище Нижнеуспенское (рис. 3)*

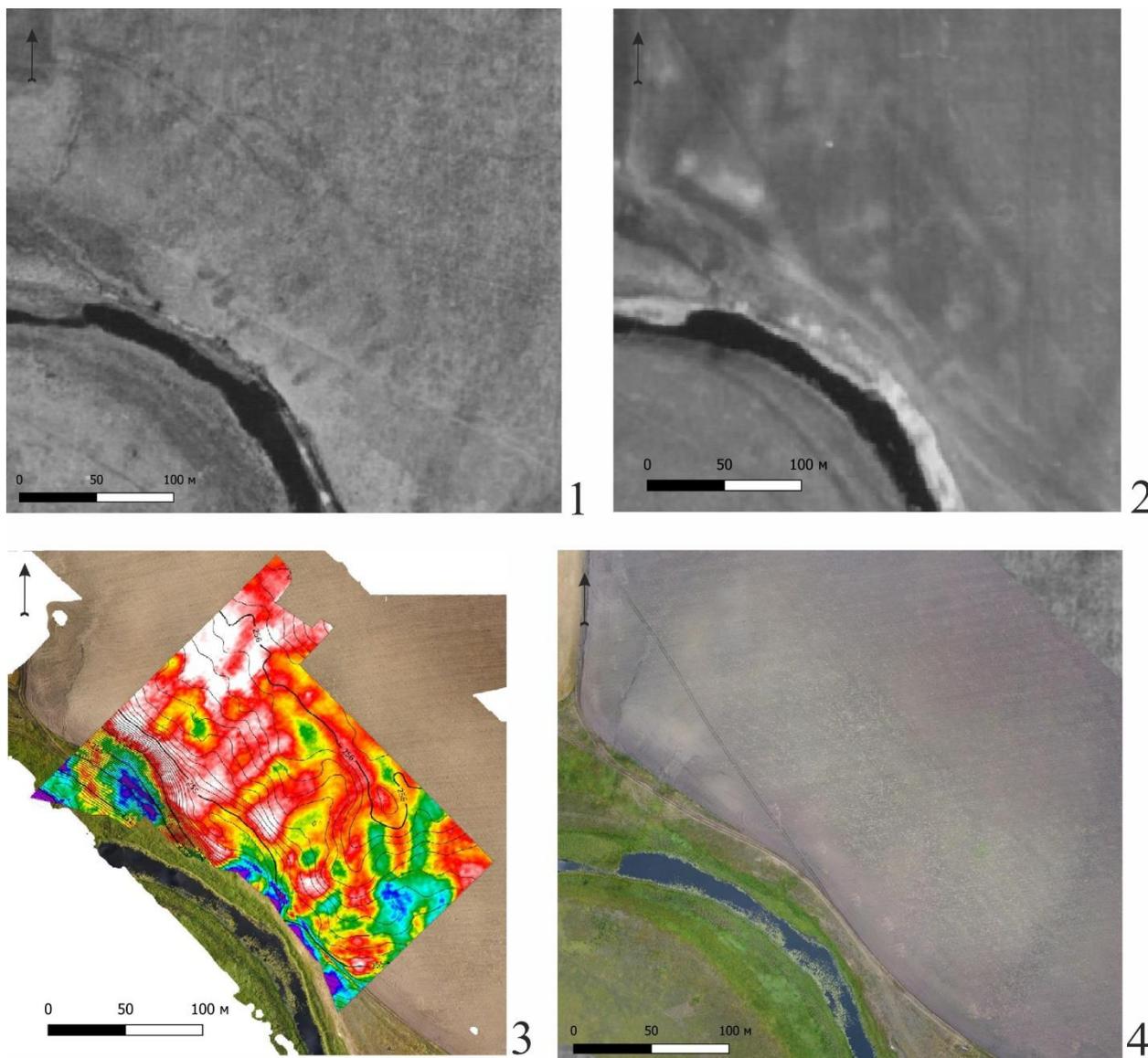


Рисунок 3 – Укрепленное поселение Нижнеуспенское: 1 – фрагмент аэрофотоснимка от 19.06.1956; 2 – фрагмент аэрофотоснимка от 8.05.1980; 3 – карта кажущегося электрического сопротивления; 4 – ортофотоплан, сделанный на основании съемки с квадрокоптера

Селище Нижнеуспенское было открыто учителем истории школы № 96 г. Челябинска Ф.М. Фоминым и его учениками в 1960 г. в процессе разведочной экспедиции от Челябинского областного краеведческого музея [4]. Расположено в Варненском районе, на левом ко-

ренном высоком берегу реки Средний Тогузак, в 5 км к востоку от с. Успеновское. В процессе осмотра площадки были найдены металлургический шлак, керамика бронзового века, кремневые отщепы. Детали архитектуры памятника на поверхности не фиксировались. Уже в 1960 гг. поверхность поселения активно распахивалась.

В 2023 г. Н.С. Батанина при изучении аэрофотоснимков обнаружила вокруг поселения конструкции, напоминающие укрепления, подобные оборонительным сооружениям укрепленных поселений, а также ряды жилищных впадин. В разведочном выезде была собрана керамика бронзового века, в том числе синташтинской культуры, что позволяет точно датировать поселение XXI–XVIII вв. до н. э. В современном состоянии на поверхности микрорельеф конструкций не фиксируется, площадка памятника выделена и ограничена по подъемным сборам. На площадке при разведочном обследовании забито 5 шурфов: три на пашне и два – на узкой нераспаханной полоске между руслом и дорогой, идущей вдоль пашни. Шурфовка показала, что основная часть памятника распахана до материка и глубже. Два шурфа на нетронутой части дали материал эпохи бронзы.

*Результаты дешифрирования аэрофотоснимков (рис. 3.1-2)*

Памятник выявлен при работе с материалами аэрофотосъемки от 19.07.1956 г. масштабом 1:15 000. Именно эти наиболее ранние материалы используются как основа для анализа планиграфии памятника. В качестве вспомогательных были использованы снимки от 08.05.1980 г. масштабом 1:26 000 и 24.08.1982 г. масштабом 1:13 000.

Сохранность памятника уже на аэрофото фиксируется как очень плохая. Все объекты выделяются нечетко. Данные дешифрирования говорят о том, что поселение неоднослойно: верх укрепленного поселения читается ряд поздних жилищных впадин, окруженный характерным для поселений эпохи поздней бронзы пятном зольника.

Укрепленное поселение имело подпрямоугольную форму, ориентированно по линии северо-запад – юго-восток, длинной стороной вдоль реки. Юго-западный край поселения разрушен обрывом берега. Структуру укрепленного поселения задает вал оборонительной стены светлого фототона, ориентированный по линии северо-запад – юго-восток, за ним более темным цветом – линия рва. Внешние размеры сохранившейся части вала на момент аэрофотосъемки составляли 185×120 м, видимая ширина вала – 10–20 м. Внутри видны ряды жилищных впадин, ориентированные поперек длинной оси прямоугольной площадки поселения. Выделить отдельные впадины в рядах не представляется возможным, на аэрофотоснимке они фиксируются как длинные темные полосы вдоль торцевых обводных стен, насчитывается не менее 6 рядов впадин. Средняя длина рядов – 80 м, ширина около 15 м. На северо-западной и юго-восточной торцевых сторонах прямоугольного поселения слабо читаются следы перестроек. Юго-восточную стену с напольной стороны дублирует слабо читаемая более короткая стена, которая в северо-восточной части поворачивает на запад и «уходит» под основную обводную стену. Между рядами жилищных впадин местами также угадываются промежуточные стены, но, к сожалению, утверждать, базируясь только на материалах аэрофотосъемки, ничего нельзя. Можно лишь предполагать более сложную планиграфию памятника.

Второй строительный горизонт, позднее неукрепленное поселение занимает юго-западную часть площадки, примыкающую к реке. На тонкой линии вдоль кромки обрывистого берега читается ряд из пяти жилищных впадин, ориентированных перпендикулярно руслу юго-запад – северо-восток, размеры впадин 11–18×8–11 м. Вокруг впадин читается светлый ореол зольника. Неукрепленное поселение сохранилось на момент съемки значительно лучше укрепленного.

*Результаты съемки с БПЛА (рис. 3.4)*

На настоящее время не сделано полной съемки площадки памятника, поскольку его поверхность полностью сивелирована, визуальных ориентиров на пашне нет, а для использовавшейся модели дрона нельзя было задать маршрут полета. В сезон 2023 года, когда производились работы, поле, на котором стоит памятник, было распаханно. На момент съемки на распаханной поверхности росли редкие сорные травы. При построении ортофотоплана и привязке

его к аэрофотоснимку выяснилось, что сорная растительность маркировала планиграфию поселения. На месте рва трава была более развитая и зеленая, нежели на остатках вала; ряды жилищных впадин также характеризовались более мощной растительностью. Очертания обводной стены можно было смутно угадать лишь по более светлому цвету грунта.

*Результаты съемки с использованием индукционной системы электромагнитного профилирования АЭМП-14 (рис. 3.3)*

Съемка проводилась на площади 240x140 м на территории укрепленного поселения, ограниченной на основании данных аэрофотосъемки и подъемных сборов. Карта кажущегося сопротивления Нижнеуспенского укрепленного поселения показала обратное Верхнеуральскому распределение аномалий. Судя по материалам дешифрирования аэрофотоснимков, единственному источнику, на котором видна какая-то структура памятника, пониженное электромагнитное сопротивление здесь маркирует некогда возвышавшиеся элементы микрорельефа, такие как валы. Данные полученной карты лишь частично соответствуют данным аэрофотоснимков центральной части площадки, а в северо-западной и юго-восточной частях сильно отличаются и местами противоречат им.

На карте кажущегося сопротивления частично читается северо-восточный обводной вал поселения шириной от 10 до 18 м. Северо-западный и юго-восточный валы не видны, на их месте фигурируют структуры, которые не согласуются с материалами дешифрирования аэрофотоснимков. Читается частично элементы внутренней структуры поселения. В северо-западной части четко видны две валообразные насыпи, параллельные торцевым сторонам внешних укреплений. Эти конструкции читались также на аэрофотоснимке от 1956 г. и были интерпретированы как промежуточные стены между рядами жилищных впадин. Ширина насыпей от 9 до 12 м, читаемая по карте сопротивления длина – 45 и 46 м. В юго-западной части валы сливаются в единое пятно с низкими значениями сопротивления, вытянутое вдоль русла с северо-запада на юго-восток.

По нашему мнению, это следы неукрепленного поселения эпохи поздней бронзы, которые наложились на руины промежуточных стен укрепленного поселения, что дало такую картину электрического сопротивления. В центре площадки укрепленного поселения читается грушевидной формы участок пониженного сопротивления, ориентированный параллельно описанным выше внутренним валам, расширяющийся в юго-западной части. Его длина 54 м, ширина от 19 до 29 м. Юго-восточнее – еще одно пятно пониженного сопротивления, округлое с выступами на юг и северо-запад диаметром около 24 м. Эти конструкции, читающиеся и на материалах аэрофотосъемки, вероятно, также являются остатками внутренних промежуточных стен.

Понижения микрорельефа, видимые на аэрофотоснимках, фиксируются на карте кажущегося электрического сопротивления как участки с более высоким сопротивлением. Виден внешний ров шириной 6-10 м, с разной отчетливостью читаются ряды жилищных впадин в центральной части, частично – в северо-западной части укрепленного поселения, и частично – ряд впадин неукрепленного поселения. В юго-восточной части площадки карта сопротивления не соответствует данным аэрофотосъемки. Это может говорить о сильнейших разрушениях памятника ниже уровня материка на указанных участках или о сложной структуре подстилающих пород.

Итогом изучения Нижнеуспенского селища служит вывод, что комплексное применение нескольких неразрушающих методов позволяет составить представление о конструкции памятника, имеющего даже такую неудовлетворительную сохранность и полностью сnivelированного в ландшафте. Заметим, что классические методы археологической разведки не позволяют выявить на земной поверхности никакие архитектурные детали.

### ***Обсуждение***

Таким образом, использованные методы предоставляют информацию об археологических памятниках в различных форматах. В таблице, представляющей результаты сравнения

разных методов, показаны достоинства и недостатки использованных методов применительно к исследованию археологических объектов.

Таблица – Сравнительный анализ неразрушающих методов исследования археологических памятников, применявшихся для изучения новых укрепленных поселений

| Метод   | Принципы   | Вид получаемых данных   | Преимущества   | Недостатки  |
|---|--|---|--|---|
| <i>Метод дешифрирования аэрофотоснимков</i>   | Выделение археологических объектов от природного окружения по структуре и конфигурации. Выделение архитектурных деталей (возвышений и углублений) светлым и темным фототоном   | Черно-белое изображение, стереоизображение  | Позволяет выявить объекты, не видимые при натуральных исследованиях. Показывает состояние памятников в более сохранном состоянии, до начала активной антропогенной разрушающей деятельности. Позволяет фиксировать изменения памятника, культурные наслоения, детали архитектуры | Не на все территории есть комплекты аэрофотоснимков. Не фиксирует невыраженные в рельефе объекты  |
| <i>Метод дешифрирования космоснимков</i>  | Выделение археологических объектов от природного окружения по структуре и конфигурации. Выделение архитектурных деталей (возвышений и углублений) светлым и темным фототоном   | Цветное изображение   | Позволяет выявить объекты, не видимые при натуральных исследованиях. Позволяет фиксировать изменения памятника, детали архитектуры   | Большинство памятников имеют худшую сохранность, чем в советский период вследствие разрушения, соответственно, качество изображений худшее по сравнению с аэрофото. Не фиксирует невыраженные в рельефе объекты |
| <i>Съемка планов памятников с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS)</i> | Фиксация разницы высот современной поверхности памятника, получение топографического плана   | Облако точек, цветное изображение с цветовой шкалой разницы высот, 3D модель                | Позволяет более быстро снимать топографический план, фиксирует детали архитектуры  | Не фиксирует невыраженные в рельефе объекты   |
| <i>Площадное электромагнитное профилирование индукционной системой АЭМП-14</i>                | Получение информации о распределении электромагнитных свойств грунта на нескольких частотах, соответствующих различным глубинам проникновения сигнала                          | Облако точек, цветное изображение с цветовой шкалой разницы электромагнитного сопротивления | Позволяет выявлять детали архитектуры по разнице электромагнитного сопротивления почвенных слоев при сопоставлении с данными снимков и топографическим планом. Позволяет фиксировать невидимые на поверхности объекты  | Качество получаемых данных зависит от природных условий. Не на всех грунтах метод работает одинаково хорошо   |
| <i>Анализ аэрофотосъемки с БПЛА</i>   | Получение как ортофотоплана поверхности, который можно дешифрировать подобно космоснимкам, так и цифровой модели рельефа, позволяющей построить топографический план местности | Массив геопривязанных цифровых аэрофотоснимков, ортофотоплан, цифровая модель местности     | Позволяет быстро покрывать съемкой большие площади, оперативно получать 3D модель местности и ортофотоплан, что дает возможность выявления объектов различной сохранности  | Фиксирует только современную топографическую ситуацию, получаемый топографический план отражает не только поверхность, но и не имеющие к ландшафту детали (например, растительность)                            |

Более детальная и полная картина для изучения сложных археологических памятников, таких как укрепленные поселения, и памятников, имеющих плохую сохранность, получается при сопоставлении данных, полученных различными методами. В настоящее время рассматриваются перспективы обучения нейросетей для распознавания и выявления археологических объектов на базе получаемой различными методами информации.

### **Заключение и выводы**

На сегодняшний день для изучения археологических памятников не существует универсального метода неразрушающих исследований, одинаково хорошо работающего на объектах разного типа, в разных регионах, почвенных и климатических условиях. Эффективность изучения объектов значительно повышается с применением нескольких методов исследования, взаимодополняющих друг друга. Каждый из применявшихся методов позволил увидеть в архитектуре укрепленных поселений бронзового века Верхнеуральское и Нижнеуспенское новые детали, не фиксируемые другими методами. На обоих памятниках было выделено несколько разновременных строительных горизонтов, что в дальнейшем при проведении археологических раскопок позволит целенаправленно закладывать разрезы. Полученные изображения и цифровые модели местности могут быть использованы при обучении нейросетей дистанционному поиску археологических объектов.

### **Литература**

1. Зданович, Г. Б. Укрепленные центры эпохи средней бронзы в Южном Зауралье / Г. Б. Зданович, И. М. Батанина. – Текст : непосредственный // Степная цивилизация Восточной Евразии. – Т. 1. – Древние эпохи. – Астана, 2003. – С. 72–87.
2. Зданович, Г. Б. Аркаим – Страна городов: пространство и образы / Г. Б. Зданович, И. М. Батанина. – Челябинск : Издательство «Крокус»; Южно-Уральское книжное издательство, 2007. – 260 с. – Текст : непосредственный.
3. Карин, Ю. Г. Электромагнитное профилирование компактной аппаратурой: новый подход и результаты применения / Ю. Г. Карин, Е. В. Балков, Д. И. Фадеев, А. К. Манштейн, Г. Л. Панин, А. О. Алымов, Д. Б. Романов. – Текст : непосредственный // Вестник НГУ. – Серия : информационные технологии. – 2018. – Том 16. – № 4. – С. 68–78.
4. Фомин, Ф. М. Отчет об археологической разведке в Варненском и Чесменском районах Челябинской области, проведенной Челябинским областным краеведческим музеем в июле 1960 года / Ф. М. Фомин. – Челябинск, 1960. – Архив отчетов УНЦ изучения проблем природы и человека ФГБОУ ВО «ЧелГУ». – № 39-1960. – Текст : непосредственный.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СИЛ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И ВЯЗКИХ НАПРЯЖЕНИЙ  
В ЗОНАХ ЛИТОСФЕРНОЙ СУБДУКЦИИ**

**Гаврилов Сергей Владиленович**  
*доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник лаборатории 102,  
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН»  
Москва, Россия  
E-mail: gavrilov@ifz.ru*

**Харитонов Андрей Леонидович**  
*кандидат физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник лаборатории главного магнитного поля Земли,  
Институт земного магнетизма, ионосферы и  
распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН»  
Москва, Россия  
E-mail: ahariton@izmiran.ru*

*Предмет исследования: зоны активных тектонических процессов в мантии, влияющих на литосферные блоки и границы плотностных неоднородностей.*

*Цель работы: изучение роли сил динамического негидростатического давления и вязких напряжений, действующих в зонах литосферной субдукции посредством физико-математического моделирования.*

*Метод исследования: применено численное термодинамическое моделирование тектонического строения литосферы и астеносферы в зоне субдукции.*

*Основные результаты исследования: показано, что относительная роль сил динамического давления преобладает в зонах, характеризующихся горизонтально удлиненными астеносферными движениями в мантии, как это происходит под протяженными океаническими и континентальными литосферными плитами. Под микро-плитами и вблизи их границ роли сил динамического давления и вязких напряжений сравнимы между собой. В областях термических диапиров преобладает роль вязких напряжений.*

*Ключевые слова: математическое моделирование, динамическое давление, вязкие напряжения, зоны субдукции.*

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING DYNAMIC PRESSURE FORCES  
AND VISCOUS STRESSES IN LITHOSPHERIC SUBDUCTION ZONES**

**Sergey V. Gavrilov**  
*Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Main Researcher of the Laboratory 102,  
Schmidt Institute of Earth Physics of the Russian Academy of Sciences  
Moscow, Russia  
E-mail: gavrilov@ifz.ru*

**Andrey L. Kharitonov**

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Leading Researcher of the Laboratory  
of the Main Magnetic Fields of the Earth,  
Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism,  
Ionosphere and Radio Wave Propagation  
of the Russian Academy of Sciences  
Moscow, Russia  
E-mail: ahariton@izmiran.ru*

*Subject of research: zones of active tectonic processes in the mantle affecting lithospheric blocks and boundaries of density inhomogeneities.*

*Purpose of research: to study the role of forces of dynamic non-hydrostatic pressure and viscous stresses acting in lithospheric subduction zones through physical and mathematical modeling.*

*Method of research: is the application of numerical thermodynamic modeling of the tectonic structure of the lithosphere and asthenosphere in the subduction zone.*

*Main results of research: the relative role of dynamic pressure is shown to predominate in the zones characterized by horizontally elongated mantle flows in the asthenosphere beneath the horizontally extended oceanic and continental plates. However, under micro-plates and in the vicinity of their boundaries the effects of dynamic pressure and viscous stresses are comparable. In the zones of thermal diapirs the role of viscous stresses prevails.*

*Keywords: mathematical modeling, dynamic pressure, viscous stresses, subduction zones.*

---

## Введение

Целью данной работы является изучение роли сил динамического негидростатического давления и вязких напряжений, действующих в зонах литосферной субдукции посредством физико-математического моделирования. Приведем некоторый обзор опубликованной литературы по данному направлению исследований. Проблеме физико-математического моделирования сил динамического давления и вязких напряжений в зонах литосферной субдукции посвящено достаточно много работ как отечественных [1-5, 8], так и зарубежных [9-14] ученых.

Динамическая топография в тектонически активных зонах Земли, например, в зонах субдукции, зонах рифтов и в областях подъема термических или химических диапиров может быть обусловлена вязкими напряжениями или силами негидростатического давления, причем относительная роль этих сил зависит от геометрии областей, охваченных конвективными движениями в мантии Земли. Вязкие напряжения и силы динамического давления действуют также и в земных недрах, например, подпирая снизу или подсасывая сверху субдуцирующие блоки литосферы, и преимущественное влияние вязких напряжений и динамического давления также определяются геометрическими характеристиками той части мантии, в которой происходят конвективные движения.

## Результаты и обсуждение

Рассмотрим модель конвекции в прямоугольной ячейке  $0 < x < L$ ,  $0 < z < d$ , с началом координат в основании верхней мантии на глубине  $d$ , вертикальной осью  $z$ , направленной вверх, и горизонтальной осью  $x$  вдоль основания верхней мантии. Ячейка заполнена однородной жидкостью плотностью  $\rho$  с коэффициентом вязкости  $\eta$ , горизонтальные границы  $z = 0$  и  $z = d$  изотермичны с температурами  $T(z = 0) = T_0$  и  $T(z = d) = T_1$ , а вертикальные границы  $x = 0$  и  $x = L$  считаются адиабатическими, на которых  $\partial T / \partial x = 0$ . Безразмерные линеаризованные уравнения, определяющие возмущения термомеханического состояния среды в ячейке при бесконечном числе Прандтля в приближении Буссинеска, имеют вид уравнений (7.3.11) – (7.3.14) в [14], которые в обозначениях настоящей работы могут быть записаны как

$$0 = -\partial_x p + \partial_x \tau_{xx} + \partial_z \tau_{xz}, \quad (1)$$

$$0 = Ra \times \theta - \partial_z p + \partial_x \tau_{xz} + \partial_z \tau_{zz}, \quad (2)$$

$$0 = \partial_x v_x + \partial_z v_z, \quad (3)$$

$$\partial_t \theta = -v_z \partial_z T + \chi \Delta \theta, \quad (4)$$

где сохранен член  $\partial_t \theta$ , описывающий нестационарную задачу, и знак при  $Ra \times \theta$  изменен, так как ось  $z$  направлена вверх. Уравнения (1)–(4) есть соответственно  $x$ - и  $z$ -компоненты уравнения движения, уравнение неразрывности и уравнение теплопереноса, в которых  $x$  и  $z$  – декартовы координаты,  $p$  – динамическое (негидростатическое) давление,  $\tau_{ik}$  – тензор вязких напряжений,  $\rho$  – плотность,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении,  $T$  – абсолютная температура,  $\kappa$  – коэффициент теплопроводности,  $\Delta$  – оператор Лапласа, а символ  $\partial$  с индексом обозначает частную производную по координатам  $x$ ,  $z$  и времени  $t$ .

В (1)–(4)  $\chi = (\kappa / \rho c_p)$  – коэффициент температуропроводности, и для приведения уравнений к безразмерной форме в качестве новых единиц измерения координат  $x$  и  $z$  выбраны мощность слоя  $d$ , скорость – величина  $\chi/d$ , время –  $d^2/\chi$ , температура  $T$  и ее возмущения  $\theta$  – характерный перепад температуры  $\delta T = (T_0 - T_1) > 0$ , напряжения и давление – величина  $(\eta \chi / d^2)$ . В (2) безразмерное число Рэлея есть

$$Ra = \frac{\rho \alpha g d^3 \delta T}{\eta \chi} > 0, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплового расширения.

Рассматривая двумерную конвекцию в плоском горизонтальном слое  $0 \leq z \leq d$  первоначально покоящейся жидкости, в которой имеется вертикальный градиент температуры  $T_z = (T_1 - T_0)/d < 0$ , с невозмущенным термомеханическим состоянием покоя с постоянным вертикальным градиентом температуры  $T_z = (T_1 - T_0) \times d^{-1}$  и чисто кондуктивным переносом тепла, можно искать решение уравнений (1)–(4) с экспоненциальной зависимостью от времени по закону  $\exp(\gamma t)$ .

При условии свободных непроницаемых изотермических горизонтальных и адиабатических вертикальных границ ищем решение (1)–(4), при постоянных (безразмерных)  $\partial_z T < 0$  и  $\chi$  в виде:

$$\begin{aligned} v_x &= A \sin kx \cos \pi z, \quad v_z = B \cos kx \sin \pi z, \quad \theta = C \cos kx \sin \pi z, \quad p = D \cos kx \cos \pi z, \\ \partial_x p &= -Dk \sin kx \cos \pi z, \quad \partial_z p = -D\pi \cos kx \sin \pi z, \quad \partial_z v_x = -A\pi \sin kx \sin \pi z, \\ \partial_x v_x &= Ak \cos kx \cos \pi z, \quad \partial_x v_z = -Bk \sin kx \sin \pi z, \quad \partial_z v_z = B\pi \cos kx \cos \pi z, \\ \tau_{xx} &= 2\eta Ak \cos kx \cos \pi z, \quad \tau_{xz} = -\eta(A\pi + Bk) \sin kx \sin \pi z, \quad \tau_{zz} = 2\eta B\pi \cos kx \cos \pi z, \\ \partial_x \tau_{xx} &= -2A\eta k^2 \sin kx \cos \pi z, \quad \partial_z \tau_{zz} = -2B\eta \pi^2 \cos kx \sin \pi z, \end{aligned}$$

$$\partial_x \tau_{xz} = -\eta(A\pi + Bk)k \cos kx \sin \pi z, \quad \partial_z \tau_{xz} = -\eta(A\pi + Bk)\pi \sin kx \cos \pi z, \quad (6)$$

где все не зависящие от координат величины  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  в (6) зависят от времени  $t$  по экспоненциальному закону  $\exp(\gamma t)$ , а  $k = \pi d \times L^{-1}$  есть (безразмерное) волновое число. Подставляя (6) в (1)–(4), находим для безразмерного инкремента  $\gamma$

$$\gamma = -\frac{Ra k^2 T_z}{\eta(\pi^2 + k^2)^2} - \chi(\pi^2 + k^2). \quad (7)$$

Условие возникновения конвекции  $\gamma = 0$  дает  $Ra(\gamma = 0) = -(\pi^2 + k^2)^3 / k^2 T_z$ . Эта величина достигает минимума при  $k = \pi / \sqrt{2}$ , и при  $T_z = 1$ ,  $Ra_{\min} = \frac{27}{4} \pi^4 \approx 658$ . Если конвекция происходит в горизонтальном слое неограниченной длины, то возникают ячейки с пространственным периодом  $d\sqrt{2}$ . В случае если  $T_z$ ,  $\eta$ ,  $\chi$  переменны, можно для оценки инкремента конвективной неустойчивости воспользоваться формулой (7), подставив в нее средние значения  $T_z$ ,  $\eta$ ,  $\chi$ .

Рассмотрим подробнее вывод формулы (7) из уравнений (1)–(4). Пусть начальное возмущение температуры задается в (6) как  $\theta = C \cos kx \sin \pi z$  с  $C > 0$ . Это означает, что возмущение температуры в левой части ячейки положительно, а в правой части – отрицательно, т. е. в левой части ячейки вещество всплывает, а в правой – опускается, и, следовательно, конвективное движение жидкости происходит по часовой стрелке. Из (3) следует  $B = -Ak/\pi$ . Так как  $\Delta\theta = -(\pi^2 + k^2) C \cdot \cos kx \cdot \sin \pi z$ ,  $\partial_t \theta = \gamma C \cos kx \sin \pi z$ , то из (4)

$$C = \frac{(k/\pi)AT_z}{\gamma + \chi(\pi^2 + k^2)}.$$

где при  $C > 0$  и  $T_z < 0$  должно быть  $A < 0$ . Подставляя выражения (6) в уравнения (1) и (2), вычитая одно из уравнений из другого и сокращая полученный результат на  $A$ , приходим к формуле (7). Из (1) находим  $D = A\eta(k^2 + \pi^2)/k$ , где  $k = \pi/L$ , т. е.  $D < 0$ .

Согласно выражениям в верхней строке (6)

$$v_x = A \sin kx \cos \pi z, \quad v_z = B \cos kx \sin \pi z, \quad \theta = C \cos kx \sin \pi z, \quad p = D \cos kx \cos \pi z,$$

при  $C > 0$ ,  $A < 0$ ,  $B > 0$ ,  $D < 0$  компоненты скорости  $v_x$  и  $v_z$  соответствуют движению жидкости по часовой стрелке, т. е. всплыванию жидкости в левой части ячейки и опусканию жидкости в правой части ячейки. На верхней границе ячейки (при  $z = 1$ ) возмущение динамического давления  $p = -D \cdot \cos kx = -A\eta(k^2 + \pi^2)/k \cdot \cos kx$ . Сила давления действующая изнутри жидкости на верхнюю границу положительна в левой части ячейки (т.е. «подпирает» границу снизу) и отрицательна в правой части ячейки (т. е. «засасывает» границу вниз). Сравним силу негидростатического давления на верхней границе ячейки с вертикальной силой вязких напряжений, действующей со стороны жидкости на верхнюю границу ячейки.

Нормальная компонента тензора вязких напряжений

$$\tau_{zz} = -2Dk^2/(\pi^2 + k^2) \times \cos kx \cos \pi z = -2\eta Ak \times \cos kx \cos \pi z,$$

и на верхней границе  $z = 1$ ,  $\cos \pi z = -1$ ,  $\tau_{zz} = 2\eta Ak \times \cos kx$ , т.е. при  $A < 0$  оказывается, что  $\tau_{zz}$  на верхней границе отрицательна в левой части ячейки и положительна в правой части ячейки. Так как сила, действующая со стороны жидкости на единицу обтекаемой поверхности границы с внешней нормалью  $n_i$ , равна [5, формула (15.14), в которой изменен знак нормали  $n_i$ ]:

$$f_i = -pn_i + \tau_{ik}n_k,$$

то вертикальная сила, соответствующая вязким напряжениям, равна  $-\tau_{zz}$ , так как направленная внутрь жидкости нормаль на верхней границе  $n_z = -1$ . Следовательно, вязкие напряжения в левой части ячейки действуют на верхнюю границу, как сила «подпора» снизу (в положительном направлении оси  $z$ ), а в правой части ячейки – как сила «подсоса» вниз. Сравним конвективные силы вязких напряжений и негидростатического давления, действующие на верхнюю границу ячейки. Отношение этих сил

$$\frac{f_{visco}}{f_{press}} = \frac{2k^2}{k^2 + \pi^2}, \quad (8)$$

откуда видно, что при  $k = \pi$  (т. е. в изометрической ячейке с отношением сторон 1 : 1, т. е. при  $L = d$ ) эти силы равны между собой. В случае, например, удлиненной ячейки, для которой  $k < \pi$ , на верхней границе ячейки преобладает сила возмущенного негидростатического давления. В сильно удлиненной ячейке, для которой  $k \ll \pi$ , действие вязких напряжений на верхней границе пренебрежимо мало по сравнению с действием сил возмущенного динамического давления. Соотношение (8) справедливо не только на поверхности ячейки, но и во всем ее объеме. Следует отметить, что силы негидростатического давления и вязкие напряжения в земных недрах действуют, так сказать, «однонаправленно», т. е. в одну сторону, и этот вывод не связан именно с конвективной природой движения, а приложим к движениям различной природы.

Поскольку основные результаты работы были получены на модельных примерах, то, по-видимому, необходимо привести ссылки на опубликованные нами работы [1-4] и привести графический пример о сравнении результатов наших модельных расчетов с опубликованными результатами практических геолого-геофизических исследований [6].

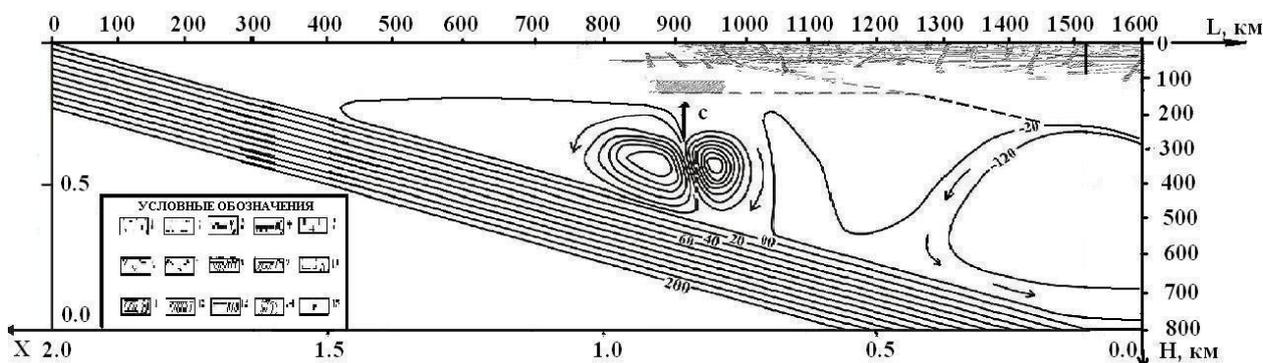


Рисунок 1 – Глубинный геолого-геофизический разрез квазистационарного распределения безразмерной функции тока в мантийном субдукционном клине

На рисунке 1 изображен глубинный геолого-геофизический разрез квазистационарного распределения безразмерной функции тока в мантийном субдукционном клине, расположенном на акватории Черноморской литосферной плиты, погружающейся под Русскую континентальную литосферную плиту, с учетом эффектов диссипативного нагрева и конвективной неустойчивости для неньютоновской реологии мантии и концентрации воды  $C_w = 3 \times 10^{-1}$  весовых % в горных породах мантии. Вертикальная стрелка (с) показывает восходящий конвективный поток. В верхней части рисунка приведен реальный геолого-геофизический разрез мантии [6] по профилю от полуострова Крым по направлению на северо-запад, к Русской литосферной плите. Условные обозначения: 1 – осадочные породы; 2 – дислоцированные породы молодого фундамента; 3 – поверхность молодого фундамента; 4 – поверхность докембрийского фундамента ( $V=6.2-6.5$  км/с); 5 – «гранитный» слой; 6 – породы основного состава ( $V=7.0$  км/с); 7 – породы коро-мантийного слоя; 8 – поверхность коро-мантийного слоя ( $V=7.5-7.6$  км/с); 9 – граница Мохоровичича; 10 – сейсмические горизонты верхней мантии; 11 – слой с пониженной скоростью в верхней мантии по данным ГСЗ; 12 – поверхность астеносферного слоя по геотермическим данным; 13 – поверхность астеносферного слоя по данным МТЗ; 14 – глубинные тектонические разломы; 15 – очаги землетрясений.

Из рисунка 1 видно, что в расчетной модели субдукционной зоны (нижняя часть рисунка) с погружением Черноморской литосферной плиты под Русскую был правильно рассчитан угол наклона этой плиты ( $27^\circ$ ), который соответствует наклону верхней кромки этой литосферной плиты, фиксируемому на реальном геолого-геофизическом разрезе (верхняя часть рисунка). Кроме того, из рис. 1 видно, что точно рассчитано местоположение конвективной вихревой структуры квазистационарного распределения безразмерной функции тока, связан-

ной с формированием восходящего конвективного потока (вертикальная стрелка – с). Над этой конвективной зоной, в верхней части рисунка, на реальном геолого-геофизическом разрезе наблюдается зона плавления горных пород мантии, которую мы ассоциируем с восходящим мантийным термическим диапиром.

В качестве примера рассмотрим тектонически активную окрестность зоны субдукции, и качественно сравним силу динамического (негидростатического) давления и вязкие напряжения, действующие на субдуцирующий литосферный блок и подошву динамической топографии в этой области. Так как крупномасштабные циркуляционные движения под движущейся и субдуцирующей Черноморской субокеанической литосферной плитой и Русской континентальной плитой, с которой сталкивается субокеаническая плита, происходят внутри тех частей верхней мантии, которые сильно удлинены в горизонтальном направлении, то в рамках рассмотренной конвективной модели эти циркуляционные движения характеризуются условием  $d \ll L$ , или, в безразмерном виде,  $k \ll \pi$  в формуле (8). Учитывая изложенное выше и ранее опубликованные работы [1-4] это может означать, что в окрестности зон субдукции на субдуцирующие литосферные блоки и «подошву» настилающей литосферы действуют преимущественно силы динамического давления, а вязкие напряжения незначительны. Это условие (хотя и без всякого обоснования), используется в [7] в параграфе § 6.11 об угле субдукции. Можно, также, отметить, что расчет динамической топографии в [10] выполняется путем вычисления упругого изгиба верхней части коры, подпираемой снизу динамическим давлением в вязком течении, происходящим в слое нижней коры, причем этот достаточно тонкий слой очень сильно вытянут в горизонтальном направлении. При этом также не учитываются вязкие напряжения, действием которых авторы пренебрегают, не приводя каких-либо обоснований.

Однако в окрестности зон субдукции микро-плит, например, Черноморской [1], Амурской [2], Адриатической [3] и Палео-Уральской [4], движения в астеносфере оказываются примерно изометричны, и роли сил динамического давления и вязких напряжений оказываются сравнимы между собой. Этим, возможно, объясняется то, что субдукция микро-плит и малых плит происходит под достаточно малыми углами к горизонту, так как субдуцирующий блок поддерживается снизу и «подсасывается» сверху не только силами динамического давления, но и сравнимыми силами вязких напряжений. Напротив, динамическая топография, формирующаяся над восходящими термическими диапирами, относительно узкими в горизонтальном направлении, связана с астеносферными потоками, в которых  $k \gg \pi$  в формуле (8). Следовательно, динамическая топография над диапирами оказывается обусловлена преимущественно вязкими напряжениями.

Сравнивая с другими [7-14] (и огромным количеством ссылок по ним) полученные в данной работе результаты, следует отметить, что многочисленные термомеханические модели мантии в зонах субдукции показали, что конвекция в виде поперечных валообразных вихрей и формирующихся термических диапиром никогда ранее не анализировалась, поскольку модели с чрезвычайно малым углом субдукции и достаточно большой скоростью субдукции ранее никем не исследовались.

### **Заключение и выводы**

Показано, что относительная роль сил динамического давления и вязких напряжений, действующих в областях верхней мантии, характеризуемых астеносферными течениями в окрестности активных тектонических зон, зависит от соотношения горизонтального и вертикального масштабов течений в астеносфере. Если горизонтальный масштаб движений значительно превышает их вертикальный масштаб, то роль сил динамического давления существенно преобладает над ролью вязких напряжений, и последними можно пренебречь. Так, в окрестности зон субдукции протяженных плит при вычислении динамической топографии и угла субдукции можно пренебречь вязкими напряжениями и учитывать только силы динамического давления. В зонах субдукции микро-плит следует учитывать как динамическое

давление, так и вязкие напряжения, роли которых сравнимы, чем, по-видимому, объясняются малые углы субдукции микро-плит. Динамическая топография над термическими диапирами, напротив, обязана своим происхождением преимущественно вязким напряжениям. Новизна настоящей работы заключается в том, что в окрестности зон субдукции литосферных плит движения в астеносфере оказываются примерно изометричны, и роли сил динамического давления и вязких напряжений оказываются сравнимы между собой. Кроме того, новизна результатов данной работы может быть обусловлена еще и тем, что динамическая топография, формирующаяся над восходящими термическими диапирами, относительно узкими в горизонтальном направлении, связана с астеносферными потоками, в которых  $k \gg \pi$  в формуле (8). Полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы при решении некоторых задач теории упругости литосферных плит.

