

Южно-Уральский  
государственный  
университет

Национальный  
исследовательский  
университет

**приоритет2030<sup>^</sup>**  
лидерами становятся



**НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ  
ЮУрГУ – 2023**



г. Челябинск





ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет

# **НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ЮУрГУ – 2023**

Альманах

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2024



УДК 378 + 001  
ББК Ч448.47 + Ч25  
Н347

**Редакционная коллегия:**

к.ф.-м.н., ректор А.Р. Вагнер (председатель),  
д.т.н., профессор, президент А.Л. Шестаков,  
д.х.н., профессор, советник при ректорате Г.П. Вяткин,  
д.т.н., доцент, первый проректор – проректор по научной работе А.В. Коржов,  
д.э.н., профессор, проректор по аналитике  
и стратегическому планированию И.П. Савельева.

*Одобрено*  
*Советом Южно-Уральского государственного университета*

**Научные разработки ЮУрГУ – 2023:** альманах. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2024. – 185 с.

ISBN 978-5-696-05434-6

Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет – авторитетный научно-образовательный центр, обладающий глубоким интеллектуальным потенциалом, признанным в российском академическом сообществе. В 2023 году ЮУрГУ (НИУ) успешно реализует программу стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», что способствует повышению уровня научных исследований с целью выхода на мировой уровень стратегического развития.

В альманахе приводятся результаты основных научных и научно-технических разработок университета, полученные в 2023 году в ходе выполнения работ по проектам, осуществляемым в рамках Постановления Правительства РФ № 220, Постановления Правительства РФ № 218, государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований, научно-техническим проектам Челябинской области, включенных в перечень проектов УМНОЦ, а также при финансовой поддержке Российского научного фонда и в рамках реализации федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства».

УДК 378 + 001  
ББК Ч448.47 + Ч25

ISBN 978-5-696-05434-6

© Издательский центр ЮУрГУ, 2024



## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Минувший 2023 год стал юбилейным для Южно-Уральского государственного университета. Его 80-летняя история ознаменована крупными достижениями в научно-исследовательской деятельности. Наш коллектив приумножает славные научные традиции. В соответствии со стратегией научно-технологического развития Российской Федерации университет реализует крупные научные междисциплинарные проекты в области интеллектуального производства, материаловедения и экологии.

Челябинская область славится инженерными традициями. На протяжении последних 10 лет в ЮУрГУ совместно с крупными предприятиями транспортного машиностроения реализуются проекты по созданию спецтехники нового поколения, включая разработку спецтехники для умных городов, модельного ряда двигателей новой формации, интеллектуальных систем управления спецтранспортом. В конце 2023 года ЮУрГУ вошел в число грантополучателей на создание и развитие передовой инженерной школы «Сердце Урала», которая откроет двери в 2024 году. Школа, призванная аккумулировать лучшие практики, передовой производственный опыт и научные достижения, обеспечит передачу знаний новым поколениям инженеров.

Продолжают динамичное развитие два масштабных проекта ЮУрГУ, получивших поддержку в рамках конкурса по программе мегагрантов Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Проекты «Инженерия состояний света для квантовых вычислений и сенсорики», «Инновации для очистки воздуха и воды, снижения углеродного следа: наноматериалы и нанокompозиты, фотокаталитические и электрохимические подходы» направлены на получение прорывных научных результатов, решение конкретных задач в рамках направлений, определенных Стратегией научно-технологического развития России, а также на подготовку высококвалифицированных научных кадров. Программа мегагрантов предусматривает поддержку научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых мирового уровня в российских вузах, научных учреждениях и государственных научных центрах.

Эффективно управляя ресурсами, университет обеспечивает высокое качество научных исследований и разработок. Профессиональное научное сообщество по достоинству оценивает их глубину и практическую значимость. Наша задача на новом этапе развития – создание научных продуктов, соответствующих мировому уровню, и их коммерциализация в целях развития высокотехнологической промышленности страны.

В 2023 году по фундаментальным направлениям реализовывалось 6 проектов по госзадаанию и 75 грантовых проектов, включая 67 проектов РФНФ, в том числе 33 новых. В 2023 году было запущено два новых проекта по госзадаанию по разработке протезов из композитных материалов и компьютерной дефектоскопии прозрачных объектов. В области прикладных исследований с целью достижения технологического суверенитета страны выполнялось 4 проекта в рамках постановления Правительства РФ № 218 и 7 научно-технических проектов при поддержке правительства Челябинской области.

Южно-Уральский государственный университет удерживает и улучшает свои позиции как в национальных, так и в международных рейтингах. Это результат системной работы коллектива по многим направлениям. ЮУрГУ вошел в топ-30 рейтинга «Три миссии университета» российских университетов, став первым среди челябинских и вторым среди высших учебных заведений Уральского федерального округа. Мы занимаем 26–29-ю позицию среди российских вузов и 701–800-ю позицию в мировом рейтинге.

Благодаря компетенциям ученых наш университет занял достойные места в 8 предметных областях престижного Шанхайского рейтинга. По направлениям «Металлургия» – позиция 76–100, «Финансы» – позиция 151–200, «Машиностроение» – позиция 201–300, «Энергетика и энергетические технологии» – позиция 201–300, «Экономика» – позиция 201–300, «Науки об окружающей среде и инженерная защита окружающей среды» – позиция 301–400, «Математика» – позиция 401–500, «Химические технологии» – позиция 401–500. В предметных рейтингах «Машиностроение» и «Экономика» ЮУрГУ стал единственным представителем вузов Уральского федерального округа.

Реализация программы «Приоритет-2030» осуществляется за счет развития различных направлений деятельности университета. Одно из них – кампусная политика, в рамках которой ЮУрГУ участвует в создании междууниверситетского кампуса мирового уровня. Кампус объединит усилия и ресурсы ведущих университетов Южного Урала, органов власти и предпринимательского сектора. Появятся новые лаборатории, новые возможности для проведения научной деятельности. Самое современное



техническое и технологическое оснащение будет способствовать привлечению талантливой молодежи и повышению качества обучения студентов.

Успешное развитие научного блока находит отражение в высокорейтинговых публикациях. Увеличилась публикационная активность в ведущих научных журналах по следующим направлениям: компьютерные науки, машиностроение, материаловедение, возобновляемая энергия, устойчивое развитие и окружающая среда. В 2023 году в Scopus проиндексировано 846 публикаций с суммарным SNIP 758, среди которых статьи о квантовой инженерии света в Scientific Report (Q1), высокоэнтропийных сплавах в Materials Science for Energy Technologies (Top-10), биотехнологиях очистки агропромышленных отходов в Environmental Pollution (Q1).

В 2023 году в рамках развития трансфера и внедрения технологий в промышленности было получено 45 патентов на изобретения, полезные модели и промышленные образцы и 111 свидетельств на программы для ЭВМ и базы данных. Реализуются механизмы коммерциализации патентов. Одним из ярких примеров успешной коммерциализации программ для ЭВМ является интеллектуальная система мониторинга количества выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в режиме реального времени (AIMS-Eco), которая уже внедрена в Челябинске, Санкт-Петербурге, Перми и Магнитогорске.

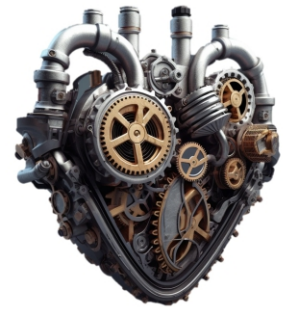
В университете формируются фундаментальные знания, разрабатываются технологии в области интеллектуального производства, создаются уникальные перспективные материалы и технологии, отвечающие экологическим требованиям, открываются научные лаборатории под руководством ведущих ученых, в числе которых эксперты мирового уровня.

Команда нашего национального исследовательского университета готова обеспечивать цифровую трансформацию и повышение конкурентоспособности металлургическим и машиностроительным предприятиям. В конце ноября 2023 года в университете прошла уже ставшая традиционной Всероссийская научная конференция с международным участием «Цифровая индустрия: состояние и перспективы развития-2023». В рамках форума состоялась пленарное заседание и работа секций, посвященных вопросам инноваций в условиях цифровизации. Цель конференции – определение перспектив развития технологий Smart Industry, интеграция промышленных компаний, научных организаций и органов власти для создания перспективных технологий цифровой трансформации отрасли.

Глубокие знания, инновационные идеи и талантливые ученые – прочный фундамент дальнейшего развития Южно-Уральского государственного университета. Уважаемые коллеги, я высоко ценю ваши достижения. Искренне благодарю вас за преданность науке, профессионализм, целеустремленность, неустанный научный поиск и результативный труд! Верю в ваш потенциал. Убежден, что впереди прорывные открытия и покорение новых вершин.



# ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



Наиболее значимое событие 2023 года – победа в конкурсном отборе федерального проекта «Передовые инженерные школы». Передовая инженерная школа «Сердце Урала» откроет свои двери в 2024 году и до конца 2024 года получит финансирование 230,4 млн рублей.

ПИШ «Сердце Урала» создается как ответ на вызовы, стоящие перед российской отраслью машиностроения в целом и специального транспортного машиностроения – в частности. К 2030 году планируется создать более 20 продуктов, обеспечивающих технологический суверенитет в области двигателестроения и специального транспорта в трех магистральных направлениях: модельный ряд двигателей, спецтехника для умных городов, интеллектуальные системы управления спецтранспортом. В каждом из направлений имеются заделы, и совместно с предприятиями-партнерами сформированы дорожные карты.

**Успешная реализация программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»**

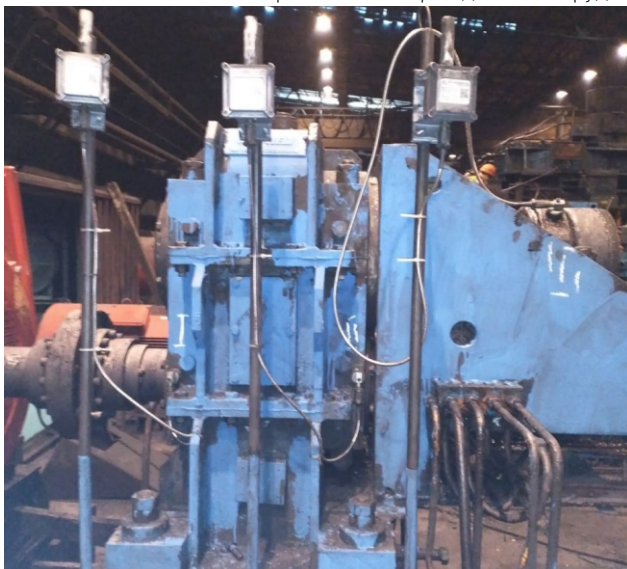
В 2023 году университет реализовывал программу «Приоритет-2030» по треку «Исследовательское лидерство», сконцентрировавшись на трех стратегических проектах.

Целью стратегического проекта № 1 «Интеллектуальное производство» является обеспечение цифровой трансформации и повышение конкурентоспособности металлургических и машиностроительных предприятий РФ за счет внедрения систем управления состоянием технологических процессов, изделий и оборудования.

В 2023 г. по научным направлениям проекта: «Беспроводные промышленные сети и самодиагностирующиеся сенсоры»; «Методы обработки, передачи, хранения и защиты информации на основе ИИ и квантовых вычислений»; «Многомасштабное мультифизическое моделирование технологических процессов»; «Цифровой инжиниринг и реинжиниринг в области машиностроения, энергетики и станкостроения получены следующие разработки».

## 1. Системы интеллектуальной диагностики

1.1. Выведена на рынок и тиражируется интеллектуальная система анализа развития повреждений оборудо-



вания: доменное, сортовое и листопрокатное производства. Система включает: датчики интернета вещей (автономная работа более года), беспроводную сеть с собственным протоколом IIoTSense (868 МГц, 2,4 ГГц), туманную архитектуру (смешанный анализ сигналов в датчиках и облачных серверах), гибридные нейросетевые модели прогноза остаточного ресурса агрегатов. В 2023 г. в консорциуме с ООО НПП «Политех-Автоматика» система внедрена в деятельности ПАО «ММК», АО «Уральская сталь». В 2023 г. привлечено более 50 млн руб. Достижимый объём к 2028 г. предполагается более 250 млн руб. в год.

## 2. Промышленные сенсоры

2.1. В интересах промышленной группы «Метран» реализован этап по разработке уникального датчика температуры на основе термпары новой конструкции с диапазоном 0–700 °С, выявляющий метрологический отказ на 40 % раньше известных подходов, корректирующий ошибку показаний и самокалибрующийся по 5 температурным точкам. На прототипе датчика верифицированы алгоритмы формирования результата, статуса, коррекции показаний на основе физической избыточности, а также самокалибровки на основе фиксации фазового перехода ферритов.



2.2. В интересах металлургической промышленности разработан лабораторный образец квантового сенсора на основе теории интерферометра Хонга-у-Манделя. Квантовый сенсор будет использован для непрерывного измерения температуры расплава до 2000 °С в кислородном конверторе, где традиционно применяют дискретные измерения одноразовыми термомпарами.

3. Мультифизические модели процессов и агрегатов

3.1. В интересах ПАО «ВСМПО-АВИСМА» разработана система расчета конструкции роликов и оптимальных технологических режимов процесса волочения круглых профилей, рассчитывающая формообразование и режимы производства уникальной для РФ бесшовной порошковой сварной проволоки. В 2023 г. привлечено более 3 млн руб.

3.2. В интересах АО «Уральская сталь» разработана система расчета оптимальных технологических режимов кристаллизатора МНЛЗ. Система, основанная на цифровом двойнике, рассчитывает процесс кристаллизации слитка с учетом конструкции и мультифизических процессов, оптимальные технологические режимы под заданные параметры сляба, повышая скорость непрерывной разливки на 10 %. В 2023 г. привлечено более 3 млн руб.

3.3. В рамках деятельности УМНОЦ разработана мультифизическая модель газодинамических процессов для демонстратора двигательной установки с центральным телом. В 2023 г. привлечено более 90 млн руб.

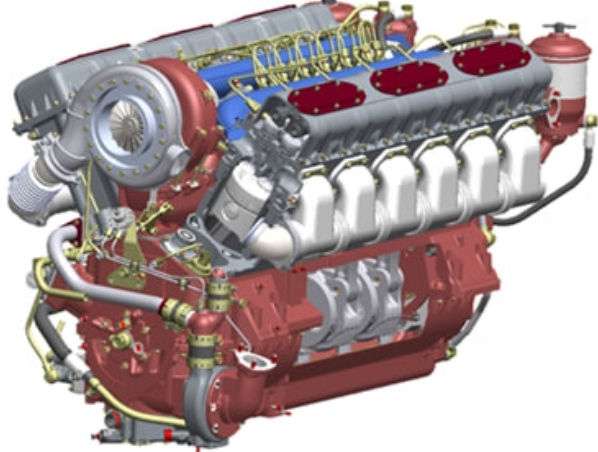
Целью стратегического проекта № 2 «**Фундаментальные основы синтеза и эксплуатации перспективных материалов**» является разработка новых перспективных материалов для двигателестроения, сенсорики, металлургии и экологии.

В рамках проекта ведётся работа по следующим направлениям: 1. Новые материалы для высоконагруженных дизельных двигателей; 2. Материалы для плавильного, кузнечно-прессового и прокатного производства; 3. Фундаментальная составляющая в области самовосстанавливающихся и самодиагностирующихся материалов.

1. Новые материалы для высоконагруженных дизельных двигателей:

1.1. Для повышения обороноспособности РФ по заказу Челябинского тракторного завода, который входит в концерн «Уралвагонзавод» (ГК Ростех), для проектируемого дизельного двигателя разработаны:

1.1.1. 8 составов алюминиевых сплавов для поршней на основе термодинамического моделирования. Выплавленные образцы для систем Al-Cu-Mn-Zr (Fe, Si, Ce) и Al-Ca-Ce-Ni (Fe, Mn, Si) показали высокие механические свойства при температурах до 380–400 °С против 250–300 °С для штатного сплава АК12Д. В 2024 году запланировано изготовление и стендовые испытания опытных поршней в лаборатории ЮУрГУ «Энерго- и ресурсоэффективные технологии в дизелестроении для бронетанковой техники и инженерных машин» на ЧТЗ;



1.1.2. экспериментальная Fe-Cr-Ni-Mo сталь для коленвала ДВС с прочностными характеристиками на 20 % выше при закалке на воздухе, чем у традиционной стали 18X2H4МА, что позволяет обеспечить требуемый уровень форсирования двигателя;

1.1.3. экспериментальные хромоникелевые сплавы, на уровне мировых аналогов, с низким содержанием никеля до 40 % для седел клапанов, которые имеют

высокий комплекс механических свойств при температурах 600–700 °С, против 450–500 °С для традиционно используемых сталей.

Объем привлеченных средств 32,5 млн руб.

2. Материалы для производства:

2.1. В продолжение разработки импортозамещающей феррито-аустенитной коррозионностойкой марки стали типа SUPER DUPLEX 25Cr в кооперации со Златоустовским металлургическим заводом рассчитаны оптимальные режимы выплавки, разливки, горячей деформации и термической обработки стали. Выплавлено 12 тонн стали и получена трубная заготовка диаметром 135 мм в производственных условиях. Рынок таких сталей в РФ – 10 млрд рублей в год. Дополнительно привлечено 3 млн рублей. Готовится запуск серийного производства.

2.2. На основе высокоэнтропийных сплавов по заказу одного из лидеров в области тяжелого машиностроения – промышленной группы АО «КОНАР» – разработан металлургический композиционный материал (CoFeCrNiMn(Al,Cu)/TiC) для пресс-форм, применяемых для горячего прессования арматуры трубопроводов. Средний срок службы пресс-форм увеличен в 5 раз. Применение разработанного материала в виде покрытия на штампе дало увеличение ресурса его работы с 15 000 до 50 000 ударов при горячей поковке валов для насосов, генераторов и турбин. Планируется масштабирование применения сплава на крупных металлургических заводах РФ. Объем средств, привлеченных лабораторией «Высокоэнтропийные материалы», составил 51,5 млн руб.

3. Самовосстанавливающиеся и самодиагностирующиеся материалы:

3.1. В интересах Россетей разработаны образцы из полисилоксанов, для которых получен эффект самовосстановления триингов в пределах 3–4 секунд после снятия напряжения.

3.2. В интересах Государственного ракетного центра им. В.П. Макеева и ЦАГИ разработаны слоистые углепластики, являющиеся кандидатом самодиагностируемых электропроводных композитных материалов сверхзвуковых пассажирских самолетов 2-го поколения.

3.3. Продолжается разработка бетонов с возможностью самозалечивания трещин за счет биоминеральной добавки, которая запатентована. Ведутся переговоры с заводом ООО «СИБ» (г. Челябинск) о внедрении в производство.

Открыто молодежное конструкторское бюро «Танкоград» под задачи создания новой бронетанковой техники. Открыты три группы проектного обучения по направлениям «Строительство», «Хемоинформатика» и «Машиностроение».

Целью стратегического проекта № 3 «**Экосреда постиндустриальной агломерации**» является улучшение состояния экологии постиндустриальных агломераций. Основные направления реализации проекта: 1. Чистый воздух. 2. Чистая вода. 3. Чистая почва. 4. Переработка руды и отходов промышленного производства. 5. Экоматериалы.

1.1. Разработана система AIMS-Eco (<https://aims.susu.ru>), позволяющая по данным с видеочамер рассчитывать уровень загрязнений от автотранспорта, масштабирована на территорию г. Магнитогорска в рамках динамической системы мониторинга загрязнений, развернутой в консорциуме с Магнитогорским металлургическим комбинатом и компанией КРОК. Система обеспечивает анализ параметров дорожного трафика, осуществляя детекцию, класси-





фикацию и трекинг автомобилей, с учетом метеословий ведет расчет концентраций 9 загрязняющих веществ, включая PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>. Проданы лицензии на использование системы в г. Пермь, Челябинск, Санкт-Петербург, Магнитогорск на сумму 15 млн руб.

1.2. Разработан ПТК предиктивной системы мониторинга выбросов по данным технологического процесса, заменяющей традиционные газоанализаторы. Потребность в системах автоматического контроля выбросов (САК) составляет не менее 10 000 комплектов в городах-участниках федерального проекта «Чистый воздух». Разрабатываемая цифровая система в 3 раза дешевле в сравнении с инструментальными САК. Для газовых ТЭЦ подтверждена точность 95%.

2. По заказу завода «Техно» (г. Челябинск) отработана методика анализа загрязнённых вод на фенолы, проведён подбор состава гранулированного фотокатализатора для деструкции фенолов. Степень деструкции фенола в модельном растворе составила от 60 % до 95 % в зависимости от катализатора за 3 часа облучения. Работы ведутся по мегагранту под руководством сербского ученого Станковича Далибора Миодрага (h-индекс 32).

3. В рамках договоров с лидером российского рынка по производству макаронных изделий и муки ООО «Макфа» разработана термоустойчивая гидрофобная биоразлагаемая упаковка с контролируемым сроком разложения. Объем привлеченных средств – 3,5 млн руб.

4. Совместно с ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG» (Казахстан) исследованы технологические режимы твердофазного восстановления хромового сырья Кемпирсай метансодержащими газами, что позволит сократить затраты на получение феррохрома за счет снижения расхода электроэнергии и кокса, уменьшив, выбросы CO<sub>2</sub>. Объем финансирования 3,7 млн руб.

5. В рамках импортозамещения и укрепления технологического суверенитета РФ сформирован лабораторный регламент получения теплоизоляционного материала на основе модифицированных безизоцианатных полиуретанов. Основным отличием технологии является использование недорогого и доступного растительного сырья и полный отказ от таких опасных и токсичных веществ, как фосген и изоцианаты. Сформирована модельная установка производства теплоизоляционных труб на площадке промышленного партнера ООО «Завод СТИ», проект поддержан Минпромторгом РФ и губернатором Челябинской области.

Состоялся набор в магистратуру «Искусственный интеллект в промышленных и экологических биотехнологиях», реализуется программа проектного обучения «Безреагентная (фотокаталитическая) очистка воды».

Создан ЦКП «Экоаналитика» для эффективного использования аналитического оборудования научными коллективами университета и региона при проведении комплексных экологических исследований.

По оценке ЦЭМ эффект от внедрения разработанных технологий улучшит экологическую обстановку по городам Челябинской области как минимум на 15 %.

### Проекты, реализуемые в рамках Постановлений № 218 и № 220 Правительства РФ

При поддержке Правительства РФ в рамках постановления № 218 продолжается реализация четырех проектов по созданию высокотехнологичного производства: «Арктический автобус», общий объем финансирования на 2021–2023 гг. 497 млн руб.; «Экологически чистые универсальные коммунальные машины», общий объем финансирования на 2022–2024 гг. 244,5 млн руб.; «Комплексные транзисторные устройства на базе многоуровневых преобразователей частоты», общий объем финансирования на 2022–2024 гг. 125 млн руб.; «Создание высокотехнологичного производства электрогидравлических усилителей мощности с электромеханическим преобразователем электродинамического типа с расширенным частотным диапазоном», общий объем финансирования на 2023–2025 гг. 335,1 млн руб.

Коллективы университета в рамках реализации 2 проектов по постановлению Правительства РФ № 220 с общим объемом финансирования 246,8 млн руб. взаимо-

действуют с сотрудниками Центра квантовых технологий МГУ и Университета Белграда (Сербия).

Совместно с Министерством образования и науки Челябинской области прорабатываются вопросы создания и оснащения лабораторий Межуниверситетского кампуса мирового уровня. В 2026 г. совместно с промышленными партнерами в кампусе откроются 8 центров коллективного доступа по интеллектуальному производству, сенсорам, IT, материаловедению и экологии.



### Государственное задание на выполнение фундаментальных научных исследований

В 2023 году в университете реализовывалось 6 проектов в рамках государственного задания. Министерством науки и высшего образования РФ в 2023 году выделено дополнительное финансирование в размере 24,75 млн руб. на проведение фундаментальных исследований в рамках 2 проектов: разработка протезов из композитных материалов; компьютерная дефектоскопия прозрачных объектов.

### Грантовая поддержка

Ежегодно сотрудники университета реализуют проекты при поддержке РНФ. По сравнению с 2021 г. в 9 раз увеличилось количество проектов РНФ по социально-гуманитарным направлениям (2021 г. – 1 проект, 2022 г. – 6, 2023 г. – 9). В 2023 году выполнялись работы по 67 научным проектам по различным областям наук. Российским научным фондом поддержано 33 новых проекта университета, из них 19 региональных проектов. Наиболее крупные проекты РНФ:

- проект М.Н. Самодуровой «Разработка научных основ получения покрытий из высокоэнтропийных материалов методами аддитивных технологий и изучение их структуры, а также эксплуатационных характеристик» получил поддержку в размере 32 млн руб.;

- проект В.Г. Грязевой-Добшинской «Универсальные факторы массовой креативности: диагностика на основе методов машинного обучения» получил поддержку в размере 21 млн руб.;

- проект А.В. Епимахова «Миграции человеческих коллективов и индивидуальная мобильность в рамках мультидисциплинарного анализа археологической информации (бронзовый век Южного Урала)» получил поддержку в размере 14 млн руб.

Реализуются 2 проекта Минобрнауки РФ в области материаловедения совместно с партнерами из Казахстана (75 млн руб.).

В конце 2023 года получен региональный грант на исследования и разработки по направлениям: новые материалы, новые производственные технологии, энергетика, промышленная экология, аэрокосмические



технологии, медицина. Проект «Технологические основы разработки беспилотных летательных аппаратов» с объемом финансирования 60 млн руб., руководитель Шестаков А.Л

### Демонстрация достижений науки

В июле 2023 года на Международной промышленной выставке ИННОПРОМ-2023 Южно-Уральский государственный университет на коллективном стенде Челябинской области представил свои разработки в области аэрокосмоса, экологии, транспортного машиностроения, новых технологий и материалов. Делегация Южно-Уральского государственного университета во главе с



ректором Александром Вагнером приняла участие в серии деловых встреч и подписаний значимых документов, создающих новые возможности для сотрудничества в образовательной и научной сферах.

В августе 2023 года университет представил инновационные и научные разработки на международном военно-техническом форуме «АРМИЯ-2023». Научно-образовательный центр «Аэрокосмические технологии» представил демонстратор двигательной установки с охлаждаемым центральным телом на топливной паре кислород-водород. Также на форуме представлен проект ЮУрГУ по разработке серии импортозамещенных электрических машин. Целью проекта является развертывание высокотехнологичного производства низковольтных электрических двигателей с высокой мощностью (1 МВт и более). Помимо этого, делегация вуза



провела ряд встреч с представителями организаций, которые являются стратегическими партнерами вуза.

Также на форуме был представлен уникальный проект по созданию транспортных средств для Крайнего Севера «Арктический автобус», который реализуется учеными ЮУрГУ совместно с коллегами из МГТУ имени Н.Э. Баумана (г. Москва) при производственной поддержке автомобильного завода «Урал» (г. Миасс). Арктический автобус разработан для перевозки людей в условиях Крайнего Севера. На сегодняшний день в РФ нет аналогов такого транспорта, а потребность очень высокая. Для решения ряда задач автобус может быть оснащен прицепом для перевозки функциональных модулей: медицинского и хозяйственно-бытового обслуживания. Ученые университета разрабатывали технические решения, направленные на повышение работоспособности транспортных средств при температуре до  $-50^{\circ}\text{C}$ : проводились расчёты, моделирование, разработка документации отдельных узлов и агрегатов авто. В лаборатории машиностроения и лаборатории конструирования оболочек электронных систем управления ЮУрГУ были изготовлены составные части конструкции. Автобус успешно прошел испытания в условиях низких температур и бездорожья.