### Литература

1. Гаврилов, С. В. Геотермодинамическая модель предполагаемой палеозоны литосферной субдукции в районе Черноморской впадины и ее связь с металлогенической зональностью Крыма и Кавказа / С. В. Гаврилов, А. Л. Харитонов. – Текст : непосредственный // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 87. – С. 4-16. doi: 10.52349/0869-7892-2021-87-04-16.
2. Гаврилов, С. В. О субдукции Амурской микроплиты и конвективном механизме выноса диссипативного тепла и углеводородов из мантийного клина в Охотском море к востоку от острова Сахалин / С. В. Гаврилов, А. Л. Харитонов. – Текст : непосредственный // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2022. – Т. 42. – № 1(105). – С. 5-12. doi: 10.24412/1728-5283\_2022\_1\_5-12.
3. Гаврилов, С. В. Исследование величины о формировании аномального теплового потока в бассейне Паннония и зоне Вардар при субдукции Адриатической плиты под Евроазиатскую плиту / С. В. Гаврилов, А. Л. Харитонов. – Текст : непосредственный // International Journal of Professional Science. – 2021. – № 9. – С. 27-39. doi: 10.54092/25421085\_2021\_9\_27.
4. Гаврилов, С. В. Моделирование глубинного геодинамического строения зоны субдукции Русской палеоплиты под литосферу Уральского палеоокеана и связанное с субдукцией распределение месторождений углеводородов / С. В. Гаврилов, А. Л. Харитонов. – Текст : непосредственный // Уральский геологический журнал. – 2021. – № 5(143). – С. 3–19.
5. Ландау, Л. Д. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука. ГИФМЛ, 1986. – 736 с. – ISBN 1ЯБМ5-9221-0121-8. – Текст : непосредственный.
6. Соллогуб, В. Б. Литосфера Украины / В. Б. Соллогуб. – Киев : Наукова думка, 1986. – 184 с. ISBN отсутствует. – Текст : непосредственный.
7. Теркотт, Д. Л. Геодинамика / Д. Л. Теркотт, Дж. Шуберт. – М. : Мир, 1985. – 732 с. – Текст : непосредственный.
8. Трубицын, В. П. Численная модель образования совокупности литосферных плит и их прохождения через границу 660 км / В. П. Трубицын, А. П. Трубицын / Физика Земли. – 2014. – № 6. – С. 138–147.
9. Billen M., Hirth G. Newtonian versus non-Newtonian Upper Mantle Viscosity: Implications for Subduction Initiation // Geophys. Res. Lett. – 2005. – V.32. – (L19304). doi: 10.1029/2005GL023458.
10. Clark M.K., Bush J.W.M., Royden L.H. Dynamic topography produced by lower crustal flow against rheological strength heterogeneities bordering the Tibetan Plateau // Geophys. J. International. – 2005. – V.162. – PP. 575–590.
11. Gerya T.V. Future directions in subduction modeling // Journal of Geodynamics. – 2011. – V. 52. – PP. 344–378.
12. Karig D. E. Origin and development of marginal basins in the Western Pacific // Journal Geophysical Researches. – 1971. – V. 76. – № 11. – PP. 2542-2561. <https://doi.org/10.1029/JB076i011p02542>

13. Miyashiro A. Metamorphism and related magmatism in plate tectonics // Am. Journ. Sci. – 1972. – V. 272. – PP. 629-656.
14. Schubert G., Turcotte D.L., Olson P. Mantle Convection in the Earth and Planets. – New York: Cambridge University Press, 2001. – 940 p. ISBN 9780511612879. – DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511612879>

**ПОСТРОЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ  
ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Массель Людмила Васильевна**

*доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник, заведующая отделом  
Систем искусственного интеллекта в энергетике,  
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН  
Иркутск, Россия  
E-mail: massel@isem.irk.ru*

**Массель Алексей Геннадьевич**

*кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник отдела  
Систем искусственного интеллекта в энергетике,  
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН  
Иркутск, Россия  
E-mail: amassel@gmail.com*

*Работа выполнена в рамках проекта по госзаказу ИСЭМ СО РАН,  
№ темы FNEU-2021-0007, рег. № АААА-А21\_121012090007-7*

*Цель исследования: построение Экосистемы знаний в области энергетике.*

*Объект исследования: энергетические объекты и системы и топливно-энергетический комплекс в целом.*

*Предмет исследования: методы и технологии построения экосистем знаний.*

*Методы исследования: системный анализ, математическое и семантическое моделирование, методы построения баз знаний и инструментальных средств (сервисов) работы с ними.*

*Основные результаты исследования: обсуждаются основные понятия экосистем знаний с использованием обзора зарубежных источников. Показана возможность использования ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике как научного прототипа экосистемы знаний в энергетике. Предлагается разработка Экосистемы знаний в энергетике на основе ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике, и представлена ее архитектура, включающая модели, инструментальные средства и цифровых двойников.*

*Ключевые слова: экосистема знаний, артефакт, ИТ-инфраструктура, база знаний, инструментальная среда, сервисы.*

**BUILDING A KNOWLEDGE ECOSYSTEM BASED ON IT-INFRASTRUCTURE  
OF SYSTEM RESEARCH IN ENERGY**

**Liudmila V. Massel**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher  
Head of the Department of Artificial Intelligence Systems in Energy,  
Energy Systems Institute named after L.A. Melentyev SB RAS  
Irkutsk, Russia  
E-mail: massel@isem.irk.ru*

**Aleksei G. Massel**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher  
Department of Artificial Intelligence Systems in Energy  
Energy Systems Institute named after L.A. Melentyev SB RAS  
Irkutsk, Russia  
E-mail: amassel@gmail.com*

*The work was carried out within the framework of a project  
for the state order of ISEM SB RAS, topic No. FNEU-2021-0007,  
reg. No. AAAA-A21\_121012090007-7*

*Purpose of research: building a Knowledge Ecosystem in the field of energy.*

*Object of research: energy facilities and systems and the fuel and energy complex as a whole.*

*Subject of research: methods and technologies for building knowledge ecosystems.*

*Methods of research: mathematical and semantic (including ontological) modeling, methods for constructing knowledge bases and tools (services) for working with them.*

*Main results of research: the possibility of using the IT- infrastructure of systemic research in the energy field as a scientific prototype of the Knowledge Ecosystem in the energy sector is shown. The basic concepts of knowledge ecosystems are discussed using a review of foreign sources. The possibility of using the IT-infrastructure of system research in the energy sector as a scientific prototype of the knowledge ecosystem in the energy sector is shown. The development of a Knowledge Ecosystem in the energy sector is proposed based on the IT infrastructure of systems research in the energy sector and its architecture is presented, including models, tools and digital twins.*

*Keywords: knowledge ecosystem, artifact, IT infrastructure, knowledge base, tool environment, services.*

---

## **Введение**

Построение экосистем знаний, под которыми понимают новый подход к управлению знаниями, за рубежом является активно развивающимся направлением. Термин «биологические экосистемы», первоначально введенный британским ботаником Артуром Тэнсли в 1930-х годах, отражает непрерывную совместную эволюцию организмов, которые приспосабливаются к внешним изменениям и нарушениям, ощущаемым в окружающей их среде [1]. За рубежом термин «экосистема» в последнее время используется как метафора для описания организации взаимозависимых субъектов (например, клиентов, поставщиков, конкурентов), которые коллективно создают ценности и используют возможности для роста и инноваций, этот термин часто использовался в литературе по промышленному маркетингу [2, 3].

По мере развития тенденции цифровой экономики в РФ получил распространение термин «Цифровая экосистема», под которым понимают сеть взаимосвязанных цифровых технологий, платформ и услуг, взаимодействующих друг с другом для создания ценности для бизнеса и потребителей. Примеры: Apple, Microsoft, Google, Tesla, Amazon, в России: Сбер, Яндекс, МТС, Магнит и другие громкие бренды. Авторами экосистема знаний рассматривается как развитие и специализация цифровой экосистемы [4].

Идея «Экосистемы знаний» представляет собой подход к управлению знаниями, направленный на развитие взаимодействий между участниками обмена (агентами), упрощение процесса принятия решений и стимулирование инноваций благодаря эволюции сотрудничества между агентами [5, 6].

Экосистемы знаний включают взаимосвязанные знаниевые ресурсы, базы данных, экспертов. Выделяют основные составляющие экосистемы знаний: 1) технологическое ядро; 2) критические взаимосвязи; 3) инструменты и агенты знаний; 4) исполнительные действия [7].

Понятия и применение экосистем знаний достаточно хорошо проработаны за рубежом, подробный обзор работ в этом направлении дается в [8].

Экосистемы знаний подчеркивают процесс участия разработчиков и/или пользователей экосистемы в создании, изучении и использовании общей базы знаний на благо всех участников (акторов). Участие в экосистеме также позволяет субъектам превращать первично приобретенные знания в новые знания для коммерциализации продуктов или услуг или в качестве средства открытия новых бизнес-моделей или процессов, которые они не смогли бы реализовать, если бы полагались только на индивидуальные компетенции [9].

Поскольку экосистемы знаний сосредоточены на «процессе коллективного обмена знаниями», знания используются как наиболее важное средство взаимодействия между его участниками. Результатом на уровне экосистемы обычно являются знания, основанные на исследованиях, и связанные с ними приложения, в которых участники экосистемы совместно создают и исследуют новые знания в качестве общего ресурса. В этом отношении экосистемы знаний – это «организации, состоящие из различных акторов, объединенных совместным поиском ценных знаний, и в то же время обладающих независимой деятельностью за пределами экосистемы знаний» [10-12].

Одним из ключевых является понятие «артефакты». В контексте экосистемы артефакты относятся к продуктам и услугам, входам и выходам (включая материальные и нематериальные ресурсы), которые совместно создаются всеми участниками как выход на уровне экосистемы [13].

В сравнении с большинством других типов экосистем в экосистемах знаний организации-участники ориентированы на исследование знаний, при этом их исследования носят широкий и общий характер, чтобы фирмы и другие участники экосистемы могли адаптировать или модифицировать их в зависимости от их соответствующих контекстов и потребностей.

Субъектов, которые охватывают структуру экосистемы знаний и основную организацию, можно разделить на две категории: 1) субъекты, организации и отдельные лица, которые вносят свой вклад в обмен, исследование и создание центральной базы знаний для совместного использования (участники); 2) члены экосистемы, которых, в первую очередь, интересует использование общей базы знаний для дальнейших инноваций, рынка или технологического развития (бенефициары). Эти две категории не обязательно исключают друг друга, и вкладчики (участники) могут стать членами-бенефициарами и наоборот. Важно различать эти две категории, поскольку каждая из них вносит уникальный вклад в экосистему [14].

В России проблематика экосистем знаний проработана гораздо хуже, что подтверждается, в том числе, расхождениями в терминологии. Например, в [15] используется термин «знаниевые экосистемы» В [16] используется термин «экосистема управления знаниями», которая позиционируется, как фактор развития промышленности (ссылки в статьях приводятся только на русскоязычные источники). Важность проблемы управления знаниями подчеркивается в [17]. В ней отмечается, что существующие подходы к управлению знаниями (УЗ) в российских компаниях носят пока фрагментарный характер, фокусируясь лишь на отдельных аспектах УЗ (например, на информационных технологиях).

Из вышесказанного можно сделать вывод, что разработка методологии построения и использования экосистем знаний, как нового подхода к управлению знаниями, является актуальной, но недостаточно проработанной в нашей стране. Кроме того, как в российских, так и в зарубежных источниках не рассматриваются технологии, используемые для построения экосистем знаний.

Постановка научной проблемы состоит в разработке концепции, методов и технологий построения экосистем научных знаний, как нового подхода к управлению знаниями, на примере исследований энергетики. Актуальность решения этой проблемы обусловлена в первую очередь возрастанием в современном мире роли управления знаниями (УЗ), из-за влияния ряда причин [17]: 1) в эпоху информационных технологий (ИТ) компании получили доступ к такому большому объему информации (как внутренней, так и из внешней среды), что иден-

тификация актуальной и ценной для принятия решений информации требует значительных усилий; 2) за счет постоянных изменений внешней среды знания достаточно быстро теряют свою актуальность, следовательно, компаниям необходимо оперативно находить и применять новые знания; 3) все больше компаний понимают, что ошибки и игнорирование проблематики УЗ может привести к фатальным последствиям; часто неудачи вызваны отсутствием четкой стратегии УЗ, или чрезмерными надеждами на возможности информационных технологий, а также, в ряде случаев, низкой профессиональной грамотностью в теории и практиках УЗ в российских компаниях.

В научных организациях эта проблема также полностью не осознана, например, низкая востребованность научных результатов академических институтов, в частности, связанных с исследованиями энергетике, в том числе, связана с тем, что неявные знания ученых и получаемые научные результаты не трансформируются в прагматические знания, которые могут быть применены в энергетических организациях, а это невозможно сделать без разработки теоретических основ, методов и средств управления знаниями. В статье рассматривается подход, развиваемый коллективом под руководством авторов<sup>1</sup>, в котором ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике предлагается как научный прототип экосистемы знаний в энергетике.

### **Результаты и обсуждение**

#### *ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике как научный прототип экосистемы знаний*

Под руководством авторов выполняется проект по госзаказу ИСЭМ СО РАН «Методология построения ИТ-инфраструктуры для разработки интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетике» (2021–2025 гг.). Название проекта отражает цель создания ИТ-инфраструктуры. Для краткости далее будем ее называть «ИТ-инфраструктура системных исследований энергетике».

Архитектура ИТ-инфраструктуры приведена на рисунке 1.

*Общие комментарии к рис. 1.*

Представленная архитектура ИТ-инфраструктуры отражает модели, программные компоненты и технологии для четырех уровней ИТ-инфраструктуры (агрегат, объект энергетике, энергетическая система и ТЭК в целом) и соответствующих уровней управления (оперативное управление объектами и агрегатами; оперативное управление энергосистемами; тактический и стратегический уровни управления).

Выделенные пять компонентов программного обеспечения, необходимых для создания цифровых двойников и умных цифровых двойников [18], объединены в Инструментальную ИТ-среду для построения ЦД (И) и включают:

- Ядро цифрового двойника (CDT) – предметно ориентированные (по уровням ИТ-инфраструктуры) математические (в т. ч. имитационные) и информационные модели.
- Систему сбора данных с физического объекта (DCS) – системы наблюдения, распознавания и сбора данных, системы мониторинга и управления, обеспечивающие сбор данных с физического объекта, мониторинг и управление физическим объектом (физический элемент/физическая часть двойника). Отдельно выделены средства, реализующие технологию «Edge Computing» (граничные вычисления) – сбор, обработка и анализ данных на периферийных устройствах сети рядом с источником информации.

---

<sup>1</sup> Отдел Систем искусственного интеллекта в энергетике ИСЭМ СО РАН, возглавляемый Л.В. Массель

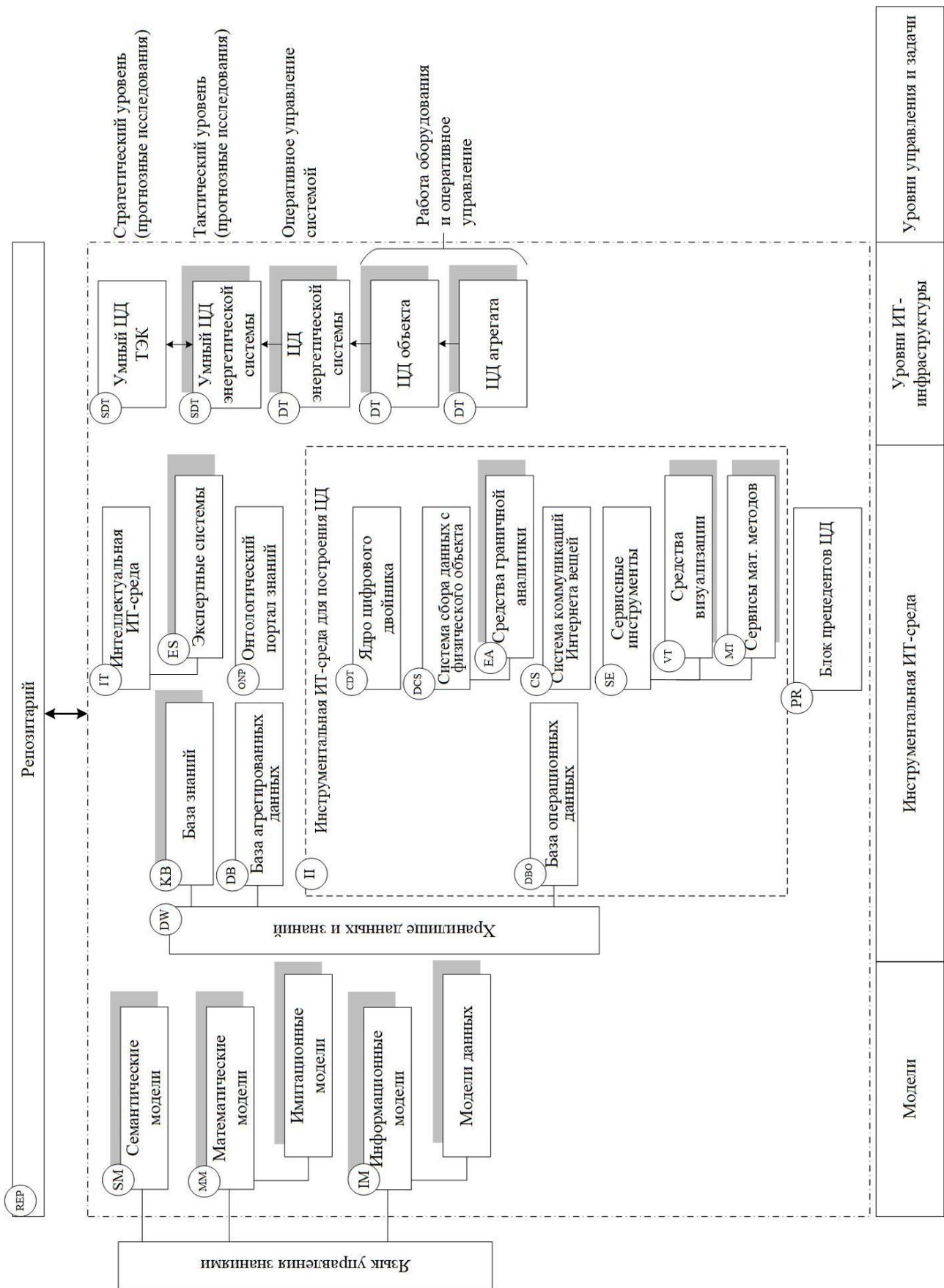


Рисунок 1 – Архитектура ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике

- Системы, обеспечивающие хранение собранных данных, – классические СУБД (Oracle, MS SQL, DB2), СУБД с открытым исходным кодом (PostgreSQL), облачные хранилища (S3, RedShift, Greenplum), распределенные файловые системы HDFS и др. Отдельно выделены операционные базы данных (DBO), которые хранят данные для поддержки бизнес-процессов и деятельности организации, и агрегированные базы данных (DB), также называемые хранилищами данных и содержащих в агрегированном виде данные, полученные из операционных, внешних и других баз данных, которые были очищены, преобразованы и каталогизированы таким образом, чтобы они могли использоваться для интеллектуального анализа данных, онлайн-аналитической обработки и других форм бизнес-анализа, а также для поддержки принятия решений. DBO и DB выделены как часть хранилища данных и знаний (DW).
- Сервисные элементы, предоставляющие сервисы и интерфейс для клиентов (SE), – инструменты для поддержки сервисов оптимизации, математического моделирования, прогнозирования и т. д. Отдельно выделены средства визуализации (VT), которые в зависимости от класса решения задач могут реализовывать 3D-визуализацию, дополненную реальность, сетевую визуализацию и т. д. данных, математических моделей, результатов вычислений, включая автоматизированную генерацию отчетов в рамках технологических процессов, процессов проектирования, мониторинга, обучения сотрудников, отображения эксплуатационного состояния (в реальном времени), виртуальные учебные симуляторы и т. д. Кроме того, выделены сервисы для поддержки математических методов (MT) – методо-ориентированные агенты-сервисы, типовые «решатели».
- Систему коммуникаций (CS) – платформу Интернета вещей (IoT), обеспечивающую связи между вышеперечисленными элементами.

Методы искусственного интеллекта и вышеперечисленные пять программных компонентов, необходимых для построения DT, интегрируются в SDT.

Для управления энергетическими объектами достаточно использовать традиционные DT. При управлении энергосистемами могут потребоваться элементы интеллектуальных технологий, а при стратегическом управлении (управлении развитием топливно-энергетического комплекса) потребуется умный цифровой двойник (Smart Digital Twin – SDT).

Формализованные модели DT и SDT описаны авторами в [19]. Разработанные в авторском коллективе прецеденты цифровых двойников возобновляемых источников энергии рассмотрены в [20].

*Дополнительные комментарии к рис. 1:*

IT – Интеллектуальная ИТ-среда – многоагентная инструментальная среда для проведения системных исследований, включающая агенты-сервисы семантического моделирования, экспертные системы (ES) и сервисные инструменты. Формализованную модель интеллектуальной ИТ-среды можно представить как  $V_{IT} = \{O, M_C, M_S, M_B, E_S, T_V\}$ , где  $\{O\}$  – множество онтологий,  $\{M_C\}$  – множество когнитивных моделей,  $\{M_S\}$  – множество событийных моделей,  $\{M_B\}$  – множество вероятностных (БСД) моделей, ES – экспертные системы,  $T_V$  – инструментальные средства поддержки ИТ-среды, включающие описание знаний, представленных в виде онтологий, когнитивных, событийных и вероятностных (БСД) моделей и средства манипулирования ими [21].

DW – Хранилище данных и знаний, включающее базы знаний (KB), агрегированные базы данных и операционные базы данных.

REP – Репозиторий – программный компонент, обеспечивающий доступ к хранилищу данных и знаний, содержащий его метоописание.

На основе предыдущих разработок [22], была разработана структура Хранилища данных и знаний и обеспечения доступа к ним на основе Репозитария. Репозиторий предоставляет доступ к агрегированным сведениям, хранящимся в базах данных; семантическим моделям,

хранящимся в базах знаний; различным отчётным данным и статьям, которые хранятся в файловых хранилищах.

Репозиторий включает в себя: пользовательский интерфейс; прикладной программный интерфейс (API); компонент метаописаний знаний и данных, к которым Репозиторий предоставляет доступ; служебную базу данных. Архитектура Репозитория представлена на рис. 2.

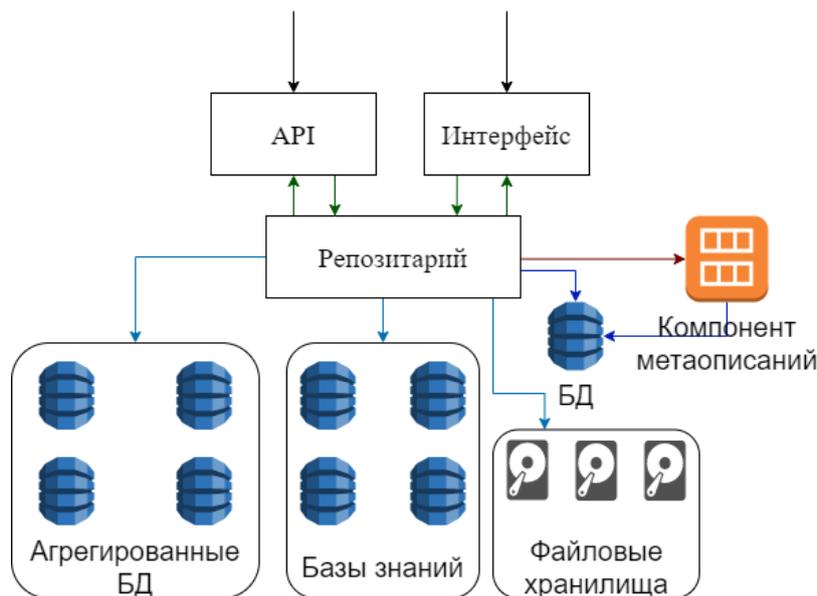


Рисунок 2 – Архитектура Репозитория

Для интеграции семантических, математических и информационных моделей предлагается использовать язык управления знаниями, который разрабатывается на основе реализованного ранее языка ситуационного управления CML (Contingency Management Language). CML включает в себя две основных составляющих (D, M) [23]: 1) компонент описания знаний D – позволяет описывать ситуации, сценарии, управляющие воздействия; 2) компонент манипулирования знаниями M – позволяет вызывать инструментальные средства и использовать семантические модели и модели знаний. В рамках предыдущих исследований была выполнена реализация CML для использования его при разработке интеллектуальной системы для поддержки принятия стратегических решений (ИСППР) в энергетике (получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ [24]).

Одним из важных компонентов при создании экосистемы знаний в энергетике является онтологический портал, разработка которого выполняется на основе технологии построения интеллектуальных научных Интернет-ресурсов (ИНИР), разработанной в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск). Особенности технологии ИНИР являются использование онтологий в качестве средства представления и систематизации знаний и ориентация на экспертов – специалистов в тех областях знаний, для которых создаются ресурсы.

Пример метаонтологии, описывающей основные направления системных исследований в энергетике и включенной в состав онтопортала, приведен на рисунке 3 (разработана сотрудницей отдела Т.Н. Ворожцовой).



Рисунок 3 – Метаонтология основных направлений системных исследований в энергетике

Принципы построения онтологического портала: 1) структурирование онтологий (онтологии предметной области, онтологии ресурсов); 2) использование базовых онтологий (базовая онтология научной деятельности, базовая онтология задач и методов, базовая онтология ресурсов); использование паттернов онтологического проектирования. На первом этапе (для контактов с экспертами – энергетиками онтологии представляются в графическом виде, и затем описываются на языке OWL в системе Protégé.

### Заключение и выводы

В статье представлен подход к построению Экосистемы знаний в энергетике, основанный на развитии и адаптации разрабатываемой под руководством авторов ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике. Рассмотрены основные понятия в области экосистем знаний, преимущественно на основе обзора зарубежной литературы. Отмечается, что в нашей стране направление «Экосистемы знаний» практически не развито.

Предложено рассматривать ИТ-инфраструктуру системных исследований в энергетике, как научный прототип Экосистемы знаний в энергетике. Приведена ее архитектура, которая включает как Хранилище баз данных и знаний, так и совокупность сервисов, образующих Инструментальную среду Экосистемы знаний. В качестве ядра Экосистемы знаний предлагается рассматривать создаваемый, совместно с коллегами из ИСИ СО РАН, портал знаний в области энергетики, основанный на использовании онтологий.

Для интеграции моделей, являющихся основой баз знаний, предложено использовать реализованный под руководством авторов язык управления знаниями. Кроме того, предлагается расширить экосистему знаний путем включения инструментальных средств построения цифровых двойников и умных цифровых двойников, а также их прецедентов, разрабатываемых, в том числе, для использования в научных исследованиях. В архитектуре ИТ-инфраструктуры показана возможность их применения на разных уровнях управления энергетикой.

Представляется, что ИСЭМ СО РАН может выступить в роли основного разработчика Экосистемы знаний в энергетике; организациями-участниками могут быть научно-исследовательские организации энергетического профиля, бенефициарами (пользователями) – энергетические факультеты (институты) ВУЗов и промышленные организации (ассоциации), работающие в области энергетики. Как было сказано выше, они могут совмещать эти роли (быть одновременно разработчиками и пользователями).

Авторский коллектив имеет научные прототипы основных компонентов Экосистемы знаний (получены более 30 свидетельств о государственной регистрации баз данных и программ для ЭВМ).

В целом выполняемая работа может внести существенный вклад в разработку как теоретических основ, методов и средств управления знаниями, так и в интеграцию знаний в области энергетики и создание предпосылок для получения новых знаний в этой области.

**Благодарности.** Результаты получены в рамках проекта по госзаказу ИСЭМ СО РАН, № темы: FNEU-2021-0007, рег. № АААА-А21-121012090007-7.

### Литература

1. Kelly, E. Business Ecosystems Come of Age; Business Trends; Industry Report; Deloitte University Press: London, UK, 2015. – Pp. 1–17.
2. Velu, C. Knowledge Management Capabilities of Lead Firms in Innovation Ecosystems. *AMS Rev.* 2015, 5. – Pp.123–141.
3. Zhang, J. Z.; Watson, G.F., IV. Marketing Ecosystem: An Outside-in View for Sustainable Advantage. *Ind. Mark. Manag.* 2020, 88. – Pp. 287–304.
4. Массель, Л. В. Экосистема знаний как развитие и специализация цифровой экосистемы / Л. В. Массель. – Текст : непосредственный // Труды Международного научно-технического конгресса «Интеллектуальные системы и информационные технологии – 2023». Научн. издание в 2-х томах, 2023. – Т. 2. – Таганрог : Издатель Ступин С. А. – С. 155–164.
5. Paul Shrivastava. Knowledge Ecology: Knowledge Ecosystems for Business Education and Training (1998). Архивная копия от 25 августа 2017 на Wayback Machine.
6. David A. Bray. Knowledge Ecosystems: A Theoretical Lens for Organizations Confronting Hyperturbulent Environments (2007).
7. Homa Bahrami, J. Stuart Evans. The Research Laboratory: Silicon Valley's Knowledge Ecosystem, in Super-Flexibility for Knowledge Enterprises. Springer (2005).
8. Jeandri Robertson. Competition in Knowledge Ecosystems: A Theory Elaboration Approach Using a Case Study. Sweden (2020). – URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/18/7372>. Дата доступа 11.04.2023
9. Järvi, K.; Almpantopoulou, A.; Ritala, P. Organization of Knowledge Ecosystems: Prefigurative and Partial Forms. *Res. Policy* 2018, 47. – Pp. 1523–1537.
10. Bathelt, H.; Cohendet, P. The Creation of Knowledge: Local Building, Global Accessing and Economic Development-Toward an Agenda. *J. Econ. Geogr.* 2014, 14. – Pp. 869–882.
11. Scaringella, L.; Radziwon, A. Innovation, Entrepreneurial, Knowledge, and Business Ecosystems: Old Wine in New Bottles? *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2018, 136. – Pp. 59–87.
12. Valkokari, K. Business, Innovation, and Knowledge Ecosystems: How They Differ and How to Survive and Thrive within Them. *Technol. Innov. Manag. Rev.* 2015, 5. – Pp. 17–24.
13. Granstrand, O.; Holgersson, M. Innovation Ecosystems: A Conceptual Review and a New Definition. *Technovation* 2020, 90-91, 102098.
14. Trischler, J.; Johnson, M.; Kristensson, P. A Service Ecosystem Perspective on the Diffusion of Sustainability-Oriented User Innovations. *J. Bus. Res.* 2020, 116. –Pp. 552–560.
15. Абузярова, М. И. Знаниевые экосистемы как доминирующий подход формирования новых моделей управления / М. И. Абузярова. – Текст : непосредственный // Экономика, предпринимательство и право, 2021.– Т. 11. – № 12. – С. 2259–2669.
16. Шарипов, Ф. Ф. Экосистемы управления знаниями в отраслях промышленности / Ф. Ф. Шарипов. – Текст : непосредственный // Экономика. Налоги, Право, 2020. – №13 (2).– С. 54–60.

17. Гаврилова, Т. А. Управление знаниями с российским акцентом: победы и поражения / Т. А. Гаврилова, А. И. Алсуфьев, Л. О. Кокоулина. – Текст : непосредственный // Инновации, 2017. – № 1 (219). – С. 59–69.

18. Прохоров, А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев ; под редакцией А. И. Боровкова. – М. : ООО «АльянсПринт», 2020 – 401 с. – Текст : непосредственный.

19. Массель, Л. В. Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем / Л. В. Массель, А. Г. Массель. – Текст : непосредственный // Онтология проектирования, 2023. – Т. 13. – № 1(47). – С. 44–45. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-1-470-480.

20. Массель, Л. В. Построение цифровых двойников ветровой и солнечной электростанций на основе онтологического подхода / Л. В. Массель, А. Г. Массель, Н. И. Щукин, А. Р. Цыбиков, А. С. Лосев. – Текст : непосредственный // Автоматизация в промышленности, 2022. – № 7. – С. 28-32. DOI: 10.25728/avtprom.2022.07.04.

21. Массель, Л. В. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики / Л. В. Массель, А. Г. Массель. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2012. – Т. 321. – № 5. – С. 135–141.

22. Копайгородский, А. Н. Методы, технологии и реализация хранилища данных и знаний для исследований энергетики / А. Н. Копайгородский, Л. В. Массель. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета, серия «Математическое моделирование и программирование», 2011. – № 4 (221). – Вып. 7. – С. 47–55.

23. Массель, Л. В. Разработка языка ситуационного управления в интеллектуальной системе семиотического типа на основе онтологического инжиниринга / Л. В. Массель, А. Г. Массель. – Текст : непосредственный // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016) : материалы VI междунар. науч.-техн. конф. / отв. ред. В. В. Голенков. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 65–70.

24. Массель, Л. В. Интерпретатор языка ситуационного управления "Contingency Management Language" (ICML) / Л. В. Массель, А. Г. Массель, В. Р. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020667564 РФ, 2020. – EDN HRZAIX.

**ОБ ОДНОМ ПРИМЕРЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ  
ЗАДАЧИ 2D-РАСКРОЯ И МАРШРУТИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТА  
МАШИНЫ ЛИСТОВОЙ РЕЗКИ С ЧПУ**

**Петунин Александр Александрович**

*доктор технических наук, профессор,*

*УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,*

*ведущий научный сотрудник,*

*Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН,*

*Екатеринбург, Россия*

*E-mail: a.a.petunin@urfu.ru*

**Котел Наталья Сергеевна**

*старший преподаватель,*

*УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина*

*Екатеринбург, Россия*

*E-mail: n.s.skliarova@urfu.ru*

**Таваева Анастасия Фидагилевна**

*кандидат технических наук,*

*главный специалист Уральского оптико-механического завода,*

*научный сотрудник,*

*УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина*

*Екатеринбург, Россия*

*E-mail: tavaeva\_a\_f@bk.ru*

*Работа выполнена при финансовой поддержке  
Российского Научного Фонда (грант № 23-21-00343).*

*Предмет исследования: новая научная оптимизационная задача, предварительно получившая название «Integrated Nesting and Routing Problem (INRP)». INRP объединяет две известные оптимизационные задачи: задачу 2D-раскроя листового материала на фигурные заготовки и задачу оптимальной маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ.*

*Цель исследования: исследовать вопрос возможности разработки точных или эффективных приближенных алгоритмов для решения практических задач INRP.*

*Методы и объекты исследования: объектом исследования является математическая формализация содержательной постановки INRP; использовались методы дискретной оптимизации и автоматизированного проектирования.*

*Основные результаты исследования: в работе дается математическая формализация рассматриваемой проблемы и приводится модельный пример проектирования 2D-раскроя для фигурных заготовок, который, наряду с другим практическим примером, показывает целесообразность применения интегрированного стоимостного критерия при решении конкретных практических задач INRP. В частности, показана независимость глобального экстремума задачи INRP от глобального экстремума задачи фигурного раскроя. В связи с этим исследован вопрос возможности разработки эффективных приближенных алгоритмов для решения практических задач INRP.*

*Ключевые слова: Cutting & Packing, 2D-раскрой, траектория резки, интегрированная задача 2D-раскроя и маршрутизации, совмещенный рез, мульти-контурная резка, глобальный экстремум.*

**ABOUT ONE OPTIMAL SOLUTION EXAMPLE TO THE INTEGRATED 2D NESTING  
AND ROUTING PROBLEM FOR CNC SHEET CUTTING MACHINES**

**Alexander A. Petunin**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Ural Federal University,  
Leading Researcher,  
Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of the Russian  
Academy of Sciences,  
Ekaterinburg, Russia  
E-mail: a.a.petunin@urfu.ru*

**Natalya S. Kotel**

*Senior Lecturer,  
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia,  
E-mail: n.s.skliarova@urfu.ru*

**Anastasia F. Tavaeva**

*Ph. D. in engineering, Chief Specialist,  
Ural Optical and Mechanical Plant,  
Researcher of Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia,  
E-mail: tavaeva\_a\_f@bk.ru*

*The work was performed with the financial support  
of the Russian Science Foundation  
(grant No. 23-21-00343).*

*Subject of research: a new scientific optimization problem, tentatively called "The Integrated Nesting and Routing Problem (INRP)". INRP combines two well-known optimization problems: the problem of 2D cutting of sheet material into shaped parts (Nesting Problem) and the problem of optimal tool routing for CNC sheet cutting machines (Cutting Path Problem).*

*Purpose of research: to investigate the possibility of developing exact or efficient approximate algorithms for solving practical INRP problems.*

*Methods and objects of research: the object of the study is the mathematical formalization of the substantive formulation of the INRP, the methods are discrete optimization methods and computer-aided design methods used in systems for generating control programs.*

*Main results of research: the paper provides a mathematical formalization of the problem under consideration and provides a model example of designing 2D cutting for shaped parts, which, along with another practical example, shows the using feasibility an integrated cost criterion at solving the practical problems. In particular, it is show the independence the global extremum of the INRP problem from the global extremum of the nesting problem. In this regard, the question of the possibility of developing effective approximate algorithms for solving practical INRP problems was investigated.*

*Keywords: Cutting & Packing, Nesting, Cutting Path, Integrated Nesting and Routing Problem, combined cut, multi-contour cutting, global extremum.*

## Введение

Во многих отраслях промышленности, включая авиастроение, автомобилестроение, машиностроение и др., широко распространен процесс резки листовых материалов в качестве заготовительной операции. Этот процесс заключается в вырезке плоских деталей из листового материала на технологическом оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ). В настоящее время в производственном цикле листовой обработки широкое применение нашло оборудование лазерной, кислородной, плазменной и гидроабразивной резки.

Проектирование управляющих программ (УП) для оборудования листовой резки с ЧПУ предполагает на первом этапе проектирование раскройной карты листового материала, при этом возникает известная задача раскроя-упаковки 2D Irregular Shape Packing Problem, или задача «нестинга» (Nesting Problem), которая относится к широкому классу задач Cutting&Packing [1]. На втором этапе для разработанной на первом этапе карты раскроя назначается траектория перемещения режущего инструмента, что порождает актуальные оптимизационные задачи минимизации времени и стоимости процесса резки деталей из листового материала на оборудовании с ЧПУ (Cutting Path Problem) [2, 3]. Следует отметить, что современные системы автоматизированного проектирования УП (Computer Aided Manufacturing, САМ-системы) в общем случае не гарантируют получения ни оптимального по затратам использованного материала варианта раскроя, ни оптимального по временным и стоимостным параметрам маршрута резки. Более того, даже оптимальное решение задачи маршрутизации, полученное для оптимального варианта раскроя, в общем случае не гарантирует экстремум интегрированного стоимостного оптимизационного критерия интегрированной задачи раскроя и маршрутизации (INRP), исследуемой в данной работе. Этот факт будет доказан и проиллюстрирован ниже. Интегрированная задача раскроя и маршрутизации представляет собой объединение двух упомянутых выше известных оптимизационных задач – задачу 2D-раскроя листового материала и задачу оптимальной маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ. Отметим, что научные публикации, в которых задача оптимизации траектории инструмента рассматривается совместно с задачей раскроя, очень малочисленны, при этом оптимизационные критерии задачи 2D-раскроя и задачи маршрутизации, рассмотренные в этих работах, различны, поэтому, строго говоря, можно говорить о только двухкритериальных задачах оптимизации. Фактически первый критерий (величина расхода материала при раскрое) даже не учитывается, а задачей авторов является формирование раскройных планов, позволяющих уменьшить время процесса резки. В данной работе впервые дается полная математическая формулировка задачи INRP для единого оптимизационного критерия.

В существующих САМ-системах есть отдельные модули, которые позволяют в частных случаях решать некоторые оптимизационные задачи маршрутизации инструмента (например, минимизацию холостого хода), особенно если при проектировании траектории инструмента применяется стандартная техника резки «по замкнутому контуру». В свою очередь, применение техники т. н. мульти-контурной резки, когда несколько контуров вырезаются без выключения инструмента с использованием только одной точки врезки (см., например, применение «мостов» [4]) и техники совмещенного реза [5] на этапе маршрутизации инструмента может значительно сократить временные и стоимостные характеристики процесса резки. Однако для этих целей пользователи САМ-систем, как правило, вынуждены использовать интерактивный режим проектирования, который позволяет также выбирать допустимую с точки зрения деформаций материала траекторию резки деталей. Таким образом, актуальность разработки алгоритмического обеспечения, позволяющего в автоматическом режиме формировать раскройные карты и траекторию инструмента, обеспечивающего минимизацию расхода материала и стоимость процесса резки при одновременном соблюдении технологических ограничений резки, не уменьшается, несмотря на прогресс в создании высокоэффективного инженерного программного обеспечения. Следует отметить и невозможность применения точных алгоритмов для решения задач «нестинга» и Cutting Path Problem в реальном

диапазоне размерностей из-за NP-трудности обеих задач. Строго говоря, термин NP применим только для упрощенных дискретных моделей задач фигурного раскроя и маршрутизации, поскольку эти задачи в изначальной постановке предполагают наличие континуального множества допустимых решений и не являются задачами дискретной оптимизации.

Одним из естественных подходов к разработке алгоритмов интегрированной задачи 2D-раскроя и маршрутизации является исследование типовых фигурных заготовок, изготавливаемых на предприятиях реального сектора экономики, и выделение среди них геометрических классов, для которых на этапе раскроя возможно объединение конгруэнтных заготовок этого класса в группы, позволяющие применять мульти-контурную резку и совмещенный рез. В качестве геометрических классов заготовок могут рассматриваться круглые, прямоугольные, многоугольные и др. Таким образом, проектирование раскройных карт, содержащих такого рода группы конгруэнтных деталей, может использоваться в качестве эвристического подхода для решения реальных задач большой размерности за приемлемое время. В любом случае, при решении практических задач, задача получения глобального экстремума INRP должна быть фактически заменена на задачу формирования множества допустимых вариантов решения, ориентированных на уменьшение стоимостных параметров процесса резки при соблюдении рациональности 2D-раскроя с точки зрения площади (стоимости) использованного материала.

## **Результаты и обсуждение**

### *Обзор текущего состояния исследований*

По-видимому, впервые интегрированная задача 2D-раскроя и маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ для случая одной целевой функции была сформулирована в [6]. Однако материалы конференции были опубликованы только в бумажном виде и не размещались в Интернете. Разработка концепции одного стоимостного критерия для INRP связана с необходимостью получения научно обоснованных данных о стоимости процесса резки на различном технологическом оборудовании с ЧПУ для различных марок и толщин материала. Такого рода табличные данные стали появляться только в последнее время (см., например, [7]), что создает хорошие предпосылки для создания оптимизационных алгоритмов, эффективных для решения практических задач. По существу, отсутствие данных, содержащих стоимостные параметры резки деталей для различных марок и толщин материала для конкретных типов технологического оборудования с ЧПУ, и есть основная причина того, что однокритериальная оптимизационная задача INRP не исследуется современными учеными. Если рассматривать статьи по проблеме интеграции задачи раскроя и маршрутизации в рамках многокритериальной оптимизации, то следует отметить [8], в которой рассматривается задача упаковки фигурных заготовок в полосе (Irregular Strip Packing Problem, 2D-SPP) и задача минимизации длины реза этих заготовок. В качестве целевой функции для задачи 2D-раскроя используется длина занятой части полосы. Авторы разработали математическую модель, которая обеспечивает получение точных решений интегрированной задачи при условии дискретизации множества допустимых вариантов размещения заготовок на раскройном плане. Как известно, получение точных решений в рамках предложенной модели возможно только для задач малой размерности из-за NP-трудности обеих оптимизационных задач. Примером разработки алгоритмов, ориентированных на получение экстремальных решений задачи маршрутизации инструмента при использовании непрерывной модели, является работа [9]. Вместе с тем, как уже отмечалось во введении, адекватность полученных оптимизационных решений задачи INRP зависит от технических характеристик использованного оборудования для резки. В [10] для проектирования технологических процессов раскроя кожи предложен подход, где формирование раскройной карты остается за человеком, а задача маршрутизации инструмента машины резки решается автоматически. Также двухэтапное проектирования маршрута инструмента описано в [11], где на втором этапе предложено использовать одну из популярных метаэвристик – алгоритм эмуляции отжига. Многокритериальный подход также используется в [12] для решения задачи комбинированного планирова-

ния раскроя и процесса резки при изготовлении металлоконструкций. В этой статье описана трехэтапная процедура решения, которая включает в себя разделение деталей для резки на несколько групп по некоторым правилам, создание различных вариантов раскройных карт в различных стратегиях и выбор подходящих маршрутов резки.

Разумеется, что любые алгоритмы решения интегрированных задач 2D-раскроя и маршрутизации базируются на подходах, предлагаемых исследователями при решении каждой из этих задач отдельно. Детальный обзор применяемых математических моделей, используемых для решения задач нерегулярного фигурного раскроя, приведен в [13, 14]. В общем случае, задачи «нестинга» содержательно формулируются следующим образом.