В конце ноября 2023 года университет представил инновационные проекты на III Конгрессе молодых ученых. Конгресс молодых ученых – масштабное мероприятие, позволяющее молодым учёным находиться на острие науки и грамотно выстраивать цепочку научных исследований.

На стенде Уральского НОЦ «Передовые производственные технологии и материалы» (УМНОЦ) был представлен проект по созданию двигательной установки для возвращаемой многоразовой одноступенчатой ракеты-носителя, что позволит существенно снизить стоимость космических запусков. Ученые ЮУрГУ работают над ним совместно с ГРЦ им. Макеева (г. Миасс) и НИИ Маш (г. Нижняя Салда).

Вуз представлял и другие проекты УМНОЦ, в частности чугунные мелющие тела, изготовленные из шлаков медеплавильного производства, модель породного вагона для строительства метрополитена, датчики для мониторинга промышленных объектов на основе промышленного интернета вещей и другие экспонаты.





# ИНЖЕНЕРИЯ СОСТОЯНИЙ СВЕТА ДЛЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И СЕНСОРИКИ

Руководители проекта – доктор физико-математических наук, профессор С.П. Кулик (МГУ имени М.В. Ломоносова), доктор физико-математических наук С.А. Подошведов (ЮУрГУ)

## ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Генерация новых знаний, создание инфраструктуры мирового уровня и получение на ее основе новых результатов в области квантовых информационных технологий в сотрудничестве с ведущими исследовательскими центрами в России и за рубежом.
2. Открытие магистерской программы «Квантовые оптические технологии», в рамках которой планируется развитие образовательных курсов для студентов – бакалавров и магистров ЮУрГУ в областях современных квантовых технологий и квантовой метрологии, включающее создание учебно-научного комплекса для выполнения лабораторных работ по квантовой оптике и квантовой информатике.
3. Подготовка специалистов мирового уровня в области квантовых технологий и квантовых вычислений в первую очередь для нужд экономики Челябинской области.
4. Диссеминация знаний, коммерциализация фундаментальных результатов, полученных в ходе реализации проекта.
5. Организация международных семинаров, школ для молодых ученых, конференций в области современных квантовых технологий с привлечением ведущих специалистов из России и из-за рубежа.

## ПУБЛИКАЦИИ

10 научных статей

1 патент на изобретение

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

10 научных статей в Scopus/WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Исследование гибридных квантовых состояний света в задачах квантовой обработки информации.
- Разработка алгоритмов и протоколов на основе квантовых состояний света для выполнения квантовых вычислительных операций, стойких к потерям.
- Моделирование и экспериментальная реализация оптимальных квантово-оптических схем с негауссовыми состояниями света в области квантовых вычислений и метрологии.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Создание теории генерации состояний непрерывных наблюдаемых определенной четности, получающихся из одномодового сжатого вакуумного состояния, что включает в себя аналитические выражения данных состояний, их статистические характеристики, включая среднее число фотонов. Состояния из данного семейства будут реализованы в эксперименте для случая отщепления некоторого числа фотонов, а также изучены характеристики генерируемых состояний. Будет создан в виде полезной модели протокол генерации котов Шрёдингера (КШ) большой амплитуды (со средним числом частиц вплоть до 25) с максимально

возможной точностью (0,99 и более) и скоростью генерации с учетом несовершенства экспериментальной измерительной техники. Будет исследована возможность получения КШ в эксперименте, что станет основой для создания генераторов четных/нечетных КШ состояний в квантовой метрологии на уровне предела Гейзенберга. Будет создан алгоритм генерации гибридных кластерных состояний, состоящих из состояний непрерывной переменной определенной четности. Некоторые из гибридных кластерных состояний будут реализованы экспериментально.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Создание генератора оптических квантовых состояний кота Шрёдингера существенно расширит возможности в области квантовых измерений и квантовой связи.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Введен в эксплуатацию не имеющий аналогов в России сверхпроводящий восьмиканальный детектор, различающий число фотонов (производитель – ООО «Сконтел»).
- ☑ Проведено исследование генерации небольших кластерных гибридных состояний, составленных из

- состояний непрерывной наблюдаемой определенной четности, а также фотонных состояний посредством смешения нескольких одномодовых состояний сжатого вакуума с фотонными состояниями с последующей регистрацией некоторых измерительных исходов во вспомогательных модах.
- ☑ Исследована возможность генерации небольших кластерных гибридных состояний, составленных из состояний непрерывной наблюдаемой определенной четности, и фотонных состояний посредством смешения нескольких одномодовых состояний сжатого вакуума с фотонными состояниями с последующей регистрацией некоторых измерительных исходов во вспомогательных модах с учетом неидеальной квантовой эффективности фотонразрешающих детекторов.
  - ☑ Проведен поиск алгоритмов по созданию больших (в идеале произвольных) кластерных гибридных состояний, составленных из состояний непрерывной наблюдаемой определенной четности и фотонных состояний посредством смешения нескольких одномодовых состояний сжатого вакуума с фотонными состояниями с последующей регистрацией некоторых измерительных исходов во вспомогательных модах.
  - ☑ Выполнена разработка алгоритма генерации состояний непрерывной наблюдаемой определенной четности посредством смешения двух одномодовых сжатых состояний на пучковом делителе с

последующей регистрацией фотонов во вспомогательной моде.

- ☑ Проведен поиск лучших дизайнерских оптических схем с большим количеством пучковых делителей для улучшения характеристик генератора четных/нечетных состояний кота Шрёдингера (КШ) в случае смешения исключительно одномодовых сжатых состояний с различными амплитудами сжатия с целью улучшения выходных характеристик данного устройства (амплитуд КШ, точность воспроизведения, скорость генерации).
- ☑ Выполнена разработка новых концепций элементов фотоники на чипе, а также алгоритмов их использования в задачах экспериментальной инженерии квантовых состояний света с требуемыми характеристиками.
- ☑ Разработана модель трёхмодовых запутанных суперпозиционных состояний непрерывной наблюдаемой для элементов квантовых вычислений на чипе с учетом потерь и декогеренции.
- ☑ Разработаны схемы протоколов оптимальных квантовых измерений, а также оценки неизвестных фазовых параметров в интерферометрах на чипе, выполненных на основе трёхмодовых запутанных состояний в условиях потерь и декогеренции.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ ЦКТ МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

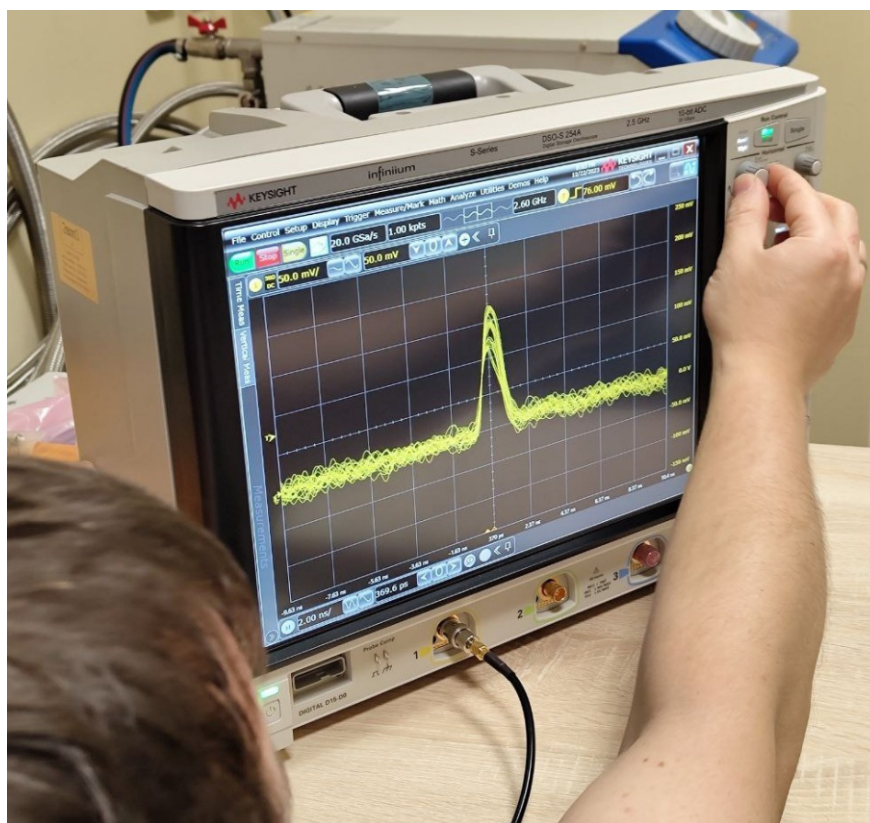


Рис. 1. Регистрация импульса от фотоноразрешающего детектора



# СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА УНИФИЦИРОВАННОГО СЕМЕЙСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ «АРКТИЧЕСКИЙ АВТОБУС» ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ И МОБИЛЬНЫХ ПУНКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР (ДО МИНУС 50 °С) ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗАННОСТИ ТЕРРИТОРИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Р.А. Закиров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание в Российской Федерации высокотехнологичного серийного производства конкурентоспособных транспортных средств для решения задач государственного значения, поставленных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

### ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

2 патента на полезные модели

2 патента на промышленный образец

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

2 статьи в журналах из перечня ВАК

3 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Новое транспортное средство – колесная машина высокой проходимости «Арктический автобус».
- Новое транспортное средство – колесная машина высокой проходимости «Арктический автопоезд с транспортируемым функциональным модулем».
- Производство транспортного средства «Арктический автобус» и тягача «Арктического автопоезда с транспортируемым функциональным модулем».

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Производство транспортного средства «Арктический автобус» и тягача «Арктического автопоезда с транспортируемым функциональным модулем»
- Арктический автопоезд с транспортируемым функциональным модулем

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Решение транспортных задач в районах со слабо развитой дорожной сетью в условиях низких температур в части безопасной и комфортабельной перевозки пассажиров по местности с грунтами со слабой несущей

способностью, снежной целине, дорогам общего пользования, а также обеспечение безопасного преодоления водных преград.

- Обеспечение перевозки функциональных комплексов для решения специальных задач в районах с разрушенной дорожной сетью, подвергшихся природным стихийным бедствиям или техногенным катастрофам, а также в районах со слабо развитой структурой медицинских (или аналогичных) учреждений (Арктика и Крайний Север РФ). Функциональные комплексы могут быть оборудованы, например, для оказания медицинских услуг (рентгеновских, УЗИ, стоматологических, офтальмологических и др.), услуг общественного питания или для учебных целей.
- Монтаж и обеспечение подвижности специального оборудования при выполнении производственных задач на местности с малой несущей способностью грунта.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ АО «Автомобильный завод «УРАЛ», г. Миасс.
- ☑ МГТУ им. Н.Э. Баумана

- ☑ Изготовлены опытные образцы транспортных средств «Арктический автобус», «Арктический автопоезд с транспортируемым функциональным модулем».
- ☑ Проведены предварительные и приемочные испытания транспортных средств, по результатам которых выполнены соответствующие корректировки конструкторской документации для дальнейшей постановки на производство инновационной арктической техники.



Рис. 1. Транспортное средство «Арктический автобус»



Рис. 2. Транспортное средство «Арктический автобус»



Рис. 3. Транспортное средство «Арктический автопоезд с транспортируемым функциональным модулем»



# СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН МАЛОГО КЛАССА ДЛЯ ВСЕСЕЗОННОГО СОДЕРЖАНИЯ И УБОРКИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Р.А. Закиров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание высокотехнологичного производства экологически чистых универсальных коммунальных машин малого класса (УКМЭ 1000, УКМЭ 1500) с применением электромеханической трансмиссии для всесезонного содержания и уборки городских территорий и возможностью использования различного навесного оборудования.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 патент на изобретение

1 научный доклад на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработать элементы электромеханической трансмиссии, обеспечивающие высокую экологичность коммунальных машин малого класса (0 % вредных выбросов), а также их достаточную энерговооруженность для выполнения задач по содержанию и уборке городских территорий.
- Разработать конструкцию и эффективную технологию изготовления шасси машин малого класса, обладающих высокой маневренностью, малозумностью и возможностью размещения всего комплекса функционального уборочного и дорожно-строительного навесного оборудования, обеспечивающего всесезонное содержание и уборку городских территорий.
- Разработать конструкцию навесного уборочного оборудования коммунальных машин малого класса с электромеханической трансмиссией для обеспечения всесезонного содержания и качественной уборки внутригородской дорожной сети, придомовых территорий и внутренних помещений промышленных объектов.
- Разработать конструкцию и технологию серийного производства экологически чистых универсальных коммунальных машин малого класса с электромеханической трансмиссией, характеризующиеся высокой степенью унификации, что позволит минимизировать производственные затраты и сократить время выхода на рынок готовой продукции.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Уникальные элементы электромеханической трансмиссии, обеспечивающие высокую экологичность, и новая конструкция и эффективная технология изготовления шасси. Также специальная конструкция навесного уборочного оборудования и технология серийного производства экологически чистых универсальных коммунальных машин малого класса с электромеханической трансмиссией.
- Высокотехнологичное производство экологически чистых универсальных коммунальных машин малого класса с применением электромеханической трансмиссии.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

УКМЭ 1000: выполнение дорожно-строительных работ на площадках с ограниченной территорией (участках автомобильных дорог, пешеходных улицах, парковых зонах, скверах, тротуарах, а также строительных и промышленных площадках). Уборка и очистка внутригородской дорожной сети.