Пусть задано конечное множество двумерных геометрических объектов (множеств точек), представляющих собой односвязные или многосвязные области, ограниченные одной или несколькими замкнутыми кривыми (граничными контурами). Эти объекты представляют собой геометрические модели деталей. Пусть также на плоскости задан набор ограниченных областей размещения объектов (кусков материала). Необходимо разместить данные объекты в заданных областях таким образом, чтобы были соблюдены условия взаимного непересечения объектов, а также ряд дополнительных условий. Эти условия могут быть связаны со свойствами разрезаемого материала, серийностью производства, особенностями технологического оборудования, используемого для получения деталей из данного материала и т. д. Геометрическая форма области размещения может быть любой, но чаще всего это полубесконечная прямоугольная полоса (Irregular Strip Packing Problem, задача нерегулярной двумерной упаковки в полосу) или набор прямоугольников (2D Bin Packing Problem, упаковка в контейнеры). Если задана только одна область размещения, и не все объекты можно разместить в ней, то такая задача называется задачей о рюкзаке (Knapsack Problem). Оптимизационная задача раскроя заключается в поиске варианта размещения деталей (карты раскроя), для которого некоторая целевая функция достигает экстремума. В качестве такой функции чаще всего используется площадь использованного материала, или коэффициент использования материала КИМ (отношение общей площади размещенных деталей к площади использованного материала). Как известно, современные вычислительные алгоритмы не гарантируют получение оптимального решения для подавляющего числа практических задач «нестинга», но еще одна проблема оптимизации заключается в том, что оценка точности полученного решения также является нерешенной математической проблемой, включая и решение, которое является оптимальным, поскольку факт его оптимальности чаще всего невозможно доказать. Следует отметить, что для этих задач даже построение конечного множества допустимых вариантов раскроя небольшой размерности представляет сложную математическую и вычислительную проблему. Поэтому реальная минимизация функции стоимости раскроя (получение глобального экстремума) возможна только для простых геометрических форм [15]. Если все раскраиваемые детали имеют прямоугольную форму, то для такого класса задач современный математический аппарат позволяет разрабатывать специальные алгоритмы и соответствующее программное обеспечение, позволяющее получать на современных компьютерах точные или близкие к оптимальным решения задач в реальном диапазоне размерностей за приемлемое время (см., в частности, [16]). Вместе с тем, большая часть статей, исследующих задачи прямоугольного раскроя, посвящена применению эвристик [17]. Из последних работ на эту тему, содержащую хороший обзор моделей решения таких задач, отметим [18]. Помимо решения оптимизационных проблем пользователям САМ-систем на этапе раскроя приходится учитывать и некоторые технологические ограничения, связанные с применяемым технологическим оборудованием. Число публикаций по исследованию проблематики задачи маршрутизации режущего инструмента для машин листовой резки с ЧПУ уступает числу публикаций по Cutting&Packing, но в последние годы их число неуклонно растет. Обзор работ по маршрутизации инструмента машин лазерной резки приведен, например, в [2]. Здесь же дана классификация задач Cutting Path Problem. Большая часть математических моделей, используемых при решении задач маршрутизации инструмента, от-

носится к моделям дискретной оптимизации. Задачи небольшой размерности могут быть решены с помощью точных методов [19], но, как и при решении задач раскроя – упаковки, современные алгоритмы ориентированы в основном на применение эвристических методов [20-23]. При этом часто в публикуемых алгоритмах не учитывают важные технологические ограничения листовой резки на оборудовании с ЧПУ. В частности, учет термических деформаций заготовок и искажение их геометрических размеров не являются предметом большинства исследований, что делает эти работы не в полной мере приемлемыми на практике. Из работ, учитывающих тепловые деформации материала при моделировании маршрута резки для машин листовой термической резки с ЧПУ, отметим работы [24-27]. Обсуждаемый в данной работе подход для поиска минимального значения интегрированного стоимостного критерия задачи INRP ориентирован также и на уменьшение тепловых деформаций материала при термической резке, поскольку применение мульти-контурной техники резки совместно с техникой совмещенного реза пользователи САМ-систем обычно используют не столько для оптимизации раскроя или стоимости процесса резки, сколько для уменьшения термических деформаций материала.

#### Постановка задачи

Рассмотрим INRP в следующей постановке. В качестве основной задачи двумерного раскроя будем рассматривать задачу нерегулярного фигурного раскроя в прямоугольной полосе фиксированной ширины (2D-SPP), которая заключается в минимизации занятой части длины или площади этой полосы при размещении в ней конечного набора деталей произвольных заданных геометрических форм (в общем случае, различных). Для оценки качества решения в нашей постановке будем использовать стоимость использованного материала, рассчитанную через его массу  $m$ , умноженную на стоимость единицы массы материала  $C_{mat}$ :

$$C_{nest} = m \times C_{mat}. \quad (1)$$

Очевидно, что допустимый вариант раскроя с минимальным значением площади используемого материала также будет соответствовать минимальному значению  $C_{nest}$ .

При получении деталей из листового материала на машине с ЧПУ стоимость процесса резки зависит от 3-х основных компонент траектории перемещения режущего инструмента (см. рис. 1): рабочего хода с включенным режущим инструментом (выделено пунктиром красного цвета), холостого хода с выключенным инструментом (синий цвет) и точек врезки в материал (точек пробивки) (отмечены кругами красного цвета). На рис. 1 показана схема резки (маршрута резки) двух заготовок с применением стандартной техники резки по целому контуру (а) и т. н. «цепной» резки, которая является частным случаем упомянутой выше мульти-контурной техники резки. Стоимость процесса резки, независимо от применяемой техники резки, рассчитывается по формуле (2) (см., например, [7]):

$$C_{cut} = L_{off} \times C_{off} + L_{on} \times C_{on} + N_{pt} \times C_{pt} \quad (2)$$

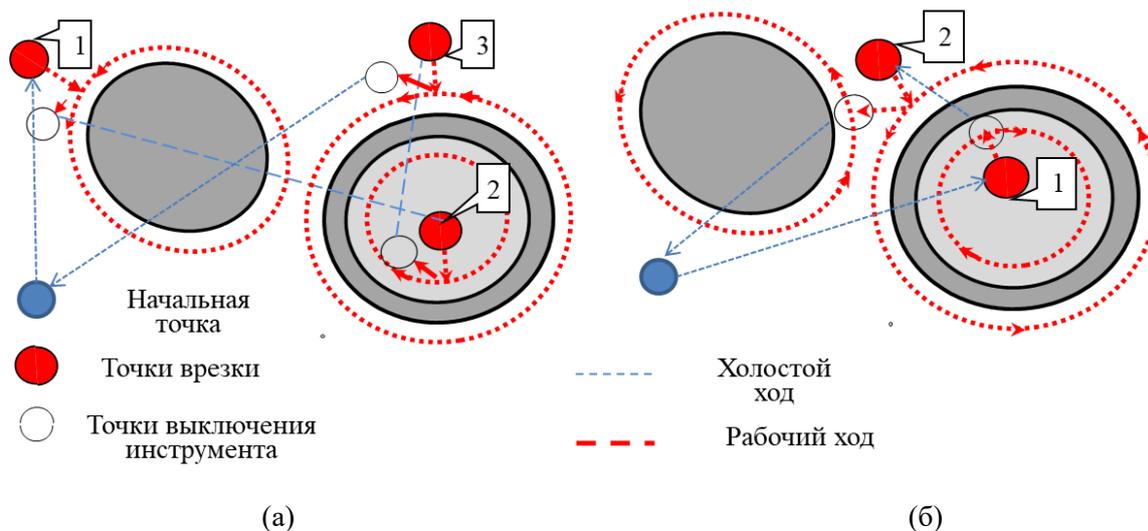


Рисунок 1 – Пример схемы резки двух заготовок с использованием стандартной (а) и мульти-контурной («цепной») (б) техник резки

где  $L_{on}$  – суммарная длина траектории рабочего хода;  $C_{on}$  – стоимость единицы пути рабочего хода;  $L_{off}$  – суммарная длина траектории холостого хода;  $C_{off}$  – стоимость единицы пути холостого хода;  $N_{pt}$  – количество точек врезки в материал;  $C_{pt}$  – стоимость одной врезки. Тогда интегрированный критерий стоимости  $C_{INRP}$ , суммирующий стоимость используемого материала и стоимость процесса резки на станке с ЧПУ, вычисляется очевидным образом:

$$C_{INRP} = C_{nest} + C_{cut} \quad (3)$$

Отметим, что значения параметров стоимости процесса резки  $C_{on}$ ,  $C_{off}$  and  $C_{pt}$  зависят не только от станка с ЧПУ, но и от марки и толщины материала. Таким образом, целью оптимизационной задачи INRP является поиск допустимого варианта раскроя и соответствующего маршрута резки для машины с ЧПУ с минимальной общей целевой функцией затрат на раскрой и процесс резки (3). Как мы уже отмечали, схема резания допустима, если выполняются определенные условия, включая ограничения, обусловленные технологическими требованиями к процессу резки деталей на конкретном технологическом оборудовании с ЧПУ, например, т. н. «припуск на рез» или соблюдение правил «жесткости листа», позволяющих уменьшить тепловые деформации материала и искажение геометрических размеров вырезаемых деталей.

В качестве иллюстрации постановки задачи рассмотрим один простой пример задачи упаковки 11-ти деталей из алюминиевого листа (10-ти конгруэнтных полукругов 2-х типоразмеров и одного кольца в прямоугольной полосе шириной 1500 мм (задача относится к классу 2D Irregular Strip Packing Problem) и дальнейшего получения этих деталей из алюминиевого листа АМг3М толщиной 5 мм. Радиус полукругов – 470 мм (8 шт.) и 295 мм (2 шт.), радиус внешней окружности кольца – 312 мм, внутренней – 45 мм. Минимальное расстояние между деталями – 5 мм, минимальное расстояние до края полосы – 5 мм. На рис. 2 показаны два варианта раскроя с длиной занятой части полосы 2860 мм (а) и 2866 мм (б) и стоимостью использованного материала  $C_{nest} = 23595$  руб. и  $C_{nest} = 23645$  руб. соответственно.

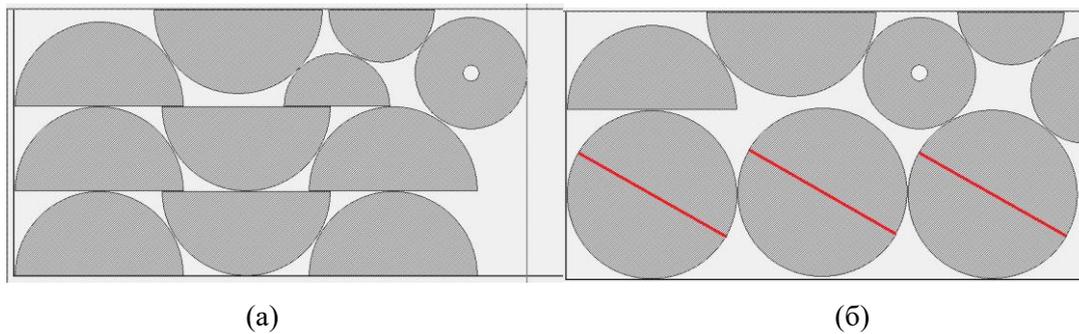


Рисунок 2 – Пример двух раскройных карт для 11-ти алюминиевых деталей

Рис. 3 показывает соответствующие вариантам раскроя оптимальные маршруты резки со стоимостью процесса резки  $C_{cut} = 8520$  руб. и  $C_{cut} = 7502$ руб. Схема резки 3-х пар деталей в нижнем ряду на рис. 3 (б) с использованием техники совмещенного реза и одной точки врезки показана на рис. 3 (с). В данном примере для вычисления значения стоимости процесса резки использованы данные о стоимости лазерной резки на станке ByStar3015 [7]. Значения стоимостных параметров процесса резки для алюминиевого листа АМг3М толщиной 5 мм следующие:  $C_{on} - 328,2$  руб./м,  $C_{off} - 0,42$  руб./м,  $C_{pt} - 32,2$  руб.

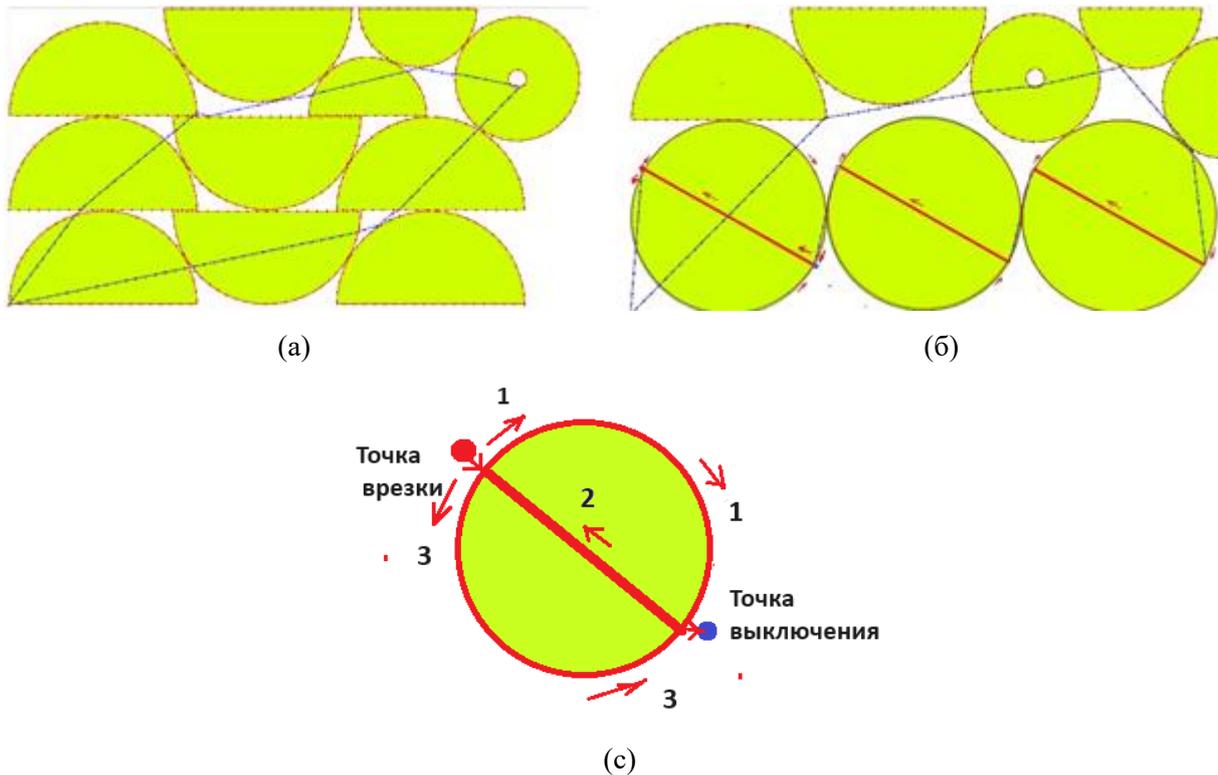


Рисунок 3 – Схемы маршрутов резки для примеров раскроя на рисунке 2

Для поиска маршрута резки с минимальным значением  $C_{cut}$  была использована дискретная модель задачи Cutting Path Problem в форме задачи о последовательном обходе мегаполисов [28] и применен алгоритм динамического программирования, который гарантирует оптимальное решение для этих условий. Значение интегрированного критерия  $C_{INRP}$  для варианта раскроя 2 (а) и маршрута резки 3 (а) равно 32115 руб. (23595 руб.+8520 руб.). Как мы видим, увеличение стоимости использованного материала на 50 руб. для раскройной карты 2 (б) с лихвой компенсируется уменьшением стоимости процесса резки на рабочем ходе за счет возможности применения техники совмещенного реза (выделен красной линией на рис.

2(б)). Поскольку суммарная длина совмещенных резов для этого варианта раскроя 2820 мм (3x940мм), то стоимость процесса резки уменьшится как минимум на 925 руб. При этом число точек врезки также сокращается с 12-ти (применении стандартной техники резки) до 9-ти. Незначительное увеличение холостого хода инструмента практически не влияет на суммарную стоимость процесса резки  $C_{cut}$ . Фактически она равна, как приведено выше, 7502 руб. В результате величина интегрированного критерия  $C_{INRP}$  для раскроя 2(б) и маршрута резки 3(б) составила 23645 руб.+ 7502 руб. =31147 руб.

*Основной подход к решению задачи INRP*

Заметим, что раскройная карта должна удовлетворять технологическим требованиям резки, поскольку используется конкретная машина листовой резки с ЧПУ. В свою очередь, траектория резания считается заданной, если для данной раскройной карты задана траектория инструмента, обеспечивающая вырезание всех раскроенных деталей из материала, указаны все необходимые точки врезки и точки выключения инструмента, а также движение инструмента между этими точками в режиме рабочего и холостого хода. При этом проектируемая траектория должна удовлетворять требованию допустимости деформаций термического материала, вызванных технологией термической резки. Понятно, что для любого фиксированного раскроя, чтобы найти путь резания с минимальным значением  $C_{cut}$  необходимо стремиться минимизировать значения  $L_{on}$  and  $N_{pt}$ , так как стоимость холостого хода  $C_{off}$  современных станков для листовой резки с ЧП очень мала по сравнению с  $C_{on}$  and  $C_{pt}$ . Поэтому основным подходом к проектированию раскройных карт и маршрутов резки является формирование некоторого количества допустимых рациональных раскройных карт, допускающих применение техник совмещенного реза и мульти-контурной резки. К сожалению, в современных САМ-системах пользователи для этих целей должны применять преимущественно интерактивные процедуры, основанные на группировке конгруэнтных деталей с последующим формированием раскройных карт из сформированных групп и проектированием маршрутов резки с минимальными значениями времени и стоимости процесса резки. Пример формирования группы треугольных деталей показан на рис. 4.

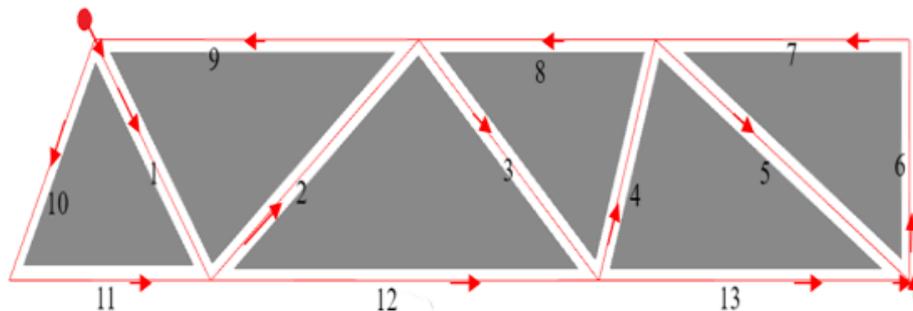


Рисунок 4 – Схема резки группы треугольных деталей с применением мульти-контурной резки с совмещенным резом

Описание разработанных (для некоторых частных случаев задачи INRP) алгоритмов проектирования маршрутов резки в автоматическом режиме выходит за рамки тематики этой статьи, поэтому ограничимся примером двух раскройных карт для треугольных деталей (рис. 5), полученных в полуавтоматическом режиме с целью минимизации значений  $L_{on}$  and  $N_{pt}$ , что обеспечивает существенное уменьшение интегрированного критерия  $C_{INRP}$  при получении этих деталей из большинства марок материала на различном технологическом оборудовании с ЧПУ в сравнении с раскройными картами, предполагающими использование стандартной техники резки. Данные раскройные карты были спроектированы на одном из машиностроительных предприятий г. Екатеринбурга.

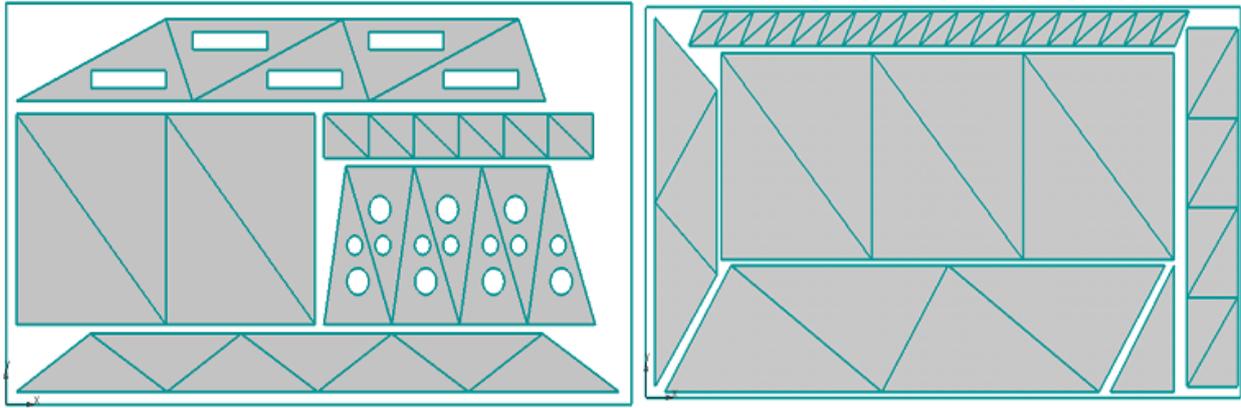


Рисунок 5 – Раскройные карты с треугольными деталями, вырезаемыми с применением техники совмещенного реза

В любом случае, очевидно, что основным направлением разработки алгоритмического и программного обеспечения для решения задачи INRP является поиск эффективных оптимизационных алгоритмов для различных геометрических классов деталей, ориентированных на отказ от полностью интерактивных процедур. На первых этапах исследований представляется полезным создание автоматических и полуавтоматических программных инструментов как для проектирования раскройных карт, так и для маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ.

#### О глобальном экстремуме задачи INRP

Сформулируем одно важное математическое утверждение, упомянутое во введении и касающееся глобального экстремума оптимизационной задачи INRP. Для этого введем следующие обозначения.

Пусть  $A = \{nest\}$  множество всех допустимых раскройных карт для исходной задачи (1), и на этом множестве задана целевая функция  $F_1(nest) = C_{nest}$ . Тогда оптимальное решение задачи раскроя  $nest^* \in A$  будет удовлетворять следующему условию:  $F_1(nest^*) \leq F_1(nest) \forall nest \in A$ . Обозначим через  $R_{nest} = \{route_{nest}\}$  множество всех допустимых маршрутов резки для раскроя  $nest$ , на котором задана целевая функция  $F_2(route_{nest}) = C_{cut}$  (2). Пусть также найден оптимальный маршрут резки  $route^*_{nest^*} \in R_{nest^*}$  для оптимального раскройного плана  $nest^*$  с минимальным значением  $C_{cut}$  для заданных значений стоимостных параметров  $C_{on}$ ,  $C_{off}$  и  $N_{pt}$ , т. е.  $F_2(route^*_{nest^*}) \leq F_2(route_{nest^*}) \forall route_{nest^*} \in R_{nest^*}$ . Тогда справедливо следующее Утверждение:

Утверждение.

Значение  $F = F_1(nest^*) + F_2(route^*_{nest^*})$ , в общем случае, не является минимально возможным значением интегрированного критерия  $C_{INRP}$  (3) задачи (1)–(3).

Сформулированное утверждение еще раз подтверждает актуальность разработки алгоритмов для интегрированной задачи 2D-раскроя листового материала на фигурные заготовки и маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ с единым стоимостным критерием оптимизации. Для доказательства этого утверждения достаточно привести один пример. Рассмотрим один простой пример задачи упаковки пяти заготовок (3-х кругов одного диаметра и двух прямоугольников) в прямоугольной полосе шириной 1500 мм (задача относится к классу 2D Irregular Strip Packing Problem). Диаметр кругов – 745 мм, размеры прямоугольников – 693 мм x 270 мм и 693 мм x 470 мм. Минимальное расстояние между внешними контурами деталей (припуск на рез) – 5 мм, минимальное расстояние до края полосы – 2,5

мм. Ширина совмещенного реза – 1,8 мм. На рис. 6 (а) показан вариант раскроя, который является оптимальным решением задачи «нестинга», поскольку обеспечивает минимальную длину занятой части полосы (приблизительно 1447 мм) и минимальную площадь использованного материала, значение которой в данном конкретном случае является глобальным экстремумом. Как нетрудно видеть, оптимальное значение  $C_{nest}$  теперь легко вычисляется по формуле (1).

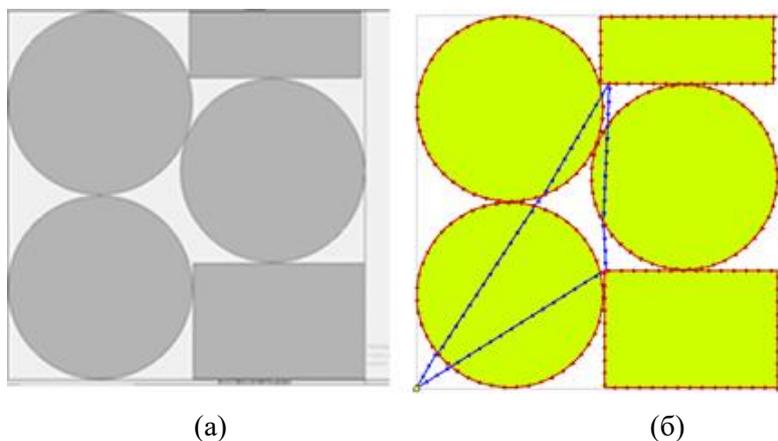


Рисунок 6 – Пример оптимального 2D-раскроя и соответствующему ему оптимальному маршруту резки

На рис. 6 (б) показана схема оптимального маршрута резки для этого модельного примера. Мы уже отмечали, что для реальных задач «нестинга» чрезвычайно редко удается доказать, что полученный с помощью какого-либо алгоритма вариант раскроя является глобальным экстремумом задачи (1). В данном случае это удалось сделать, поскольку простые геометрические вычисления показывают, что любое другое размещение кругов в полосе увеличивает длину ее занятой части. Как и в случае с примерами на рис. 2 и 3, для построения оптимальной траектории инструмента машины с ЧПУ был использован алгоритм динамического программирования. Величина интегрированного критерия  $C_{INRP}$  рассчитана для материала марки Ст3 толщины 20 мм и машины гидроабразивной резки PTV WJX XYG-1Z-ЕКО. Данные по стоимостным параметрам  $C_{on}$ ,  $C_{off}$  и  $C_{pt}$  для данного вида оборудования предоставлены одним из российских предприятий, оказывающим услуги по листовой резке. Стоимость использованного материала  $C_{nest}$  в данном случае составила приблизительно 10223 руб., стоимость процесса резки  $C_{cut}$  – 9815 руб., а величина интегрированного критерия  $C_{INRP}$  – 10224 руб. + 9815 руб. = 20039 руб. На рис.7 (а) приведен вариант неоптимального раскроя для этого примера с длиной использованного материала 14997 мм и значением  $C_{nest} = 10596$  руб. Однако совмещенный рез (выделен красным цветом) позволяет уменьшить величину стоимости процесса резки  $C_{cut}$  до 9282 руб., а суммарный критерий  $C_{INRP}$  – до 19878 руб. Схема резки двух прямоугольников на рис. 7 (б) аналогична схеме резки полукругов на рис. 3 (б).

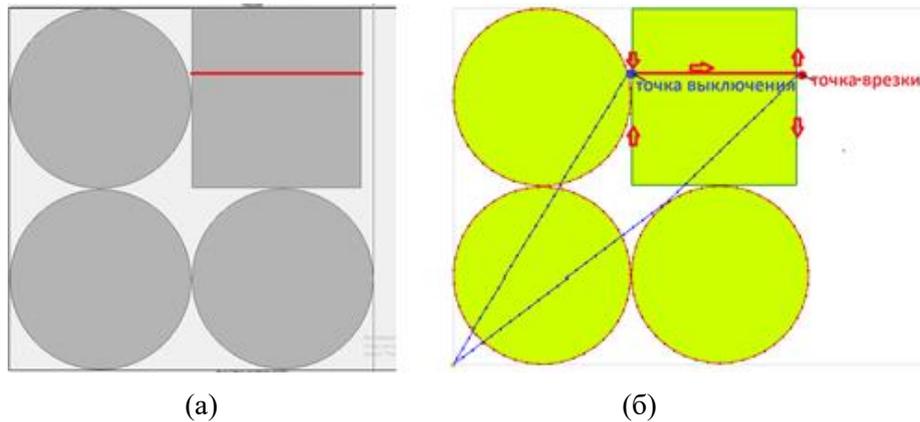


Рисунок 7 – Пример неоптимального раскроя и схемы маршрута резки с меньшим значением интегрированного критерия  $C_{cut}$ , чем для оптимального раскроя

Таким образом, подтверждена справедливость сформулированного утверждения и независимость глобального экстремума задачи INRP от глобального экстремума задачи «нестинга» для данного конкретного примера. Этот факт представляется важным еще и потому, что позволяет пользователю САМ-систем при проектировании управляющих программ для машин листовой резки с ЧПУ изначально отказаться от идеи поиска оптимального решения задачи 2D-раскроя и ориентироваться на формирование вариантов раскроя, перспективных с точки зрения величины интегрированного критерия  $C_{INRP}$ . К перспективным вариантам могут быть отнесены раскройные карты с совмещенным резом и допускающие применение техники мульти-контурной резки.

### Заключение и выводы

1. В статье впервые дана полная математическая постановка новой экстремальной задачи (INRP, Integrated Nesting and Routing Problem) с одной интегрированной аддитивной целевой функцией стоимости, объединяющая две известные оптимизационные задачи: задачу фигурного 2D-раскроя (Nesting Problem) и задачу оптимальной маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ (Cutting Path Problem).

2. На модельном примере доказано утверждение о независимости глобального экстремума INRP от глобального экстремума задачи «нестинга», соответствующей интегрированной задаче.

3. Наряду с модельным примером приведен практический пример, обосновывающий актуальность интегрированной задачи INRP.

4. Предложен подход к решению этой задачи, основанный на сочетании интерактивных процедур формирования допустимых вариантов раскройных планов и автоматических процедур проектирования раскроя для типовых деталей с последующим автоматическим вычислением маршрута резки с минимальной стоимостью процесса резки. Сформулированный подход ориентирован, прежде всего, на применение мульти-контурной техники резки совместно с техникой совмещенного реза.

### Литература

1. Wäscher, Gerhard & Haußner, Heike & Schumann, Holger. An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*. 2007. 183. Pp.1109-1130.
2. Dewil R., Vansteenwegen P., Cattrysse D. A review of cutting path algorithms for laser cutters. *Int.J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. 87 (5-8). Pp. 1865-1884.
3. Eapen, N.A., Heckendorn, R.B. Cutting path optimization for an automatic cutter in polynomial time using a 3/2 approximation algorithm. *Int J Adv Manuf Technol* 113, 3667–3679 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06842-9>

4. Hu, Q., Lin, Z. & Fu, J. A robust fast bridging algorithm for laser cutting. *Int J Adv Manuf Technol* 121, 2083–2094 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09465-w>
5. Hu, Qirui and Lin, Zhiwei and Fu, Jianzhong and Luan, Congcong, Optimizing Cutting Sequences and Paths for Common-Edge Nested Parts. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4387141> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4387141>
6. Petunin, A.A. Development of CAM-system for sheet cutting machines as an innovation example, *Innovative information technologies: Theory and practice. International scientific edition: materials of the International workshop (Karlsruhe – Ufa – Dresden, April 8-13, 2011)*, 2011, Ufa, pp. 47-50.
7. Tavaeva, A., Petunin, A., Ukolov, S., Krotov, V. (2019). A Cost Minimizing at Laser Cutting of Sheet Parts on CNC Machines. In: Bykadorov, I., Strusevich, V., Tchemisova, T. (eds) *Mathematical Optimization Theory and Operations Research. MOTOR 2019. Communications in Computer and Information Science*, vol 1090. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33394-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33394-2_33)
8. Oliveira, L.T.; Silva, E.F.; Oliveira, J.F.; Toledo, F.M.B. Integrating irregular strip packing and cutting path determination problems: A discrete exact approach. *Comput. Ind. Eng.* 2020, 149, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106757>.
9. Petunin, A., Polishchuk, E. & Ukolov, S., (2020) A Novel Algorithm for Construction of the Shortest Path Between a Finite Set of Nonintersecting Contours on the Plane. *Advances in Optimization and Applications – 11th International Conference, OPTIMA 2020, Revised Selected Papers*. Olenov, N., Evtushenko, Y., Khachay, M. & Malkova, V. (eds.). Springer, p. 70-83 14 p. (*Communications in Computer and Information Science*; vol. 1340).
10. Pott, Alexander & Glaab, Holger. (2003). Optimization Problems in a Semi-Automatic Device for Cutting Leather. *10.1007/978-3-642-55753-8\_47*.
11. Sherif, S.U.; Jawahar, N.; Balamurali, M. Sequential optimization approach for nesting and cutting sequence in laser cutting. *J. Manuf. Syst.* 2014, 33, 624–638. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.05.011>
12. Qi D, Rao Y. An integrated approach on cut planning and nesting for metal structures manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture.* 2014;228(4):527-539. doi:10.1177/0954405413500979.
13. Aline A.S. Leao, Franklina M.B. Toledo, Jose Fernando Oliveria, Maria Antonia Carravilla, Ramon Alvarez-Valdes. Irregular packing problems: A review of mathematical models. *European journal of operational research.* 2020. 282(3). Pp. 803-822.
14. Guo, B.; Zhang, Y.; Hu, J.; Li, J.; Wu, F.; Peng, Q.; Zhang, Q. Two-dimensional irregular packing problems: A review. *Front. Mech. Eng.* 2022, 79, 1–15. doi:10.3389/fmech.2022.966691
15. Romanova T., Stoyan Y., Pankratov A., Litvinchev I., Avramov K., Chernobryvko M., Yanchevskiy I., Mozgova I., Bennell J., Optimal layout of ellipses and its application for additive manufacturing // *International Journal of Production Research.* 2021. 59(2). Pp.560-575. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2019.1697836>
16. Manuel Iori, Vinícius L. de Lima, Silvano Martello, Flávio K. Miyazawa, Michele Monaci, Exact solution techniques for two-dimensional cutting and packing, *European Journal of Operational Research*, Volume 289, Issue 2, 2021, Pages 399-415, ISSN 0377-2217, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.06.050>.
17. Martinez-Sykora, R. Alvarez-Valdes, J.A. Bennell, R. Ruiz, J.M. Tamarit, Matheuristics for the irregular bin packing problem with free rotations, *European Journal of Operational Research*, Volume 258, Issue 2, 2017, Pages 440-455, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.043>.
18. do Nascimento, D.N., Cherri, A.C. & Oliveira, J.F. The two-dimensional cutting stock problem with usable leftovers: mathematical modelling and heuristic approaches. *Oper Res Int J* 22, 5363–5403 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12351-022-00735-9>.

19. A.G. Chentsov, P.A. Chentsov, To the application of two-stage dynamic programming in the problem of sequential visiting of megalopolises, *Procedia Structural Integrity*, Volume 40, 2022, Pages 105-111, ISSN 2452-3216, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.04.013>.
20. Amaro Junior B, Santos MC, de Carvalho GN, de Araújo LJP, Pinheiro PR. Metaheuristics for the Minimum Time Cut Path Problem with Different Cutting and Sliding Speeds. *Algorithms*. 2021; 14(11):305. <https://doi.org/10.3390/a14110305>.
21. Hajad, M., Tangwarodomnukun, V., Jaturanonda, C. et al. Laser cutting path optimization using simulated annealing with an adaptive large neighborhood search. *Int J Adv Manuf Technol* 103, 781–792 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03569-6>.
22. Wang, N.; Wang, H.Y.; Jiang, Y.C. Optimization on laser cutting process path based on bidirectional ant colony algorithm. *Forg. Stamp. Technol.* 2020, 45, 30–35.
23. Liu, X.; Chang, D. An Improved Method for Optimizing CNC Laser Cutting Paths for Ship Hull Components with Thicknesses up to 24 mm. *J. Mar. Sci. Eng.* 2023, 11, 652. <https://doi.org/10.3390/jmse11030652>
24. Tavaeva, A.F., Petunin, A.A., Polishchuk, E.G. (2020). Methods of Cutting Cost Minimizing in Problem of Tool Route Optimization for CNC Laser Machines. In: Radionov, A., Kravchenko, O., Guzeev, V., Rozhdestvenskiy, Y. (eds) *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*. ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_48)
25. Hajad, M., Tangwarodomnukun, V., Jaturanonda, C. et al. Laser cutting path optimization with minimum heat accumulation. *Int J Adv Manuf Technol* 105, 2569–2579 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04455-x>
26. Петунин, А. А. Оптимальная маршрутизация инструмента машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением. Математические модели и алгоритмы: монография / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов ; научный редактор А. Н. Сесекин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020. – 247 с. – ISBN 978-5-7996-3016-4. – Текст : непосредственный.
27. Petunin, A. A., Polyshuk, E. G., Chentsov, P. A., Ukolov, S. S. & Krotov, V. I. (2019) The thermal deformation reducing in sheet metal at manufacturing parts by CNC cutting machines., 4 Nov 2019, In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 613, 1, 5 p., 012041.
28. Петунин, А. А. Оптимальная маршрутизация в задачах последовательного обхода мегаполисов при наличии ограничений / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов. – Текст : непосредственный // *Челябинский физико-математический журнал*. – 2022. – Т. 7, № 2. – С. 209-233. – DOI 10.47475/2500-0101-2022-17205. – EDN QLFGFW.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ

---

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА  
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРЕССОВАНИЯ С НИЗКОЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ  
НА СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА,  
МОДИФИЦИРОВАННОГО НИТРИДОМ БОРА**

**Негров Дмитрий Анатольевич**

*кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение»,  
Омский государственный технический университет  
Омск, Россия  
E-mail: negrov\_d\_a@mail.ru*

**Путинцев Виталий Юрьевич**

*кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение»,  
Омский государственный технический университет  
Омск, Россия  
E-mail: putintsev\_vit@mail.ru*

**Глотов Алексей Игоревич**

*ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение»,  
Омский государственный технический университет  
Омск, Россия  
E-mail: aiglotov@omgtu.ru*

*Предмет исследования: в работе представлены исследования влияния технологического режима прессования полимерного композиционного материала (ПКМ) с применением ультразвукового воздействия частотой  $f = 17$  кГц и одновременно наложенной низкочастотной модуляции частотой  $f = 100$  Гц, на процессы формирования структуры политетрафторэтилена с гексагональным нитридом бора 5 масс. %.*

*Цель исследования: изучение влияния технологического режима ультразвукового прессования с низкочастотной модуляцией на структурные параметры полимерного композиционного материала.*

*Объект исследования: синтезируемый полимерный композиционный материал, в основе которого использовался политетрафторэтилен торговой марки ПН-20, с плотностью  $2,16$  г/см<sup>3</sup> и размером частиц до 20 мкм, в качестве наполнителя применялся графитоподобный гексагональный нитрид бора в содержании 5 масс. %.*

*Методы исследования: методика исследования заключалась в сравнении трех технологических режимов изготовления образцов полимерного композиционного материала с целью выявления закономерностей влияния на параметры надмолекулярной структуры. Первый режим – традиционная технология прессования материала (БЕЗ УЗ). Второй режим заключался в воздействии ультразвуковых колебаний  $f = 17$  кГц без низкочастотной модуляции (УЗ). Третий режим – ультразвуковые колебания 17 кГц с одновременно наложенной низкочастотной модуляцией 100 Гц (УЗ+100).*

*Основные результаты исследования: определено влияние технологических режимов прессования на структуру полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена с добавлением гексагонального нитрида бора 5 масс. %, показано что ультразвуковое воздействие частотой 17 кГц с низкочастотной модуляцией 100 Гц приводит к*

улучшению взаимодействия частиц наполнителя с матрицей полимера и формированию более равномерной структуры.

*Ключевые слова:* политетрафторэтилен, нитрид бора, низкочастотная модуляция, ультразвуковое воздействие, свойства, структура, атомно-силовая микроскопия.

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL MODE  
OF ULTRASONIC PRESSING WITH LOW-FREQUENCY MODULATION  
ON THE STRUCTURE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE MODIFIED  
WITH BORON NITRIDE**

**Dmitry A. Negrov**

*PhD in Engineering Sciences,  
Docent of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science,  
Omsk State Technical University  
Omsk, Russia  
E-mail: negrov\_d\_a@mail.ru*

**Vitaly Yu. Putintsev**

*PhD in Engineering Sciences,  
Docent of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science,  
Omsk State Technical University  
Omsk, Russia  
E-mail: putintsev\_vit@mail.ru*

**Aleksey Ig. Glotov**

*Assistant of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science,  
Omsk State Technical University,  
Omsk, Russia  
E-mail: aiglotov@omgtu.ru*

*Subject of research: the work presents a study of the influence of the technological mode of pressing a polymer composite material (PCM) using ultrasonic influence with a frequency of  $f = 17$  kHz and low-frequency modulation with a frequency of  $f = 100$  Hz on the processes of formation of the structure of polytetrafluoroethylene with hexagonal boron nitride 5 wt. %.*

*Purpose of research: to study the influence of the technological mode of ultrasonic pressing with low-frequency modulation on the structural parameters of a polymer composite material.*

*Object of research: is a synthesized polymer composite material based on polytetrafluoroethylene of the PN-20 trademark, with a density of  $2.16$  g/cm<sup>3</sup> and a particle size of 20 microns, a filler of graphite-like hexagonal boron nitride containing 5 wt. %.*

*Methods of research: the research methodology consisted of comparing three technological modes for manufacturing samples of a polymer composite material in order to identify patterns of influence on the parameters of the supramolecular structure. The first mode is the traditional technology of pressing the material (WITHOUT US). The second mode consisted of exposure to ultrasonic vibrations  $f = 17$  kHz without low-frequency modulation (US). The third mode is ultrasonic vibrations of 17 kHz with simultaneously superimposed low-frequency modulation of 100 Hz (US+100).*

*Main results of research: the influence of technological pressing modes on the structure of a polymer composite material based on polytetrafluoroethylene with the addition of hexagonal boron nitride 5 wt. %, it is shown that ultrasonic exposure at a frequency of 17 kHz with low-frequency modulation of 100 Hz leads to improved interaction of filler particles with the polymer matrix and the formation of a more uniform structure.*

*Keywords: polytetrafluoroethylene, boron nitride, low-frequency modulation, ultrasonic exposure, properties, structure, atomic force microscopy.*

## Введение

Расширение области применения металлополимерных пар трения в современном высокотехнологическом оборудовании влечет за собой повышение эксплуатационных свойств применяемых материалов [1, 2]. Одними из наиболее перспективных полимерно-композиционных материалов (ПКМ) триботехнического назначения являются композиты на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), обладающие по сравнению с другими материалами повышенной износостойкостью и стабильно низким коэффициентом трения [3]. Однако модифицирование материала с целью улучшения трибологических свойств приводит, в свою очередь, к снижению упруго-деформационных характеристик ПКМ. Достижение одновременного улучшения физико-механических и триботехнических свойств возможно лишь разработкой новых или модификацией известных технологических режимов синтеза ПКМ. На сегодняшний день актуальной задачей современного полимерного материаловедения является усовершенствование технологий изготовления композитов на основе ПТФЭ [4, 5].

В проведенных ранее исследованиях было установлено, что применение технологического режима ультразвукового прессования с одновременно наложенной низкочастотной модуляцией для синтеза композиционного материала, модифицированного гексагональным нитридом бора (НБ) 5 масс. %, позволяет повысить комплекс упруго-прочностных характеристик: предел прочности и относительное удлинение – на 7 %, модуль упругости – на 15 % и снизить интенсивность массового изнашивания на 25 %, коэффициент трения на – 4 % [6].

Изменение показателей износостойкости ПКМ напрямую зависит от преобразований, происходящих в его надмолекулярной структуре [7, 8]. Одним из механизмов оказания влияния на структуру ПКМ является внешнее энергетическое воздействие ультразвуковых колебаний с низкочастотной модуляцией в процессе синтеза материала. Одновременное воздействие разночастотных акустических волн позволяет оказать влияние на перестройку и формирование дополнительных межмолекулярных связей в процессе изготовления ПКМ, что положительно сказывается на показателях износостойкости при последующем спекании материала [9].

Целью данной работы является исследование процессов формирования надмолекулярной структуры полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена, модифицированного гексагональным нитридом бора 5 масс. % при синтезе с применением ультразвукового воздействия с низкочастотной модуляцией.

## Результаты и обсуждение

Методом сканирующей электронной микроскопии получены микрофотографии холодного скола поверхности исследуемых полимерных композиционных материалов, представленные на рисунке 1.