УКМЭ 1500: очистка элементов дорожной обстановки, стесненных пространств автомобильных парковок и около малых сооружений архитектурных форм, уборка площадей в местах большого скопления людей и районах интенсивной застройки, внутренних территорий жилых комплексов, придомовых территорий, малых площадок и территорий внутри строительных объектов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Изготовлен опытный образец УКМЭ 1000.
- ☑ Разработан комплект рабочей конструкторской документации УКМЭ 1000 и УКМЭ 1500.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ АО «Кургандормаш»

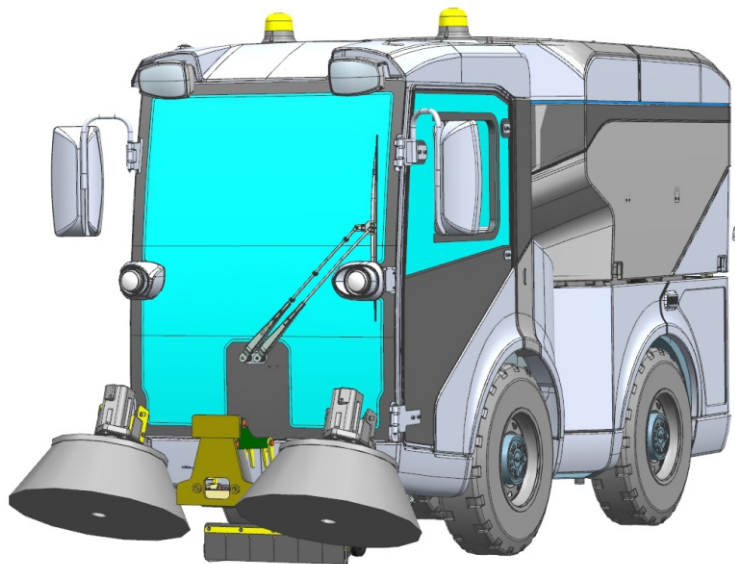


Рис. 1. УКМЭ с вакуумно-подметально-уборочным оборудованием

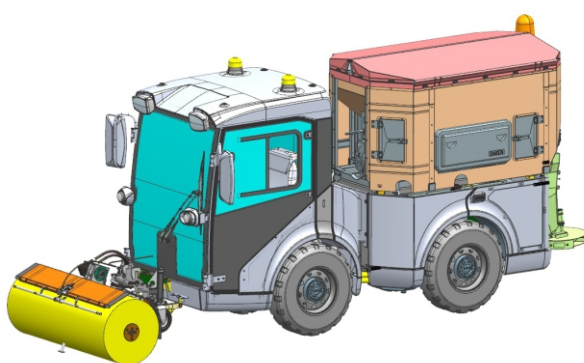


Рис. 2. УКМЭ с щёткой передней

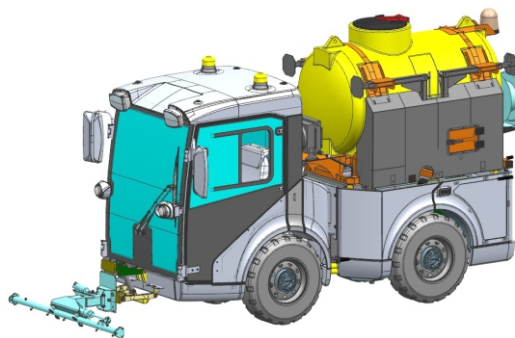


Рис. 3. УКМЭ с поливомоечным оборудованием



# РАЗРАБОТКА И ПОСТАНОВКА НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ШИРОКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ И НАДЕЖНОСТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор М.А. Григорьев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Развертывание высокотехнологичного производства многоуровневых преобразователей частоты (МПЧ) широкой номенклатуры и систем управления (СУ) комплектных МПЧ (КТП), входящих в систему мощных электроприводов технологических механизмов в ресурсодобывающих отраслях, металлургии, машиностроении, с целью повышения их энергоэффективности и надежных показателей.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 патент на полезную модель

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Опытно-конструкторские, научно-исследовательские работы по разработке компонентов (плат управления) многоуровневых преобразователей частоты (МПЧ).
- Опытно-конструкторские, научно-исследовательские и технологические работы по созданию уникального исследовательского оборудования, позволяющего проводить проектные и наладочные работы по синтезу новых алгоритмов управления многоуровневыми преобразователями частоты.
- Работы по инструментальному и конструкторско-технологическому оснащению высокотехнологического производства СУ и МПЧ КТП.
- Автоматизация и цифровизация всех этапов производственного процесса.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В результате реализации проекта будет создано высокотехнологичное производство комплектных транзисторных преобразователей на базе многоуровневых преобразователей частоты широкой номенклатуры с улучшенными энергетическими и надежностными показателями с полным конструкторско-технологическим оснащением, включающее:

- принципиальную импортозамещающую конструкцию электрического преобразователя широкой номенклатуры;
- цех с технологическим оборудованием для производства многоуровневых преобразователей широкой номенклатуры;
- высокотехнологичные испытательные стенды и исполнительные устройства;
- технологию производства многоуровневых преобразователей, включая системы управления;
- цифровизацию производственных процессов за счет новой системы финансового, производственного, налогового учетов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разрабатываемый комплект ТП предназначен для питания электродвигателей рабочих механизмов прокатных станов, насосных блоков и приводов лебедок, тяговых механизмов, автотранспортных средств. Комплект ТП используется в нефтегазовой, металлургической и др. отраслях для управления потоком электрической энергии с целью управления технологическим процессом.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

Изготовлены:

- ☑ силовой модуль выпрямителя МПЧ;
- ☑ силовой модуль многоуровневого (трехуровневого) автономного инвертора;
- ☑ силовой модуль блока фильтров;
- ☑ макет системы управления нижнего уровня управления и макета плат системы управления нижнего уровня;
- ☑ макет системы управления верхнего уровня;
- ☑ макет контейнера для размещения силового электрооборудования;
- ☑ макет шкафов преобразователя частоты; опытный образец комплекта ТП для предварительных испытаний;
- ☑ ПО комплекта ТП нижнего уровня управления;
- ☑ ПО комплекта ТП верхнего уровня управления;

- ☑ стенд для исследовательских испытаний макета плат СУ комплектом ТП нижнего уровня управления;
- ☑ стенд для предварительных испытаний опытного образца комплекта ТП.  
Разработана документация:
- ☑ РКД опытного образца комплекта ТП;
- ☑ технологический процесс производства преобразователей частоты;
- ☑ РКД стенда для исследовательских испытаний, предназначенный для проверки характеристик макета плат СУ комплектом ТП нижнего уровня управления;
- ☑ разработка РКД стенда для предварительных испытаний, предназначенный для проверки опытного образца комплекта ТП;
- ☑ разработка РКД специального уникального высокотехнологического лабораторного исследовательского стенда полупроводниковых преобразователей частоты.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ ООО НТЦ «Приводная техника», г. Челябинск

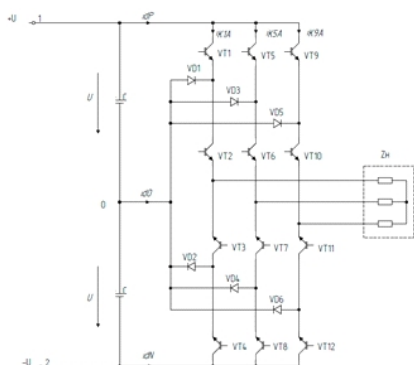


Рис. 1. Схема силовых цепей многоуровневого (трехуровневого) автономного инвертора напряжения

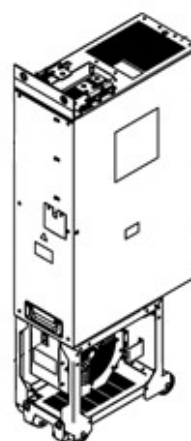


Рис. 2. Внешний вид многоуровневого (трехуровневого) автономного модуля инвертора

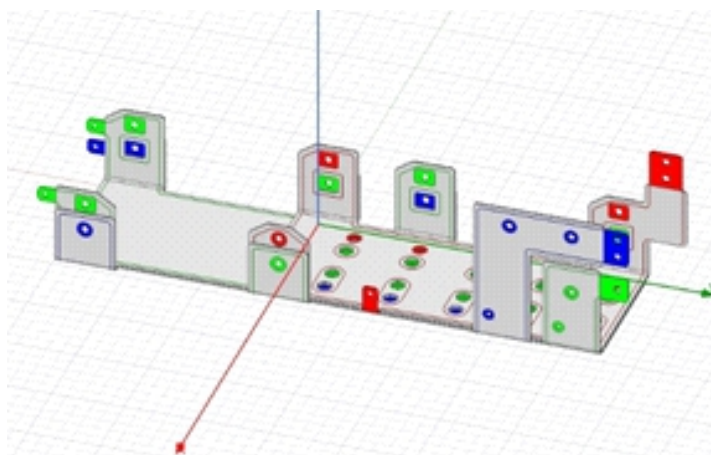


Рис. 3. Многослойная ламинированная шина звена постоянного тока



# СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

Руководитель проекта – доктор технических наук, доцент **Д.В. Ардашев**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Развертывание высокотехнологичного производства электрогидравлических усилителей мощности с электромеханическим преобразователем электродинамического типа (ЭГУМ), обладающих расширенным частотным диапазоном, для использования в качестве управляющего элемента в электрогидравлических следящих приводах, в частности для управления гидроцилиндрами с гидростатическими направляющими, применяемыми в гидросистемах испытательных стендов и других высокودинамичных гидросистемах.

## ПУБЛИКАЦИИ

**1** научная статья

**2** патента на полезную модель

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

**1** статья в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Опытно-конструкторские, научно-исследовательские работы по разработке конструкции ЭГУМ, включающие в себя разработку:

- конструкции высокоточной золотниковой пары (ВЗП);
- конструкции электромеханического преобразователя (ЭМП);
- конструкции и аппаратно-программного оснащения электронного блока управления (ЭБУ);
- конструкции специального стенда гидравлической проливки для испытаний ВЗП;
- конструкции специального стенда для испытаний ЭМП;
- конструкции специального стенда для испытаний ЭГУМ.

Работы по конструкторско-технологическому и режимно-инструментальному оснащению развертываемого высокотехнологичного производства ЭГУМ, включающие в себя:

- проектирование и реализацию технологии микрообработки при изготовлении ВЗП;
- проектирование и реализацию специальной технологии изготовления ЭМП;
- проектирование и реализацию специальной технологии изготовления ЭБУ;
- проектирование и реализацию технологии изготовления комплектов ЭГУМ;
- проектирование и реализацию технологии сборки ЭГУМ.

Проектные, строительные работы по возведению полноценного машиностроительного цеха для развертывания производства ЭГУМ. Работы по организации специальных производственных участков, в совокупности представляющих собой высокотехнологичное производство ЭГУМ.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Высокотехнологичное производство ЭГУМ с полным конструкторско-технологическим и режимно-инструментальным оснащением, включающее:

- конструкторскую разработку ЭГУМ с расширенным частотным диапазоном – 100...300 Гц;
- конструкторскую разработку составляющих ЭГУМ – ВЗП, ЭМП, ЭБУ;
- технологии изготовления ЭГУМ и его комплектующих – ВЗП, ЭМП, ЭБУ, ЭГУМ;
- конструкторскую разработку и последующее изготовление специального стенда для гидравлической проливки ВЗП, с целью определения относительных размеров золотника и гильзы (возможен патент на изобретение);
- конструкторскую проработку и последующее изготовление специального стенда для испытаний ЭМП различных конструкций и характеристик, с целью определения оптимальной конструкции (возможен патент на изобретение);
- конструкторскую проработку и последующее изготовление специального стенда для испытаний ЭГУМ (возможен патент на изобретение).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Потенциальными потребителями ЭГУМ в составе стендового оборудования являются:

- предприятия-разработчики и производители авиационной и космической техники и комплектующих;
- предприятия судостроения;
- предприятия-разработчики и производители сельскохозяйственной техники;
- предприятия-производители специальных машин и оборудования, в том числе для нужд МО РФ;
- предприятия-производители широкого спектра тяжелых машин, работающих в условиях высокой нагруженности;
- предприятия нефтегазовой отрасли, осуществляющие эксплуатацию трубопроводных систем;
- предприятия-производители трубной продукции.

Потенциальными потребителями продукции отдельно являются производители стендового оборудования для проведения эксплуатационных, ресурсных и других испытаний продукции перечисленных выше отраслей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Разработаны комплектности технической документации.
- ☑ Проведены патентные исследования по ЭГУМ.
- ☑ Разработано техническое предложение на ЭГУМ: пояснительная записка; схема деления ЭГУМ; чертеж общего вида; ведомость технического предложения.
- ☑ Разработаны частные технические задания (ЧТЗ) на ВЗП и ЭМП.

- ☑ Разработана эскизная конструкторская документация на макет ЭМП.
- ☑ Разработано частное техническое задание на стенд для исследовательских испытаний макета ЭМП.
- ☑ Разработана рабочая конструкторская документация на стенд для исследовательских испытаний макета ЭМП.
- ☑ Проведена метрологическая экспертиза РКД на стенд для проведения исследовательских испытаний макета ЭМП в соответствии с требованиями РМГ 63-2003.
- ☑ Проведена предварительная проработка технологии производства комплектующих ЭМП и технологии сборки ЭМП.
- ☑ Выполнено моделирование потоков рабочей жидкости в проточной части ЭГУМ для определения его расходных характеристик при различных конфигурациях ВЗП.
- ☑ Разработана эскизная конструкторская документация на ВЗП.
- ☑ Определены требования к ЭБУ в части обмена данными.
- ☑ Проведено моделирование силовой части электроники ЭБУ, а также алгоритмов управления ЭБУ.
- ☑ Разработана рабочая конструкторская документация на стенд гидравлической проливки для исследовательских испытаний макетов ВЗП.
- ☑ Разработаны программы и методики проведения исследовательских испытаний макетов ЭМП двух исполнений: с возбуждением от постоянных магнитов и с электромагнитным возбуждением.
- ☑ Разработана технология производства комплектующих ВЗП и технология ее сборки.
- ☑ Проведены исследовательские испытания макетов ЭМП двух исполнений.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ ООО «Уральский инжиниринговый центр», г. Челябинск

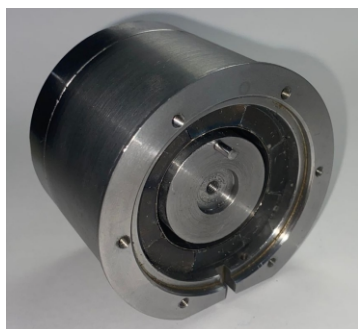


Рис. 1. Макет электромеханического преобразователя (ЭМП), исполнение с постоянными магнитами

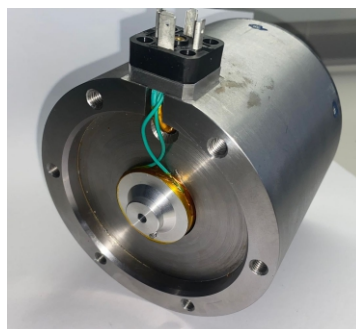


Рис. 2. Макет электромеханического преобразователя (ЭМП), исполнение с обмоткой возбуждения

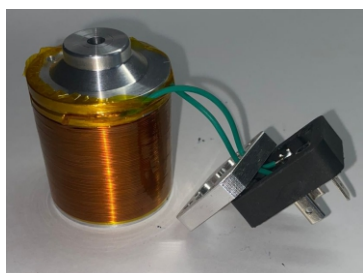


Рис. 3. Якорь подвижный, входящий в состав ЭМП

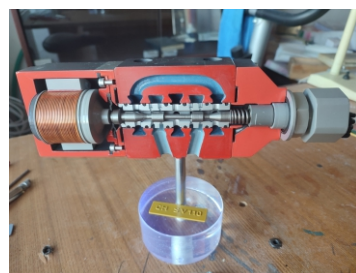


Рис. 4. Макет электрогидравлического усилителя мощности (ЭГУМ)



# ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ДЕМОНСТРАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЙ ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ МНОГОРАЗОВОЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор А.Л. Шестаков

## ЦЕЛИ РАБОТЫ

Образовательная цель проекта – подготовка специалистов и научных сотрудников к реализации проекта по созданию полностью многоразовой, одноступенчатой ракеты-носителя.

Технологическая цель проекта – формирование научно-технического задела, а также ряда конструкторско-технологических подходов и решений для реализации проекта создания полностью многоразовой, одноступенчатой ракеты-носителя.

## ПУБЛИКАЦИИ

14 научных статей

1 патент

3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

12 докладов на конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

11 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ПП РФ от 30 декабря 2020 № 2369 «О государственном плане подготовки кадров со средним профессиональным и высшим образованием для организаций оборонно-промышленного комплекса на 2021–2030 годы».
- Программа деятельности научно-образовательного центра мирового уровня Уральский межрегиональный научно-образовательный центр «Передовые производственные технологии и материалы». АО «ГРЦ Макеева» принимает участие в проекте УМНОЦ с 2020 года с функциями таргетирования исследований и экспертной оценки результатов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Отработаны риски при изготовлении итогового изделия одноступенчатой ракеты-носителя.
- Снижена стоимости вывоза на орбиту килограмма полезной нагрузки.
- Кратное увеличение количества пусков на орбиту в течение одного года.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Предлагаемые решения обеспечат возможность изготовления двигательной установки для одноступенчатой многоразовой полностью возвращаемой ракеты-носителя.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Расчетно-теоретические исследования, эскизное проектирование и изготовление демонстраторов двигательной установки:

- ☑ Разработана трехмерная математическая модель внутрикамерных процессов ракетных двигателей малой тяги (РДМТ); по результатам экспериментальных замеров значений тяги демонстратора РДМТ выполнена валидация модели.
- ☑ Изготовлены и испытаны демонстраторы охлаждаемых камер сгорания на компонентах топлива «газообразные кислород и водород» по аддитивным технологиям при соотношении компонентов топлива до 6 при непрерывной работе свыше 30 с.
- ☑ Изготовлен демонстратор аддитивной двигательной установки с профилированным охлаждаемым центральным телом и возможностью измерения параметров газового потока на его поверхности по результатам компьютерного моделирования.
- ☑ Изготовлен демонстратор двигательной установки с центральным телом с регулируемой тягой на компонентах топлива «этиловый спирт и газообразный кислород».

- ☑ Выполнено моделирование электронасосной системы подачи компонентов топлива, включая криогенные.  
Расчетно-теоретические исследования, эскизное проектирование и изготовление демонстратора системы управления:
- ☑ Сформированы алгоритмы и создано программное обеспечение для демонстратора системы управления многодвигательной установкой.
- ☑ Разработана интегрированная система инерциальной навигации с коррекцией от системы технического зрения, лазерного дальномера, радионавигационной системы и спутниковой навигационной системы.  
Расчетно-теоретические исследования композитных элементов конструкции:
- ☑ Проведены исследования многослойных структур из композиционных полимерных материалов с армированием углеродными, органическими и стеклянными структурами.
- ☑ Выполнено трехмерное моделирование силовой и тепловой анализ многослойных композитных стенок баковых отсеков для криогенных компонентов топлива.

- Технико-экономическое обоснование:
- ☑ Разработаны элементы модели оценки экономической эффективности проекта по разработке, изготовлению и эксплуатации ракеты-носителя.
  - ☑ Определены направления трансфера технологий, разрабатываемых в проекте.  
28 марта 2023 года в ГРЦ им. Макеева прошло совещание по научно-исследовательской работе по подтверждению ключевых технологий проекта многоразовой ракеты-носителя.  
В ходе реализации проекта по созданию демонстратора двигательной установки в ЮУрГУ проектную подготовку в Молодежном КБ «Астероид» прошли 97 студентов и 7 аспирантов.  
Таким образом формируется кадровый резерв для реализации проекта ГРЦ по созданию многоразовой ракеты-носителя.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ АО «ГРЦ имени Макеева».
- ☑ АО «НИИМаш».
- ☑ УМНОЦ.
- ☑ Правительство Челябинской области.



Рис. 1. Первый в РФ и мире функционирующий 16-камерный демонстратор двигательной установки с охлаждаемым центральным телом, работающий на топливной паре кислород-водород (аналогом является только проект США XRS-2200, прекративший свое развитие) успешно прошел многократные испытания на площадке индустриального партнера АО «НИИМаш», показал расчётную тягу и длительную работу



Рис. 2. Первый в РФ полноразмерный стенд для демонстрации сложного управляемого движения ДУ с ЦТ в пространстве.  
Продемонстрировано движение демонстратора двигательной установки в пространстве



# РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ, НАСТРОЙКИ И ДИАГНОСТИКИ СЛЕДЯЩЕГО ГИДРОПРИВОДА С ГИДРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ, В РАМКАХ ПРОЕКТА «РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СЛЕДЯЩИХ ГИДРОПРИВОДОВ С ГИДРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ (СГ С ГСН)»

Руководитель проекта – доктор технических наук, доцент **Д.В. Ардашев**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обеспечение импортозамещения программного обеспечения (далее – ПО) для управления высокодинамичными гидромеханическими устройствами (далее – ВГУ), в частности следящими гидроприводами с гидростатическими направляющими (далее – СГ с ГСН).

### ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

3 научных доклада на конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

1 статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Научно-исследовательские работы в области создания архитектуры и алгоритма специализированного программного обеспечения, обладающего:
  - высокой степенью гибкости – возможностью индивидуальной настройки под эксплуатацию конкретного ВГУ;
  - континуальностью – возможностью отслеживать текущее состояние ВГУ в любой момент времени его эксплуатации;
  - рекурсивностью – возможностью учета текущего состояния ВГУ для принятия последующего решения;
  - SAAS-сервисом – возможностью предоставления ПО во временное использование при помощи облачных технологий.
- Научно-исследовательские работы в области создания информационного, лингвистического и интерфейсного обеспечения ПО.
- Научно-исследовательские работы в области написания текста программы ПО.

в виде компакт диска с дистрибутивом для использования на персональном компьютере либо посредством облачных технологий.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Планируется далее дополнять программно-аппаратный комплекс новыми модулями для работы с компонентами сторонних производителей ВГУ для их настройки, сервисного обслуживания и замены в рамках стратегии импортозамещения на рынке гидравлического оборудования. В рамках же комплексного проекта по освоению выпуска гидравлических компонентов планируется организовать на территории Челябинской области полноценное импортозамещающее производство гидравлических компонентов для предприятий металлургии и машиностроения, превратив тем самым Челябинск в центр высокоточного уникального гидроаппаратостроения.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Программно-аппаратный комплекс для управления, настройки и диагностики следящего гидропривода с гидростатическими направляющими

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Разработана структурная схема автоматизации ВГУ.
- ☑ Созданы принципиальные интерфейсные решения программно-аппаратного комплекса.
- ☑ Разработана общая архитектура, установлены требования к входным и выходным данным, создается макет программного комплекса.

# ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ ООО «Уральский инжиниринговый центр», г. Челябинск.

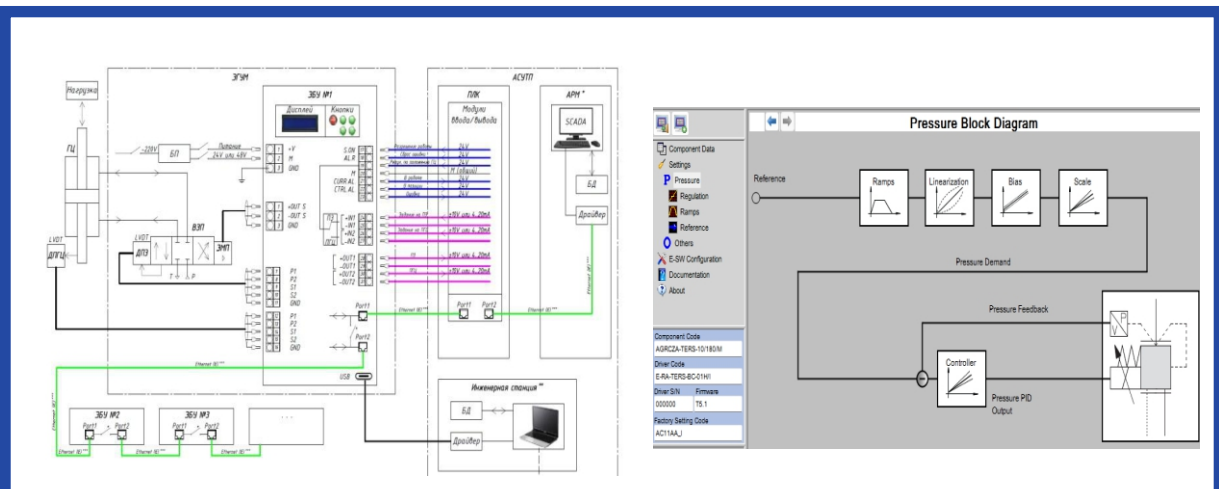


Рис. 1. Схема структурной автоматизации ВГУ

Рис. 2. Пример элемента интерфейса программно-аппаратного комплекса

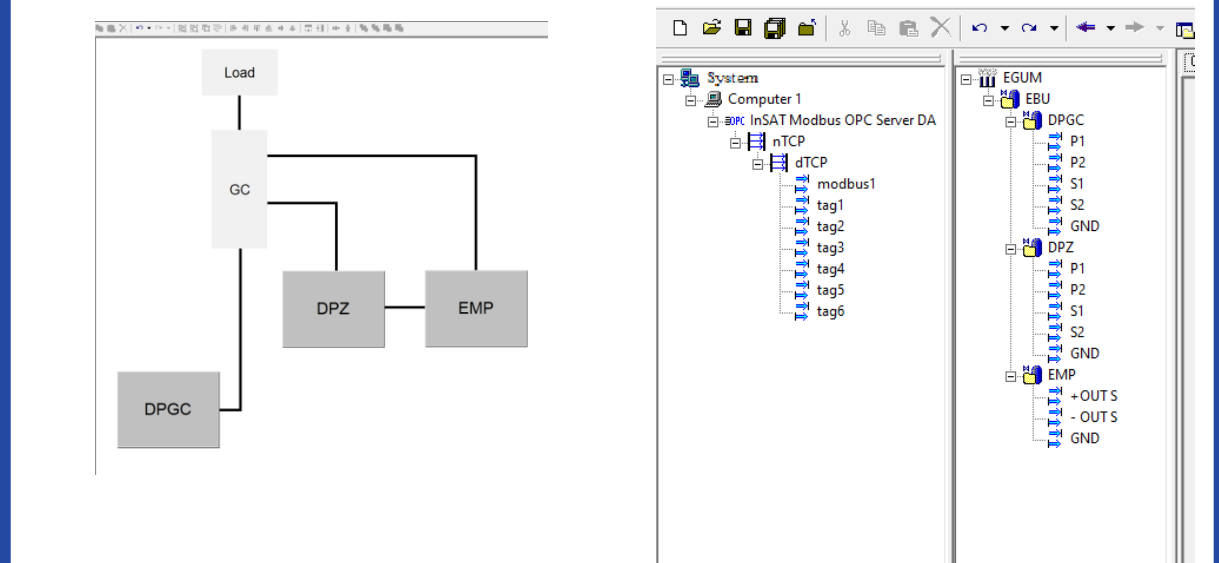


Рис. 3. Основное окно объекта в макете программного-аппаратного комплекса в SCADA системе

Рис. 4. Дерево системы и дерево объектов в макете программного-аппаратного комплекса в SCADA системе

# РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАЗДАТОЧНЫХ КОРОБОК ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДЛЯ ПОЛНОПРИВОДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И КОЛЁСНОЙ ТЕХНИКИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ ПО ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЮ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Р.А. Закиров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обеспечение потребности существующих и перспективных автомобилей УРАЛ в раздаточных коробках (РК) с компонентной базой отечественного производства.