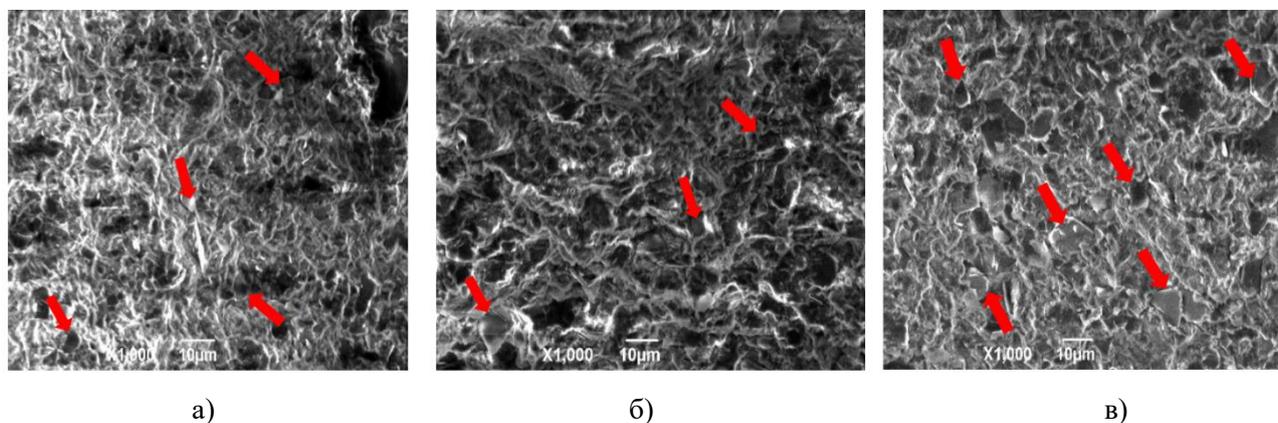


Рисунок 1 – Микрофотографии скола образцов ПКМ на основе ПТФЭ НБ 5 масс. %:  
(а) – режим БЕЗ УЗ, (б) – режим УЗ, (в) – режим УЗ+100,  – идентификация частиц НБ

В структуре образца, изготовленного по традиционной технологии прессования (рис. 1а), наблюдается присутствие множества неструктурированных рыхлоупакованных участков материала. Прессование образцов по технологическому режиму УЗ (рис. 1б) снизило присутствие дефектных структурных участков в материале. После технологического режима УЗ+100 (рис. 1в) между фибриллами локализовались частицы гексагонального нитрида бора, образовав тем самым объемный контакт матрицы с наполнителем, оказав положительное влияние на свойства молекулярных связей.

Ниже на рисунке 2 представлены карты распределения химических элементов по площади образцов, количественный анализ содержания элементов представлен в таблице 1.

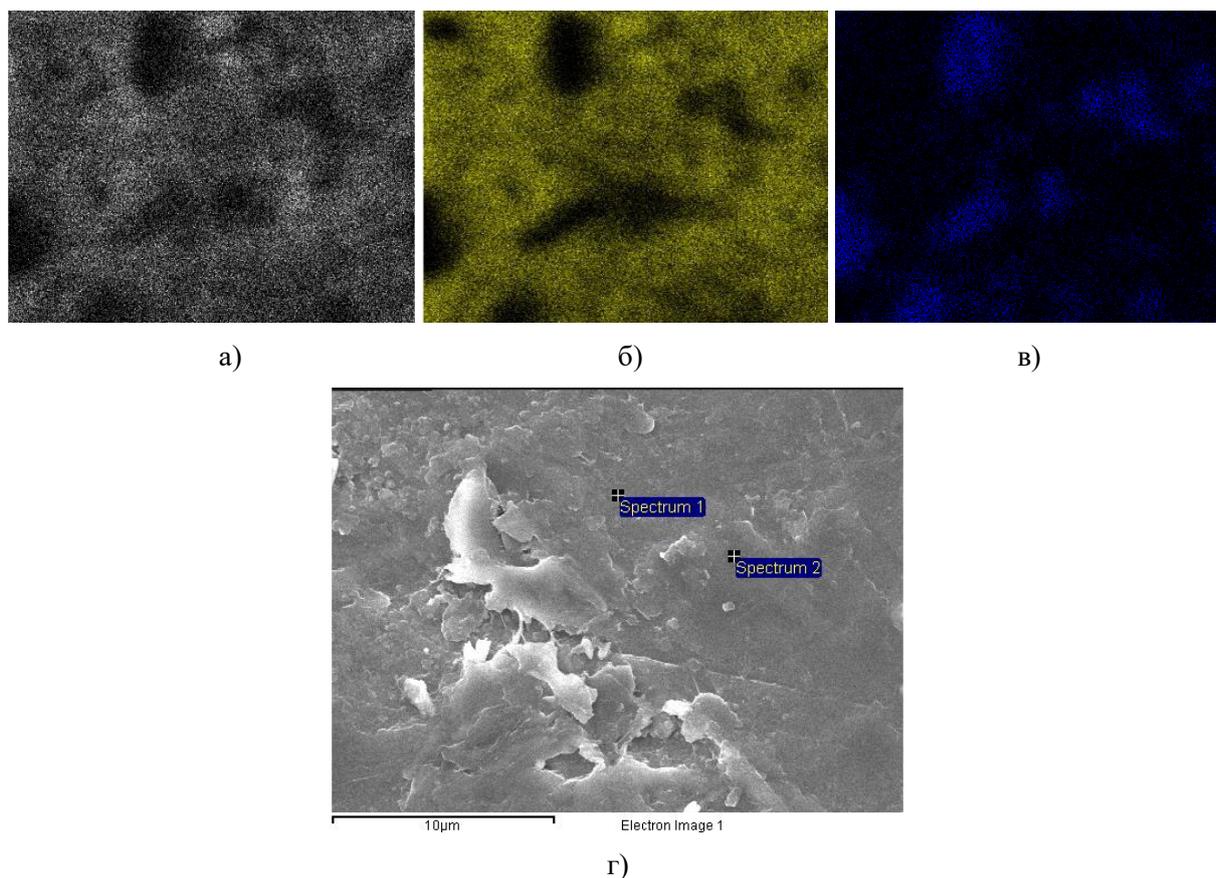


Рисунок 2 – Картирование скола образца ПКМ на основе ПТФЭ + НБ 5 масс. % полученного по технологии УЗ+100 (а) углерод, (б) фтор, (в) азот, (г) микроструктура скола образца

Таблица 1

Количественный анализ образца ПКМ

| Spectrum | Spectrum 1, % | Spectrum 2, % |
|----------|---------------|---------------|
| C        | 33.58         | 30.57         |
| F        | 58.75         | 11.29         |
| N        | 7.19          | 57.73         |
| Pt       | 0.48          | 0.41          |

Основываясь на полученных изображениях, установлено, что химические элементы фтор, углерод равномерно распределены по всей поверхности полимерного композиционного материала. Идентификация частиц нитрид бора, ввиду его низкой молекулярной массы, осуществлялась по азоту исходя из того, что он связан с бором, и в других соединениях не участвует. Согласно представленным картам распределения элементов, нитрид бора в образцах расположен фрагментарно и окружен полимерной матрицей.

С применением метода атомно-силовой микроскопии исследованы поверхности трения образцов после проведенных триботехнических испытаний (рис. 3). Предположительно,

близкое расположение частиц наполнителя в полимерной матрице привело к формированию множества локальных контактов макромолекул и обволакиванию матричным материалом твердых частиц гексагонального нитрида бора, что свидетельствует об усилении взаимодействия частиц наполнителя с матрицей (рис. 3а,б), высота выступов материала составляла до 0,96 мкм. Рельеф поверхности образца спрессованного с помощью технологического режима УЗ+100 (рис. 3в) характеризуется снижением высоты выступов до 0,56 мкм и их равномерным распределением по всей исследуемой области.

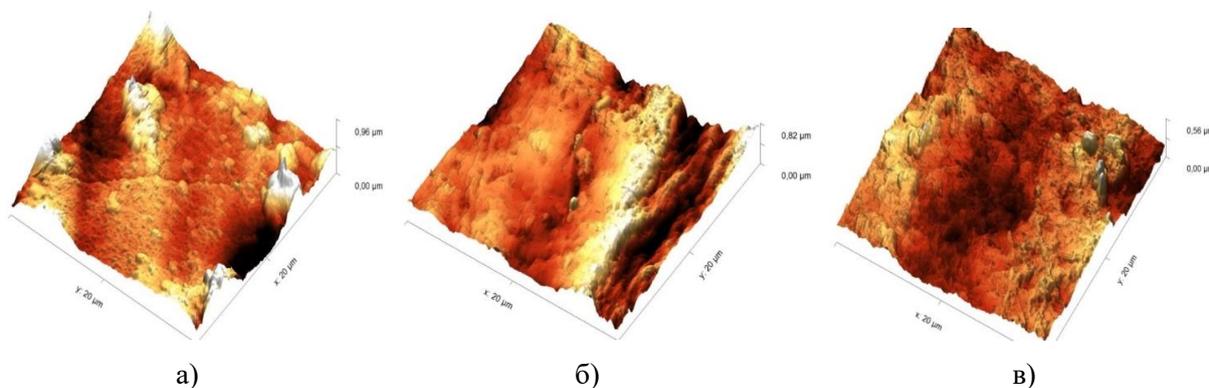


Рисунок 3 – Изображения поверхности трения образцов ПКМ на основе ПТФЭ НБ 5 масс. % (а) режим БЕЗ УЗ, (б) режим УЗ (в) – режим УЗ+100

На рисунке 4 представлена дифрактограмма и фазовый анализ полимерного композиционного материала. На дифрактограммах присутствуют интенсивные рефлексы от кристаллических областей матрицы ПТФЭ (ICDD PDF-4+ № 00-047-2217) и гексагонального нитрида бора (ICDD PDF-4+ № 01-073-2295), находящиеся в диапазоне дифракционных углов от 10 до 30°. Согласно исследованиям [10], в ПТФЭ имеются низкомолекулярные и высокомолекулярные фракции, первые образуют мезоструктуры, формирующие гало (36–50°) в наблюдаемых дифрактограммах. Предположительно, пленки низкомолекулярных фракций образуют покрытия на поверхности фторуглеродных макромолекул.

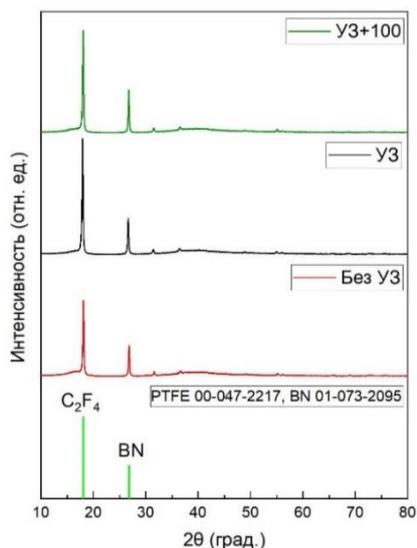


Рисунок 4 – Дифрактограммы и фазовый анализ ПКМ на основе ПТФЭ модифицированного НБ 5 масс. % в зависимости от разных технологических режимов прессования

В таблице 2 представлены результаты расчетов рентгеновской степени кристалличности (СК), размера кристаллитов (D), постоянные кристаллической ячейки ( $a_{кр}$ ) и ( $c_{кр}$ ).

Характеристики надмолекулярной структуры  
ПТФЭ модифицированного нитридом бора 5 масс. %

| Технологический режим прессования | Степень кристалличности, % | Размер кристаллов, нм | $a_{кр}$ , нм | $c_{кр}$ , нм |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| Без УЗ                            | 63,8                       | 33,8                  | 0,568         | 1,622         |
| УЗ                                | 75,1                       | 31,4                  | 0,570         | 1,632         |
| УЗ+100                            | 68,3                       | 33,2                  | 0,566         | 1,628         |

В результате проведенных исследований определено, что воздействие ультразвуковых колебаний с низкочастотной модуляцией 100 Гц (УЗ+100) приводит к увеличению степени кристалличности на 7 %, при сравнении с традиционной технологией прессования размер кристаллитов изменяется незначительно.

### Заключение и выводы

На основании проведенных исследований установлено, что технологические режимы прессования не оказывают значительного влияния на постоянные кристаллической ячейки образцов и размеры кристаллитов. Установлено, что у технологических режимов с применением энергии ультразвуковых колебаний интенсивность кристаллических рефлексов выше.

Повышение показателей износостойкости ПКМ может свидетельствовать о высокой адгезионной связи полимерной матрицы с частицами наполнителя. Комбинированное воздействие частот при синтезе образцов вызывает появление локальных источников выделения тепла, что приводит частицы материала в вязко-текучее состояние, образуя дополнительные межмолекулярных связи матрицы и наполнителя.

Применение технологического режима УЗ+100 при прессовании ПКМ на основе ПТФЭ, модифицированного гексагональным нитридом бора масс. 5 %, приводит к формированию более однородной и равномерной структуры, а также влияет на усиление межмолекулярного взаимодействия.

### Литература

1. Люкшин, Б. А. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б. А. Люкшин, С. В. Шилько, С. В. Панин и др. – Текст : непосредственный // Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2017. – 311 с.
2. Ляхов, Н. З. Металлополимерные нанокompозиты (получение, свойства, применение) / Н. З. Ляхов, А. П. Алхимов, В. М. Бузник и др. – Текст : непосредственный // Новосибирск: Сибирское отделение Российской академии наук, 2005. – 260 с.
3. Сученинов, П. А. Разработка и исследование композиционных материалов для уплотнений воздушных поршневых компрессоров / П. А. Сученинов, Н. А. Адаменко, Д. В. Сергеев – Текст : непосредственный // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – № 11(59). – С. 66–69.
4. Машков, Ю. К. Формирование структуры и свойств антифрикционных композитов модификацией политетрафторэтилена полидисперсными наполнителями / Ю. К. Машков, О. В. Кропотин, С. В. Шилько и др. – Текст : непосредственный // Материаловедение. – 2015. – № 1. – С. 22–25.
5. Alam K. I. Polymers tribology exposed: eliminating transfer film effects to clarify ultralow wear of PTFE / K.I. Alam, A. Dorazio, D.L. Burris. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-020-01306-9> // Tribology Letters. – 2020. – Vol. 68. P. 1–13.
6. Негров, Д. А. Улучшение механических и триботехнических характеристик синтезируемого полимерного композиционного материала / Д. А. Негров, В. Ю. Путинцев, П. В. Плохотнюк. и др. – Текст : непосредственный // Техника и технологии машиностроения

ния: материалы XI Международной научно-технической конференции, Омск, 26–28 апреля 2022 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2022. – С. 91–97.

7. Парникова А.Г. Влияние наноструктурных оксидов алюминия и магния на закономерности формирования структуры ПМК на основе ПТФЭ / А. Г. Парникова, А. А. Охлопкова – Текст: непосредственный // Вестник СВФУ. 2010. – № 4. – С. 47–52.

8. Машков, Ю. К. Изменение структуры и износостойкости птфэ-нанокompозитов при различных методах структурной модификации / Ю. К. Машков, А. С. Рубан, Е. А. Рогачев, О. В. Чемисенко – Текст: непосредственный // ОмГТУ. – 2017. – № 2. – С. 188–193.

9. Бужник, В. М. Особенности строения порошковой формы политетрафторэтилена марки ФЛУРАЛИТ® / В. М. Бужник, М. В. Гришин, Ю. Е. Вопилов и др. – Текст : непосредственный // Перспективные материалы. – 2010. – № 1. – С. 63–67.

10. Игнатъева, Л. Н. Спектроскопические исследования продуктов сублимации ультрадисперсного политетрафторэтилена / Л. Н. Игнатъева, А. К. Цветников, О. М. Горбенко – Текст : непосредственный // Ж. структ. хим. – 2004. – Т. – 45. – № 5. – С. 830–836.

**ЛАЗЕРНО-АКУСТИЧЕСКАЯ СВАРКА ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н9Т**

**Горунов Андрей Игоревич**

*доктор технических наук,  
профессор кафедры лазерных и аддитивных технологий,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.И. Туполева – КАИ  
Казань, Россия  
E-mail: gorunow.andrej@yandex.ru*

**Нюхляев Олег Александрович**

*аспирант кафедры лазерных и аддитивных технологий,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.И. Туполева – КАИ  
Казань, Россия  
E-mail: 9wikolega@gmail.com*

**Гильмутдинов Альберт Харисович**

*доктор физико-математических наук,  
заведующий кафедрой лазерных и аддитивных технологий,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.И. Туполева – КАИ  
Казань, Россия  
E-mail: albert.gilmutdinov@kai.ru*

*Предмет исследования: ультразвуковые колебания в процессах лазерной сварки и наплавки.*

*Цель исследования: использование ультразвуковых колебаний в процессах лазерной сварки и наплавки.*

*Объект исследования: структура и свойства сварных соединений в результате воздействий ультразвука на расплав металла.*

*Методы исследования: для исследования влияния вибраций на соответствующие процессы применяли оптическую и электронную микроскопию, локальный элементный анализ, рентгеновскую томографию и серию испытаний на растяжение.*

*Основные результаты исследования: показаны возможности использования ультразвуковых колебаний в процессах лазерной сварки труб из стали 12Х18Н9Т. Показано, что ультразвуковые колебания могут быть использованы двумя способами: ультразвуковая оперативная обработка при сварке и наплавке и постобработка готового сварного шва и наплавленного металла. Ультразвуковое воздействие приводит к уменьшению толщины сварного шва и увеличению глубины провара, а также к увеличению предела прочности на разрыв наплавленного материала до 1,3 раза. Показано, что эффект обусловлен образованием ориентированных тонкопластинчатой структуры на поверхности образцов.*

*Ключевые слова: лазерная сварка, наплавка, прочность, твердость, механические свойства, сварной шов, микроструктура, состав, ультразвук, колебания.*

## LASER-ACOUSTIC WELDING OF SPECIMENS OF STEEL 12CR18N9T

**Andrey I. Gorunov**

*Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Laser and Additive Technologies,  
Kazan National Research Technical  
University named after A.I. Tupolev – KAI  
Kazan, Russia  
E-mail: gorunow.andrej@yandex.ru*

**Oleg A. Nyukhlyaev**

*postgraduate student of the Department  
of Laser and Additive Technologies,  
Kazan National Research Technical  
University named after A.I. Tupolev – KAI  
Kazan, Russia  
E-mail: 9wikolega@gmail.com*

**Albert Kh. Gilmudinov**

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Head of the Department of Laser and Additive Technologies,  
Kazan National Research Technical  
University named after A.I. Tupolev – KAI  
Kazan, Russia  
E-mail: albert.gilmudinov@kai.ru*

*Subject of research: ultrasonic vibrations in the processes of laser welding and surfacing.*

*Purpose of research: the use of ultrasonic vibrations in the processes of laser welding and surfacing.*

*Object of research: the structure and properties of welded joints as a result of the effects of ultrasound on a metal melt.*

*Methods of research: optical and electron microscopy, local elemental analysis, X-ray tomography, and a series of tensile tests were used to study the influence of vibrations on the corresponding processes*

*Main results of research: the possibilities of using ultrasonic vibrations in the processes of laser welding and surfacing are shown. It is shown that ultrasonic vibrations can be used in two ways: ultrasonic operational processing during welding and surfacing and post-processing of the finished weld and deposited metal. Ultrasonic action leads to a decrease in the thickness of the weld and an increase in the depth of penetration and, leads to an increase in the tensile strength of the deposited material up to 1.3 times. It is shown that the effect is due to the formation of oriented thin-lamellar structures on the surface of the samples.*

*Keywords: laser welding, guidance, strength, hardness, mechanical properties, weld, microstructure, composition, ultrasound, vibrations*

---

### Введение

Лазерная сварка – это современный метод создания неразъемных соединений, в котором используются мощные лазеры для локального плавления и соединения металлических пластин в большие конструкции без использования присадочного материала. Кроме того, при лазерной сварке индуцируется более низкое тепловложение, что приводит к меньшим зонам термического влияния, меньшим термическим искажениям и начальным остаточным напря-

жениям по сравнению с традиционными методами сварки. Формирование сварного шва в процессе лазерной сварки осуществляется в условиях высокоскоростного нагрева и охлаждения, которые достигаются в узкой зоне локального взаимодействия лазерного луча с металлом. В данной связи в процессе затвердевания расплавленного металла в зоне сварного шва фазовые и структурные превращения протекают специфическим образом. При этом также необходимо учитывать, что металл в зоне сварного шва начинает затвердевать из твердого состояния. Таким образом, в сварочной зоне протекают одновременно процессы диффузии и кристаллизации. Указанные условия могут приводить к образованию дефектов в виде трещин и пор. При этом лазерная сварка крупногабаритных труб имеет дополнительные трудности в связи с неравномерностью теплоотвода с внутренней и наружной части трубы. Нержавеющая сталь имеет преимущество перед высокопрочными углеродистыми сталями благодаря повышенному низкому содержанию углерода и легирующих элементов. Благодаря низкому содержанию углерода данная сталь имеет повышенные коррозионные свойства. Такие свойства позволили данной стали хорошо зарекомендовать себя для изготовления насосно-компрессорных труб. Известно, что в доэвтектоидной стали в результате кристаллизации происходит образование Видманштеттова феррита, и на границах аустенитных зерен в результате быстрого охлаждения сварочной ванны могут образовываться игольчатый мартенсит и верхний бейнит [5, 6]. Грубые и крупные пластины феррита и дефекты на границах зерен могут в значительной степени снижать механические характеристики сварного соединения. Также известно, что ультразвук оказывает положительное влияние на микроструктуру металла в процессе его кристаллизации за счет кавитационных эффектов, возникающих в жидком расплаве [7, 8]. Однако эффекты, возникающие в процессе лазерной сварки с применением акустических колебаний, на сегодняшний день изучены достаточно слабо. Таким образом, в настоящей работе предложена технология лазерной сварки труб из стали 12X18H9T с применением акустических колебаний.

### Результаты и обсуждение

Исследовали образцы из стали 12X18H9T, имеющие размеры 100x10x3 мм. Во всех экспериментах использовалась роботизированная установка лазерной сварки, оснащенная волоконным лазером IPG Photonics (США) и роботом KUKA (Германия). Сварка осуществлялась волоконным лазером мощностью до 20 кВт и длиной волны излучения 1064 нм. На рисунке 1 показано изображение экспериментальной установки с указанием ориентации лазерного луча относительно оси симметрии свариваемых труб и ориентации ультразвукового волновода относительно свариваемой детали.

Акустическая система предназначена для контактного воздействия ультразвуковых колебаний высокой интенсивности на различные физические объекты с целью изменения свойств или структуры поверхности, или внутренних слоев. Акустическая система в составе: электронный генератор с автоматической подстройкой резонансной частоты и стабилизацией установленной амплитуды колебаний, регулятором мощности и таймером, пьезоэлектрическая колебательная система с монтажным фланцем и рабочий инструмент (сонотрод) в виде усеченного конуса.

В таблице 1 показан химический состав стали, в таблице 2 – используемые параметры сварки.

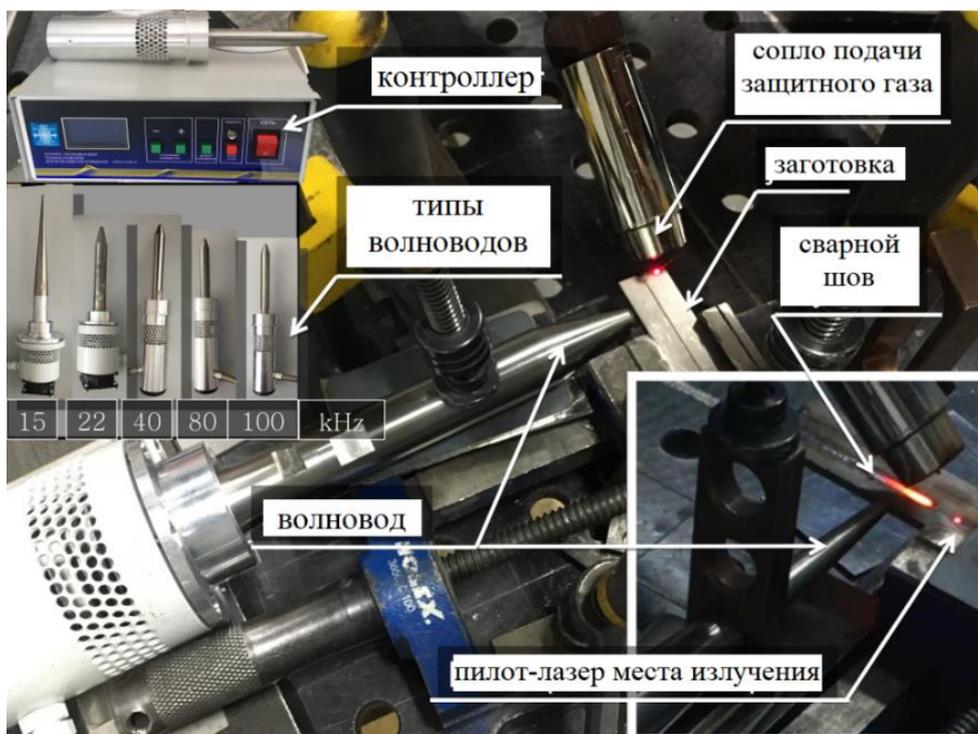


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для лазерно-акустической сварки

Таблица 1

Химический состав стали 12X18H9T, %

| Содержание элементов, % масс. |     |    |    |         |          |    |        |         |
|-------------------------------|-----|----|----|---------|----------|----|--------|---------|
| C                             | Si  | Mn | Ni | S       | P        | Cr | Cu     | Fe      |
| 0.12                          | 0.8 | 2  | 10 | до 0.02 | до 0.035 | 18 | до 0.3 | Остаток |

Таблица 2

Параметры лазерной сварки стали 12X18H9T

| Режим лазерной сварки   | Значение параметров |
|---|---------------------|
| Скорость сварки, мм/с   | 11                  |
| Мощность лазера, кВт  | 0.5                 |
| Расход защитного газа (аргона), л/мин                           | 25                  |
| Угол наклона лазерного луча относительно поверхности металла, ° | 90                  |
| Шероховатость свариваемых поверхностей, Ra, мкм                 | 2                   |
| Мощность акустического источника, кВт                           | 1.5                 |
| Частота акустических колебаний, кГц                             | 15, 22, 40, 80, 100 |

После сварки поверхности образцов шлифовали, а затем полировали. Химическое травление шлифов проводили следующей смесью: HF – 15 см<sup>3</sup>, HNO<sub>3</sub> – 35 см<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>O – 200 см<sup>3</sup>, глицерин – 100 см<sup>3</sup>. Для измерения микротвердости и исследования структуры поверхности образцов использовали твердомер Tukon 2500 (Германия). Во всех экспериментах в качестве защитного газа использовался аргон при расходе 25 л/мин. Сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и элементный анализ проводили на рабочей станции Auriga Cross Beam (Carl Zeiss, Германия). Томографические снимки получены на промышленной рентгеновской системе North Star Imaging X5000 (США). Результаты исследования показали увеличение механических характеристик сварного соединения за счет термообработки и воздействиями ультразвуковыми колебаниями. Таким образом, на микрофотографиях можно видеть, что в процессе формирования наплавочного валика в нижней части наблюдается сужение, и валик вытягивается (рисунок 2).

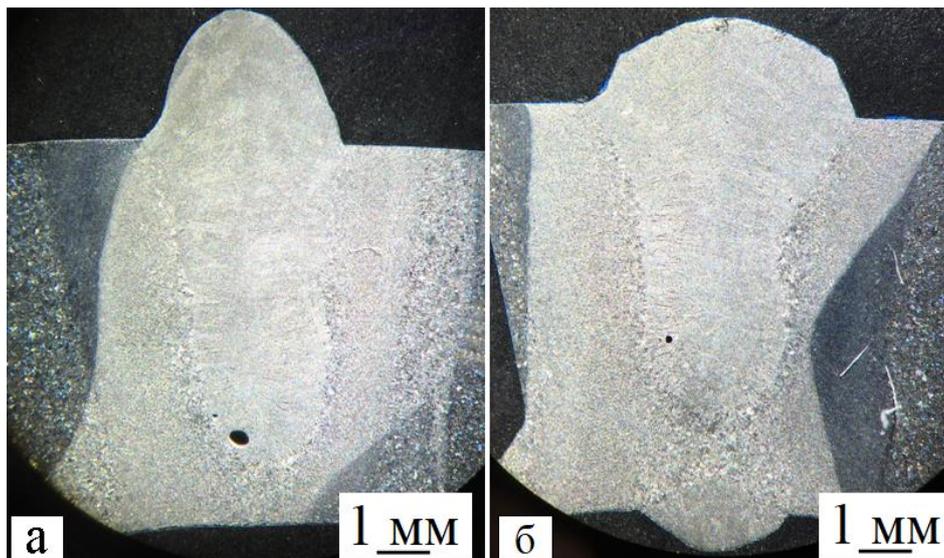


Рисунок 2 – Микрофотографии поперечного сечения наплавленного металла проволоки: а – наплавленный металл проволоки без ультразвуковой обработки, б – наплавленный металл проволоки с ультразвуковой обработкой

Данный эффект вызван ультразвуковыми колебаниями, которые оказывают значительное влияние при увеличении их частоты с 15 до 22 кГц. При этом достигается вытягивание сварочной ванны на всю глубину свариваемой заготовки при тех же параметрах сварки. Ширина сварочной ванны снижается в 1,2 раза (рисунок 2). На рисунке 3 представлен единственный валик наплавленного металла проволоки, полученный при изготовлении компактных образцов прямым лазерным выращиванием из проволоки.

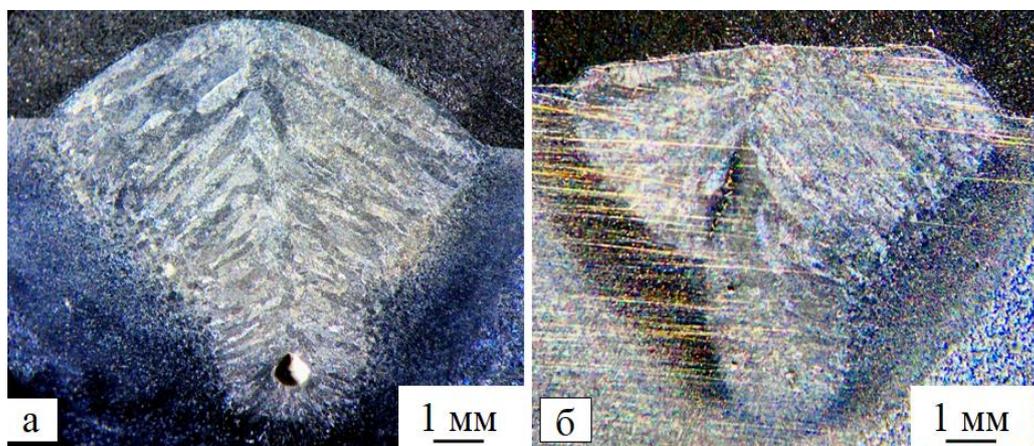


Рисунок 3 – Микрофотографии поперечного сечения наплавленного металла: а – наплавленный металл без ультразвуковой обработки, б – наплавленный металл с ультразвуковой обработкой

Микроструктура представляет собой зерна феррита и перлита. При этом обнаруживаются на поверхности сварного шва небольшие участки мартенсита и верхнего бейнита. Предел прочности образцов без ультразвуковой обработки остается соответствующим основному металлу, так как при растяжении разрушение происходит по основному металлу. Однако, как можно видеть в таблице 3, свойства образцов, полученных с применением ультразвуковых колебаний, выше на 100 МПа.

Механические характеристики образцов  
с ультразвуковой обработкой и без ультразвуковой обработки

| Метод сварки   | Параметры образцов и механические свойства |                 |                               |                           |
|--|--|-----------------|-------------------------------|---------------------------|
|  | Ширина<br>(мм)                             | Толщина<br>(мм) | Максимальная нагрузка<br>(кН) | Предел прочности<br>(МПа) |
| Без уз обработки   | 7,70                                       | 2,02            | 9,768                         | 527,998                   |
| Ультразвуковая обработка   | 8,75                                       | 2,02            | 11,961                        | 628,704                   |
| <b>Влияние ультразвуковой обработки на свойства наплавленного металла 12Х18Н9Т</b> |  |                 |                               |                           |
| Увеличение прочности   | 16 %                                       |                 |                               |                           |

На рисунке 4 изображена диаграмма растяжения 2 компактных образцов материалов, изготовленных прямым лазерным выращиванием из проволоки, в координатах напряжение – деформация.

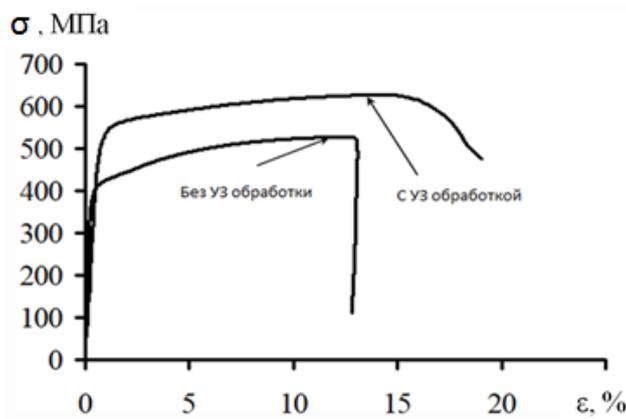


Рисунок 4 – Диаграмма растяжения четырех компактных образцов материалов, изготовленных прямым лазерным выращиванием из проволоки

Как можно видеть из рисунка 4, предел прочности и пластичность образцов, полученных с применением ультразвуковой обработки, повышаются практически в 1,5 раза. В данном случае такой эффект можно объяснить ориентированной структурой в поверхностных слоях полученных образцов. Тонкая, пластинчатая структура формируется в результате ультразвукового ударного воздействия (рисунок 5).

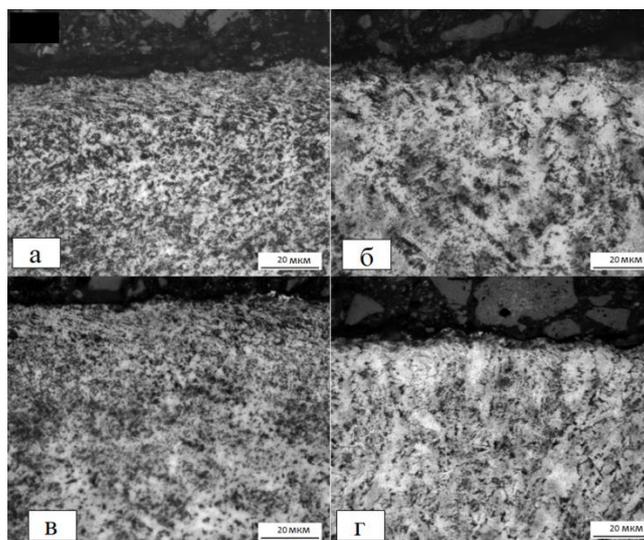


Рисунок 5 – Микроструктура наплавленного металла образцов: а, б – с ультразвуковой обработкой; в, г – без ультразвуковой обработки

На рисунке 6 представлена фрактография разрушения компактных образцов полученных методом прямого лазерного нанесения проволоки с одновременным ультразвуковым воздействием.

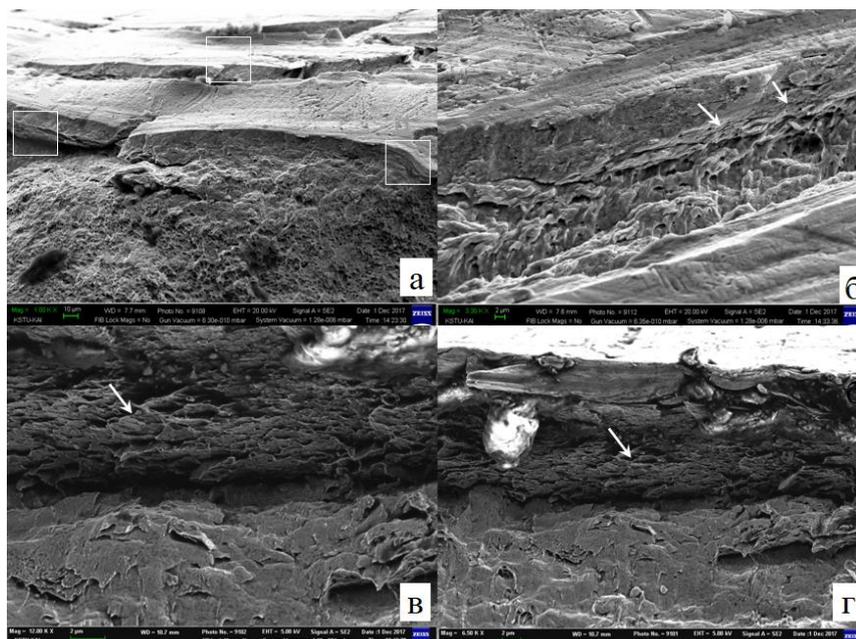


Рисунок 6 – Характерные участки разрушения

Стрелками показаны тонкие пластины в приповерхностных слоях разрушенных образцов. Можно видеть, что ультразвуковая обработка образцов позволила сформировать в поверхности образцов слой толщиной 50 мкм, который оказывает значительное сопротивление разрушению. В данном случае ультразвуковая обработка способствовала заданию ориентировки зерен. Поэтому необходимо учитывать направление приложения растягивающей нагрузки и осуществлять ультразвуковую обработку целенаправленно для заданной ориентации зерен в металле либо по различным направлениям одновременно.

### Заключение и выводы

1. Показано, что воздействие ультразвуковой обработки в процессе лазерной сварки с проволокой в направлении параллельном поверхности подложки позволяет сузить сварочную ванну и осуществить проплав на всю глубину свариваемой заготовки.

2. Показаны возможности лазерной сварки толстых труб с использованием присадочной проволоки. Ультразвуковые колебания, воздействующие параллельно поверхности подложки в процессе сварки, позволяют сузить сварочную ванну и выполнить сквозное проплавление свариваемой детали. Ультразвуковая обработка наплавленного материала в направлении, перпендикулярном поверхности подложки, позволяет получить упрочненный поверхностный слой с пластинчатой структурой, способствующей сопротивлению разрушению при приложении статической растягивающей нагрузки к образцам, полученным методом прямого лазерного нанесения проволоки.

### Литература

1. Gardner L., Laser-welded stainless steel I-sections: Residual stress measurements and column buckling tests/Gardner L., Bu Y., Theofanous M. // *Engineering Structures* – V. 127. – 2016. – P. 536–548.
2. Bu Y., Local stability of laser-welded stainless steel I-sections in bending/ Bu Y., Gardner L. // *Journal of Constructional Steel Research* – V. 148. – 2018. – P. 49–64.
3. Bu Y., Gardner L., Laser-welded stainless steel I-section beam-columns: Testing, simulation and design/Bu Y., Gardner L. // *Engineering Structures* – V. 179. – 2019. – P. 23–36.

4. Kolubaev Weld structure of low-carbon structural steel formed by ultrasonic-assisted laser welding / Kolubaev A. V., Sizova O. V., Fortuna S. V., Vorontsov A. V., Ivanov A. N., Kolubaev E. A. // Journal of Constructional Steel Research – V. 172. – 2020. – 106190. – DOI:10.1016/j.jcsr.2020.106190
5. Farabi N., Fatigue properties of laser welded dual-phase steel joints/Farabi N., Chen D.L., Zhou Y.//Procedia Engineering – V. 2. – 2010. – P. 835–843.
6. Xu W., Tensile and fatigue properties of fiber laser welded high strength low alloy and DP980 dual-phase steel joints / Xu W., Westerbaan D., Nayak S.S., Chen D.L., Goodwin F., Zhou Y. // Materials and Design – V. 43. – 2013. – P. 373–383
7. Jose M. J. Vibration assisted welding processes and their influence on quality of welds / Jose M. J., Kumar S. S., Sharma A. // Science and Technology of Welding and Joining – V. 21. – 2016. – P. 243–258.
8. Пархимович, Э. М. Сварка и наплавка в ультразвуковом поле / Э. М. Пархимович. – М. : Наука и техника. – 1988. – 207 с. – Текст : непосредственный.

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ СВАРКИ  
ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ  
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ СОЕДИНЕНИЙ.  
ЧАСТЬ II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Николаева Мария Александровна**

*кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории климатических испытаний,  
Институт проблем нефти и газа СО РАН  
Якутск, Россия  
E-mail: eowa@mail.ru*

**Данзанова Елена Викторовна**

*кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории климатических испытаний,  
Институт проблем нефти и газа СО РАН  
Якутск, Россия  
E-mail: dhv4071@mail.ru*

**Старостин Николай Павлович**

*доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник лаборатории климатических испытаний,  
Институт проблем нефти и газа СО РАН  
Якутск, Россия  
E-mail: nikstar56@mail.ru*

*Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9, FWRS-2021-0004 с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН, грант №13. ЦКП. 21. 0016.*

*Предмет исследования: процесс формирования надмолекулярной структуры в зоне термического влияния (ЗТВ) в зависимости от температурно-временного режима, реализуемого в процессе сварки при различных температурах воздуха.*

*Цель исследования: установление эффективности предлагаемой технологии приварки седловых отводов к полиэтиленовым трубам газопроводов при температурах окружающего воздуха ниже установленных нормативными документами для проведения сварочных работ на основе исследования взаимосвязи температурно-временных режимов, структуры и свойств материалов сварных соединений.*

*Методы и объекты исследования: объектом исследования является процесс получения прочного сварного соединения при приварке седлового отвода к полиэтиленовой трубе действующего газопровода в условиях низких температур. Прочность соединения устанавливается испытаниями на отрыв растяжением приваренных седловых отводов. Формирование надмолекулярных структур исследуется анализом кинетики кристаллизации расплавов на основе данных дифференциального сканирующего калориметра и визуализации образований сканирующим электронным микроскопом.*

*Основные результаты исследования: установлено, что при приварке седловых отводов к полиэтиленовым трубам действующих газопроводов в условиях низких температур путем*

*предварительного подогрева, выравнивания температур с расчетными параметрами, нагрева в регламентированном режиме и охлаждения под слоем теплоизоляционного материала расчетной толщины, реализуется температурно-временной режим, обуславливающий формирование структуры материала сварного соединения, обеспечивающей прочность соединения соответствующую при сварке в условиях допустимых температур.*

*Ключевые слова: седловой отвод, полиэтиленовая труба, приварка, тепловой процесс, испытания на отрыв, ДСК, кинетика кристаллизации, надмолекулярная структура.*

**INFLUENCE OF TEMPERATURE-TIME CONDITIONS OF POLYMER PIPES  
WELDING AT LOW TEMPERATURES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF  
MATERIALS OF JOINTS  
PART II. EXPERIMENTAL STUDIES**

**Maria A. Nikolaeva**

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Senior Researcher, Laboratory of Climate Tests,  
Institute of Oil and Gas Problems SB RAS  
Yakutsk, Russia  
E-mail: eowa@mail.ru*

**Elena V. Danzanova**

*Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher, Laboratory of Climate Tests,  
Institute of Oil and Gas Problems SB RAS  
Yakutsk, Russia  
E-mail: dhv4071@mail.ru*

**Nikolai P. Starostin**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Chief Researcher, Laboratory of Climate Tests,  
Institute of Oil and Gas Problems SB RAS  
Yakutsk, Russia  
E-mail: nikstar56@mail.ru*

*The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 122011100162-9, FWRS-2021-0004 using the scientific equipment of Shared core facilities of the Federal Research Center "YSC SB RAS", grant No. 13.CCP.21.0016).*

*Subject of research: the process of a supramolecular structure formation in the heat-affected zone (HAZ) depending on the temperature-time conditions implemented in the welding process at various air temperatures.*

*Purpose of research: establishing the effectiveness of the proposed technology for welding saddles to polyethylene pipes of gas pipelines at ambient temperatures below those established by regulatory documents for welding work based on a study of the relationship between temperature and time conditions, the structure and properties of materials of welded joints.*

*Methods and objects of research: in the second part of the work, the object of study is the process of obtaining a strong welded joint by welding a saddle branch to a polyethylene pipe of an existing gas pipeline at low temperatures. The strength of the connection is established by tensile pull tests of the welded saddles. The formation of supramolecular structures is studied by analyzing the*

*kinetics of crystallization of melts based on the data of a differential scanning calorimeter and visualizing the formations with a scanning electron microscope.*

*Main results of research: it has been established that when welding saddles to polyethylene pipes of existing gas pipelines at low temperatures by preheating, equalizing temperatures with design parameters, heating in a regulated mode, and cooling under a layer of heat-insulating material of calculated thickness, a temperature-time regime is implemented that determines the structure formation of the material of the welded joint, providing the strength of the connection corresponding to welding at acceptable temperatures.*

*Keywords: saddle, polyethylene pipe, welding, thermal process, peel tests, DSC, crystallization kinetics, supramolecular structure.*

---

## Введение

На температурно-временной режим сварки полиэтиленовых труб и формирование надмолекулярной структуры материала сварного соединения кроме температуры окружающего воздуха (ОВ) существенное влияние оказывает скрытая теплота фазового перехода. Фазовый переход в термопластах происходит в двухфазной зоне, ограниченной изотермами с определенными температурами. В процессе нагрева и охлаждения границы двухфазной зоны движутся. В двухфазной зоне вещество находится как в твердой, так и в жидкой фазе. Изменяющееся во времени соотношение между твердой и жидкой фазой характеризуется степенью кристалличности. В первой части работы динамика температурного поля приварки седлового отвода к полиэтиленовой трубе определялась с учетом теплоты фазового перехода в интервале температур и изменения теплофизических свойств свариваемого материала от температуры и степени кристалличности [1].

Физико-механические свойства материала сварного соединения зависят от степени кристалличности, формы и размеров надмолекулярных образований. Зарождение и рост кристаллических образований напрямую зависят от скорости остывания расплава. Известно, что при низкой температуре ОВ высокая скорость охлаждения способствует образованию большого количества центров кристаллизации, рост которых замедлен, и формируется мелкокристаллическая структура, обуславливающая пластичность материала сварного шва [2]. При высокой температуре ОВ скорость охлаждения замедляется, и в зоне термического влияния (ЗТВ) формируется крупнокристаллическая структура, обуславливающая хрупкость материала.

## Результаты и обсуждение

### *Приварка седлового отвода к полиэтиленовым трубам при низких температурах*

Реализация определенной динамики температурного поля и, соответственно, кинетики кристаллизации приводит к формированию надмолекулярных структур материалов ЗТВ и сварного шва, при которых прочность соединения не уступает по прочности основному материалу трубы. Нами принято предположение, что существующие режимы сварки полиэтиленовых труб при допустимых температурах окружающего воздуха (от -10 до 40 °С) создают условия протекания теплового процесса в ЗТВ, при которых кинетика кристаллизации приводит к формированию в соединении структуры материала, обеспечивающей 0,85-0,9 прочности основного материала. В связи с этим, расчетным путем было показано, что при температурах ОВ ниже -10 °С предварительным подогревом и использованием слоя теплоизоляционного материала можно обеспечить протекание теплового процесса по закономерности близкой динамике температурных полей при допустимой для сварки температуре ОВ.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы и исследования взаимосвязи структуры и прочности шва выполнялась приварка седловых отводов к полиэтиленовым трубам при низких температурах с параметрами, полученными расчетами по разработанной методике [1]. Приварка седловых отводов d 110/63 и d 63/63 из ПЭ100 к полиэтиленовым трубам

ПЭ100 SDR 11 диаметром 110 и 63 мм проводилась на открытом воздухе в условиях низких температур, характерных для г. Якутска в ноябре месяце.

Для выполнения приварки седлового отвода  $d$  110/63 расчетами получена рекомендуемая толщина слоя теплоизоляционного материала (пенофол), равная 2 см. Расчетами также получено напряжение для подогрева, равное 12 В во всем рассматриваемом интервале температур, что соответствует мощности  $\sim 40$  Вт для данного нагревателя.

При неизменной продолжительности выравнивания температур, равной 240 с, зависимость продолжительности предварительного подогрева  $t_{\text{подогрев}}$  от температуры окружающего воздуха  $T_{\text{ОВ}}$  для приварке седлового отвода в интервале температур от  $-35$  до  $-25$  °С описывается формулой:

$$t_{\text{подогрев}} = -12 \cdot T_{\text{ОВ}} + 240 \quad (1)$$

Подогрев седлового отвода  $d$  110/63 при температуре воздуха  $-35$  °С в рекомендуемых нормативными документами теплых укрытиях, например, с температурой  $20$  °С, осуществляется по расчетам примерно за 2,75 часа. Таким образом, затраты времени на сварное соединение составят около 3 часов, по предлагаемой технологии – не более 50 минут.

Сборка свариваемых деталей проводилась согласно СП 42-103-2003 «Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов» в следующей последовательности: разметка места приварки отвода на трубе; зачистка поверхности трубы в месте приварки отвода с помощью цикли; обезжиривание привариваемой поверхности отвода; установка отвода на трубу; механическое прикрепление с помощью специального зажима и подключение к контактным клеммам токоподвода сварочных кабелей. Для снижения потерь тепла при выполнении всех операций и обеспечения требуемой скорости остывания на сварное соединение была установлена теплоизоляция из вспененного полиэтилена толщиной 20 мм.

Во время сварочных работ нагретым воздухом в трубе имитировалось движение газа со скоростью 10 м/с. Имитация потока газа осуществлялась подключением установки для создания пониженного давления внутри трубы на одном конце трубы и тепловой камеры с температурой воздуха  $-6$  °С на другом (рисунок 1).

Установка для  
создания пониженного  
давления

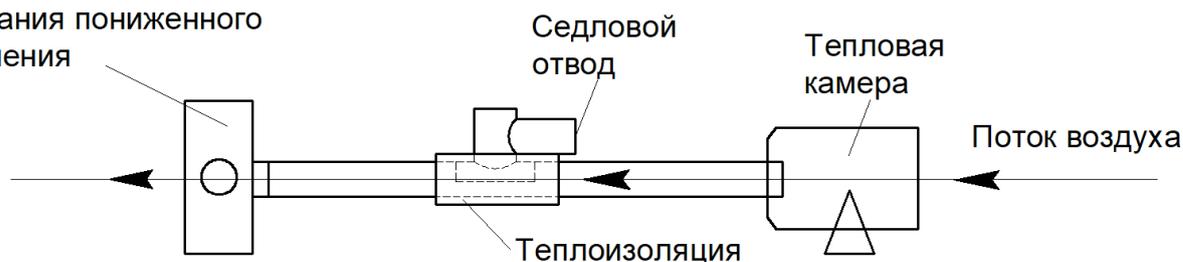


Рисунок 1 – Схема имитации движения газа в трубе

После сборки соединения производился предварительный подогрев закладным нагревателем и выдержка для выравнивания температур с параметрами, рассчитанными по формуле (1). Предварительный подогрев сварного соединения до максимальной температуры  $55$  °С осуществлялся путем подачи на клеммы нагревателя седлового отвода напряжения 12 В от сварочного аппарата HORNER HCU300 в течение 576 секунд. Время выдержки для выравнивания температур в стенках свариваемых деталей до  $20$  °С составило 240 с.

После выравнивания температур производилась стандартная сварка аппаратом HORNER HCU300 как при комнатной температуре. Сварочное напряжение 39,5 В, время нагрева 83 сек. Охлаждение сварного соединения проходило под слоем теплоизоляции в течение 15 мин.

Были получены образцы сварных соединений, выполненных по следующим режимам:

- Режим 1: Стандартная сварка при комнатной температуре;

- Режим 2: Сварка при низких температурах окружающего воздуха (ниже минус 10 °С), предварительный подогрев и выдержка для выравнивания температур. Все операции, включая нагрев и охлаждение, выполнялись под слоем теплоизоляции;
- Режим 3: Сварка при низких температурах окружающего воздуха (ниже минус 10 °С без подогрева и теплоизоляции с параметрами приварки для допустимой температуре ОВ).

*Контроль качества сварных соединений*

Для контроля качества седловых отводов среди обязательных методов предусмотрены внешний осмотр и испытания на отрыв при растяжении. Внешний вид полученных сварных соединений отвечал всем требованиям нормативных документов. При испытаниях на отрыв сварное соединение подвергается испытанию целиком и продолжается до полного отделения седлового отвода от трубы. В результате испытания соединения излом в месте сварки седлового отвода с трубой должен иметь полностью или частично пластичный характер разрушения по замкнутому периметру сварного шва. Хрупкое разрушение не допускается. В процессе проведения испытаний фиксируется также разрушающая нагрузка. Длина полиэтиленовой трубы (патрубка) принимается равной длине отвода. Перед испытанием образцы кондиционируют при температуре  $(23 \pm 2)$  °С не менее 2 ч. Испытания проводились при температуре  $(23 \pm 2)$  °С по схеме, утвержденной в установленном порядке в СП 42-103-2003 и обеспечивающей приложение нагрузки согласно рисунку 2. Внутри полиэтиленового патрубка испытываемого образца для передачи усилия вводился металлический сердечник. Нагружение испытываемого образца проводилось со скоростью  $(20 \pm 2)$  мм/мин до полного отрыва корпуса седелки от полиэтиленовой трубы или до деформации деталей узла соединения, вследствие чего испытательная нагрузка снижалась до нуля. Испытания проводились на универсальной электромеханической машине «Zwick Z600E» (Германия).

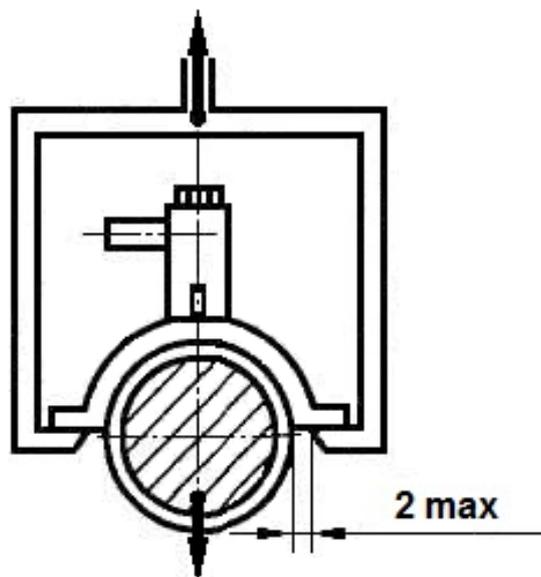


Рисунок 2 – Схема испытания седлового отвода на отрыв при растяжении

На рисунке 3 приведены образцы после испытаний на отрыв. Видно, что разрушение имеет пластичный характер.

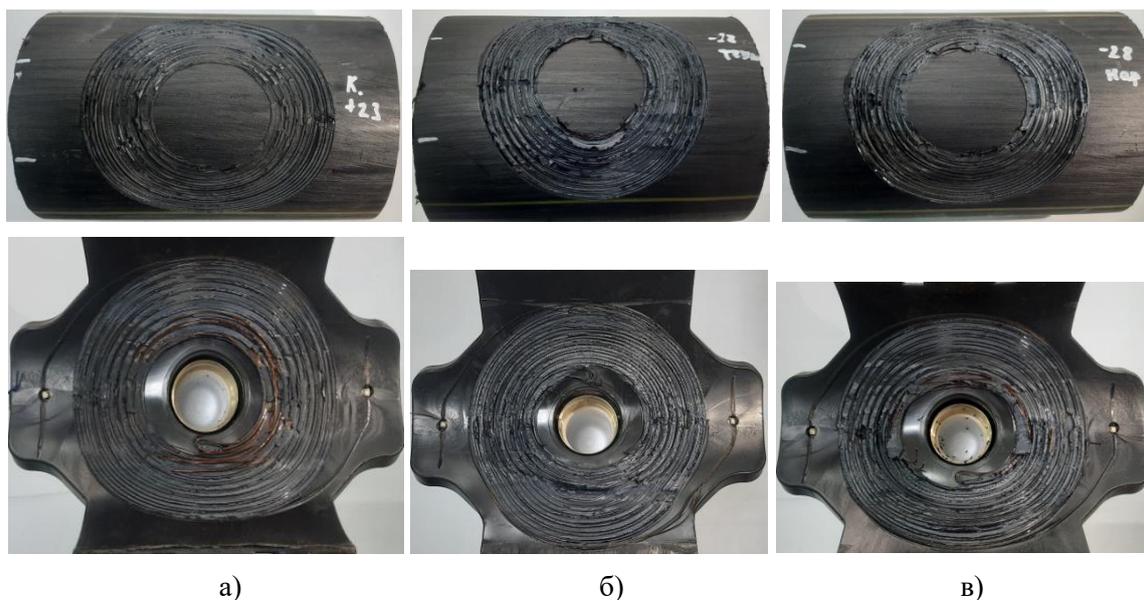


Рисунок 3 – Образцы сварных соединений ПЭ100 SDR 11 d110/63 после испытаний на отрыв при растяжении: а) режим 1; б) режим 2; в) режим 3

Результаты испытаний на отрыв при растяжении образцов сварных соединений приведены в таблице. Видно, что разрушающая нагрузка сварных соединений, полученных при минус 28 °С по предлагаемой технологии (Режим 2), ниже на ~5 % для d 110/63, а для d 63/63 практически равна значению разрушающей нагрузки соединений, полученных при допустимых температурах стандартной сварки.

Таблица – Среднее значение разрушающей нагрузки в Н

| Режимы сварки         | Режим 1, $T_{ОВ} = 23\text{ °C}$ | Режим 2, $T_{ОВ} = -28\text{ °C}$ | Режим 3, $T_{ОВ} = -28\text{ °C}$ |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ПЭ100 SDR11, d 110/63 | 23208,3                          | 22275,5                           | 16,559,1                          |
| ПЭ100 SDR11, d 63/63  | 9785,8                           | 9917,3                            | 6982,2                            |

Контроль качества сварки испытаниями на отрыв показали эффективность разработанного способа приварки седлового отвода к полиэтиленовым трубам при низких температурах окружающего воздуха.

Кроме проверки качества были проведены дополнительные исследования материала полученных сварных соединений: методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и электронной микроскопии.

#### *ДСК исследования материала сварных соединений*

Образцы сварных седловых соединений были исследованы с помощью калориметра «Netzsch DSC 204 HP Phoenix». Образцы брались из области соединений с размерами, равными зоне термического влияния (ЗТВ) сварных соединений, выполненных при стандартной сварке в комнатных условиях. Границы ЗТВ определялись расчетным путем. Внешняя граница ЗТВ представляет огибающую семейства изотерм 121 °С в различные моменты времени с начала охлаждения с максимально удаленными от нагревателя точками. Внешняя граница формируется примерно через 3 минуты после начала охлаждения. С другой стороны ЗТВ граничит с зоной сплавления, граница которой представляет огибающую семейства изотерм 154 °С. Например, при приварке седлового отвода d 110/63 к трубе сечение ЗТВ плоскостью перпендикулярной виткам спирали представляет собой кольцеобразную область в трубе и седелке с максимальной шириной кольца 3 мм в районе середины нагревателя (рисунок 4). Наибольшее расстояние внутренней границы ЗТВ от нагревателя составляет примерно 2,0–2,5 мм.

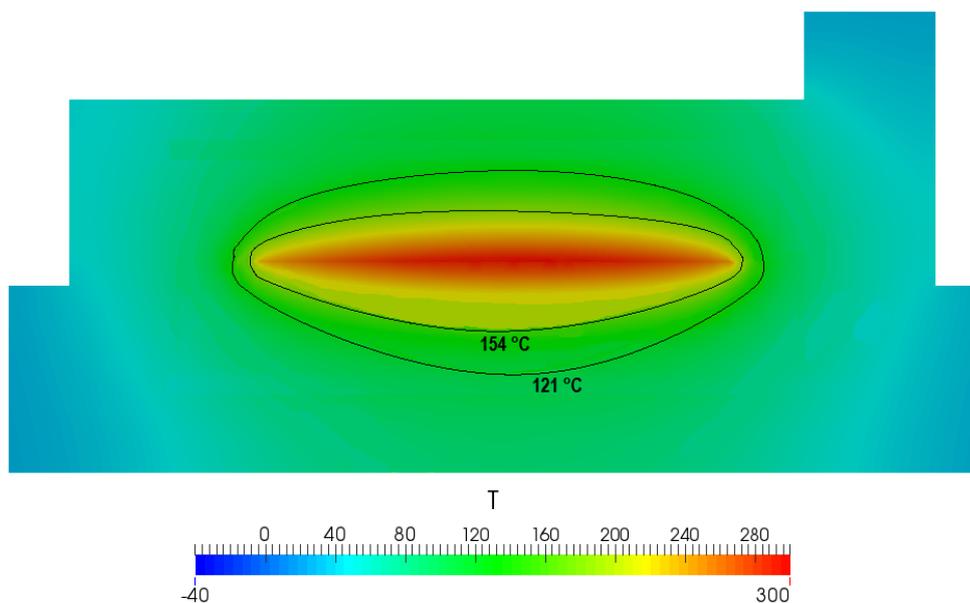


Рисунок 4 – Зона термического влияния седлового соединения d 110/63 при стандартной сварке в комнатных условиях

На рисунке 5 приведены кривые ДСК плавления образцов сварных соединений, выполненных по режимам сварки 1–3. Данные получены при скорости нагрева 20 С°/мин.

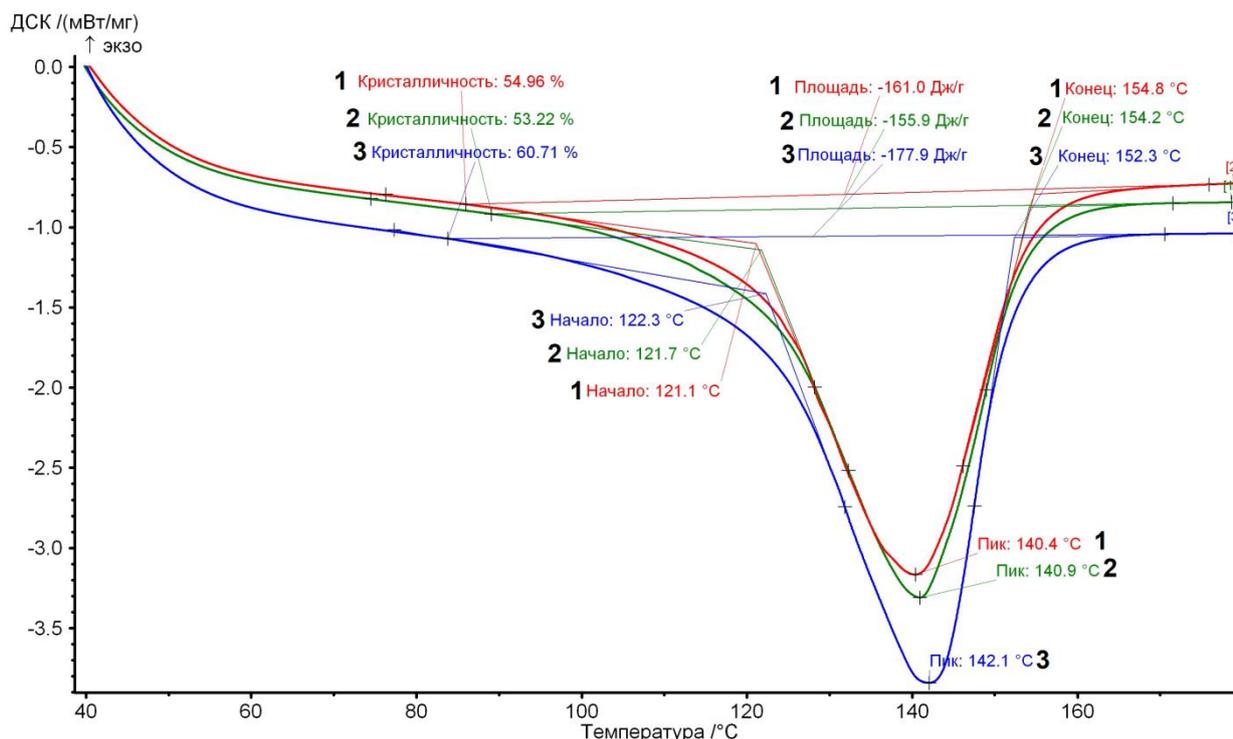


Рисунок 5 – Зависимости теплового потока при плавлении образцов сварных седловых соединений d 110/63, полученных при различных режимах сварки: 1 – режим 1; 2 – режим 2,  $T_{ов} = -28$  °C; 3 – режим 3,  $T_{ов} = -28$  °C

Результаты исследований показали, что при приварке седловых отводов при низких температурах по предлагаемой технологии и по существующей технологии в стандартных условиях значения степени кристалличности материалов трубы в исследуемых областях близки (кривые 1 и 2). Также соотносятся и равновесные температуры плавления. Анализ теплового потока при плавлении образца материала трубы сварного соединения, выполненного при

температуре ОВ  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  без предварительного подогрева и теплоизоляционного слоя, показал незначительное увеличение равновесной температуры плавления, что говорит о наличии в этой зоне надмолекулярных образований, требующих большего количества энергии для полного перехода в вязкотекучее состояние (кривая 3). Это может свидетельствовать о наличии в этой зоне сферолитов, размер которых свойственен изначальной структуре материала трубы, не подвергнувшегося плавлению на стадии нагрева свариваемых деталей нагревательным элементом. Вероятно, также объясняется и повышение степени кристалличности материала образца по сравнению с образцами, полученными при режимах 1 и 2.

Используя термограммы ДСК плавления образцов сварных седловых соединений, полученных при различных режимах сварки, исследовалась кинетика их кристаллизации (рисунок 6). Относительные кристалличности материалов определялись по термограммам следующим образом:

$$\alpha_T = 1 - \frac{\Delta H_T}{\Delta H}, \quad (2)$$

где  $\Delta H_T$  – часть энтальпии плавления до текущей температуры  $T$ ,  $\Delta H$  – энтальпия плавления.

$$\Delta H_T = \int_{T_{\text{нп}}}^T Q(T) dT, \quad \Delta H = \int_{T_{\text{нп}}}^{T_{\text{кп}}} Q(T) dT, \quad (3)$$

где  $Q(T)$  – функция теплового потока (кривая ДСК),  $T$  – температура,  $T_{\text{нп}}$  – температура начала плавления,  $T_{\text{кп}}$  – температура конца плавления. При этом условная базовая прямая для сравниваемых кривых ДСК бралась одна и та же.

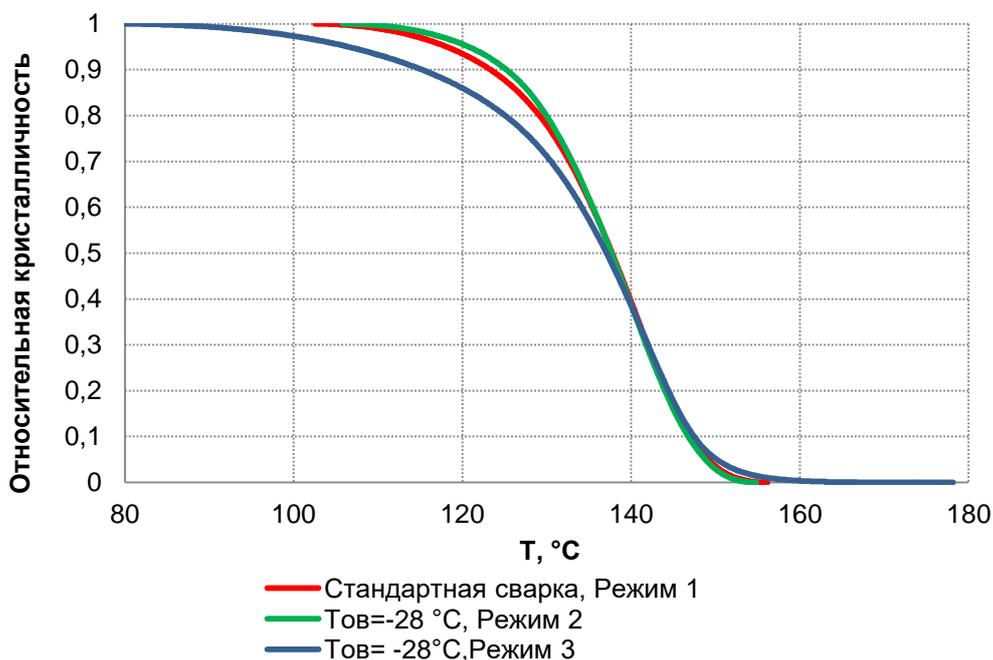


Рисунок 6 – Кинетика кристаллизации образцов сварных соединений

Исследование кривых относительной кристалличности образцов сварных соединений показало, что кинетики плавления материала соединений, полученных при  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  по стандартной технологии и при  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  по разработанной технологии практически идентичны, что свидетельствует о том, что применение предварительного подогрева и слоя теплоизоляционного материала расчетной толщины при охлаждении сварного соединения во время сварки при отрицательных температурах ОВ приводит к формированию структуры материала ЗТВ, близкой к структуре материала сварного соединения, выполненного при положительных температурах.

Для образцов, полученных по Режиму 3, в интервале температур от 80 до 125 °С характерно изменение относительной кристалличности с более высокой скоростью, чем для образцов стандартной сварки и по предлагаемой технологии. Такой характер кинетической кривой свидетельствует о наличии большого количества мелких кристаллических образований. Практическое совпадение кривых кинетики в интервале температур от 137 до 154 °С вероятнее всего означает наличие образований основного материала, не подвергшихся плавлению в силу недостаточного нагрева.

#### *Исследования структуры материала соединений*

Исследование структуры материала является важной частью исследований прочности сварного соединения. Трудность в описании структуры сварных седловых соединений заключается в различии изготовления седлового отвода и полиэтиленовой трубы. Хотя они изготавливаются из полиэтилена марки ПЭ100, седловые отводы получают в основном литьем под давлением, а трубы – экструзией. В процессе приварки структура материала в сварном соединении со стороны отвода и трубы изменяется по разному. В связи с этим структура материала зон седлового отвода и трубы приведены по отдельности.

Подготовка поверхностей образцов для микроскопических исследований проводилась методом травления [2]. Травление проводилось в парах кипящего толуола в течение 3 мин. Перед травлением плоскость среза подвергалась обработке абразивными инструментами. Обработка абразивом проводилась в водной среде во избежание перегрева образца. Для исследований надмолекулярной структуры материала сварных седловых соединений использовался сканирующий электронный микроскоп «Jeol JSM-6480 LV» с аналитическими приставками INCA Energy и INCA Wave. Поверхности травления исследовали при  $\times 1000$ ,  $\times 3000$  и  $\times 5000$  увеличении.

На рисунке 7 приведена структура материала в зоне шва со стороны отвода сварных соединений, выполненных при температуре ОВ -28 °С с применением предварительного подогрева и охлаждения под слоем теплоизоляции (Режим 2). Видно, что надмолекулярные образования имеют размеры около 3-5 мкм. Похожая структура материала с образованиями такого же размера наблюдается в образцах, полученных при комнатной температуре в работе [4]. Небольшое количество непротравленных участков, наблюдаемых на микрофотографии, не влияет на анализ общей структуры материала сварного соединения.

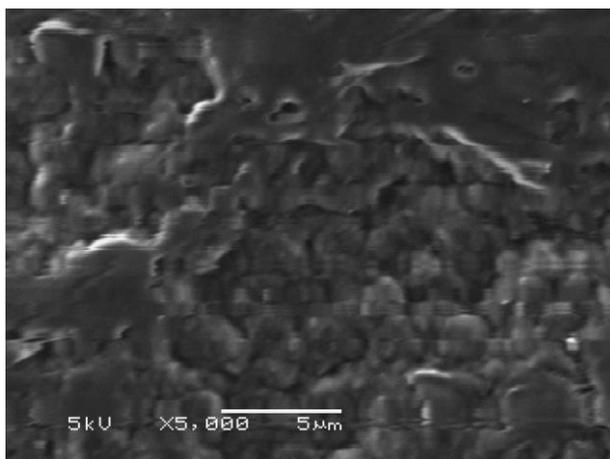


Рисунок 7 – Структура материала в зоне шва со стороны отвода сварного соединения, произведенного при Тов минус 28 °С по Режиму 2,  $\times 5000$

В условиях низких температур в процессе сварки в материале сварных соединений формируется мелкокристаллическая структура. Об этом свидетельствует рисунок 8, на котором видно, что структурные образования мелкие, размерами примерно 0,5–1 мкм. Известно, что высокая степень переохлаждения приводит к образованию относительно большего числа центров зарождения, которые, в свою очередь, при высокой скорости охлаждения не успе-

вают вырасти в сферолиты более большого размера [5]. Также в этой зоне наблюдается незначительное количество структур фибриллярного характера, что объясняется большой скоростью охлаждения расплава, в которой часть фибрилл не успели перестроиться в сферолиты.

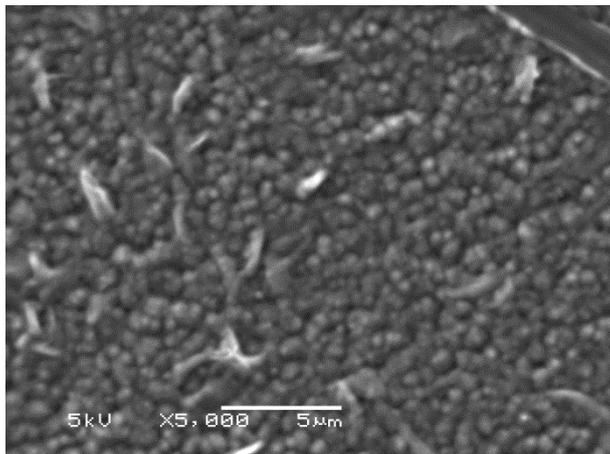
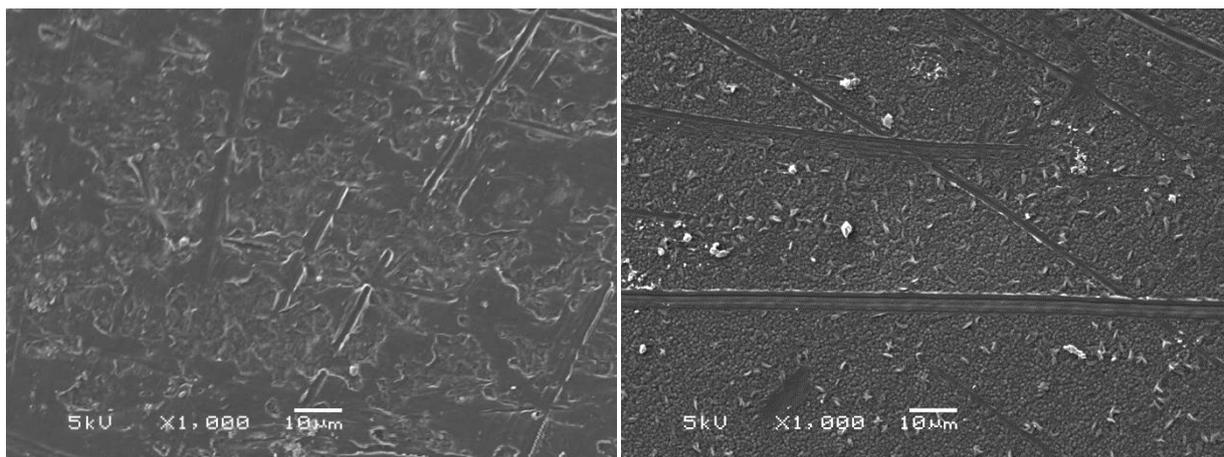


Рисунок 8 – Структура материала в зоне шва со стороны отвода сварного соединения, произведенного при Тов минус 28 °С по Режиму 3, ×5000

На рисунке 9 приведены микрофотографии структуры материала той же зоны, но уже при увеличении ×1000, где можно наблюдать данное различие.



а)

б)

Рисунок 9 – Структура материала в зоне шва со стороны отвода сварного соединения, произведенного при Тов минус 28 °С ×1000: а) Режим 2; б) Режим 3

Структура материала в области шва трубы сварных соединений, выполненных при температуре ОВ -28 °С по режимам 2 и 3, приведена на рисунке 10. Видно, что сферолиты плотно уложены, что объясняется способом производства труб – экструзией. При сварке по режиму 2 (рисунок 10, а) в области шва сформировалась структура, близкая к структуре основного материала трубы. Вероятнее всего, что материал с таким типом структуры будет обладать прочностными характеристиками, близкими к прочности основного материала трубы. При сварке по режиму 3 (рисунок 10, б) в материале в области шва наблюдается неоднородность структуры и значительное количество дефектных сферолитов.

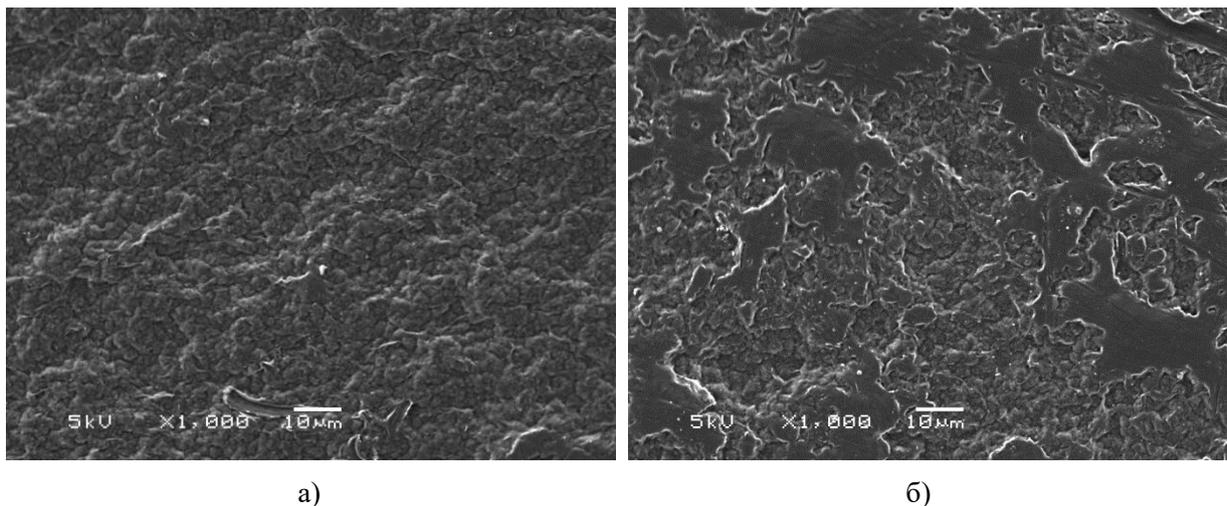


Рисунок 10 – Структура материала в области шва со стороны трубы сварных соединений, произведенных при  $T_{ов} -28^{\circ}\text{C}$   $\times 1000$ : а) режим 2; б) режим 3

На рисунке 11 приведены изображения структуры материала в ЗТВ со стороны отвода сварных соединений. К сожалению, наличие пленки, образовавшейся в процессе травления образца, затрудняет проведение полного анализа структуры, сформировавшейся в процессе сварки (рисунок 11, а). Тем не менее, можно сделать вывод, что сформировалась сферолитная структура с размерами образований от 2 до 5 мкм. С удалением от сварного шва в зоне термического влияния седлового отвода в результате недостаточного плавления при нагреве и быстрого охлаждения формируется надмолекулярная структура материала не сферолитная, а фибриллярная с хаотичным расположением фибрилл (рисунок 11, б).

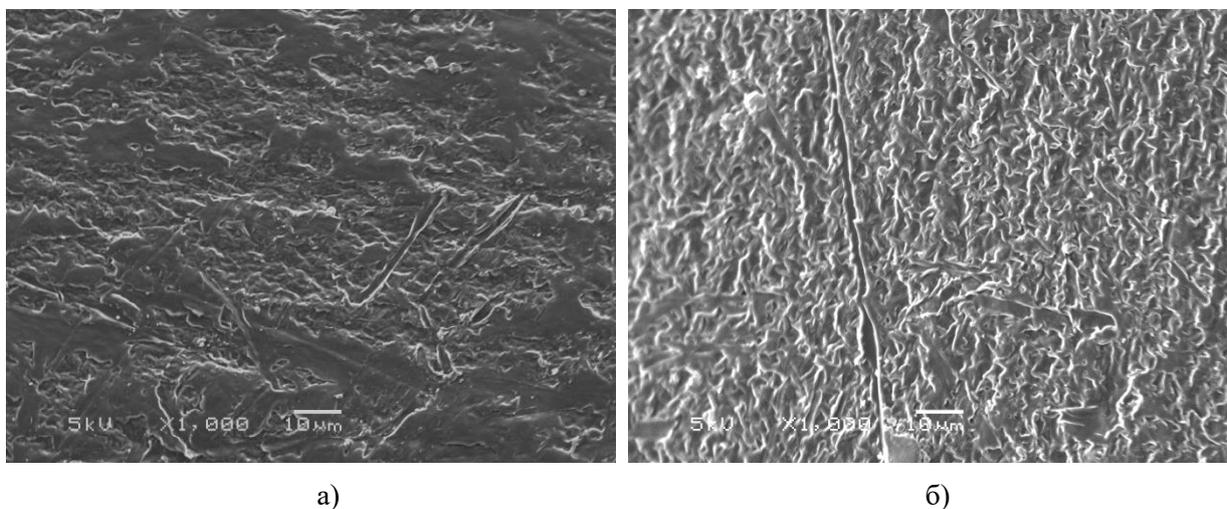


Рисунок 11 – Микрофотографии структуры материала в ЗТВ отвода сварных седловых соединений, выполненных при температуре  $OB -28^{\circ}\text{C}$ ,  $\times 1000$ : а) режим 2; б) режим 3

На рисунке 12 приведены снимки структуры материала в ЗТВ трубы сварных соединений, изготовленных при тех же температуре  $OB$  и режимах сварки при увеличении микроскопа в  $\times 3000$ .

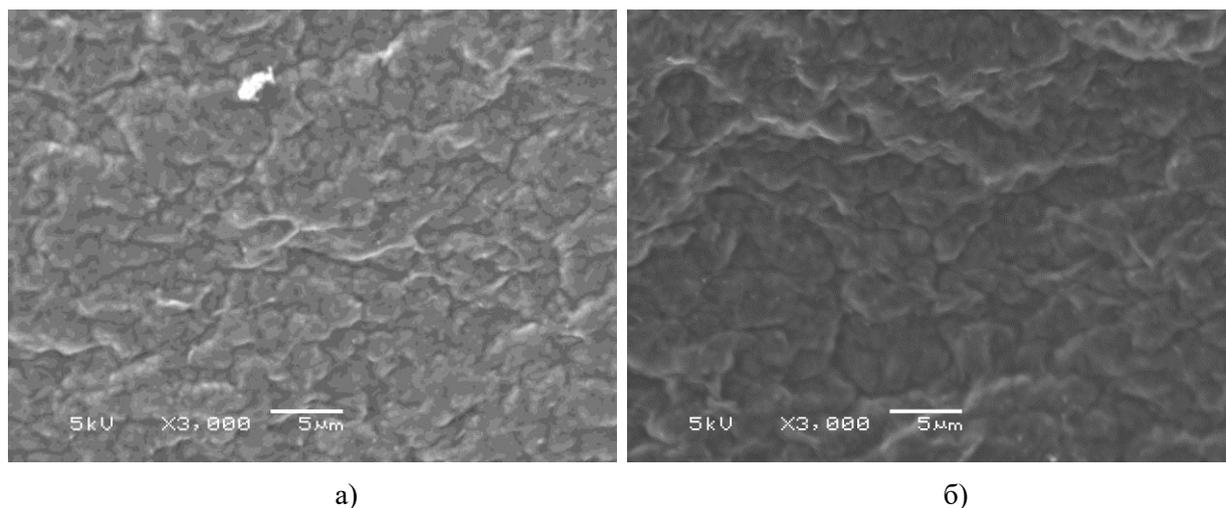


Рисунок 12 – Микрофотографии структуры материала в ЗТВ трубы сварных седловых соединений, выполненных при температуре ОВ -28 °С, ×3000:  
а) режим 2; б) режим 3

Здесь наблюдается сферолитная структура независимо от режима сварки. Различия имеются в размерах надмолекулярных образований. Так, при режиме 2 (сварка с предварительным подогревом и охлаждением под теплоизоляцией) размеры сферолитов варьируются в пределах 3-4 мкм (рисунок 12, а), а при режиме 3 (без подогрева и свободным охлаждением) наблюдаются сферолиты размерами от 2 до 8 мкм (рисунок 12, б). В целом структура более однородна в материале сварного соединения, изготовленного по режиму 2.

### Заключение и выводы

1. Предлагаемая технология приварки седловых отводов к действующим газопроводам из полиэтиленовых труб приводит к кинетике кристаллизации, обуславливающей формирование однородной сферолитной структуры материала зоны термического влияния и сварного шва с размерами надмолекулярных образований 3–5 мкм.

2. Установлено, что температурно-временной режим приварки седловых отводов к действующему газопроводу при низких температурах, реализуемый предлагаемой технологией, позволяет получить структуру материала, обеспечивающую прочность соединения на уровне прочности стандартной сварки при допустимых температурах воздуха.

3. Предлагаемая технология приварки седловых отводов к действующим газопроводам при низких температурах воздуха позволит сократить затраты времени на выполнение одного соединения к полиэтиленовой трубе диаметром 110 мм с 3 часов при использовании теплых укрытий до 50 минут. Сокращение времени на выполнение соединения будет возрастать с увеличением диаметра труб.

### Литература

1. Николаева, М. А. Влияние температурно-временных режимов сварки полимерных труб при низких температурах на структуру и свойства материалов соединений. Часть 1. Расчет теплового процесса / М. А. Николаева, Е. В. Данзанова, Н. П. Старостин. – Текст : непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2022. – № 4 (67). – С. 59–67. <https://doi.org/10.18822/byusu20220459-67>

2. Кайгородов, Г. К. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность / Г. К. Кайгородов, В. Ю. Каргин. – Текст : непосредственный // Трубопроводы и экология. – 2001. – № 2. – С. 13–14.

3. Каган, Д. Ф. Применение метода травления при микроскопическом исследовании надмолекулярной структуры блоков полиэтилена высокой плотности / Д. Ф. Каган, Л. А. По-

пова. – Текст : непосредственный // Высокомолекулярные соединения. – 1970. – Т. 12. – № 12. – С. 2774–2777.

4. Ботвин, Г. В. Технология приварки седлового отвода к полиэтиленовым трубам при низких температурах окружающего воздуха / Г. В. Ботвин, Е. В. Данзанова. – Текст : непосредственный // EURASTRENCOLD-2022. Труды X Евразийского симпозиума по проблемам прочности и ресурса в условиях климатически низких температур, посвященный 100-летию образования ЯАССР и 300-летию Российской Академии наук (12–16 сентября 2022 г., г. Якутск). – Киров : Изд-во МЦИТО, 2022. – С. 68–71.

5. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров. Издание 4-е, переработанное и дополненное / А. А. Тагер. – М. : Научный мир, 2007. – 576 с. – Текст : непосредственный.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ШАРОВЫХ ПАЛЬЦЕВ  
ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ИЗ ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

**Асташенко Владимир Иванович**

*доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры материалов, технологий и качества  
Набережночелнинского института,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: astvi-52@mail.ru*

**Пуртова Елена Викторовна**

*начальник лаборатории  
металлографического и спектрального анализа,  
ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО»  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: elena.v.purtova@gmail.com*

**Швеева Татьяна Владимировна**

*кандидат технических наук, доцент,  
доцент Набережночелнинского института,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: asttv@mail.ru*

**Пуртов Алексей Владимирович**

*Директор департамента –  
главный конструктор цифровых систем проектирования  
ПАО «КАМАЗ»,  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: aleksey.purtov@kamaz.ru*

*Предмет исследования: структура и свойства шаровых пальцев после тепловой обработки на различных этапах металлопередела.*

*Цель работы: исследование и обоснование экономно-легированной стали для шаровых пальцев грузового автомобиля.*

*Объект исследования: шаровой палец рулевого управления автомобиля «КАМАЗ».*

*Методы исследования: для изготовления шаровых пальцев использовали сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ), выплаваемая из металлургических окатышей на Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОЭМК). Определение содержания химических элементов в сталях проводили в соответствии с действующими стандартами, используя приборы «Spectrolab» «Искролайн-100» и анализатор серы и углерода GS-800.*

*Основные результаты исследования: на основе исследований обосновано применение стали 40Х прямого восстановления для шаровых пальцев грузового автомобиля. Разработаны технологии пластической деформации и термической обработки полуфабрикатов, обеспечивающие получение заданной текстуры и структуры сорбита отпуска. Для объемной закалки заготовок вместо масла МЗМ-16 предложена, обоснована и внедрена закалочная среда на основе водорастворимого полимера. Рекомендованное решение, внедренное для шаро-*

*вых пальцев автомобиля КАМАЗ, позволило получить экономический эффект более 2 млн руб. и снизить трудоемкость при их изготовлении.*

*Ключевые слова: шаровой палец, сталь, твердость, структура, циклическая долговечность, поверхностная закалка, закалочная среда, термообработка.*

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND EXPERIENCE  
IN THE PRODUCTION OF TRUCK BALL PINS MADE  
OF ECONOMICALLY ALLOYED STEEL**

**Vladimir I. Astashchenko**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Materials, Technology and Quality,  
Naberezhnye Chelny Institute,  
Kazan (Volga Region) Federal University  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: astvi-52@mail.ru*

**Elena V. Purtova**

*Head of Laboratory Metallographic and Spectral Analysis,  
PLANT PROFTERMO  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: elena.v.purtova@gmail.com*

**Tatiana V. Shveeva**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Naberezhnye Chelny Institute,  
Kazan (Volga Region) Federal University  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: asttv@mail.ru*

**Alexey V. Purto**

*Director of the Department –  
Chief Designer of Digital Design Systems  
PJSC "KAMAZ"  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: aleksey.purtov@kamaz.ru*

*Subject of research: structure and properties of ball pins after heat treatment at various stages of metal processing.*

*Purpose of the work: research and justification of economically alloyed steel for truck ball pins.*

*Object of research: steering ball pin of a KAMAZ vehicle.*

*Methods of research: for the manufacture of ball pins, 40X direct resistance steel (40X-PV) was used, smelted from metallized pellets at the Oskol Electrometallurgical Plant (OEMK). Determination of the content of basic substances in steels of electrical elements in accordance with current standards, using Spectrolab devices Iskroline-100 and a series analyzer and device GS-800.*

*Main results of research: based on the study, the use of 40X steel to identify truck ball pins was justified. Technologies for plastic deformation and heat treatment of semi-finished products have been developed to ensure the desired texture and structure of tempered sorbitol. For volumetric quenching of workpieces, instead of MZM-16 oil, a quenching medium based on a water-soluble polymer was proposed, justified and introduced. The recommended solution, the implementation of*

*ball pins for a KAMAZ vehicle, will provide an economic effect of more than 2 million US dollars. rub. and reduce the efficiency of their production.*

*Keywords: ball pin, steel, hardness, structure, cyclic durability, surface hardening, quenching medium, heat treatment.*

---

## **Введение**

Рулевой механизм любого транспортного средства является одним из наиболее ответственных и высоконагруженных узлов. Передняя ось автомобиля входит в состав такого механизма, и все ее детали испытывают в эксплуатации разнообразные виды нагрузок – от ударно-силовых и износа в процессе трения – до статических, циклических, температурных и других воздействий. Среди многообразия деталей, входящих в рулевой механизм, большой интерес представляет шаровой палец, который во многих случаях, в стране и за рубежом, изготавливают из цементуемой хромоникелевой стали типа 12ХН3А. Такое решение обосновано необходимостью получения высокой прочности и износостойкости поверхностного цементованного слоя детали в сочетании с высокими пластическими характеристиками металла основы детали. Формирование указанных свойств в деталях достигается путем их упрочнения по специальной технологии, которая включает цементацию при  $920 \pm 10^\circ\text{C}$ , подстуживание и выдержку при  $650^\circ\text{C}$  до завершения превращения аустенита в перлит, последующий нагрев до  $870 \pm 10^\circ\text{C}$ , закалку в масло и отпуск при  $180 \pm 10^\circ\text{C}$  [3-5]. Данная технология весьма трудоемкая, энергозатратная и требует использования специализированных термических агрегатов [3, 13]. Поэтому изыскание новых технических и технологических решений по рациональному выбору стали и упрочняющей обработки тяжело нагруженных и ответственных деталей автомобиля является важной задачей в машиностроении.

Цель работы – исследование и обоснование экономно-легированной стали для шаровых пальцев грузового автомобиля.

Объект исследования – шаровой палец рулевого управления автомобиля «КАМАЗ».

Предмет исследования – структура и свойства шаровых пальцев после тепловой обработки на различных этапах металлопердела.

Материалы и методы исследования. Для изготовления шаровых пальцев использовали сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ), выплавляемую из металлизированных окатышей на Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОЭМК). Сталь такого способа производства по отношению к стали 40Х обычной выплавки обладает более стабильным составом по содержанию основных и сопутствующих химических элементов, а также меньшим содержанием вредных примесей – серы и фосфора [5]. Определение содержания химических элементов в сталях проводили в соответствии с действующими стандартами, используя приборы «Spectrolab» «Искролайн-100» и анализатор серы и углерода GS-800. По результатам контроля 125 плавок стали 40Х-ПВ установлено, что колебания концентрации углерода, хрома, марганца и кремния составляли, соответственно, 1,16; 1,10; 1,50 и 1,88 раз, что значительно меньше, чем в стали 40Х, полученные при исследовании 204 плавок. Согласно ТУ 14-1-5414-2001, содержание химических элементов в стали 40Х-ПВ должно быть в пределах: углерод – 0,36-0,44 %; хром – 0,8-1,10 %; марганец – 0,5-0,8 %; кремний – 0,17-0,37 %; сера – не более 0,012 % и фосфор – не более 0,015 %. Чистота стали 40Х-ПВ по фосфору и сере в несколько раз превосходит сталь 40Х традиционной выплавки, в которой максимальное содержание каждого из этих элементов составляет до 0,035 %.

Для металлографических исследований использовали микроскопы «Неофот-21» и Olympus GX51 с программным обеспечением SIAMS-800. Выявление текстуры деформированного металла и дефектов металлургического характера проводили после горячего травления проката и полуфабрикатов деталей.

Охлаждающую способность закалочных сред определяли в соответствии с ISO 9950-2015 с помощью термозонда из никелевого сплава [10].

Измерение твердости проводили на приборах ТР 5006М, ТШ-2М, ТК-2М и микротвердомерах ПМТ-3 и Дюримет.

Закаливаемость и прокаливаемость стали изучали методом пробных закалок образцов Ø30x120мм [6].

Склонность стали к образованию трещин при закалке оценивалась на дисковых образцах с канавкой из стали У10А по методике, рекомендуемой А.П. Гуляевым и Е.И. Малинкиной [9]. Выявление трещин на образцах проводили магнитно-люминесцентным методом.

Для определения размера зерна в стали использовали метод окисления в соответствии с ГОСТ 5639-82. Стендовые испытания на изгиб шаровых пальцев выполняли на сервогидравлической машине МТС322.31. Термическую обработку полуфабрикатов, деталей и образцов проводили с использованием лабораторных и промышленных печей, а для нагрева ТВЧ – установку мод. 18SIA (Италия).

### **Результаты и обсуждение**

Инновационным направлением в решении поставленной цели является применение высококачественной стали прямого восстановления. При выборе марки стали должны учитываться технические, технологические, экономические и экологические особенности при ее переделе в машиностроительном производстве. Сталь должна обладать рациональным легированием, иметь широкое применение (недефицитность) в промышленности, обладать технологичностью в производственном цикле изготовления деталей с применением общедоступного и традиционного оборудования, обеспечивать достижение заданных функциональных свойств в изделиях при экономичном расходе топливно-энергетических ресурсов в технологиях металлопередела. В работе для изготовления шаровых пальцев грузового автомобиля «КАМАЗ» взамен стали 12ХНЗА предложена сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ), которая более чем в 2 раза дешевле указанной хромоникелевой стали. При производстве такой стали в переплавляемой шихте отсутствует металлолом, что исключает присутствие в ней многих химических элементов, наследуемых из лома [5]. Эти элементы: медь, олово, сурьма, мышьяк и др. – даже в малых количествах оказывают непредсказуемое, а в отдельных случаях – и неблагоприятное влияние на механические свойства стали [11].

Нормативная циклическая долговечность шарового пальца (более 1 млн циклов при нагрузке 90кН) обеспечивается на цементованных деталях из стали 12ХНЗА при соблюдении следующих технических требований: глубина поверхностно-упрочненного слоя 1,5-3,5 мм, твердость поверхности – 56-62HRC и сердцевины – 241-285HV. Кроме того, требованиями оговаривается наличие свободного феррита в структуре материала, который, за исключением сферической части пальца, недопустим.

Для достижения такого комплекса свойств на шаровых пальцах из экономно-легированной стали 40Х-ПВ разработаны, обоснованы и внедрены технологии производственного цикла изготовления полуфабрикатов и деталей.

В качестве первоочередной стадии на этапе изготовления полуфабрикатов шаровых пальцев реализована поперечно-клиноватая прокатка металла заготовок, нагретых до 1200±20°С, которая обеспечила получение не только их геометрических параметров, но и создала благоприятную текстуру деформации по конфигурации детали (рис. 1). За счет такого формирования волокнистого строения в детали, несомненно, получено преимущество по механическим свойствам шарового пальца перед другими видами распределения волокон в металлоизделиях [1].

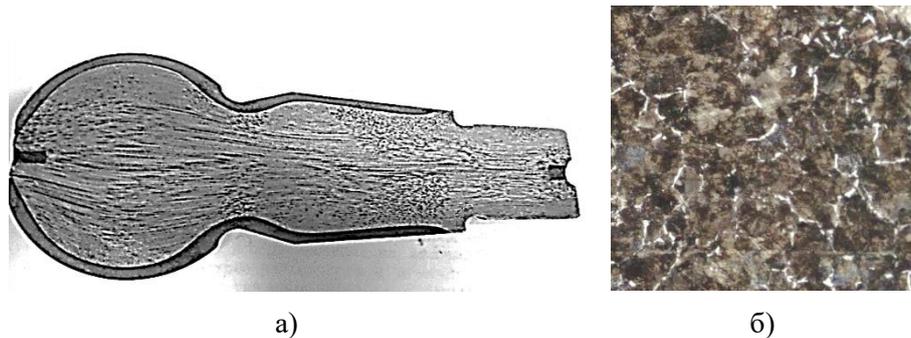


Рисунок 1 – Макростроение (а) и микроструктура (б) шарового пальца после поперечно-клиновой прокатки

Достаточно высокие требования предъявляются к термической обработке полуфабрикатов из стали 40Х-ПВ, которая должна обеспечить получение микроструктуры сорбита при отсутствии зерен феррита и твердости в пределах 285-320НВ.

При данном структурном состоянии и твердости полуфабрикатов в указанных пределах обеспечивается их удовлетворительная обрабатываемость резанием на операциях точения и накатки резьбы. Кроме того, однородная структура в виде сорбита отпуска является благоприятным условием для последующей упрочняющей технологии, включающей скоростной нагрев (например, ТВЧ) поверхности детали и ограниченность по времени фазовых процессов превращения в этих слоях. Получение структуры сорбита отпуска по всему сечению детали возможно только в том случае, если после закалки в стальных полуфабрикатах было мартенситное или троостомартенситное состояние.

Как показали экспериментальные исследования, при закалке в масло шаровых пальцев из стали 40Х-ПВ в структуре наряду с мартенситом присутствуют и структурные составляющие феррито-перлитного строения.

Основным и весьма эффективным направлением в обеспечении бездиффузионного превращения при закалке многих сталей является использование для этой цели закалочных сред с большей охлаждающей способностью, чем у масел. Такому показателю свойств отвечают среды на основе водорастворимых полимеров [2, 8]. При выборе синтетических закалочных сред необходимо выполнение ряда условий. А именно, – кроме сквозной закалки по сечению изделия она не должна вызывать его трещинообразование, должна быть пожаробезопасной, технологичной в эксплуатации и экологичной.

В таблице 1 представлены результаты по интенсивности охлаждения в различных температурных интервалах воды, масла МЗМ-16 и водных растворов с различным содержанием полимера – полиэтиленгликоля. Видно, что наиболее благоприятным свойством по охлаждающей способности, в сравнении с маслом, обладает закалочная среда, содержащая 32,5 % полимера в воде. Такая среда, как показали исследования, обеспечивает высокую закаливаемость стали 40Х (табл. 2) и исключается образование трещин (рис. 2) на дисковых образцах с канавкой их стали У10, как наиболее представительной стали для такой оценки свойств [9].

Таблица 1

Скорость и интенсивность охлаждения водных растворов полимеров  
в различных температурных интервалах

| Закалочная среда, %<br>полимера | Интенсивность охлаждения в интервале температур |                |                |                 |                |                |                 |                |                |                 |                |                |
|---------------------------------|---|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                                 | 800-300°С                                       |                |                | 800-650°С       |                |                | 650-300°С       |                |                | 300-100°С       |                |                |
|                                 | V <sub>ср</sub>                                 | H <sub>в</sub> | H <sub>м</sub> | V <sub>ср</sub> | H <sub>в</sub> | H <sub>м</sub> | V <sub>ср</sub> | H <sub>в</sub> | H <sub>м</sub> | V <sub>ср</sub> | H <sub>в</sub> | H <sub>м</sub> |
| 0 (вода)                        | 342   | 1,0            | 4,9            | 268             | 1,0            | 6,8            | 417             | 1,0            | 4,2            | 530             | 1,0            | 9,4            |
| 5,0                             | 268   | 0,78           | 3,8            | 260             | 0,9            | 6,6            | 276             | 0,66           | 2,7            | 238             | 0,45           | 4,2            |
| 15,0                            | 226   | 0,66           | 3,2            | 225             | 0,84           | 5,7            | 228             | 0,53           | 2,3            | 207             | 0,39           | 3,7            |
| 32,5                            | 185   | 0,54           | 2,7            | 196             | 0,73           | 5,0            | 175             | 0,42           | 1,7            | 140             | 0,26           | 2,5            |
| 50,0                            | 54  | 0,16           | 0,78           | 48              | 0,18           | 1,2            | 61              | 0,14           | 0,6            | 60              | 0,11           | 1,07           |
| масло МЗМ-16                    | 69  | 0,22           | 1,0            | 39              | 0,15           | 1,0            | 100             | 0,24           | 1,0            | 56              | 0,105          | 1,0            |

Примечание:  $V_{cp}$  – средняя скорость охлаждения, °C/с;  $H_v$  ( $H_M$ ) – интенсивность охлаждения по отношению к воде (маслу), количество раз.

Таблица 2

Твердость стали 40Х-ПВ при закалке образцов Ø30x120мм в различных средах

| Место контроля твердости | Содержание полимера в воде, % |       |       |       |       | Закалка в масле |
|--------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
|                          | 0(вода)                       | 5     | 15    | 25    | 32,5  |                 |
| Поверхность, HRC         | 56/56                         | 56/56 | 56/54 | 56/54 | 56/53 | 52/52           |
| Сердцевина, HRC          | 52/56                         | 56/56 | 54/50 | 54/50 | 53/48 | 47/46           |

Примечание: в числителе температура среды 20 °C, в знаменателе 50 °C.

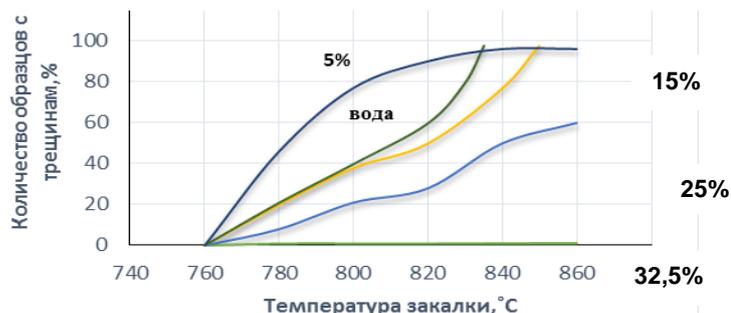


Рисунок 2 – Влияние температуры закалки и концентрации полимера в растворе на образование трещин в дисковых образцах с канавкой из стали У10

После термической обработки, включающей печной нагрев и выдержку при 860 °C, закалку в водном растворе полимера и отпуск при 550 °C в течение трех часов с последующим охлаждением в воде, по всему сечению полуфабрикатов шарового пальца достигнута структура сорбита отпуска с твердостью в пределах 285-320НВ, трещины на изделиях отсутствуют.

Ключевые показатели свойств деталям придаются в результате их поверхностного упрочнения после нагрева ТВЧ [12-15]. Учитывая скоростной нагрев и неизбежность нагрева поверхности деталей до более высокой температуры, чем при печном нагреве, в работе выполнены исследования и установлена температурная зависимость роста зерна в стали 40Х-ПВ (рис. 3). Видно, что в случае печного нагрева интенсивный рост зерна в стали наблюдается при температуре 920 °C, а в случае нагрева токами высокой частоты – при 1000 °C. Эти сведения указывают на сохранение мелкозернистого строения стали в сердцевине изделия, которое было сформировано при термической обработке полуфабрикатов, и получение мелкозернистого зерна в поверхностном упрочненном слое после закалки с нагрева ТВЧ.

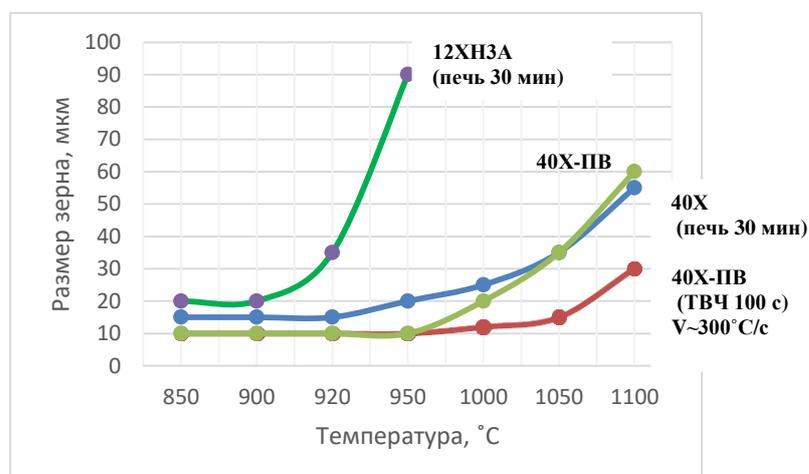


Рисунок 3 – Температурная зависимость роста зерна в сталях 12ХН3А, 40Х и 40Х-ПВ при различных условиях нагрева. В скобках – время выдержки; V – скорость нагрева

В результате спрейерной закалки шаровых пальцев на поверхности детали формируется упрочненный слой с твердостью 56-62HRC и микроструктурой мелкоигольчатого мартенсита. Учитывая конфигурацию детали и наличие на ней концентраторов напряжений в виде галтели, резьбы и зоны контакта с сопрягаемой сошкой рулевого управления, а также условия нагруженности детали в эксплуатации, упрочнение выполняется по сферической части, галтели и конусному участку (рис. 4).

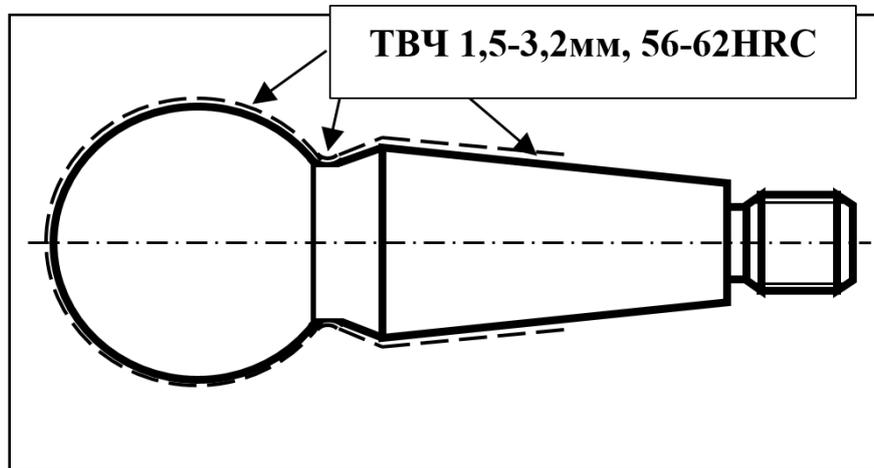


Рисунок 4 – Эскиз шарового пальца с поверхностным упрочнением с нагрева ТВЧ

Глубина упрочненного слоя по конфигурации детали колеблется от 1,5 до 3,2 мм, что обеспечивает циклическую долговечность детали более 1 млн циклов при размахе нагрузки 90кН (табл. 3). При этом твердость металла основы детали сохраняется на уровне 285-320НВ, полученной в процессе термического улучшения полуфабрикатов шаровых пальцев. Следует также заметить, что после поверхностной закалки детали подвергаются самоотпуску.

Таблица 3

Циклическая стойкость шаровых пальцев по результатам испытаний

| Параметр                       | Значение            |            |                     |                     |                   |
|--------------------------------|---------------------|------------|---------------------|---------------------|-------------------|
|                                | 100                 | 95         | 93                  | 92                  | 90                |
| Размах нагрузки, кН            | 100                 | 95         | 93                  | 92                  | 90                |
| Наработка до разрушения, циклы | 138 000             | 500 000    | 490 000             | $1,06 \cdot 10^6$   | $2,23 \cdot 10^6$ |
| Место разрушения               | По конической части | По галтели | По конической части | По конической части | Без разрушения    |

Стендовые усталостные испытания на изгиб показали, что детали имеют циклическую долговечность, более чем в 2 раза превышающую работоспособность в эксплуатации деталей из стали 12ХН3А. При этом материальные затраты при изготовлении деталей из стали 40Х-ПВ снижаются в ~2,5 раза.

### Заключение и выводы

1. Для изготовления шаровых пальцев рулевого управления грузового автомобиля предложена, обоснована и внедрена сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ) взамен цементуемой стали 12ХН3А.

2. Для полуфабрикатов шарового пальца из экономнолегированной стали разработана технология термического улучшения с применением при закалке водного раствора полимера, которая обеспечивает получение твердости в пределах 285-320НВ и микроструктуры сорбита отпуска по всему сечению изделия.

3. Для придания высоких эксплуатационных свойств изделиям детали на завершающем этапе производства подвергают поверхностной закалке с нагрева ТВЧ. После упрочнения

поверхностный слой толщиной 1,5-3,2 мм приобретает твердость 56-62HRC и структуру мартенсита при сохранении структуры и твердости сердцевины изделия, сформированных в полуфабрикатах.

4. Внедрение стали 40Х-ПВ для шаровых пальцев взамен стали 12ХН3А позволило сэкономить материальные затраты и энергетические ресурсы, а также снизить трудоемкость изготовления деталей.

### Литература

1. Астащенко, В. И. Контроль качества и наследственность строения стали при технологическом металлопеределе: монография / В. И. Астащенко, А. И. Швеев, Т. В. Швеева. – М. : Academia, 2011. – 239с. – Текст: непосредственный.
2. Астащенко, В. И. Эффективность закалки термоулучшаемых сталей в водных растворах полимеров / В. И. Астащенко, А. И. Швеев, Т. В. Швеева. – Текст : непосредственный // Черные металлы. – 2020. – №4. – С. 47–53.
3. Глинер, Р. Е. Введение в технологию поверхностного упрочнения металла: учебное пособие / Р. Е. Глинер, В. И. Астащенко. – Москва: Вологда: Инфа-Инженерия, 2022 – 326 с. – ISBN 978-5-9729-1038-0 – Текст : непосредственный.
4. Зинченко, В. М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки / В. М. Зинченко. – М. : Издательство МВТУ, 2001. – 303 с. – Текст : непосредственный.
5. Кальнер, В. Д. Чистота шихты и свойства конструкционной углеродистой стали / В. Д. Кальнер, С. А. Юрасов, В. В. Медведев, А. В. Сайкин. – Текст : непосредственный // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 4. – С. 33–35.
6. Качанов, Н. Н. Прокаливаемость стали / Н. Н. Качанов. – М. : Металлургия, 1978. – 192 с. – Текст : непосредственный.
7. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей: Справочник / Под общей ред. В. Д. Кальнера. – М. : Машиностроение, 1984. – 463с. – Текст : непосредственный.
8. Люты, В. Закалочные среды / В. Люты ; под ред. С. В. Масленкова ; пер. с польского. – Челябинск : Металлургия, 1990. – 192 с. – Текст : непосредственный.
9. Малинкина, Е. И. Образование трещин при термической обработке стальных изделий / Е. И. Малинкина. – М. : Машиностроение, 1965.- 173с. – Текст : непосредственный.
10. Международный стандарт ISO9950-1995 Промышленные закалочные масла. Определение характеристик охлаждения. Метод испытания зондом из никелевого сплава. Перевод с немецкого, 1995. – 9 с. – Текст : непосредственный.
11. Меськин, В. С. Основы легирования стали / В. С. Меськин. – М. : Металлургия, 1964. – 684 с. – Текст : непосредственный.
12. Михлюк, А. И. Новый подход объемно-поверхностной закалке тяжело нагруженных зубчатых деталей мобильных машин / А. И. Михлюк. – Текст : непосредственный // Литье и металлургия. – 2010. – № 1(54). – С. 131–139.
13. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина. – М. : Машиностроение, 1980. – 783 с. – Текст: непосредственный.
14. Фиргер, И. В. Термическая обработка сплавов: Справочник / И. В. Фиргер. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. – 304с. – Текст : непосредственный.
15. Шепеляковский, К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве / К. З. Шепеляковский. – М. : Машиностроение, 1972. – 288 с. – Текст : непосредственный.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

---

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗАО «СИБГАЗСТРОЙДЕТАЛЬ»**

**Антонов Александр Игоревич**

*кандидат технических наук,  
доцент кафедры электротехники и электрооборудования,  
Омский институт водного транспорта (филиал),  
Сибирский государственный университет водного транспорта  
Омск, Россия  
E-mail: aleksandr\_antonov\_85@mail.ru*

**Руди Дмитрий Юрьевич**

*старший преподаватель  
кафедры электротехники и электрооборудования,  
Омский институт водного транспорта (филиал),  
Сибирский государственный университет водного транспорта  
Омск, Россия*

**Хацевский Константин Владимирович**

*доктор технических наук,  
профессор кафедры электротехники и электрооборудования,  
Омский институт водного транспорта (филиал),  
Сибирский государственный университет водного транспорта  
Омск, Россия*

*Предмет исследования: процессы, протекающие в электрических сетях с установками индукционного нагрева.*

*Цель исследования: исследование качества электроэнергии в электрических сетях.*

*Объект исследования: электрические сети объекта исследования.*

*Методы исследования: в процессе выполнения исследований применялись научно-техническое обобщение литературных источников по исходным предпосылкам исследований, методы теории вероятности и математической статистики. Экспериментальные исследования выполнялись комплексным методом с использованием прибора «Ресурс-ПКЭ».*

*Основные результаты исследования: на основе проведённых исследований показано, что мощные электрические приёмники являются источниками искажений.*

*Ключевые слова: качество электрической энергии, электрическая сеть, электроустановка индукционного нагрева, несинусоидальность напряжений, высшие гармоники.*

**ANALYSIS OF THE RESULTS OF STUDYING THE QUALITY  
OF ELECTRIC POWER IN THE ELECTRIC NETWORKS OF CJSC  
SIBGAZSTROYDETAL**

**Alexander I. Antonov**

*Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of Electrical Engineering and Electrical Equipment,  
Omsk Institute of Water Transport (branch),  
Siberian State University of Water Transport  
Omsk, Russia  
E-mail: aleksandr\_antonov\_85@mail.ru*

**Dmitry Yu. Rudy**

*Senior Lecturer,  
Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment  
Omsk Institute of Water Transport (branch),  
Siberian State University of Water Transport  
Omsk, Russia*

**Konstantin V. Hatsevskiy**

*Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment,  
Omsk Institute of Water Transport (branch),  
Siberian State University of Water Transport,  
Omsk, Russia*

*Subject of research: processes occurring in electrical networks with induction heating installations.*

*Purpose of research: quality of electricity in electrical networks.*

*Object of research: electrical networks of the object of study.*

*Methods of research: in the process of performing research, scientific and technical generalization of literary sources according to the initial prerequisites for research, methods of probability theory and mathematical statistics were used. Experimental studies were carried out by a complex method using the Resurs-PKE device.*

*Main results of research: on the basis of the conducted research, it is shown that powerful electrical receivers are sources of distortion.*

*Keywords: quality of electrical energy, electrical network, induction heating electrical installations, voltage non-sinusoidality, higher harmonics.*

---

**Введение**

На современных промышленных предприятиях Российской Федерации к общей шине цеховых систем электроснабжения подключается значительное число электроприемников с нелинейными вольт-амперными характеристиками, так как данные электроприемники могут работать при различных режимах [3]. В настоящее время широко используются электроустановки индукционного нагрева (ЭИН) для поверхностной закалки, гибки труб, высокочастотной пайки и т. д. Принцип индукционного нагрева основан на создании электромагнитного поля высокой частоты, которое индуцирует в нагреваемом теле вихревые токи. Для создания индуцированных токов используются высокочастотные генераторы на базе статических силовых полупроводниковых преобразователей. В зависимости от вида электротехнологиче-

ской нагрузки применяются статические преобразователи различной конфигурации и построенные на разнообразной элементной базе. Статические полупроводниковые преобразователи являются генераторами высших гармоник тока и напряжения в электрическую сеть, входящую в состав системы электроснабжения промышленного предприятия [4]. В связи с этим особую значимость имеют проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) как способности технических средств нормально функционировать в условиях электромагнитных воздействий, не создавая при этом недопустимых помех для других технических средств [5].

Проблема электромагнитной совместимости технических средств в электроэнергетических системах возникает у приёмников электрической энергии и в системах распределения этой энергии, если нарушается их нормальное функционирование [6].

Реакция технического средства (ТС) на воздействие электромагнитных помех зависит от его помеховосприимчивости (иначе – электромагнитной восприимчивости) и помехоустойчивости. По определению, помеховосприимчивость – неспособность ТС работать без ухудшения качества функционирования при наличии электромагнитных помех; помехоустойчивость – способность ТС сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него электромагнитных помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от электромагнитных помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС [2, 7].

В электроэнергетических системах и в системах распределения электрической энергии при нарушении нормального функционирования приёмников этой энергии появляется проблема ЭМС технических средств. Обнаруживается наличие электромагнитных влияний. При этом снижается качество функционирования технических средств – совокупность показателей технического средства, характеризующих его способность удовлетворять требованиям эксплуатации [2].

Одним из основных факторов повышения энергетической эффективности промышленных предприятий является повышение качества электроэнергии. Удовлетворение норм показателей КЭ является необходимым условием безопасного применения электрооборудования. Несоответствие норм показателей КЭ может привести к порче дорогостоящего оборудования, нарушениям производственных циклов, выпуску некачественной продукции. Своевременное обнаружение отклонений показателей КЭ от нормы позволяет предотвратить данные негативные последствия.

Руководящие документы [8, 9] устанавливают методику по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, проведения работ, процедуры выполнения измерений, обработки и представления результатов при различных видах контроля и испытаний электрической энергии на соответствие требованиям межгосударственного стандарта [10]. Он предназначен для персонала энергоснабжающих и энергопотребляющих организаций, аккредитованных испытательных лабораторий, органов государственного энергетического надзора за соблюдением требований [11].

При всех видах контроля и измерений показателей КЭ, за исключением технологического контроля, должны использоваться средства измерений, реализующие алгоритмы обработки измерительной информации в соответствии с требованием ГОСТ 32144-2013 и имеющие метрологические характеристики [10-11].

Результаты экспериментальных исследований наиболее достоверно представляют информацию об электромагнитной обстановке в электрической сети. Для измерения показателей КЭ применялся прибор «Ресурс-ПКЭ» модификации «Ресурс-ПКЭ-1.7-ои-А», предназначенный для автоматических измерений показателей КЭ в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30-2013 для оценки соответствия значений показателей КЭ установленным нормам согласно ГОСТ 32144-2013 [10].

Прибор «Ресурс-ПКЭ» позволяет одновременно измерять параметры напряжения одного трёхфазного фидера и работать автономно и в составе автоматизированных информационно-измерительных систем. Прибор обеспечивает: ведение реального времени и календаря; син-

хронизацию времени с национальной шкалой координированного времени Российской Федерации UTC (SU) с помощью GPS-приёмника, входящего в комплект поставки; автоматическую и программную коррекцию времени внутреннего таймера один раз в сутки на время не более  $\pm 20$  с; передачу данных по интерфейсам RS-223 и RS-485 во внешнее устройство (компьютер, модем) [4].

На приборы «Ресурс-ПКЭ» выдано свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.34.004.A № 45577, утверждено от 24 февраля 2012 г. и продлено от 17 февраля 2017 г., соответственно, приказами № 111 и № 312 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Прибор имеет свидетельство о поверке № 19-0320.

Исследование проводилось на полигоне исследования промышленного предприятия ЗАО «СибГазСтройДеталь». Электрическими потребителями являются установки индукционного нагрева (станы горячего гнутья), станок горизонтально-расточной с ЧПУ, станок горизонтально-расточной, мостовой кран, токарные станки с ЧПУ, кран-балка, наждак, фугонок, пиломарама, вытяжка, освещение, бытовые посещения.

Схема подключения прибора – анализатора качества электроэнергии в схему электропитания приведена на рисунке 1.

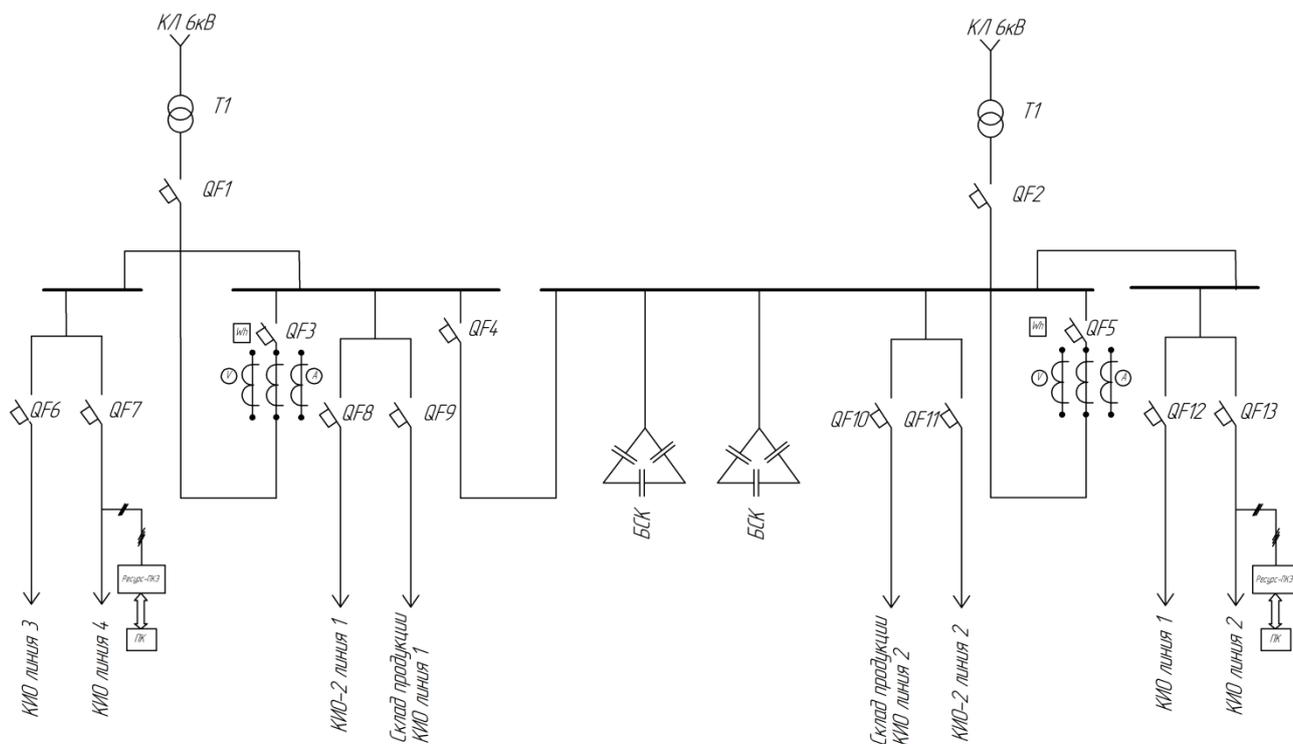


Рисунок 1 – Схема подключение прибора – анализатора качества электроэнергии

После того, как получен массив данных в ходе экспериментальных исследований с помощью прибора «Ресурс-ПКЭ», его необходимо обработать. Проверка качества электроэнергии полигона исследования на соответствие требованиям ГОСТ 32144-2013 [10] проводилась по следующим показателям качества электроэнергии: медленные изменения напряжений; несимметрия напряжений по обратной последовательности, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения. Для обработки результатов измерений по данным ПКЭ использовались программные продукты [12-15], созданные в научной школе Сибирского государственного университета водного транспорта. Данные программы разработаны в среде программного продукта LabVIEW [16].

Используемые программные продукты [12-15] позволяют вычислять такие параметры распределения, как математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение.

Также программа вычисляет вероятности выхода показателя КЭ за нормируемые значения и определяет вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП. Для визуализации полученных в ходе экспериментальных исследований данных программа содержит осциллограмму напряжения и гистограмму распределения.

### Результаты и обсуждение

Сводные данные результатов экспериментальных исследований по ПКЭ приведены в таблицах. Жирным шрифтом выделены значения показателей КЭ, выходящие за нормируемые пределы.