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Проведение компоновочных работ, расчетов и разработка конструкторской документации (КД) для линейки РК автомобилей УРАЛ.
- Сопровождение и проведение необходимых корректировок КД на этапах изготовления и испытания опытных образцов (прототипов 1,2,3), в том числе в составе конечного продукта (автомобилей УРАЛ).
- Сопровождение и проведение необходимых корректировок КД на этапе проведения опытных партий и внедрения РК в производство.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Разработка и постановка на производство раздаточных коробок нового технического уровня

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Применение раздаточных коробок, собранных на отечественной элементной базе в существующих и разрабатываемых автомобилях УРАЛ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ- СКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Разработана комплектность технической документации.
- ☑ Проведены патентные исследования и обзор рынка раздаточных коробок полноприводных грузовых автомобилей ведущих производителей. Проведены исследования раздаточных коробок иностранного производства. Разработан технический проект семейства раздаточных коробок типа 1200, 1800, 2500.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ АО «АЗ «УРАЛ».



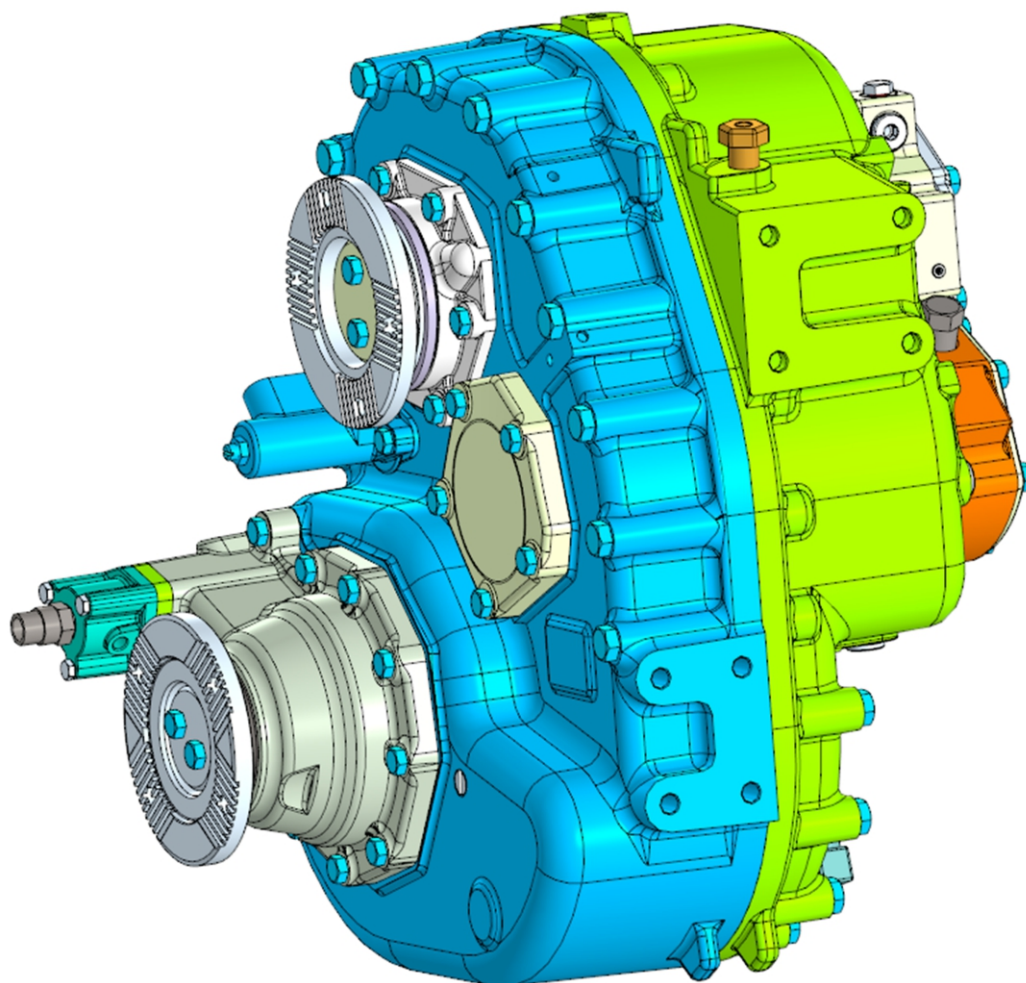


Рис. 1. 3D-модель раздаточной коробки

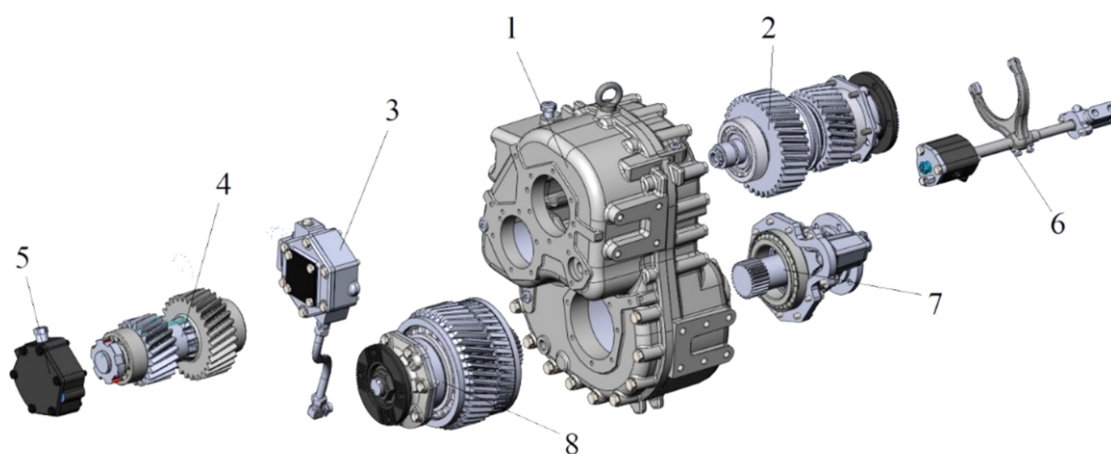


Рис. 2. Взрыв-схема раздаточной коробки

# РАЗРАБОТКА СЕРИИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА) ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА НА БАЗЕ СИНХРОННЫХ РЕАКТИВНЫХ И АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор М.А. Григорьев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Развертывание высокотехнологичного производства низковольтных электрических двигателей большой мощности широкой номенклатуры входящих в систему мощных электроприводов технологических механизмов в ресурсодобывающих отраслях, металлургии, машиностроении, с целью повышения их энергоэффективности и надежностных показателей.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- НИОКТР по разработке конструкции низковольтных электрических двигателей большой мощности (ЭД) широкой номенклатуры.
- Работы по инструментальному и конструкторско-технологическому дооснащению высокотехнологического производства ЭД.
- Строительство цеха с организацией нового технологического производства.
- Запуск производства.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Строительство цеха и создание новых рабочих мест.
- Асинхронные и синхронные электрические машины с улучшенными энергетическими показателями.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разрабатываемая серия импортозамещенных электрических машин предназначена для применения в электроприводах объектов нефтегазового комплекса

(главные приводы буровой установки) и прокатные станы в металлургии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- Проведены научно-исследовательские работы.
- Разработан комплект РКД на асинхронные двигатели.
- Разработан эскизный проект СРДНВ.
- Разработан комплект РКД на синхронные реактивные двигатели.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ООО «Снежинский ЗСЭМ», г. Снежинск

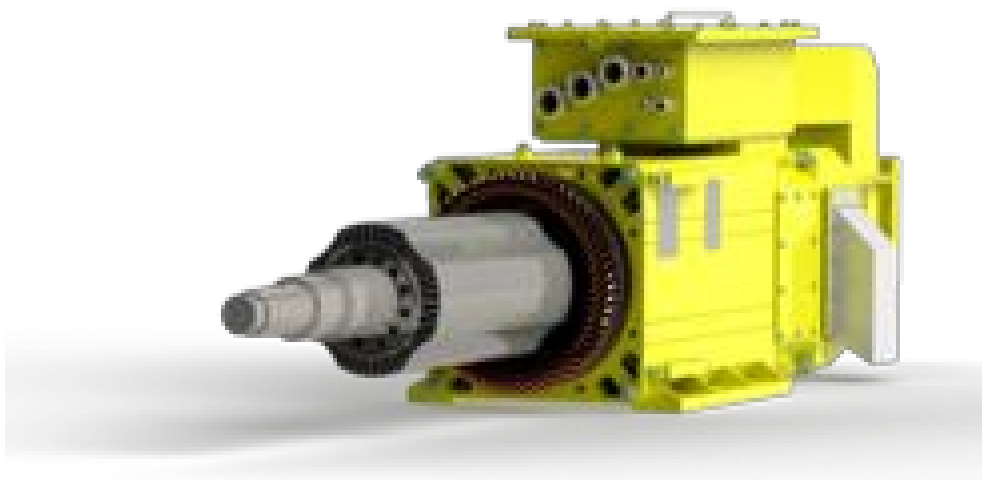


Рис. 1. Модель СРДНВ



Рис. 2. Макет ротора СРДНВ



# ГИБКОЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО КОМПОНЕНТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРАНЫ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Р.А. Пешков

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание высокотехнологичного производства для решения стратегических задач государственной важности, ориентированного на выпуск конкурентоспособной импортозамещающей промышленной продукции – ключевых устройств системы откатки пород при щитовой проходке тоннелей.

### ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

2 патента

2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

2 научных доклада на международных конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Модернизировать существующее производство за счет внедрения технологии сквозного проектирования от 3D-модели до готовой детали.
- Сократить срок постановки на производство продукции по индивидуальному заказу за счет внедрения средств автоматизированного проектирования и внедрения новых технологий производства.
- Организовать обслуживание продукции улучшенными методами для продления жизненного цикла изделия.
- Снизить себестоимость продукции, добиться энерго- и ресурсосбережения за счет внедрения эффективных процессов и технологического оборудования, увеличить производительность труда.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Организация серийного производства породных вагонов пневматической тормозной системой и автоматической сцепкой для перевозки горной породы и отходов на добывающих предприятиях и в проходческих комплексах.
- Решение приоритетных задач в области обеспечения

технологической независимости отраслей экономики и импортозамещения.

- Снижение экономических затрат для компаний-подрядчиков, осуществляющих строительные работы в тоннелях и шахтах, в связи с более низкой ценой российского производства в сравнении с иностранным.
- Решение проблемы отсутствия на российском рынке породных вагонов с необходимыми при прокладке техническими характеристиками (съемный корпус, пневматическая тормозная система, автоматическая сцепка Виллисона).
- Организованное обслуживание производимой продукции улучшенными методами.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В настоящее время в условиях активной направленности на политику импортозамещения Российская Федерация старается существенно сократить долю импорта по многим позициям, но в ряде секторов отечественной экономики зависимость от импорта все еще остается критической. Таковой является и отрасль машиностроения для прокладки метрополитена и автомобильных тоннелей.

Значимость разрабатываемой продукции и технологии для решения приоритетных задач в области

обеспечения технологической независимости отраслей экономики и импортозамещения подтверждается соответствием планируемой к выпуску продукции плану мероприятий по импортозамещению в отрасли железнодорожного машиностроения Российской Федерации (утвержден приказом Минпромторга России от 6 июля 2021 г. № 2469).

Согласно плану (табл.1), промышленность РФ должна обеспечить долю импортозамещения до 50 % по комплектующим железнодорожных грузовых вагонов, не имеющих самостоятельных группировок.

В сегментации сфер применения можно выделить основной – строительство тоннелей щитовым способом. Потенциальными потребителями являются компании-подрядчики, выполняющие государственные контракты по строительству тоннелей и метро в различных городах России.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- Разработаны практические рекомендации по выбору массовых и геометрических параметров отдельных элементов породного вагона (кузова,

рамы) на основе численного моделирования напряженно-деформированного состояния при различных расчётных случаях нагружения.

- Разработана методика по расчету потери производительности выработки в смену и необходимого количества породных вагонов в составе с учетом налипания породы на дно кузова.
- Разработана методика по определению тормозных усилий в зависимости от загрузки породного вагона.
- Предложены новые конструктивные решения по совершенствованию конструкции породного вагона, в частности, конструкция опрокидывающегося съемного кузова и тормозной системы с односторонним нажатием на колесо.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ООО «ТЭК-Спецмаш».
- Министерство образования и науки Челябинской области.