Таблица 1

Сводные данные результатов экспериментальных исследований  
по медленному изменению напряжений при работе установок индукционного нагрева

| № п/п | Параметры   | Значения на фазе А | Значения на фазе В | Значения на фазе С |
|-------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1     | Максимальное значение медленных изменений, $dU_{y_{max}}$ , В             | 416                | 415                | 415                |
| 2     | Минимальное значение медленных изменений, $dU_{y_{min}}$ , В              | 399                | 398                | 398                |
| 3     | Математическое ожидание медленных изменений напряжения $M[dU_y]$ , В      | 409,068            | 407,916            | 408,083            |
| 4     | Дисперсия D   | 17,971             | 19,757             | 18,784             |
| 5     | Среднеквадратичное отклонение $\delta$ , В                                | 4,239              | 4,445              | 4,334              |
| 6     | Вероятность выхода установившегося отклонения за границу $U_n - 10\%$ , % | 0,000              | 0,000              | 0,000              |
| 7     | Вероятность выхода установившегося отклонения за границу $U_n + 10\%$ , % | 0,000              | 0,000              | 0,000              |
| 8     | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $dU'_y$ , %          | 0,000              | 0,000              | 0,000              |

Таблица 2

Сводные данные результатов экспериментальных исследований  
коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности  
при работе установок индукционного нагрева

| п/п | Параметры   | Значения |
|-----|---|----------|
| 1   | Максимальное значение коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности, $K2u_{max}$ , % | 0,37     |
| 2   | Минимальное значение коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности, $K2u_{min}$ , %  | 0,05     |
| 3   | Математическое ожидание коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности $M[K2u]$ , %  | 0,178    |
| 4   | Среднеквадратичное отклонение $\delta[K2u]$   | 0,081    |
| 5   | Вероятность выхода за нормально допустимое значение $K2u_n$ , %   | 0,000    |
| 6   | Вероятность выхода за нормально допустимое значение $K2u_p$ , %   | 0,000    |
| 7   | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K2u$ , %  | 0,000    |
| 8   | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K2u$ по нормально допустимому значению, %           | 0,000    |
| 9   | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K2u$ по предельно допустимому значению, %           | 0,000    |

Сводные данные результатов экспериментальных исследований по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения при работе установок индукционного нагрева

| № п/п | Параметры  | Значения на фазе А | Значения на фазе В | Значения на фазе С |
|-------|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1     | Максимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, $K_u, \max, \%$ | 3,14               | 3,19               | 2,94               |
| 2     | Минимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, $K_u, \min, \%$  | 1,88               | 1,90               | 1,68               |
| 3     | Математическое ожидание суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $M[K_u], \%$   | 2,379              | 2,424              | 2,285              |
| 4     | Среднеквадратичное отклонение $\delta[K_u]$  | 0,261              | 0,262              | 0,243              |
| 5     | Вероятность выхода за нормально допустимое значение коэффициента $K_{un}$                            | 0,000              | 0,000              | 0,000              |
| 6     | Вероятность выхода за нормально допустимое значение коэффициента $K_{up}$                            | 0,000              | 0,000              | 0,000              |
| 7     | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K_u, \%$                                       | 0,000              | 0,000              | 0,000              |
| 8     | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K_u$ по нормально допустимому значению, $\%$   | 0,000              | 0,000              | 0,000              |
| 9     | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K_u$ по предельно допустимому значению, $\%$   | 0,000              | 0,000              | 0,000              |

Таблица 4

Вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту n-ой гармонической составляющей напряжения при работе установок индукционного нагрева

| № гармоники | Фаза А       |              |                      | Фаза В       |              |                      | Фаза С       |              |                      |
|-------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|
|             | $K_{U(n),H}$ | $K_{U(n),П}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $K_{U(n),H}$ | $K_{U(n),П}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $K_{U(n),H}$ | $K_{U(n),П}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ |
| 2           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 3           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 4           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 5           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 6           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 7           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 8           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 9           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 10          | 0,117        | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 11          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 12          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,098        | 0,00         | 0,00                 |
| 13          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 14          | <b>1,11</b>  | <b>1,887</b> | <b>1,887</b>         | <b>3,102</b> | <b>3,206</b> | <b>3,206</b>         | <b>1,993</b> | <b>1,826</b> | <b>1,826</b>         |
| 15          | <b>13,56</b> | <b>3,733</b> | <b>12,29</b>         | <b>7,662</b> | <b>1,572</b> | <b>4,234</b>         | <b>18,57</b> | <b>4,028</b> | <b>17,59</b>         |
| 16          | <b>2,468</b> | <b>2,79</b>  | <b>2,79</b>          | <b>1,065</b> | <b>0,852</b> | <b>0,852</b>         | <b>0,524</b> | <b>2,306</b> | <b>2,306</b>         |
| 17          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |

Анализ результатов исследования качества электроэнергии  
в электрических сетях ЗАО «Сибгазстройдеталь»

|    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 18 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,688        | 0,00         | 0,00         |
| 19 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 20 | <b>1,659</b> | <b>0,111</b> | <b>0,111</b> | <b>1,963</b> | <b>1,636</b> | <b>1,636</b> | <b>2,608</b> | <b>0,453</b> | <b>0,453</b> |
| 21 | <b>3,413</b> | 0,00         | 0,00         | <b>8,448</b> | <b>0,786</b> | <b>4,234</b> | <b>8,35</b>  | <b>0,098</b> | <b>3,448</b> |
| 22 | <b>1,566</b> | <b>0,522</b> | <b>0,522</b> | <b>0,106</b> | 0,00         | 0,00         | <b>2,094</b> | <b>0,209</b> | <b>0,209</b> |
| 23 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 24 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 25 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 26 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>1,044</b> | <b>0,261</b> | <b>0,261</b> | <b>0,715</b> | <b>0,119</b> | <b>0,119</b> |
| 27 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>1,081</b> | 0,00         | 0,00         | <b>2,358</b> | 0,00         | 0,00         |
| 28 | <b>0,770</b> | <b>0,642</b> | <b>0,642</b> | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>0,657</b> | <b>0,919</b> | <b>0,919</b> |
| 29 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 30 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 31 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 32 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,163        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 33 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,786        | 0,00         | 0,00         |
| 34 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,577        | 0,00         | 0,00         |
| 35 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 36 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 37 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 38 | 0,185        | 0,00         | 0,00         | 0,348        | 0,00         | 0,00         | 0,523        | 0,00         | 0,00         |
| 39 | 0,098        | 0,00         | 0,00         | 0,098        | 0,00         | 0,00         | 0,491        | 0,00         | 0,00         |
| 40 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |

Таблица 5

Вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП  
по коэффициенту n-ой гармонической составляющей напряжения,  
когда не работают установки индукционного нагрева

| № гармоник | Фаза А       |              |                      | Фаза В       |              |                      | Фаза С       |              |                      |
|------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|
|            | $K_{U(n),н}$ | $K_{U(n),п}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $K_{U(n),н}$ | $K_{U(n),п}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $K_{U(n),н}$ | $K_{U(n),п}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ |
| 2          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 3          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 4          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 5          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 6          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 7          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 8          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 9          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 10         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 11         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 12         | 0,198        | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 13         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 14         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 15         | <b>2,48</b>  | <b>0,297</b> | <b>0,297</b>         | 0,793        | 0,00         | 0,00                 | <b>3,175</b> | <b>5,853</b> | <b>5,853</b>         |
| 16         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 17         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 18         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 2,087        | 0,00         | 0,00                 |
| 19         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 20         | 1,004        | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 2,425        | 0,00         | 0,00                 |
| 21         | <b>3,671</b> | <b>4,464</b> | <b>4,464</b>         | <b>3,075</b> | <b>4,067</b> | <b>4,067</b>         | <b>2,083</b> | <b>5,952</b> | <b>5,952</b>         |
| 22         | 2,267        | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 2,854        | 0,00         | 0,00                 |
| 23         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |

|    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 24 | 1,687        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>2,877</b> | <b>0,794</b> | <b>0,794</b> |
| 25 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 26 | 3,043        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>4,478</b> | <b>1,493</b> | <b>1,493</b> |
| 27 | <b>2,579</b> | <b>5,357</b> | <b>5,357</b> | <b>2,579</b> | <b>2,679</b> | <b>2,679</b> | <b>0,992</b> | <b>7,738</b> | <b>7,738</b> |
| 28 | <b>4,815</b> | <b>0,371</b> | <b>0,371</b> | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>5,214</b> | <b>2,793</b> | <b>3,007</b> |
| 29 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 30 | <b>2,579</b> | <b>0,595</b> | <b>0,595</b> | <b>0,694</b> | <b>0,198</b> | <b>0,198</b> | <b>3,472</b> | <b>2,579</b> | <b>2,579</b> |
| 31 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 32 | <b>4,99</b>  | <b>1,871</b> | <b>1,871</b> | 0,407        | 0,00         | 0,00         | <b>9,636</b> | <b>6,424</b> | <b>11,06</b> |
| 33 | <b>2,183</b> | <b>5,357</b> | <b>5,357</b> | <b>2,877</b> | <b>4,762</b> | <b>4,762</b> | <b>0,595</b> | <b>8,135</b> | <b>8,135</b> |
| 34 | <b>5,835</b> | <b>1,006</b> | <b>1,841</b> | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>7,063</b> | <b>5,204</b> | <b>7,268</b> |
| 35 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 36 | <b>3,002</b> | <b>0,621</b> | <b>0,621</b> | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>4,687</b> | <b>3,125</b> | <b>3,125</b> |
| 37 | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 38 | <b>7,264</b> | <b>2,179</b> | <b>4,443</b> | 0,265        | 0,00         | 0,00         | <b>9,535</b> | <b>9,535</b> | <b>14,07</b> |
| 39 | <b>2,381</b> | <b>5,853</b> | <b>5,853</b> | <b>1,687</b> | <b>4,861</b> | <b>4,861</b> | <b>0,595</b> | <b>8,135</b> | <b>8,135</b> |
| 40 | <b>7,945</b> | <b>3,288</b> | <b>6,233</b> | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>9,071</b> | <b>7,965</b> | <b>12,04</b> |

Таблица 6

Вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту n-ой гармонической составляющей напряжения смежной линии

| № гармоники | Фаза А       |              |                      | Фаза В       |              |                      | Фаза С       |              |                      |
|-------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|
|             | $K_{U(n),H}$ | $K_{U(n),П}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $K_{U(n),H}$ | $K_{U(n),П}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $K_{U(n),H}$ | $K_{U(n),П}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ |
| 2           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 3           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 4           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 5           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 6           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 7           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 8           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 9           | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 10          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 11          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 12          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 13          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 14          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 15          | 0,297        | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,396        | 0,00         | 0,00                 |
| 16          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 17          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 18          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 19          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 20          | 0,125        | 0,00         | 0,00                 | 0,476        | 0,00         | 0,00                 | 0,135        | 0,00         | 0,00                 |
| 21          | 0,198        | 0,00         | 0,00                 | <b>0,893</b> | <b>0,298</b> | <b>0,298</b>         | 1,587        | 0,00         | 0,00                 |
| 22          | 0,505        | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,388        | 0,00         | 0,00                 |
| 23          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 24          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 25          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 26          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | <b>0,258</b> | <b>0,258</b> | <b>0,258</b>         | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 27          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,099        | 0,00         | 0,00                 | 1,587        | 0,00         | 0,00                 |
| 28          | 0,565        | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,166        | 0,00         | 0,00                 |
| 29          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |
| 30          | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 | 0,00         | 0,00         | 0,00                 |

|    |       |      |      |       |      |      |       |      |      |
|----|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 31 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 32 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,310 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 33 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,893 | 0,00 | 0,00 |
| 34 | 0,181 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 35 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 36 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 37 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 38 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 39 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 40 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 |

### Заключение и выводы

Из полученных данных можно заметить следующее:

- вероятность выхода за границу как отрицательного, так и положительного значения изменения напряжения на фазах А, В и С в исследуемой электрической сети равна 0. Также равна 0 и вероятность кондуктивной низкочастотной ЭМП по медленному изменению напряжения на всех фазах. Следовательно, наблюдается соответствие ГОСТ 32144-2013 по медленным изменениям напряжения и отсутствие кондуктивной низкочастотной ЭМП по данному показателю КЭ;

- вероятность кондуктивной низкочастотной ЭМП по нормально и предельно допустимым значениям  $K2U$  равна 0. Также вероятность выхода  $K2U$  за нормально и предельно допустимые значения на всех фазах равна 0. Следовательно, на данном участке наблюдается соответствие качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности ГОСТ 32144-2013 и отсутствие кондуктивной низкочастотной ЭМП по данному показателю КЭ;

- вероятность кондуктивной низкочастотной ЭМП по нормально и предельно допустимым значениям  $KU$  во всех фазах равна 0. Также вероятность выхода  $KU$  за нормально допустимое и предельно допустимое значения на всех фазах равна 0. Следовательно, на данном участке наблюдается соответствие качества электрической энергии по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения ГОСТ 32144-2013 и отсутствие кондуктивной низкочастотной ЭМП по данному показателю КЭ.

Установлено, что качество функционирования исследуемой сети по коэффициенту  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения характеризуется кондуктивной низкочастотной ЭМП, которая представляется с вероятностью 0,95 математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением. Вероятность появления этой помехи превышает допустимую вероятность коэффициентом нормально допустимого и предельно допустимого значения в несколько раз [2, 10].

### Литература

1. Волков, Н. Г. Качество электроэнергии в системах электроснабжения: учебное пособие / Н. Г. Волков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 152 с. – Текст : непосредственный.
2. Данилов, Г. А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников; под ред. В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. – Новосибирск : Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. – 559 с. – Текст : непосредственный.
3. Лимаров, Д. С. Электромагнитная совместимость в цеховых системах электроснабжения при наличии электроприемников с нелинейными вольт-амперными характеристиками.

ми : дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.02 / Лимаров Денис Сергеевич. – Белгород, 2015. – 189 с. – Текст : непосредственный.

4. Антонов, А. И. Исследование качества электроэнергии в электрических сетях с полупроводниковыми преобразователями / А. И. Антонов, Д. Ю. Руди, К. В. Хацевский. – Текст : непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – № 1 (68). – С. 123–130.

5. Коржов, Д. Н. Обеспечение электромагнитной совместимости в системах электроснабжения промышленных предприятий с электроустановками индукционного нагрева : дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.02 / Коржов Дмитрий Николаевич. – Белгород, 2015. – 169 с. – Текст : непосредственный.

6. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения / К. В. Хацевский, Ю. М. Денчик, В. И. Клеутин [и др.]. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (110). – С. 212–214.

7. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах : теория, расчет, подавление : дисс. ... докт. техн. наук : 05.14.02 / Иванова Елена Васильевна. – Новосибирск, 2007. – 345 с. – Текст : непосредственный.

8. РД 153–34.0–15.501–01. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Часть 1. Контроль качества электрической энергии. – М. : Минэнерго РФ. – 2000. – 67 с. – Текст : непосредственный.

9. РД 153–34.0–15.502–02. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Часть 2. Анализ электрической энергии. – М. : Минэнерго РФ. – 2002. – 49 с. – Текст : непосредственный.

10. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 15 с. – Текст : непосредственный

11. Скакунов, Д. А. Методы и средства обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях 0,4–6 кВ нефтеперерабатывающих предприятий : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.02 / Скакунов Дмитрий Александрович. – Красноярск, 2010. – 218 с. – Текст : непосредственный.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2021613934 Программа для определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту  $n$ -й гармонической составляющей напряжения / Д. Ю. Руди, А. И. Антонов, Ю. М. Денчик [и др.]. Заявка № 2021610633; Оpubл. 16.03.2021. Бюл. 8(137). – 1 с.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2016615972. Программа для исследования медленных изменений напряжения при изменении нагрузки электрической сети / А. И. Антонов, Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов [и др.]. Заявка № 2016613475; Оpubл. 20.07.16. Бюл. 7(117). – 1 с.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2016616351 Программа для оценки влияния суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения на качество электрической энергии / А. И. Антонов, Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов [и др.]. Заявка № 2016613475; Оpubл. 20.07.16. Бюл. 7(117). – 1 с.

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2016661752. Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности / А. И. Антонов, Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов [и др.]. Заявка № 2016619225; Оpubл. 20.11.16. Бюл 11(121). – 1 с.

16. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям / А.Я. Суранов. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 536 с. – Текст : непосредственный.

**АНАЛИЗ УЧЕТА НЕОДНОРОДНОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ ЖИЛ  
САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ**

**Бубенчиков Антон Анатольевич**

*кандидат технических наук, доцент,  
Омский государственный технический университет  
Омск, Россия  
E-mail: [privetomsk@mail.ru](mailto:privetomsk@mail.ru)*

**Бубенчикова Татьяна Валерьевна**

*ассистент,  
Омский государственный технический университет  
Омск, Россия  
E-mail: [privetomsk@mail.ru](mailto:privetomsk@mail.ru)*

*Предмет исследования: в настоящей работе проводится анализ учета неоднородности токоведущих жил самонесущих изолированных проводов.*

*Цель исследования: рассмотрение необходимости учета конструктивного исполнения самонесущего изолированного провода, а именно – способа задания токоведущих жил в виде цельного сердечника или семейства проволок.*

*Методы и объекты исследования: моделирование тепловых процессов, происходящих в самонесущем изолированном проводе при задании в виде цельного сердечника и семейства проволок, осуществлено с помощью программного пакета ELCUT. При задании в виде семейства проволок также рассмотрены режимы несимметричной нагрузки провода.*

*Основные результаты исследования: анализ распределения температуры по сечению, изоляции и учет нагрева крайних проволок показал, что влияние соседних фаз проявляется в незначительной мере. Обнаружено, что учет реального конструктивного состояния проводника слабо влияет на распределение температуры по сечению провода на частоте 50 Гц.*

*Ключевые слова: потери, самонесущий изолированный провод, моделирование, неоднородность.*

**ANALYSIS OF THE INSULATED SELF-SUPPORTING CONDUCTOR OBSTACLE**

**Anton A. Bubenchikov**

*Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor,  
Omsk State Technical University,  
Omsk, Russia  
E-mail: [privetomsk@mail.ru](mailto:privetomsk@mail.ru)*

**Tatyana V. Bubenchikova,**

*Assistant,  
Omsk State Technical University,  
Omsk, Russia  
E-mail: [privetomsk@mail.ru](mailto:privetomsk@mail.ru)*

*Subject of research: In this paper, the analysis of the heterogeneity of current-conducting wires is carried out.*

*Purpose of research: consideration of the need to take into account the design of a self-supporting insulated wire, namely the method of setting current-conducting cores in the form of a single core or a family of wires.*

*Methods and objects of research: simulation of thermal processes occurring in a self-supporting insulated wire in the form of a single core and a wire family is carried out with the help of the software package ELCUT. When set in the form of a wire family, the modes of asymmetric load of the wire are also considered.*

*Main results of research: analysis of cross-section temperature distribution, insulation and consideration of the heating of the outer wires showed that the influence of the adjacent phases is negligible. It is found that taking into account the real constructive state of the conductor has little influence on the temperature distribution along the cross section of the wire at a frequency of 50 Hz.*

*Keywords: losses, self-supporting insulated wire, simulation, heterogeneity.*

---

## Введение

Современная электроэнергетика растёт огромными темпами. Происходит постоянный рост электропотребления. При значительном росте электропотребления необходимо учитывать и увеличивающиеся потери. Для более точного определения потерь требуется учитывать температуру проводников и различные климатические факторы, в том числе и при процедуре расчёта установившихся режимов [1–5]. Температура проводника зависит от величины протекающего тока; температуры окружающей среды; силы и угла атаки ветра; интенсивности солнечного излучения, влажности и т. д.

В настоящее время повсеместное распространение получают самонесущие изолированные провода, которые состоят из токоведущих жил и нулевой жилы, покрытых изоляцией из сшитого полиэтилена. Расчет потерь в таких проводах осложняется тепловыми процессами в изоляции и теплообменом между фазами. В работах [6, 7] были рассмотрены метод расчета потерь и процесс задания провода, в котором токоведущая жила задавалась как цельный однородный проводник. Представляет интерес влияние геометрии токоведущей и нулевой жилы на процессы тепловыделения и потери в проводе.

Для учета влияния геометрии были созданы модели токоведущей и нулевой жилы в соответствии с ГОСТ [8], где они представлены в виде семейства проволок различного диаметра и количества (рисунок 1).

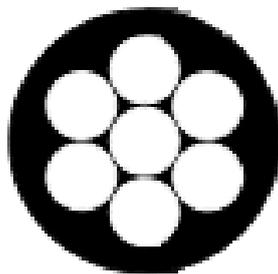


Рисунок 1 – Исполнение токоведущей жилы в соответствии с ГОСТ

## Результаты и обсуждение

Для моделирования процесса теплообмена между окружающей средой и проводником был выбран провод СИП 2 3x120-1x95. Каждая токоведущая жила провода состоит из 19 ( $d=3$  мм), а нулевая жила из 7 ( $d=4,5$  мм) проволок. Токоведущие и нулевая жилы покрыты изоляцией. При моделировании СИП в программе ELCUT [9] были введены следующие допущения:

1. Воздушное пространство вокруг проводов не задавалось. Наличие ветра учитывалось коэффициентами теплоотдачи конвекцией.
  2. Угол соприкосновения проволок составляет  $43^\circ$ , что наиболее точно соответствует реальной геометрии провода.
  3. Угол соприкосновения фазных проводов составляет  $9^\circ$  [10].
  4. Скорость ветра 1 м/с.
  5. Атмосферное давление 101 кПа.
  6. Коэффициент, характеризующий угол атаки ветра – 0,5.
  7. Коэффициент черноты поверхности провода – 0,8.
- Для моделирования тепловых процессов были определены следующие параметры (таблица 1).

Таблица 1

Параметры материалов провода СИП-2 3×120 1×95

| Наименование        | Материал исполнения                      | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м °С) |
|---------------------|--|---|
| Токопроводящая жила | алюминий                                 | 244                                     |
| Несущий провод      | сплав алюминиевый                        | 143                                     |
| Изоляция            | светостабилизированный сшитый полиэтилен | 0,38                                    |
| Воздух              | -  | 0,0253                                  |

На первом этапе были рассмотрены токоведущая и нулевая жилы без учета взаимного влияния. Параметры заданного режима представлены в таблице 2. На основе метода конечных элементов в программном комплексе ELCUT были получены следующие картины распределения температуры и градиент температуры провода (рисунки 1 и 2).

Объемные плотности тепловыделения для токоведущей жилы и нулевого провода определялись по формуле (1). Расчет проводился без учета зависимости электрического сопротивления от температуры.

$$Q_v = \frac{I^2 \cdot r_{20,ж}}{S_{ж}}, \quad (1)$$

где  $I$  – ток, протекающий по проводнику;

$r_{20,ж}$  – сопротивление проводника при температуре  $20^\circ\text{C}$ ;

$S_{ж}$  – площадь поперечного сечения токоведущей жилы или нулевого провода.

Конвективный теплообмен может быть двух видов – естественный и искусственный (вынужденный). Коэффициент конвективного теплообмена на границе воздушного пространства и изоляции провода рассчитывается по формуле (2)

$$\alpha_k = 0.044 \cdot \frac{k_g \cdot (P_g)^{0.6}}{(T_{окр} \cdot d)^{0.4}} \quad (2)$$

где  $k_g$  – коэффициент, учитывающий угол атаки ветра

$P_g$  – атмосферное давление;

$T_{окр}$  – абсолютная температура окружающей среды;

$d$  – внешний диаметр провода.

Первый расчет произведем для случая вынужденной конвекции. Для фазного провода при скорости ветра 1 м/с:

$$\alpha_k = 0.044 \cdot \frac{0.75 \cdot (10^5)^{0.6}}{(293 \cdot 0.015761)^{0.4}} = 19.088 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}^2$$

Для фазного нулевого провода при скорости ветра 1 м/с:

$$\alpha_k = 0.044 \cdot \frac{0.75 \cdot (10^5)^{0.6}}{(293 \cdot 0.014398)^{0.4}} = 19.791 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}^2$$

Таблица 2

Параметры фазного проводника

| Ток, А | Объемная плотность тепловыделения, Вт/м <sup>3</sup> ·10 <sup>4</sup> | Количество проволок, шт |
|--------|---|-------------------------|
| 300    | 34,389  | 19                      |

Результаты моделирования фазного проводника приведены на рисунках 2 и 3.

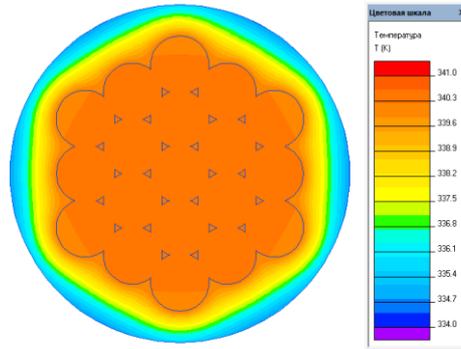


Рисунок 2 – Распределение температуры по сечению провода

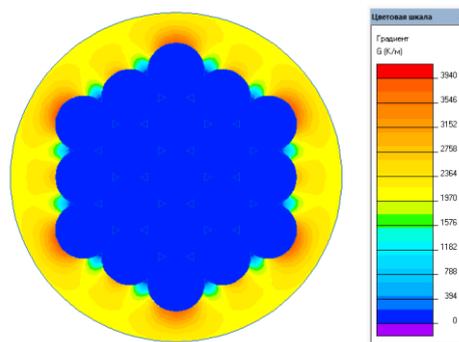


Рисунок 3 – Градиент температуры по сечению провода

Аналогичные операции были проведены и с нулевым проводом при следующих параметрах (таблица 3).

Таблица 3

Параметры нулевого провода

| Ток, А | Объемная плотность тепловыделения, Вт/м <sup>3</sup> ·10 <sup>4</sup> | Количество проволок, шт |
|--------|---|-------------------------|
| 300    | 34,389  | 7                       |

Результаты моделирования нулевого провода приведены на рисунках 4 и 5.

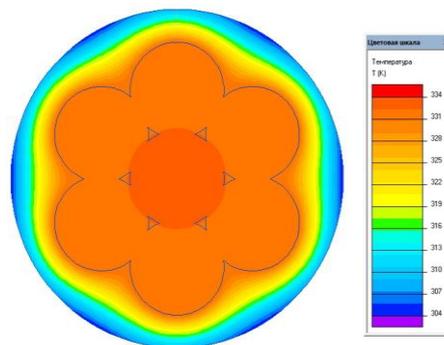


Рисунок 4 – Распределение температуры по сечению нулевой жилы

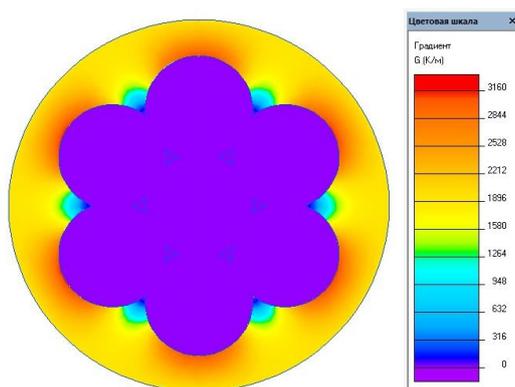


Рисунок 5 – Градиент температуры по сечению нулевой жилы

Распределение температуры по сечению провода и градиент температуры в проводе совпадает с аналитическими расчетами, произведёнными в работе [6]. Откуда можно сделать вывод, что при расчете температуры провода жилы можно считать цельнометаллическими и не учитывать число проволок.

На втором этапе важно было определить влияние токоведущих жил друг на друга и на распределение температуры по проволокам жил провода. Для этого была выбрана четырехпроводная система СИП-2 3×120 1×95 и определены картины распределения температуры и градиента. Неравномерность нагрузки задавалась следующими параметрами (таблица 4).

Таблица 4

Параметры несимметричного режима

| Ток в жилах, А |        |        |                |
|----------------|--------|--------|----------------|
| Фаза А         | Фаза В | Фаза С | нулевой провод |
| 100            | 200    | 400    | 300            |

Объемная плотность тепловыделения фаз определялась по формуле (1). Результаты расчета представлены в (таблица 5).

Таблица 5

Объемные плотности тепловыделения

| Объемная плотность тепловыделения, Вт/м <sup>3</sup> ·10 <sup>4</sup> |        |        |                |
|---|--------|--------|----------------|
| Фаза А  | Фаза В | Фаза С | нулевой провод |
| 2,1083  | 8,4333 | 33,733 | 34,389         |

Результаты расчета конвекции для фазного и нулевого провода сведены в таблице 6.

Таблица 6

Коэффициент теплоотдачи конвекцией  $\alpha_k$ , Вт/К· м<sup>2</sup>

|                  | $\alpha_k$ , Вт/К· м <sup>2</sup> |
|------------------|-----------------------------------|
| Токоведущие жилы | 19,088                            |
| Нулевой провод   | 19,791                            |

В результате моделирования была получена картина поля. Для анализа взаимного влияния температурных полей при заданной нагрузке были выбраны плоскости А-О, В-О и С-О (рисунок 6).

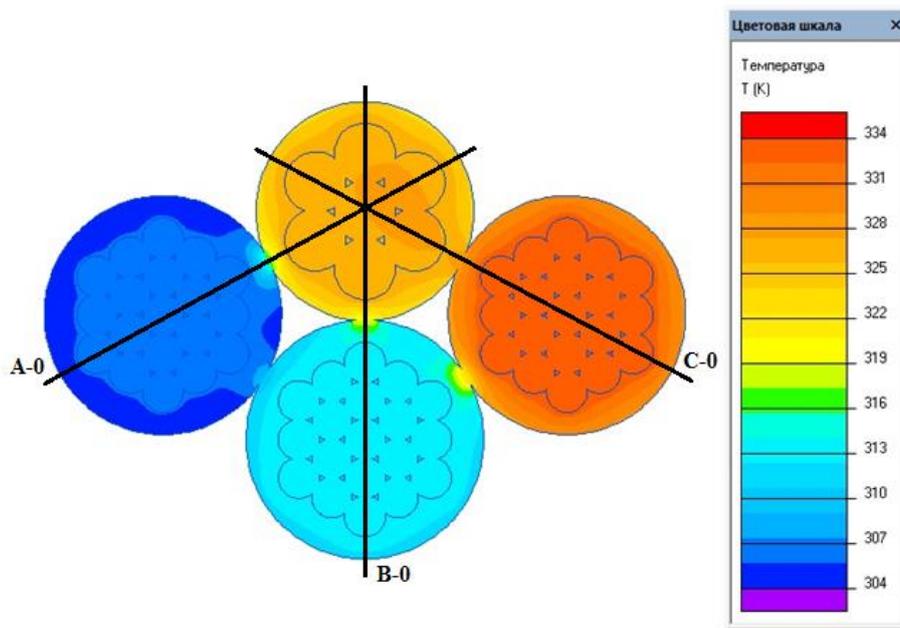


Рисунок 6 – Картина поля и плоскости распределения температуры

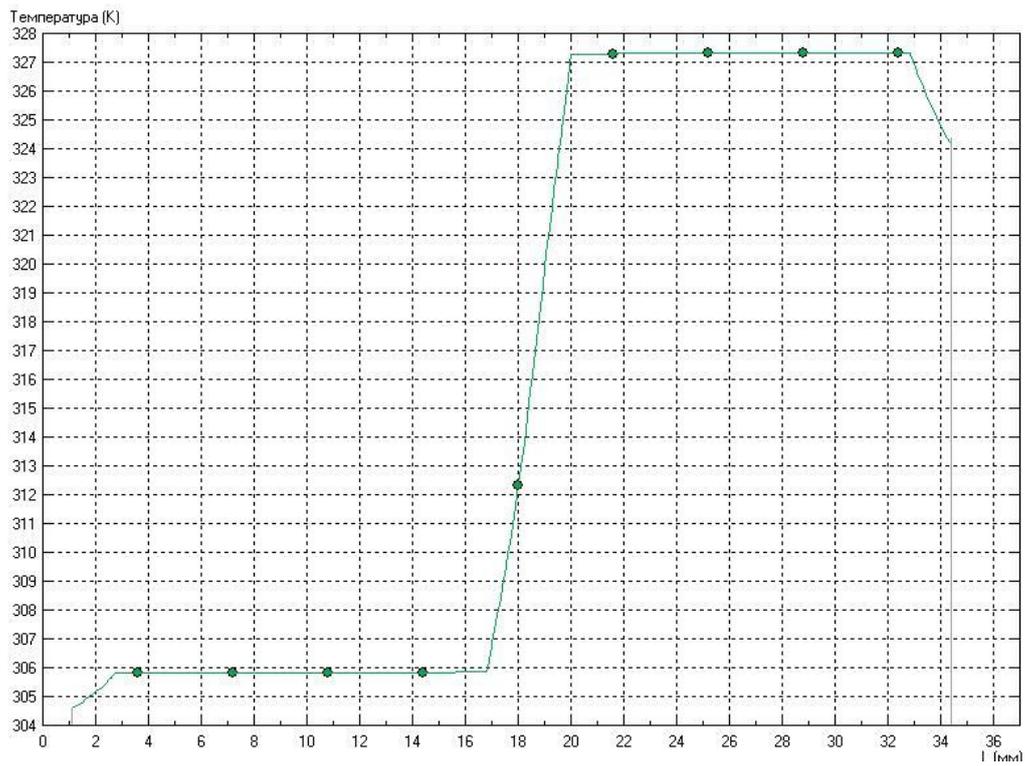


Рисунок 7 – Распределение температуры по сечению А-0

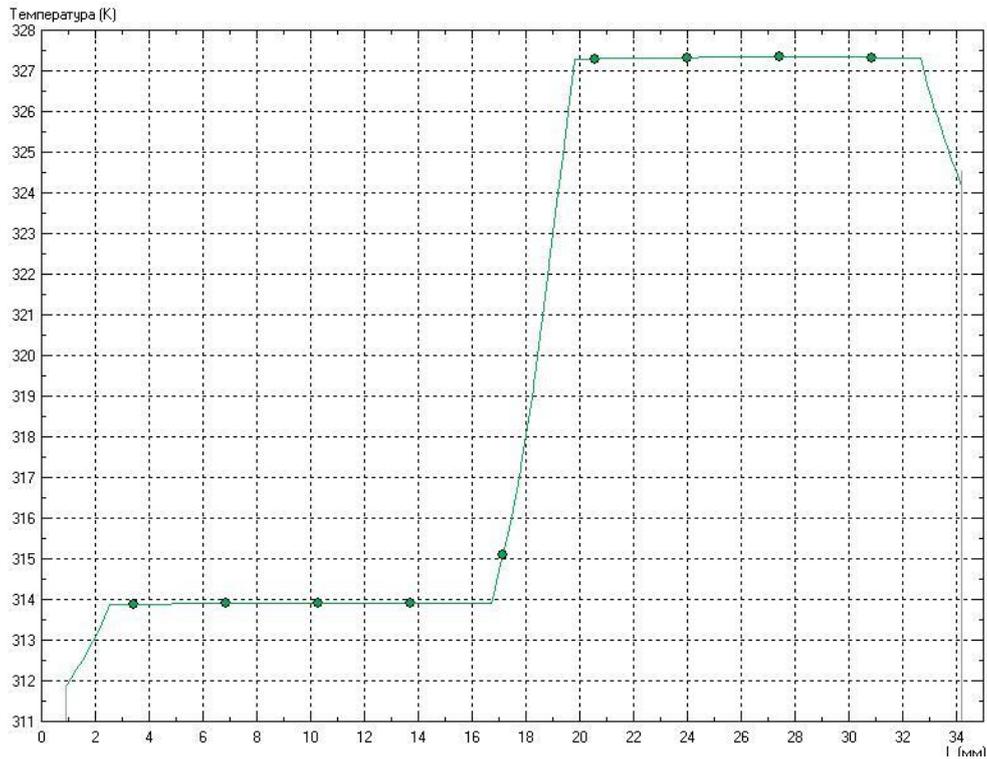


Рисунок 8 – Распределение температуры по сечению В-0

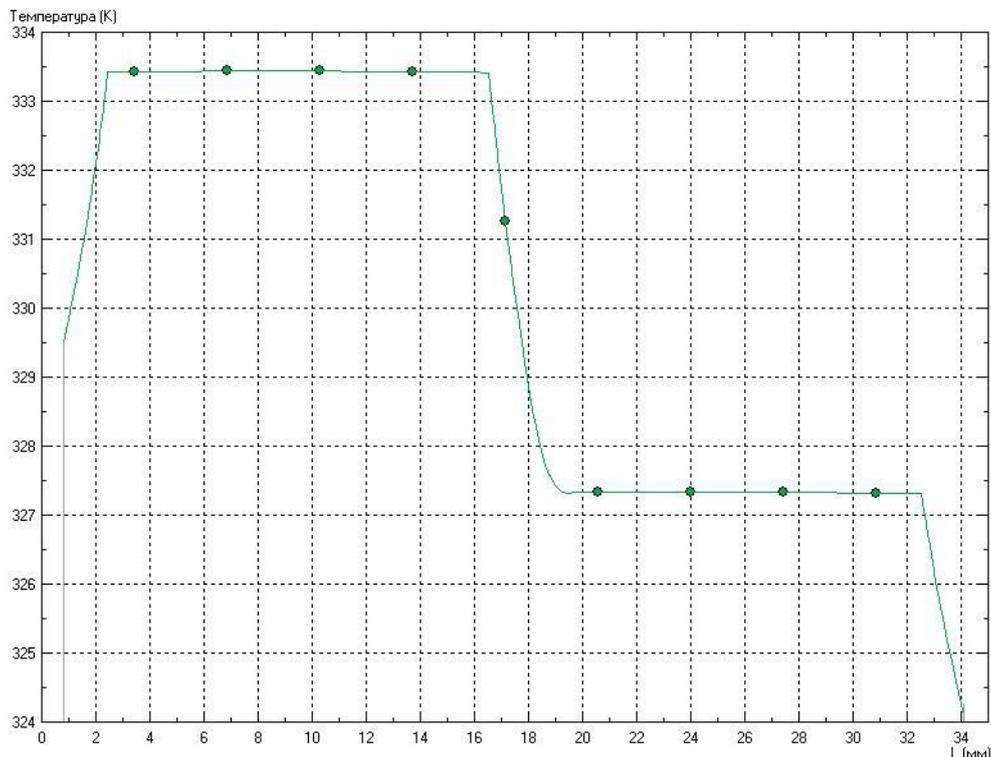


Рисунок 9 – Распределение температуры по сечению С-0

### Заключение и выводы

Анализ распределения температуры по сечению, изоляции и учет нагрева крайних проволок показали, что влияние соседних фаз проявляется в незначительной мере. Нагрев токоведущей жилы и градиент температуры в сечении провода отличается от расчета [6] всего на 7 %, и не вносит в расчеты температуры значительной погрешности.

### Литература

1. 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 // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – № 1(68). – С. 131–138. – DOI 10.18822/byusu202301131-138
2. Петрова, Е. В. Оценка влияния солнечной радиации на нагрузочные потери активной мощности в высокотемпературных и самонесущих изолированных проводах линий электропередачи / Е. В. Петрова. – Текст : непосредственный // Известия Трансиба. – 2019. – № 3(39). – С. 134–145.
3. Воротницкий, В.Э. Оценка погрешностей расчета потерь электроэнергии анализ неучёта метеоусловий / В.Э. Воротницкий, О.В. Туркина // Электрические станции. – 2008. – № 210. – С. 42–49.
4. Герасименко, А. А. Комплексный учет режимно-атмосферных факторов в расчете активного сопротивления и потерь электроэнергии в ЛЭП / А. А. Герасименко, Г. С. Тимофеев, И. В. Шульгин. – Текст : непосредственный // Оптимизация режимов работы электрических систем. – Красноярск, 2008. – С. 232–245.
5. Левченко, И. И. Нагрузочная способность и мониторинг воздушных линий электропередачи в экстремальных погодных условиях / И. И. Левченко, Е. И. Сацук. – Текст : непосредственный // Электричество. – Москва, 2008. – С. 2–8.
6. Гиршин, С. С. Анализ распределения температуры по сечению самонесущих изолированных проводов / С. С. Гиршин, А. А. Бубенчиков, В. Н. Горюнов, А. А. Левченко, Е. В. Петрова. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – Омск, 2009. – № 3 (83). – С. 171–175.
7. Бубенчиков, А. А. Исследование потерь электрической энергии в четырехпроводной системе самонесущих изолированных проводов на основе расчета тепловых полей методом конечных элементов // А. А. Бубенчиков, С. С. Гиршин, А. Г. Янишевская, В. Т. Черемисин. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – 2012. – № 1 (107). – С. 189–191.
8. Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р 52373-2005. Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2005. – 23 с.
9. ELCUT Новый подход к моделированию полей. – URL: <http://elcut.ru> (дата обращения 22.03.2016). – Текст : электронный.
10. Бубенчиков, А. А. Расчет температуры и потерь электрической энергии в самонесущих изолированных проводах воздушных линий электропередачи электроэнергетических систем: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / А. А. Бубенчиков. – Текст : непосредственный // ОмГТУ. – М., 2012. – 20 с.

**ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ  
ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
С ЛИНЕЙНОЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ**

**Сычев Юрий Анатольевич**

*доктор технических наук,  
профессор кафедры электроэнергетики и электромеханики,  
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II  
Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: ya\_sychev@mail.ru*

**Аладьин Максим Евгеньевич**

*аспирант кафедры электроэнергетики и электромеханики,  
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II  
Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: m.aladyin@gmail.com*

**Холодович Ульяна Александровна**

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II  
Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: s200311@stud.spmi.ru*

**Сериков Владимир Александрович**

*кандидат технических наук,  
ассистент кафедры электроэнергетики и электромеханики,  
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II  
Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: serikov.va@bk.ru*

*Предмет исследования: показатели качества электроэнергии, несинусоидальные режимы в системах электроснабжения.*

*Цель исследования: оценка составляющих коэффициента мощности при несинусоидальных режимах для условий промышленных систем электроснабжения с линейной и нелинейной нагрузками.*

*Методы и объекты исследования: имитационное моделирование электрических систем в среде Matlab Simulink, анализ сложных несинусоидальных режимов.*

*Основные результаты исследования: разработана компьютерная имитационная модель промышленной системы электроснабжения с линейной и нелинейной нагрузками, а также с наличием гармонических искажений со стороны питающей сети. Получены зависимости составляющих коэффициента мощности при несинусоидальных режимах от вариации сопротивления энергосистемы и длины питающей линии, соединяющей источник и узел нагрузки.*

*Ключевые слова: коэффициент мощности, несинусоидальный режим, высшие гармоники, нелинейная нагрузка, качество электроэнергии.*

**THE EVALUATION OF TOTAL POWER FACTOR COMPONENTS UNDER NON-SINUSOIDAL CONDITIONS OF INDUSTRIAL POWER SUPPLY SYSTEMS WITH LINEAR AND NONLINEAR LOAD**

**Yuri A. Sychev**

*Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Electrical  
Power Engineering and Electromechanics,  
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II  
Saint-Petersburg, Russia  
E-mail: ya\_sychev@mail.ru*

**Maxim E. Aladyin**

*postgraduate student of the Department of Electrical  
Power Engineering and Electromechanics,  
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II  
Saint-Petersburg, Russia  
E-mail: m.aladyin@gmail.com*

**Ulyana A. Kholodovich**

*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II  
Saint-Petersburg, Russia  
E-mail: s200311@stud.spmi.ru*

**Vladimir A. Serikov**

*Candidate of Technical Sciences,  
Assistant at the Department of Electrical  
Power Engineering and Electromechanics,  
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II  
Saint-Petersburg, Russia  
E-mail: serikov.va@bk.ru*

*Subject of research: power quality indicators, non-sinusoidal modes in power supply systems.*

*Purpose of research: assessment of power factor components under non-sinusoidal modes for the conditions of industrial power supply systems with linear and nonlinear loads.*

*Methods and objects of research: simulation modeling of electrical systems in the Matlab Simulink environment, analysis of complex non-sinusoidal modes.*

*Main results of research: a computer simulation model of an industrial power supply system with linear and nonlinear loads, as well as the presence of harmonic distortions from the supply network, has been developed. The dependences of the power factor components in non-sinusoidal modes on variations in the resistance of the power system and the length of the supply line connecting the source and the load node were obtained.*

*Keywords: factor, power, non-sinusoidal, mode, harmonics, non-linear, load.*

---

**Введение**

Актуальность проблемы обеспечения качества электрической энергии обоснована и раскрыта во многих отечественных и зарубежных публикациях [1, 2]. Ненадлежащий уровень качества электроэнергии связан с возникновением несинусоидальных режимов, обусловленных наличием высших гармоник, как со стороны питающей сети, так и со стороны подключенной нагрузки. Это приводит к росту потерь в элементах энергосистем и электрооборудо-

вании, ложному срабатыванию систем релейной защиты, сокращению срока службы электроустановок. Основными показателями качества электроэнергии согласно ГОСТ 32144-2013 являются суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и коэффициенты  $n$ -ых гармонических составляющих напряжения [3], при этом аналогичные показатели по току не нормируются, в отличие от международной нормативной базы [2, 3].

При применении различных технических средств и решений, направленных на обеспечения качества электроэнергии, включая пассивные, активные и гибридные фильтрокомпенсирующие устройства, оценка эффективности их работы производится, как правило, по степени снижения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения и коэффициентов  $n$ -ых гармонических составляющих напряжения. Однако эффективность активных и гибридных фильтров, являющихся многофункциональными устройствами повышения качества электроэнергии, должна оцениваться также по ряду дополнительных показателей, к числу которых относятся составляющие коэффициента мощности при несинусоидальных режимах. Помимо этого указанные устройства могут быть использованы для компенсации реактивной мощности, которая при несинусоидальных режимах создается как на частоте основной составляющей, так и на частоте высших гармоник. В последнем случае подобные составляющие в отечественной и зарубежной научно-технической литературе принято именовать неактивными составляющими полной мощности [2]. Кроме того, вариация составляющих коэффициента мощности может служить косвенным показателем эффективности работы фильтрокомпенсирующих устройств различной структуры и алгоритмов управления, а также причины и характера возникновения несинусоидального режима.

### **Результаты и обсуждение**

Известно следующее выражение для определения составляющих коэффициента мощности  $\lambda$  при несинусоидальных режимах [4, 5]:

$$\lambda = \lambda_1 k_S (1 + k_h), \quad (1)$$

где:  $\lambda_1$  – коэффициент мощности по первой гармонике ( $\cos\varphi_1$ ),  $k_S = S_1/S$  – коэффициент, отражающий степень завышения полной мощности  $S$  сетевого оборудования из-за потерь, обусловленных возникновением высших гармоник, относительно полной мощности основной составляющей  $S_1$ ;  $k_h$  – коэффициент, отражающий наличие неактивных составляющих полной мощности из-за присутствия высших гармоник тока и напряжения.

При этом вариация коэффициента  $\lambda_1$  отражает степень эффективности компенсации реактивной мощности по основной составляющей [6], коэффициента  $k_S$  – степень снижения потерь в элементах системы электроснабжения по результатам компенсации высших гармоник [7], коэффициента  $k_h$  – степень эффективности компенсации высших гармоник различными фильтрокомпенсирующими устройствами [8].

В рамках проведенного исследования рассматривались следующие пути формирования несинусоидальных режимов:

- подключение линейной и нелинейной нагрузок к питающей сети без искажений напряжения;
- подключение линейной и нелинейной нагрузок к питающей сети с искажениями напряжения;
- подключение нелинейной нагрузки к питающей сети без искажений напряжения;
- подключение линейной нагрузки к питающей сети с искажениями напряжения;
- подключение нелинейной нагрузки к питающей сети с искажениями напряжения.

Разработана компьютерная имитационная модель промышленной системы электроснабжения с нелинейной и линейной нагрузками в среде Simulink системы Matlab. Упрощенная структура указанной модели приведена на рисунке 1, детальная структура в среде Simulink системы Matlab представлена на рисунке 2.