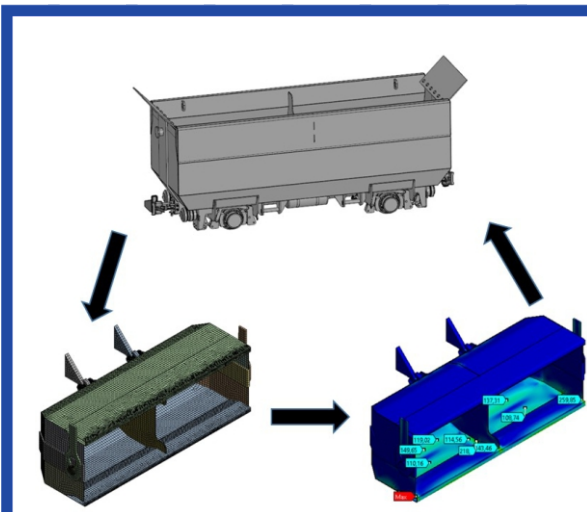


Рис. 2. Анализ напряженно деформированного состояния кузова породного



Рис. 1. Интерфейсы программ

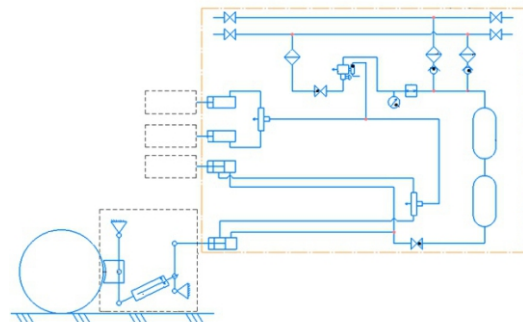


Рис. 3. Схема тормозной системы туннельного породного вагона

Шифр	Наименование продукции	Код продукции в ст. 2, согласно ОК 034-2014 (КПЕС 2008) - ОКПД-2
Д20ЖД03	Вагоны железнодорожные или трамвайные грузовые и вагоны-платформы, несамоходные	30.20.33
Д20ЖД03.1	Комплектующие (запасные части) железнодорожных грузовых вагонов, не имеющие самостоятельных группировок (Узел сочленения)	30.20.40.143

Таблица 1. Соответствие разрабатываемого продукта плану мероприятий по импортозамещению в отрасли железнодорожного машиностроения Российской Федерации

# ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В МАЛОГАБАРИТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ПРОИЗВОДСТВА ООО «ЧЗЭО»

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент М.А. Дзюба

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание универсальной облачной системы диспетчеризации «4Z-диспетчер», позволяющей легко и быстро интегрировать на существующие и строящиеся объекты энергетики, настроить и сконфигурировать систему диспетчеризации и дистанционного управления технологическим процессом на базе силового оборудования ООО «ЧЗЭО» со встроенными функциями автоматизации.

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- Создать систему диспетчеризации, отличающуюся высоким уровнем сервисного обслуживания для потребителей при минимальных затратах.
- Обеспечить проектные требования по скорости, объему и защищенности информации при передаче данных через облачный сервер.
- Разработать аналитическую систему на основе технологии цифровых двойников, прогнозирующую состояние контактных соединений в высоковольтных ячейках.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Внедрение облачной системы диспетчеризации «4Z-диспетчер» в состав основной продукции ООО «Челябинский завод электрооборудования». 4Z-диспетчер – система, которая при минимальных затратах потребителя позволит обеспечить легкое и надежное управление (в том числе дистанционное) собственными энергообъектами. Подсистема диагностики сохранит собственнику такого оборудования ресурсы на эксплуатацию, так как заранее предупредит о необходимости вмешательства и укажет на проблемные места.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Коммерциализация разработанной облачной системы диспетчеризации «4Z-диспетчер» запланирована на начало 2025 года в продукции ООО «Челябинский завод электрооборудования».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Разработан собственный протокол передачи данных на основе распределенного реестра. Это позволило обеспечить дополнительную защиту передаваемой информации. Протокол позволяет работать в распределенных вычислительных сетях, что способствует сохранению и резервированию данных системы диспетчеризации, повышению надежности функционирования при различных нарушениях и сбоях в работе оборудования. Создана серверная часть программного обеспечения облачной системы «4Z-диспетчер».

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ИП Камынин А.И.
- ООО «Челябинский завод электрооборудования».





Рис. 1. Внешний вид оборудования и пультов управления



Рис. 2. Внешний вид высоковольтной ячейки с местным пультом управления

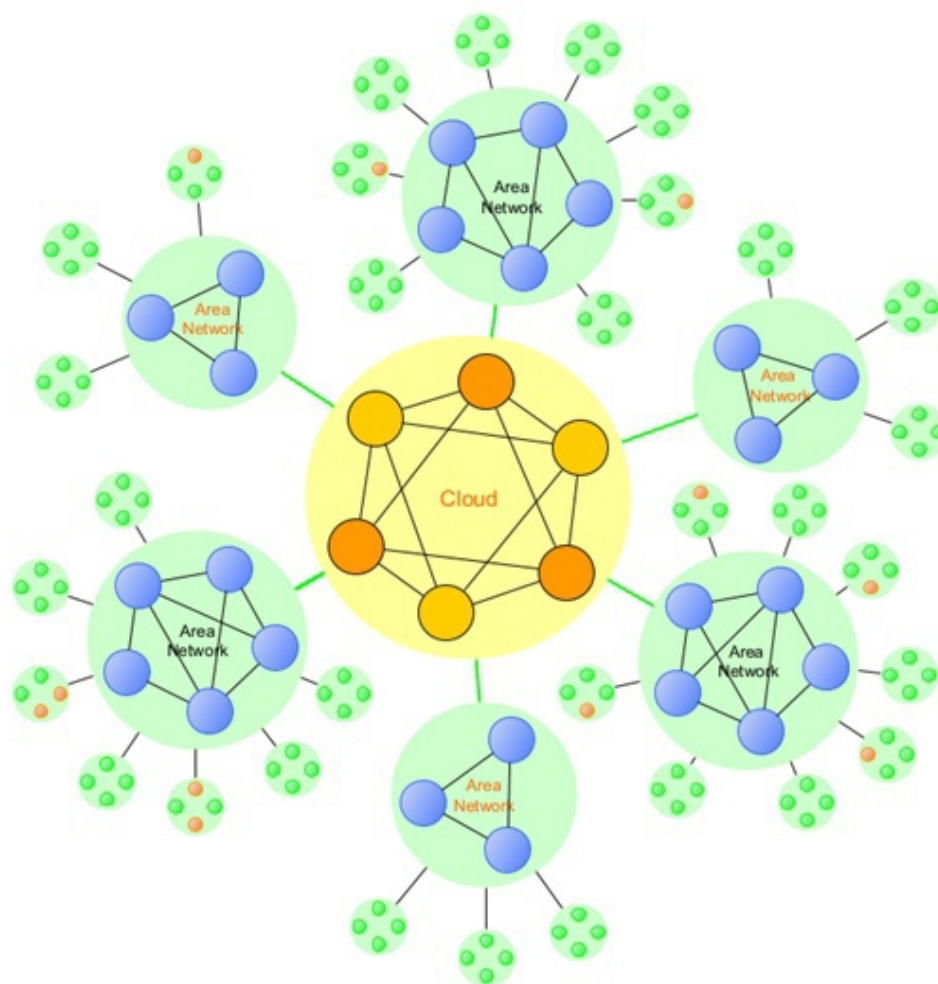


Рис. 3. Распределенная архитектура вычислительной сети

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЦИФРОВОЙ ИНДУСТРИИ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор А.Л. Шестаков

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать и исследовать аналитические, численные, статистические модели и методы обработки данных с опорой на разработанные модели для автоматического контроля достоверности и коррекции результатов средств измерений разнородных физических величин.

## ПУБЛИКАЦИИ

12 научных статей

2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

8 научных докладов на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus/WoS

5 статей в журнале из перечня ВАК/RSCI

4 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка и исследование математических моделей средств измерений в условиях зашумленных и неполных исходных данных.
- Разработка и исследование моделей и алгоритмов коррекции динамической погрешности (неопределенности) средств измерений.
- Разработка и исследование математических моделей взаимной связи механических параметров средств измерений и параметров измеряемой двухфазной среды «жидкость–газ».
- Разработка и исследование имитационных моделей дрейфа функций преобразования средств измерений на основе экспериментальных данных.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Новый класс математических моделей зависимости температуры от результатов первичных измерений и адаптивные модели средств измерения.
- Новые методы идентификации параметров моделей для оценки достоверности измерений.
- Новые модели и алгоритмы оценивания и коррекции динамической погрешности

(неопределенности) средств измерения.

- Новые модели и методы решения связанной упругогибродинамической задачи об измерительных трубопроводах в условиях течения неоднородной среды «жидкость–газ».
- Новый подход к построению имитационных моделей дрейфа функций преобразования средств измерения.
- Новый метод на основе фильтрации и моделей глубокого обучения для аугментации значений и удаления шумов в данных средств измерений.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Разработанные модели, методы и алгоритмы создают основу для эффективной обработки информации в контрольно-измерительных системах в условиях неполных, зашумленных и динамически изменяющихся данных и могут быть применены для широкого круга прикладных задач, например, при формировании и оптимизации регламента технологических процессов.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Разработана математическая модель нелинейного осевого гибкого динамического движения микробалки МЭМС-структуры с электростатическим приводом, учитывающая постепенную деградацию жесткости микробалки с течением времени, вызванную циклическими нагрузками.
- ☑ Разработан метод обработки зашумленных динамических измерений, основанный на использовании аддитивных стабилизирующих функционалов, обеспечивающих устойчивость алгоритмов относительно погрешности исходных данных при фиксированном интервале измерений по времени.
- ☑ Предложена новая структура динамической модели измерительной системы на основе принципа

адаптивного линейного усиления сигналов, которая позволяет корректировать динамическую погрешность без дополнительной информации об измеряемых процессах.

- ☑ Разработан метод коррекции погрешности измерений кориолисового расходомера на основе ансамблей деревьев решений. Построены модели регрессии, корректирующие ошибку измерения массового расхода и плотности.
- ☑ Разработана методика валидации имитационной модели термоэлектрического преобразователя и алгоритма генерирования синтетических данных, основанная на использовании диаграмм размаха, расстояния Вассерштайна и непараметрического двухвыборочного критерия однородности Лемана–Розенблатта.
- ☑ Разработан алгоритм адаптивной фильтрации, основанный на медианном фильтре с автоматически подбираемым порогом, для удаления шумов в данных средств измерений.
- ☑ Разработан новый метод декомпозиционной аугментации многомерных временных данных.

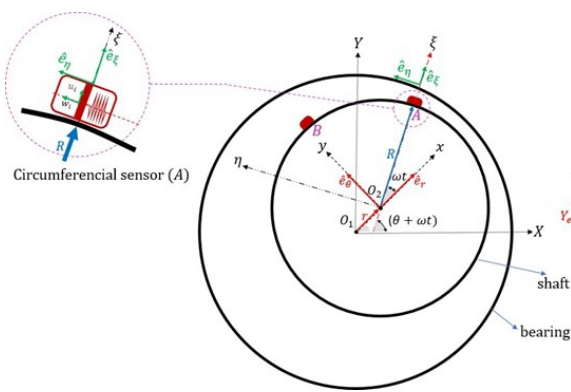


Рис. 1. Схематическое изображение системы двух МЭМС-акселерометров, размещенных на вращающемся валу

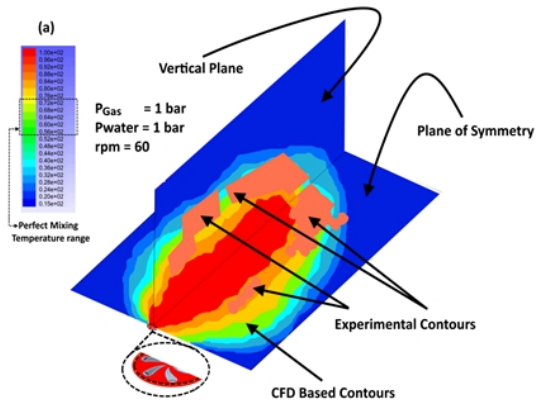


Рис. 2. Область идеального смешивания между контурами газовой фазы и воды при различных условиях

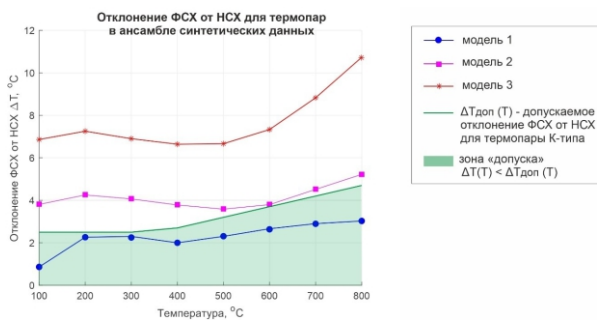


Рис. 3. Варианты отклонений ФСХ от НСХ термопар в синтетических данных

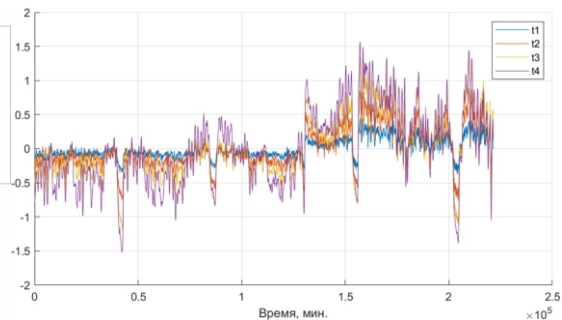


Рис. 4. Реализации синтетического нормированного многомерного набора данных предложенным методом



# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ТЕЛОМ ДЛЯ МНОГОРАЗОВЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Ю.Е. Капелюшин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение новых знаний о физико-химических и газодинамических процессах для создания кислородно-водородных двигательных установок с центральным телом многоразовых ракетных систем при экстремальных температурах и давлениях, в условиях окислительной и восстановительной среды.