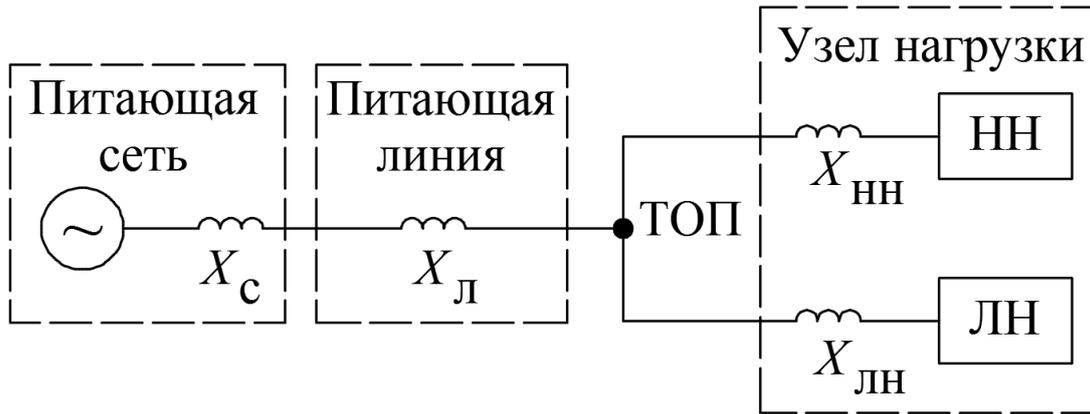


Рисунок 1 – Упрощенная структура имитационной модели промышленной системы электроснабжения с линейной и нелинейной нагрузками (ТОП – точка общего присоединения, НН – нелинейная нагрузка, ЛН – линейная нагрузка)

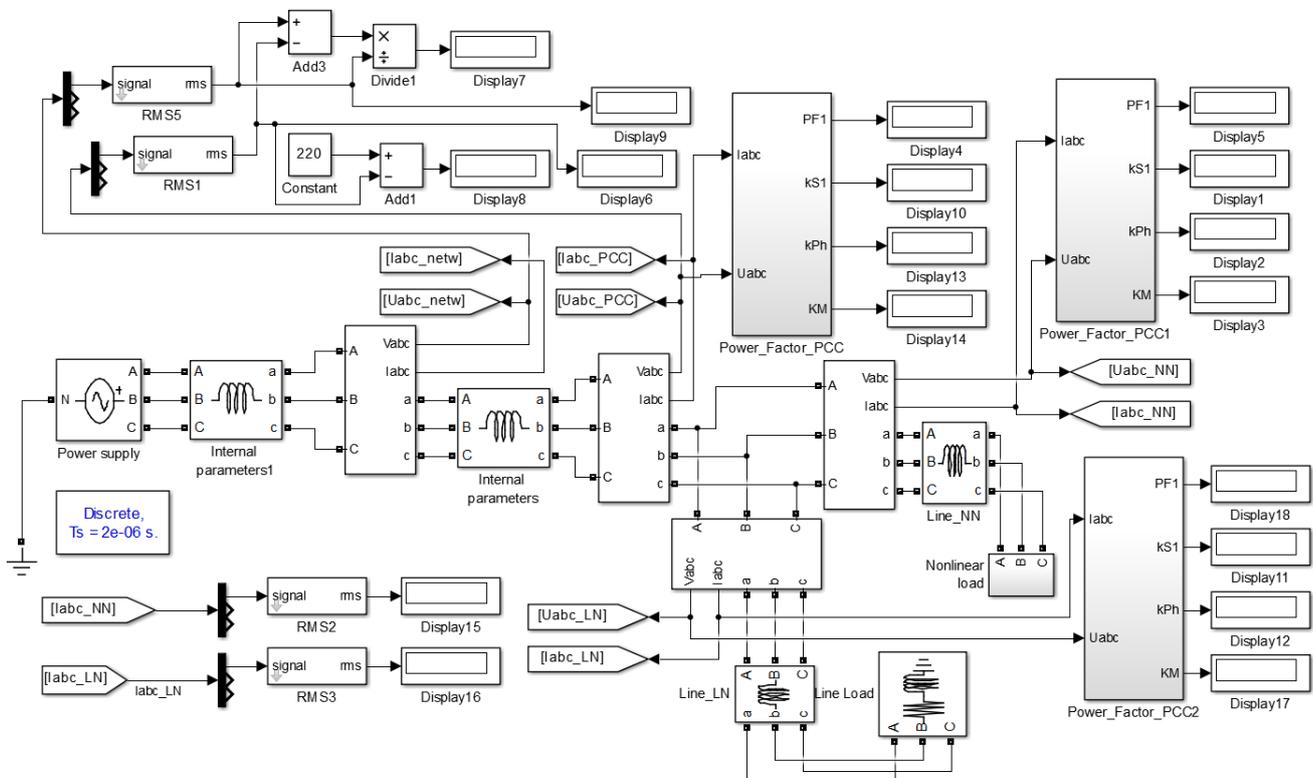


Рисунок 2 – Имитационная модель промышленной системы электроснабжения с линейной и нелинейной нагрузками

При имитационном моделировании упомянутых выше путей формирования несинусоидальных режимов были приняты следующие основные допущения и ограничения [9, 10]:

- питающая сеть представлена в виде источника напряжения с возможностью генерации высших гармоник с внутренним индуктивным сопротивлением  $X_c$ ;
- линейная нагрузка представлена в виде активно-индуктивного сопротивления;
- нелинейная нагрузка представлена в виде неуправляемого диодного выпрямителя с активно-индуктивной нагрузкой на стороне постоянного тока;
- питающая линия от источника до узла нагрузки представлена в виде индуктивного сопротивления  $X_l$ ;
- вариация внутреннего сопротивления питающей сети  $X_c$  производилась с учетом допустимого уровня отклонения напряжения на источнике и нагрузке (не более  $\pm 10\%$  согласно требованиям ГОСТ 32144-2013);

- линейная и нелинейная части узла нагрузки приняты одинаковой мощности (токи линейной и нелинейной нагрузки одинаковы);
- линии, идущие от точки общего присоединения к линейной и нелинейной нагрузке, приняты одинаковой длины с учетом допустимой потери напряжения (не более 5 %);
- вариация внутреннего сопротивления питающей сети  $X_c$  осуществлялась в относительных единицах, при этом за базис принято сопротивление энергосистемы бесконечной мощности.

На рисунках 3-6 приведены графики зависимостей составляющих коэффициента мощности от вариации внутреннего сопротивления питающей сети  $X_c$  и длины питающей линии от источника до узла нагрузки, влияющей на уровень потерь напряжения в линии. Данные зависимости получены для наиболее распространенного несинусоидального режима, при котором присутствует линейная и нелинейная нагрузки, а также искажения со стороны питающей сети. Для остальных режимов – закономерности аналогичные.

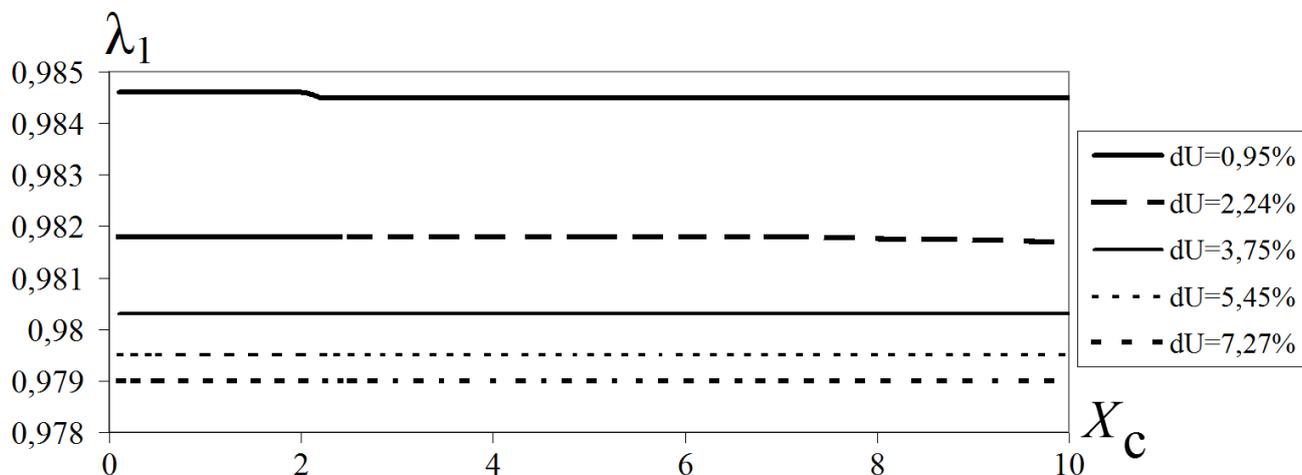


Рисунок 3 – Зависимости  $\lambda_1$  от  $X_c$  при вариации  $X_l$  в соответствии с различными уровнями потерь напряжения  $dU$

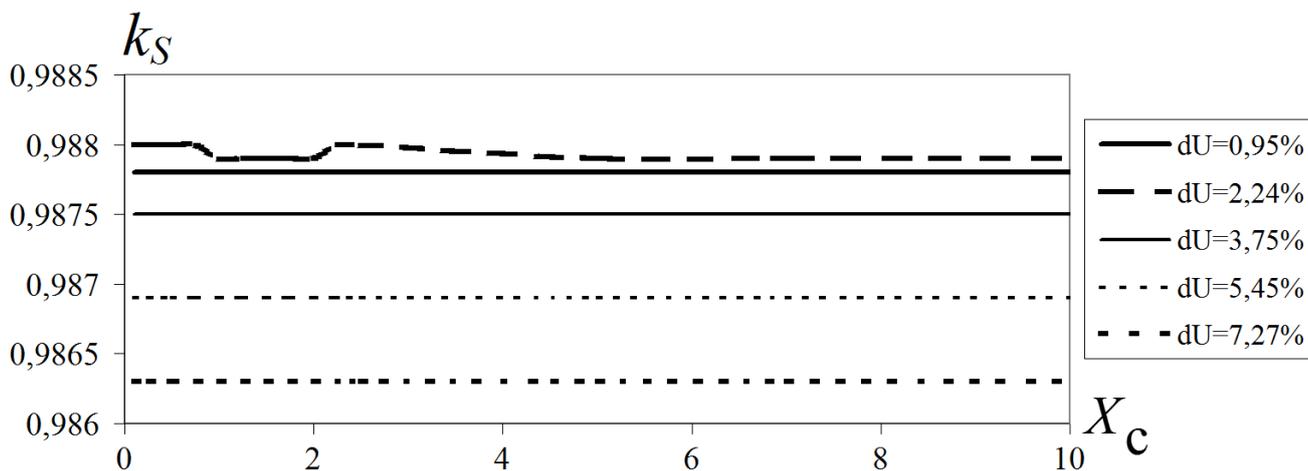


Рисунок 4 – Зависимости  $k_S$  от  $X_c$  при вариации  $X_l$  в соответствии с различными уровнями потерь напряжения  $dU$

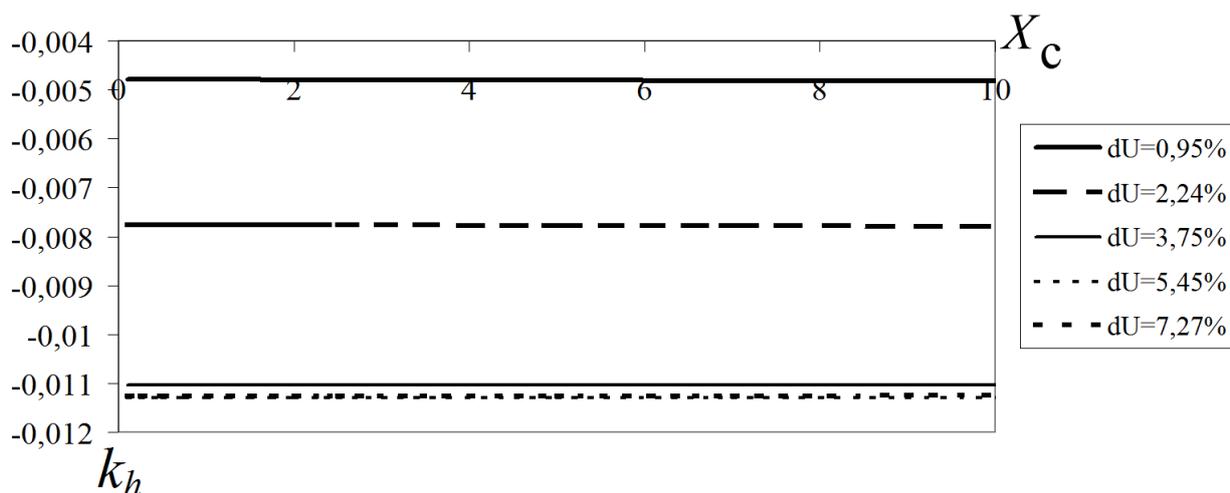


Рисунок 5 – Зависимости  $k_h$  от  $X_c$  при вариации  $X_l$  в соответствии с различными уровнями потерь напряжения  $dU$

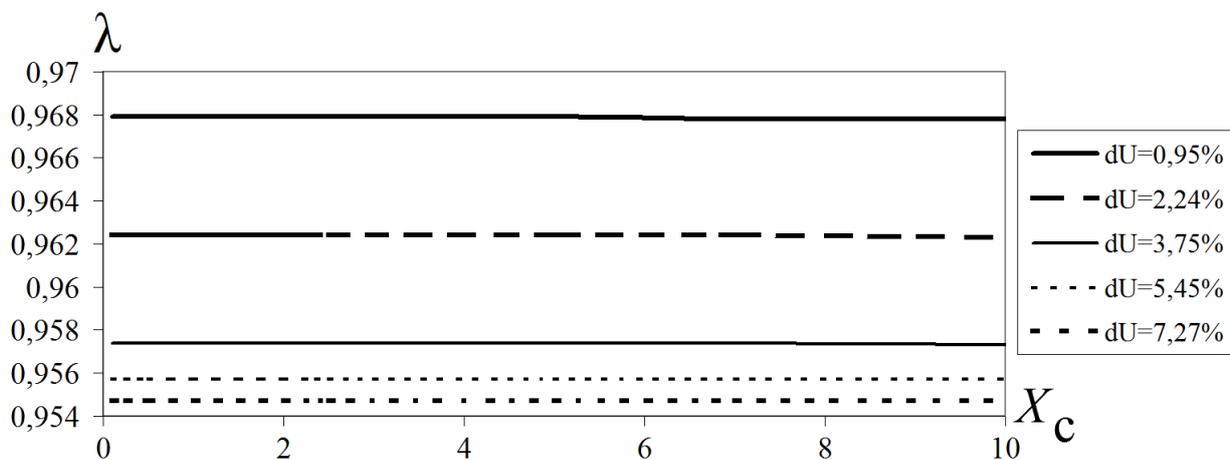


Рисунок 6 – Зависимости  $\lambda$  от  $X_c$  при вариации  $X_l$  в соответствии с различными уровнями потерь напряжения  $dU$

По результатам имитационного моделирования выявлены следующие особенности и закономерности, характеризующие различные пути формирования несинусоидальных режимов:

- изменение длины питающей линии до узла нагрузки (уровень потерь напряжения) оказывает более существенное влияние на составляющие коэффициента мощности, нежели вариация внутреннего сопротивления питающей сети;
- во всех исследуемых режимах на зажимах узла нагрузки (в точке общего присоединения) коэффициент  $k_h$  принимает отрицательные значения, при этом на зажимах линейной и нелинейной нагрузки он может менять знак;
- в области малых значений потерь напряжения (длина питающей линии незначительна) при наличии линейной и нелинейной нагрузок, как при отсутствии, так и наличии искажений со стороны питающей сети коэффициент  $k_h$  принимает отрицательные значения на зажимах линейной нагрузки и положительные значения на зажимах нелинейной нагрузки;
- также в области малых значений потерь напряжения (длина питающей линии незначительна) при наличии искажений со стороны питающей сети и присутствии только линейной нагрузки коэффициент  $k_h$  принимает отрицательные значения, аналогичная ситуация справедлива и для другого режима, когда присутствует только нелинейная нагрузка, а искажения со стороны сети отсутствуют;

- положительные значения  $k_h$  приводят к увеличению суммарного коэффициента мощности согласно выражению (1), а отрицательные – к его снижению, однако практически во всех исследуемых режимах суммарный коэффициент мощности на зажимах нелинейной нагрузки меньше аналогичного значения на зажимах линейной нагрузки и в точке общего присоединения.

### **Заключение и выводы**

Полученные закономерности и выявленные особенности необходимо учитывать при обосновании выбора того или иного технического средства или решения по компенсации высших гармоник, включая параллельные и последовательные активные фильтры, гибридные фильтрокомпенсирующие устройства, статические компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ), динамические компенсаторы искажения напряжения [11, 12].

Предметом дальнейших исследований является оценка влияния фильтрокомпенсирующих устройств различной структуры, в частности, параллельных и последовательных активных фильтров, а также гибридных фильтров на составляющие коэффициента мощности при несинусоидальных режимах [13, 14].

Исследования, приведенные в данной статье, выполнены в рамках реализации гранта МД 1536.2022.4 «Создание систем комбинированного электроснабжения для особо ответственных технологических и стратегических объектов».

### **Литература**

1. Ляхомский, А. В. Анализ гармонического состава напряжения в подземных электрических сетях высокопроизводительных угольных шахт / А. В. Ляхомский, Л. А. Плащанский, С. Н. Решетняк, М. Ю. Решетняк. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2021. – № 10. – С. 32–41.
2. Осипов, Д. С. Алгоритм расчета потерь мощности, обусловленных высшими гармониками и интергармониками на основе вейвлет-преобразования / Д. С. Осипов, А. Г. Лютаревич, В. А. Ткаченко, Ч. Ю. Логунова. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 38–47.
3. Бабокин, Г. И. Исследование качества электроэнергии очистного забоя угольной шахты / Г. И. Бабокин, Ю. В. Шевырëв, Н. Ю. Шевырева. – Текст : непосредственный // Горный журнал. – 2021. – № 7. – С. 80–85.
4. Сычев, Ю. А. К вопросу о способе определения коэффициента мощности при несинусоидальных режимах / Ю. А. Сычев, М. С. Ковальчук, А. В. Кривенко, В. А. Сериков. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 5. – С. 473–482.
5. Sychev Y. A., Aladin M. E., Abramovich B. N. The method of power factor calculation under non-sinusoidal conditions. В сборнике: Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. 2020. С. 904-908.
6. Осипов, Д. С. Идентификация резонансных режимов при наличии нелинейных нагрузок в системах электроснабжения промышленных предприятий / Д. С. Осипов, В. Н. Горюнов, Д. В. Коваленко. – Текст : непосредственный // В сб.: Ученые Омска – региону. Материалы IV Региональной научно-технической конференции. – 2019. – С. 42–47.
7. Ощепков, В. А. Расчет резонансных режимов систем электроснабжения и разработка мероприятий по фильтрации высших гармоник / В. А. Ощепков, Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселëв. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2018. – № 9. – С. 10–16.
8. Шевырев, Ю. В. Обоснование схемы активного фильтра гармоник на основе гибридного каскадного инвертора / Ю. В. Шевырев, До Тхань Лич. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21, № 2. – С. 105–114.

9. Шевырева, Н. Ю. Актуальные аспекты обеспечения качества электроэнергии на открытых горных работах / Н. Ю. Шевырева, Ю. В. Шевырёв, А. В. Пичуев. – Текст : непосредственный // В сб.: Пром-Инжиниринг: труды VI Всероссийской научно-технической конференции. – Челябинск, 2020. – С. 246–251.

10. Гуляев, И. В. Результаты экспериментальных исследований системы активной фильтрации электроэнергии / И. В. Гуляев, Е. В. Бычков, Р. Б. Туганов. – Текст : непосредственный // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2023. – № 5 (166). – С. 6–14.

11. Дюдяков, А. А. Анализ эффективности работы гибридного фильтра в условиях ухудшенного качества электроэнергии питающей сети / А. А. Дюдяков, С. А. Янченко. – Текст : непосредственный // В сб.: Фёдоровские чтения – 2022. LI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, с элементами научной школы для молодежи. – 2022. – С. 167–175.

12. Дюдяков, А. А. Разработка экспериментального прототипа параллельного активного фильтра / А. А. Дюдяков, С. А. Янченко // В сб.: Фёдоровские чтения – 2021. LI международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. – 2021. – С. 231–239.

13. Байков, Д. В. Анализ способов обеспечения параллельной работы преобразователей частоты / Д. В. Байков, И. В. Гуляев, Д. Ю. Теплухов. – Текст : непосредственный // Электротехника. – 2020. – № 1. – С. 9–17.

14. Ляхомский, А. В. Разработка высоковольтного устройства автоматизированного мониторинга качества электрической энергии в подземных сетях угольных шахт / А. В. Ляхомский, Л. А. Плащанский, С. Н. Решетняк, М. Ю. Решетняк. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 7. – С. 207–213.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ  
УЗЛОВ НАГРУЗКИ МИНИГРИДА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЛИНИИ ТРЕНДА, ПОЛУЧЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ  
ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

**Ткаченко Всеволод Андреевич**

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

**Осипов Дмитрий Сергеевич**

*доктор технических наук,  
профессор Политехнической школы,  
Югорский государственный университет  
Ханты-Мансийск, Россия  
E-mail: d\_osipov@ugrasu.ru*

*Работа выполнена в рамках гранта РНФ  
«Разработка принципов управления  
и контроля режимов работы электроэнергетических систем  
на основе вейвлет преобразования данных о параметрах режима»  
(Соглашение № 22-29-20052)*

*Предмет исследования: методы прогнозирования графиков электрической нагрузки.*

*Цель исследования: усовершенствование метода прогнозирования для оценки роста энергопотребления минигрида.*

*Методы и объекты исследования: в качестве метода исследования приняты элементы теории вейвлет-преобразования временных рядов, методы аппроксимации.*

*Основные результаты исследования: в результате исследования был модернизирован метод прогнозирования величины мощности нагрузки изолированной электрической системы малой мощности (минигрид), в качестве элемента модернизации предлагается применение вейвлет-преобразований для фильтрации высокочастотной составляющей графика потребляемой мощности. Также в работе рассматриваются основные принципы работы вейвлет-преобразований, их преимущества и возможности применения в задачах прогнозирования, а также приведен пример успешного использования данного метода.*

*Ключевые слова: вейвлет-преобразование, графики нагрузок, электрическая мощность, прогнозирование, фильтр высокочастотной составляющей.*

**MODERNIZATION OF THE METHOD FOR PREDICTING  
ENERGY CONSUMPTION OF MINIGRID LOAD NODES BY USING  
EXTRAPOLATION OF THE TREND LINE OBTAINED  
USING WAVELET TRANSFORMATION OF THE ELECTRICAL LOAD GRAPH**

**Vsevolod A. Tkachenko**

*Lecturer at the Polytechnic School,  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education,  
Yugra State University,  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: v\_tkachenko@ugrasu.ru*

**Dmitry S. Osipov**

*Doctor of Technical Sciences,  
Professor at the Polytechnic School  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
Yugra State University,  
Khanty-Mansiysk, Russia  
E-mail: d\_osipov@ugrasu.ru*

*The work was carried out  
within the framework of the Russian Science Foundation grant  
«Development of principles for managing  
and monitoring operating modes of electric power systems  
based on wavelet transformation of data on mode parameters»  
(Agreement No. 22-29-20052)*

*Subject of research: methods for predicting electrical load schedules.*

*Purpose of research: improvement of the forecasting method for assessing the growth of minigrid energy consumption.*

*Methods and objects of research: elements of the theory of wavelet transform of time series, approximation methods were adopted as a research method.*

*Main results of research: as a result of the study, the method for predicting the load power of an isolated low-power electrical system (minigrid) was modernized; as an element of modernization, the use of wavelet transforms for filtering the high-frequency component of the power consumption graph is proposed. The paper also discusses the basic principles of operation of wavelet transforms, their advantages and possibilities of application in forecasting problems, and also provides an example of the successful use of this method.*

*Keywords: wavelet transform, load graphs, electrical power, forecasting, high-frequency component filter.*

---

## **Введение**

В современном мире энергопотребление играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития общества. Особенно важно эффективное управление энергопотреблением в минигридах, где происходит распределение и потребление энергии на местном уровне. Для улучшения способа прогнозирования энергопотребления минигрида, предлагается использовать вейвлет-преобразование для анализа суточных графиков нагрузок. Этот метод позволит получить более точную экстраполяцию линии тренда, учитывающую нестационарность и нелинейность процессов, что, в свою очередь, позволит более точно прогнозировать энерго-

потребление. В данной статье мы рассмотрим возможности использования вейвлет-преобразования для анализа суточных графиков нагрузок и его применение для улучшения способа прогнозирования энергопотребления минигрида [1, 2].

### Результаты и обсуждение

Для учета будущих изменений в потреблении электроэнергии в узлах нагрузки удаленных, децентрализованных районов необходимо проводить прогнозирование среднесрочного потребления электроэнергии. В данной работе предлагается использовать теорию вейвлет-преобразования для решения этой задачи. Вейвлет-преобразование широко применяется для анализа сложных нелинейных процессов и обработки больших массивов данных, которыми являются инструментально полученные фактические графики электрических нагрузок. Для иллюстрации этого подхода примем результаты измерений активной мощности в узле нагрузки за 14 дней. Графики нагрузок за неделю представлены на рисунках 1, 2 для удобства сравнения [3].

Графики имеют схожий внешний вид, что указывает на постоянный технологический цикл работы оборудования в узле нагрузки. Для выявления особенностей графиков и определения линии тренда для будущего прогнозирования мы будем использовать математический метод дискретного вейвлет-преобразования [4–6]:

$$\hat{F}_{m,n} = a_0^{-\frac{m}{2}} \cdot \int f(t) \psi(a_0^{-m}t - nb_0) dt, \quad (1)$$

где  $\psi_{j,k}(t)$  – функция материнского вейвлета.

Для проведения дискретного вейвлет-преобразования на всем периоде измерения, мы усредним графики нагрузок, представленные на рисунках 1 и 2, с интервалом  $\Delta t = 10 \text{ мин}$  на протяжении  $T = 14 \text{ дней} = 336 \text{ часов}$ . Это даст нам 2016 точек на графике. Для удобства алгоритма дискретного вейвлет-преобразования, мы продлим график на 32 точки, что позволит нам представить матрицу значений мощности исходного сигнала (рисунок 1) в виде вектор-столбца размером 2048 элементов  $P(t) = [P_1 \ P_2 \ \dots \ P_i \ \dots \ P_{2048}]$  [4].

На первом этапе разложения дискретного сигнала активной мощности  $P = f(t)$  проходит через вейвлет-фильтры низких (ФНЧ) и высоких частот (ФВЧ), после чего происходит процедура децимации. В результате этого этапа получаем матрицу аппроксимирующих коэффициентов  $A1$  из 1024 элементов и матрицу детализирующих коэффициентов  $D1$  такой же размерности. Уменьшение размерности матрицы вейвлет-коэффициентов  $A1$  и  $D1$  относительно матрицы исходного дискретного сигнала мощности в узле нагрузки приводит к увеличению частоты дискретизации вдвое, что соответствует интервалу времени  $\Delta t = 20 \text{ мин}$ .

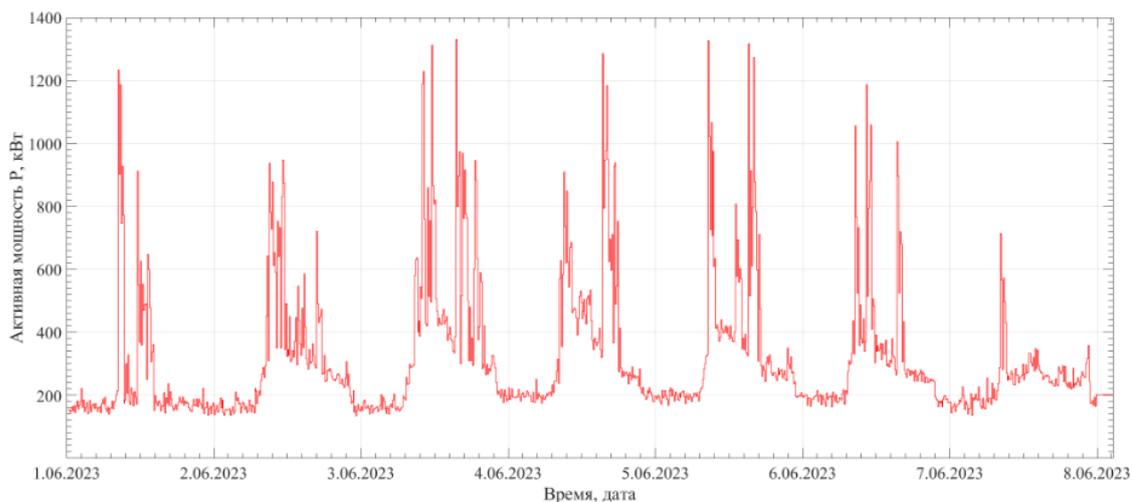


Рисунок 1 – График мощности узла нагрузок за период с 01.06.2023 по 08.06.2023

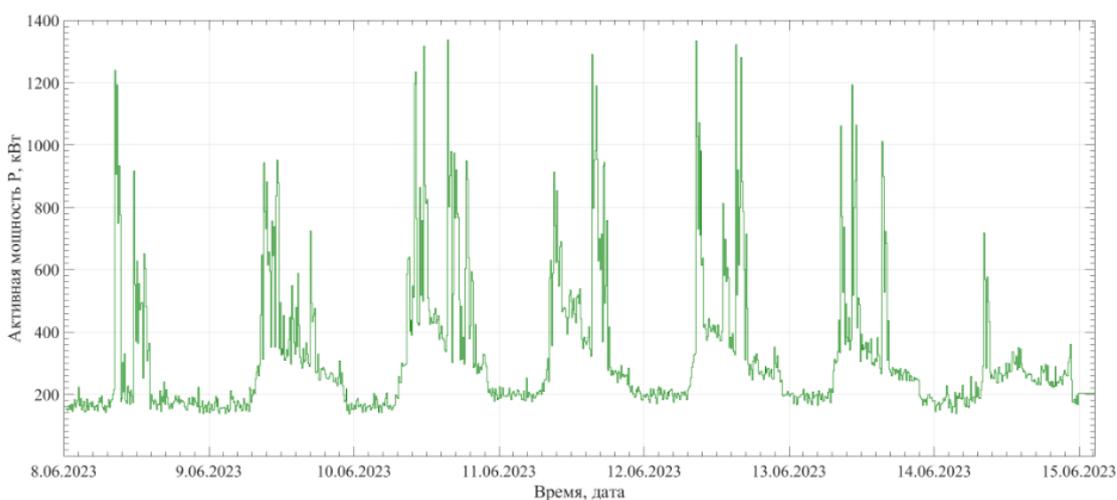


Рисунок 2 – График мощности узла нагрузок за период с 08.06.2023 по 15.06.2023

Суточный график мощности исследуемого электротехнического комплекса может быть дискретно разложен на первом уровне, используя вейвлет-функции с коэффициентами фильтров нижних ( $h_0, h_1$ ) и верхних частот ( $g_0, g_1$ ) в матричном виде согласно определенной формуле:

$$\begin{pmatrix} h_0 & h_1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & h_0 & h_1 \\ g_0 & g_1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & g_0 & g_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \dots \\ P_{2047} \\ P_{2048} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{j,0}^A \\ P_{j,1}^A \\ \dots \\ P_{j,n/2}^A \\ P_{j,0}^D \\ P_{j,1}^D \\ \dots \\ P_{j,n/2}^D \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Для вейвлета Хаара коэффициенты фильтров нижних  $h_0, h_1$  равны [5]:

$$h_0(k) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, h_1(k) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Повторив процедуру для аппроксимирующих коэффициентов первого уровня разложения  $P_{1,0}^A = [P_{1,0(1)}^A \ P_{1,0(2)}^A \ P_{1,0(3)}^A \ \dots \ P_{1,0(1023)}^A \ P_{1,0(1024)}^A]$  в соответствии со схемой на рисунке 3 можно получить аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты второго уровня разложения и т. д. [5].

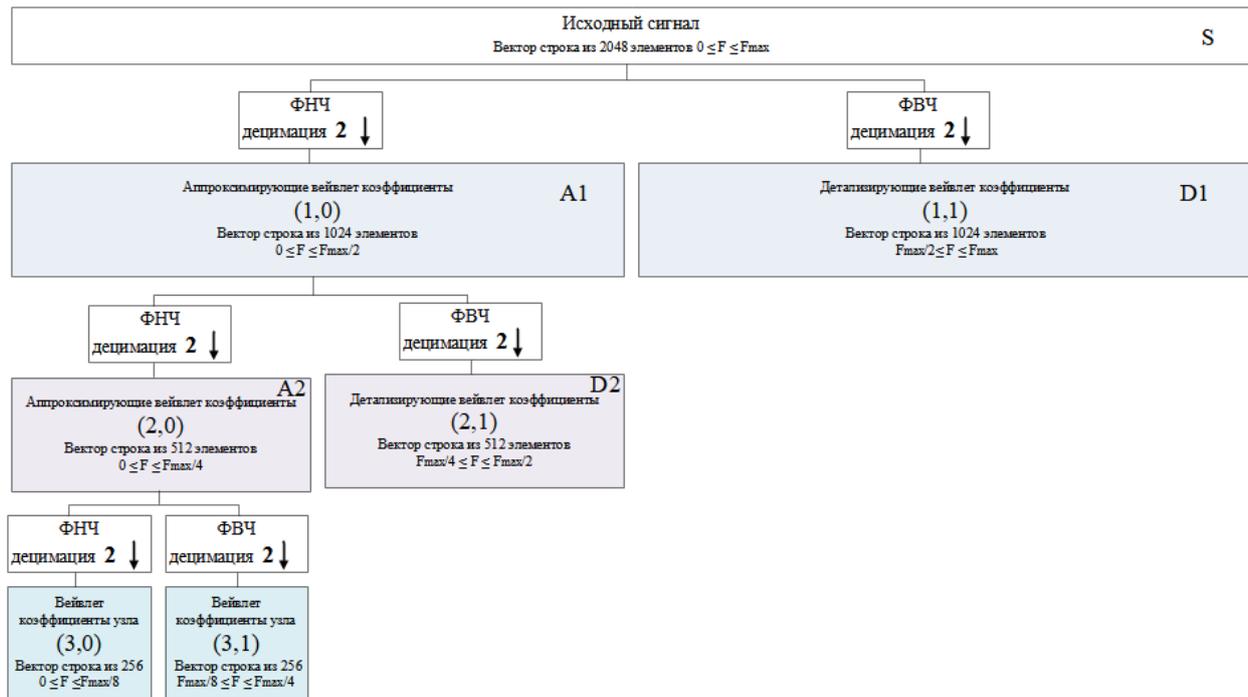


Рисунок 3 – Схема дискретного вейвлет-разложения исследуемого сигнала мощности узла нагрузок до 3 уровня

В данной работе используется 10-й уровень разложения в качестве основы для построения линии тренда, так как это соответствует интервалу времени в 7 суток. Размерность матрицы аппроксимирующих вейвлет-коэффициентов 10 уровня составит  $1 \times 2$ , что означает по одной ступени на каждую неделю измерений ( $\Delta t = 10240 \text{ мин}$ ). Исходя из взаимного расположения полученных ступеней (размерностей вейвлет-коэффициентов), можно сделать однозначное заключение о характере изменения нагрузки.

В качестве дополнительной промежуточной иллюстрации работы предлагаемой методики представим вейвлет-коэффициенты 6 уровня разложения (рисунок 4).

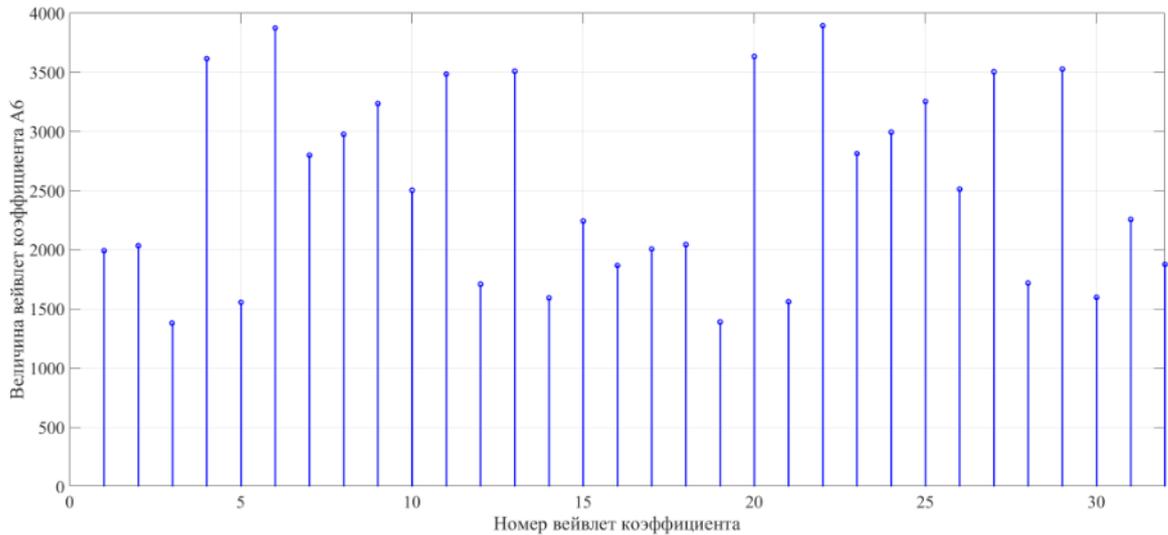


Рисунок 4 – Аппроксимирующие вейвлет-коэффициенты 6 уровня разложения

Как видно, количество вейвлет-коэффициентов 6 уровня составляет 32 элемента, что позволяет говорить о интервале усреднения в 640 минут. Аппроксимирующий вейвлет-коэффициент 10 уровня разложения будет состоять из 2 элементов:

$$A_{10} = \begin{bmatrix} 10086 \\ 10137 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Обратное вейвлет-преобразование (реконструкция) сигнала мощности может быть выполнена по формуле:

$$\begin{pmatrix} H_0 & 0 & \dots & 0 & G_0 & 0 & \dots & 0 \\ H_1 & 0 & \dots & 0 & G_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & H_0 & \dots & 0 & 0 & G_0 & \dots & 0 \\ 0 & H_1 & \dots & 0 & 0 & G_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & H_0 & 0 & 0 & \dots & G_0 \\ 0 & 0 & \dots & H_1 & 0 & 0 & \dots & G_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_{Aj,0}^A \\ P_{Aj,1}^A \\ \dots \\ P_{Aj,n/2}^A \\ P_{Aj,0}^D \\ P_{Aj,1}^D \\ \dots \\ P_{Aj,n/2}^D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ P_{2047} \\ P_{2048} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Для выделения трендовой составляющей необходимо использовать одиночную ветвь вейвлет-коэффициентов для восстановления сигнала мощности. При этом все остальные элементы дерева вейвлет-разложения будут обнулены. Результатом обратного вейвлет-преобразования для одиночной ветви аппроксимирующих вейвлет-коэффициентов является двухступенчатый график (рисунок 5), где каждая ступень соответствует одной неделе измерений времени.

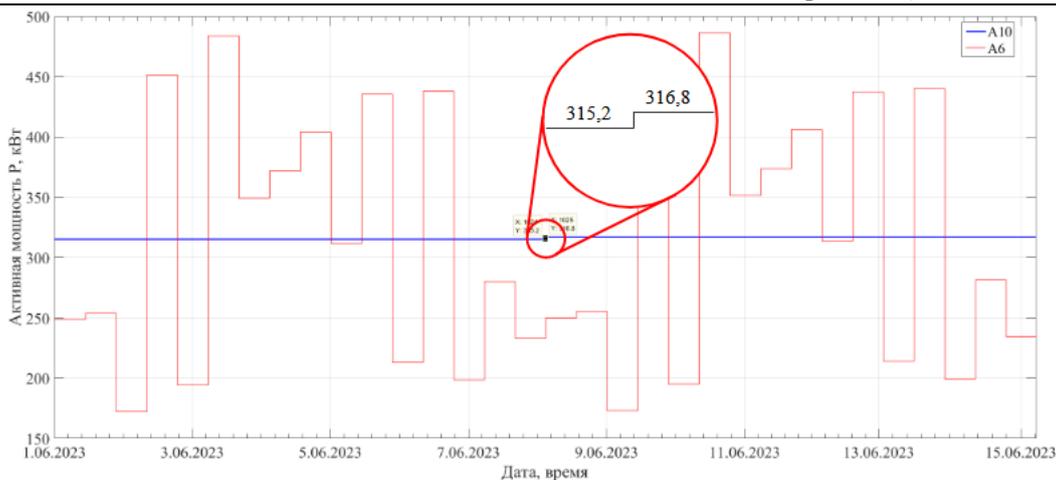


Рисунок 5 – Восстановление (обратное вейвлет-преобразование) по одиночным ветвям А6, А10

Первая ступень имеет мощность 315,2 кВт, вторая ступень – 316,8 кВт, что показывает увеличение потребляемой мощности на 0,5 % еженедельно. Полученные аппроксимирующие вейвлет-коэффициенты могут быть экстраполированы с использованием различных методов, таких как квадратичная экстраполяция, для прогнозирования на будущий период времени.

### Заключение и выводы

Предложенный вариант модернизации прогнозирования среднесрочного потребления электрической энергии предполагает использование трендовой линии, полученной с помощью вейвлет-преобразования, вместо фактического графика потребления мощности. Таким образом, прогнозирование будет основано на более стабильных данных, исключая случайные колебания потребляемой мощности.

### Литература

1. Разработка моделей прогнозирования электропотребления на основе временных рядов в изолированных энергосистемах / Д. Х. Худжасаидов, А. Г. Русина, П. В. Матренин [и др.]. – Текст : непосредственный // Электротехнические системы и комплексы. – 2020. – № 3(48). – С. 23–27.
2. Ерошенко, С. А. Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Ерошенко Станислав Андреевич. – Новосибирск: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Новосибирский государственный технический университет, 2020. – 201 с. – Текст : непосредственный.
3. Ковалев, В. З. Анализ методов прогнозирования потребления электрической энергии и мощности / В. З. Ковалев, С. Ю. Швецов, О. В. Архипова. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4(100). – С. 127–141.
4. Манусов, В. З. Применение теории вейвлетов для анализа данных при решении задачи прогнозирования электрической нагрузки / В. З. Манусов, К. Н. Бойко. – Текст : непосредственный // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 212–215.
5. Надтока, И. И. Модель прогнозирования электропотребления энергорайонов и региона с учетом влияния метеофакторов / И. И. Надтока, В. А. Бугаец, М. В. Юрушкин. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2014. – № 3. – С. 40–44.
6. Сидоров, С. Г. Анализ временных рядов как метод построения прогноза потребления электроэнергии / С. Г. Сидоров, А. В. Никологорская. – Текст: непосредственный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2010. – № 3. – С. 81–83.

*Научное издание*

# ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

*Выпуск 4/2023*

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: 04.12.2023

Дата выхода в свет: 10.12.2023

Формат 60x84 1/8. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л. 20,7. Тираж 1000 экз. Заказ № 277.

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)