## ПУБЛИКАЦИИ

7 научных статей

1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

3 научных доклада на российских и международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

4 статьи в РИНЦ

2 статьи в Ядро РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Теоретические и экспериментальные исследования тепловых и газодинамических процессов в жидкостных ракетных двигателях с центральным телом на криогенных компонентах топлива кислород-водород. Математическое моделирование рабочих процессов. Проведение экспериментов на модельных двигательных установках с центральным телом.
- Численное мультифизическое моделирование взаимодействия криогенных компонентов топлива (водород-кислород) в жидком и газообразном состоянии с многослойными композитными (неметаллическими и металлическими) элементами конструкции двигательной установки многоразовой ракеты-носителя для решения сопряженных задач, связанных с разрушением жертвенного слоя в условиях аэродинамического нагрева теплозащитного покрытия многоразовой ракеты-носителя, влияние этих параметров на её аэродинамические характеристики, а также на динамику полета.
- Изучение химического и фазового состава материалов на различных этапах рабочих процессов (применение микрорентгеноспектрального анализа с помощью электронного микроскопа JSM-6460LV, оборудованного волновым и энергодисперсионным анализаторами, рентгено-

фазового анализа на дифрактометре RIGAKU и других методов анализа).

- Экспериментальные исследования по взаимодействию окислительных и восстановительных газовых смесей (кислорода или водорода) с ионами химических элементов, составляющими основу металлических и композитных материалов, в целях изучения процессов, протекающих на границе раздела фаз при различных температурах для установления природы поверхностных явлений и протекающих процессов.
- Исследование напряжённно-деформированного состояния и механики разрушения многослойных композитных (неметаллических, металлических и интерметаллидных) несущих конструкций криогенных кислород-водородных двигательных установок с центральным телом при ультрамалоцикловом нагружении.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Определение необходимых характеристик и материалов для использования в разработке двигательной установки для многоразовой ракеты-носителя

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Использование результатов деятельности лаборатории в разработке двигательных установок многоразовых ракет-носителей

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Полученные результаты указывают на возможность обеспечения запуска двигательной установки в условиях спуска ракеты кормой вниз, несмотря на наличие областей повышенного давления вблизи критических сечений камер многокамерной двигательной установки.
- ☑ Определены влияния различных типов асимметрий форм наружной поверхности летательного аппарата в виде объекта с комбинированной геометрией на его аэродинамические коэффициенты.
- ☑ Исследование аэродинамических характеристик объекта при движении хвостовым отсеком вперед

на спуске в атмосфере показало 2-кратное увеличение коэффициента лобового сопротивления в сравнении со стандартным режимом движения.

- ☑ По результатам выполненной работы создана математическая модель, которая служит основой для методики по определению влияния наличия остатков компонентов топлива на размер района падения отделяющихся частей.
- ☑ Разработана установка и методика измерения дефектов поверхности материалов при криогенных температурах до  $-180$  градусов Цельсия.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ АО «НИИМаш» (ГК Роскосмос, г. Нижняя Салда)
- ☑ ГРЦ имени Макеева

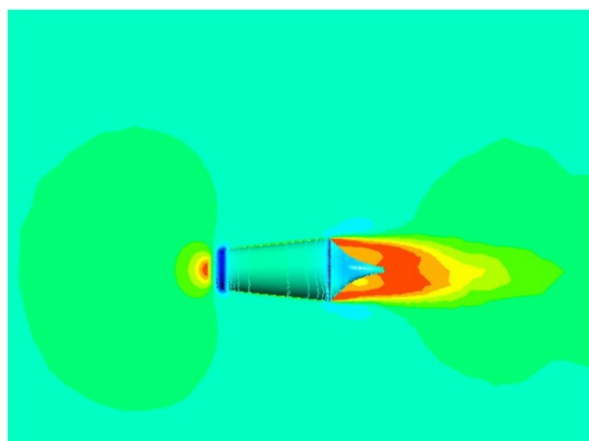


Рис. 1. Распределение температуры набегающего потока

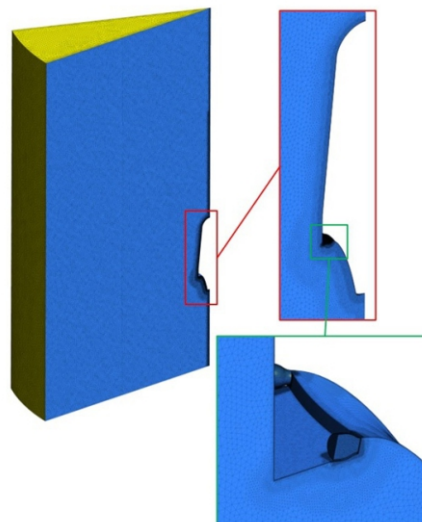


Рис. 2. Сеточная модель для моделирования процессов внешнего обтекания ракеты-носителя

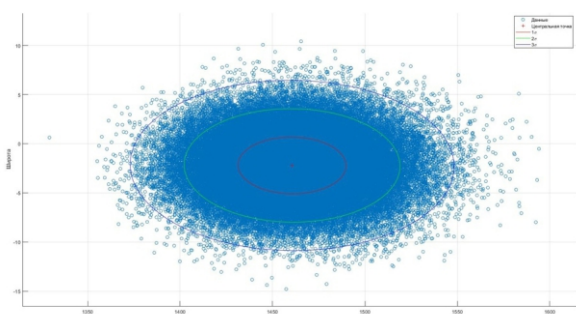


Рис. 3. Район падения отделяющихся частей ракеты-носителя, полученный  $10^5$  итерациями методом Монте-Карло

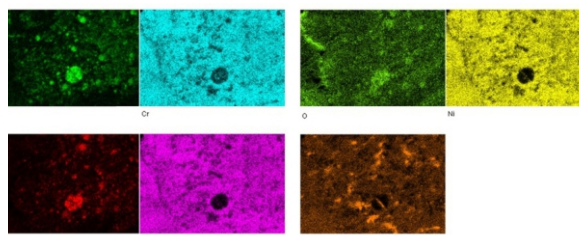


Рис. 4. Изучение химического и фазового состава на различных этапах рабочих процессов

# ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ НАЛИЧИЕМ ДЕФЕКТОВ В ПРОЗРАЧНЫХ ОБЪЕКТАХ ИЗ АМОРФНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ

Руководитель проекта – доктор технических наук, доцент А.В. Коржов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выявление однозначной корреляции между электрофизическими свойствами прозрачных объектов из аморфных материалов с их изображениями и/или Фурье-образами.

### ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в журналах из перечня ВАК/RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Поиск корреляции между изображениями дефектных прозрачных объектов и характеристиками дефектов.
- Исследование влияния дефектов в прозрачных изделиях сложной формы на их электрофизические характеристики.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Экспериментальная установка для определения интегральной дефектности стеклянных объектов сложной формы.
- Адаптивный метод обнаружения дефектов в изделиях произвольной формы, созданный на основе алгоритмического и нейросетевого подходов.
- Зависимости электрофизических характеристик прозрачных объектов сложной формы от присутствия дефектов различных типов, размеров и локализации, полученные путем обработки данных по результатам компьютерного моделирования.
- Подтверждение или опровержение гипотезы об однозначном соответствии между дефектами в прозрачном объекте, изготовленном из аморфного материала, и его Фурье-образом.
- Подтверждение или опровержение гипотезы о наличии корреляции между интегральной дефектностью прозрачных объектов из аморфных материалов сложной формы,

определяемых их Фурье-образом, и электрофизическими характеристиками данных объектов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

На основе полученных результатов может быть реализована система компьютерного зрения, способная по характеристикам рассеяния излучения на прозрачных объектах, например стеклянных изоляторах, определять наличие в них дефектов и пригодность к дальнейшему использованию этих объектов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- Экспериментальная установка для определения интегральной дефектности стеклянных объектов сложной формы.
- Алгоритм обнаружения дефектов в прозрачных объектах из аморфных материалов на основе традиционных алгоритмических методов обработки и анализа изображений.
- Основы компьютерных моделей, позволяющих изучать изменение электрофизических характеристик стеклянных объектов сложной формы в зависимости от присутствующих дефектов путем изучения распределения напряженности электрического поля.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Производственное объединение «Форэнерго»



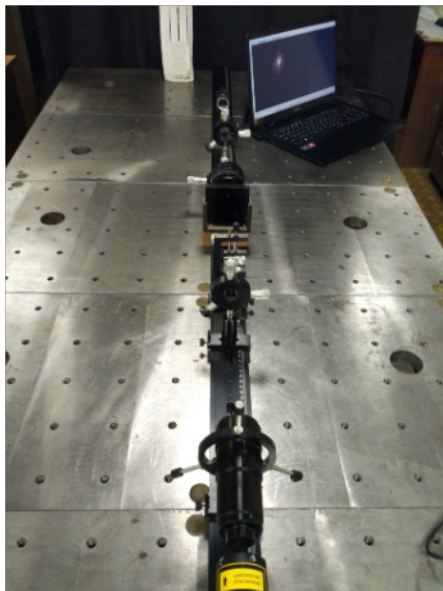


Рис. 1. Экспериментальная оптическая установка



Рис. 4. Участок с дефектами после усиления контраста (сверху) и алгоритма выделения границ (снизу)

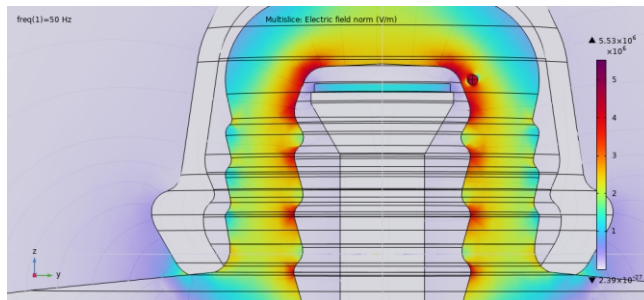


Рис. 2. Картина распределения электрического поля в головке стеклянной детали изолятора ПС-70Е



Рис. 3. Схема алгоритма сопоставления по контуру

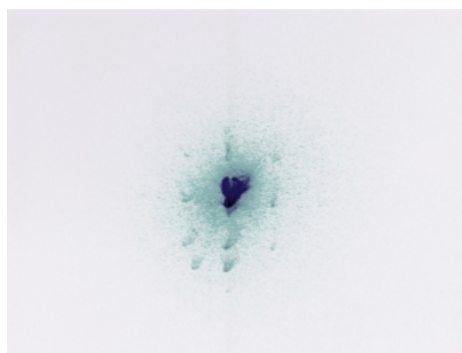


Рис. 5. Фурье-изображение дефектной области с инвертированной цветовой гаммой

# МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ ЛОПАСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ И КРЫЛА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА С САМООБУЧАЮЩЕЙСЯ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент К.В. Осинцев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Настоящий проект сфокусирован на повышении эффективности ВЭУ и БПЛА.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья Scopus/Wos

2 статьи в журнале из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- В ветроэнергетике широко используются методы самолетостроения. Аэродинамические параметры ВЭУ и БПЛА схожи – профиль лопасти повторяет форму крыла. Также схожи и проблемы недостаточной эффективности – ВЭУ работают в узком диапазоне ветров при не всегда оптимальной быстротходности, БПЛА неэффективно использует топливо/заряд аккумулятора при взлете, свободном парении и маневрировании.
- Исходя из подобия решаемых задач, с синтезом методов, из которых формируется новая методология разработки механизации ВЭУ и БПЛА – оснащения оперением лопасти/крыла ВЭУ/БПЛА (ГОСТ 21890-76). Однако при этом кроме элементов механизации добавляется база, решения которой принимаются искусственным интеллектом и доводятся до системы управления механизацией лопасти/крыла.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Осуществляется математическое моделирование систем будущего аппаратно-программного комплекса (АПК), разработка функциональных схем механизации крыла БПЛА/лопасти ВЭУ, облачных технологий.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Для снижения аварийных ситуаций ВЭУ. Для увеличения длительности полета БПЛА, возможности управления АПК.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 Г.

- ☑ Теоретическое обоснование применения технологии, выявление базовых принципов, лежащих в основе создания новой технологии. Планируемый результат: новые знания о формировании методов аэродинамического анализа с целью оптимизации работы ВЭУ/БПЛА и прироста эффективности. Научная значимость заключается в получении существенных и важных для мировой науки новых знаний, а также создании методологических основ аэродинамического анализа. В прикладном плане проводится аэродинамический анализ семейства устройств, образующих комплексную механизацию, работающую в широком спектре входных воздействий. На этой основе осуществляется математическое моделирование систем будущего аппаратно-программного комплекса (АПК).

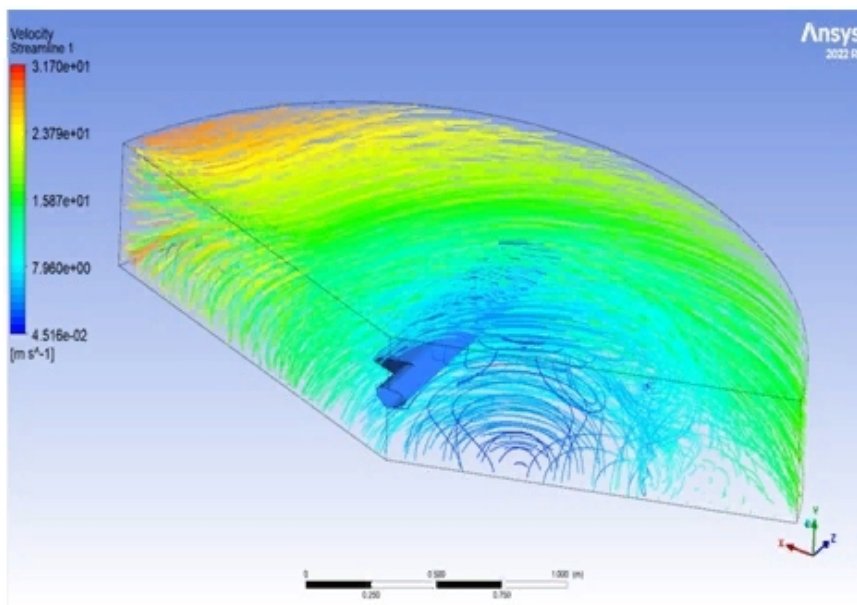


Рис. 1. Потoki скоростей около лопасти

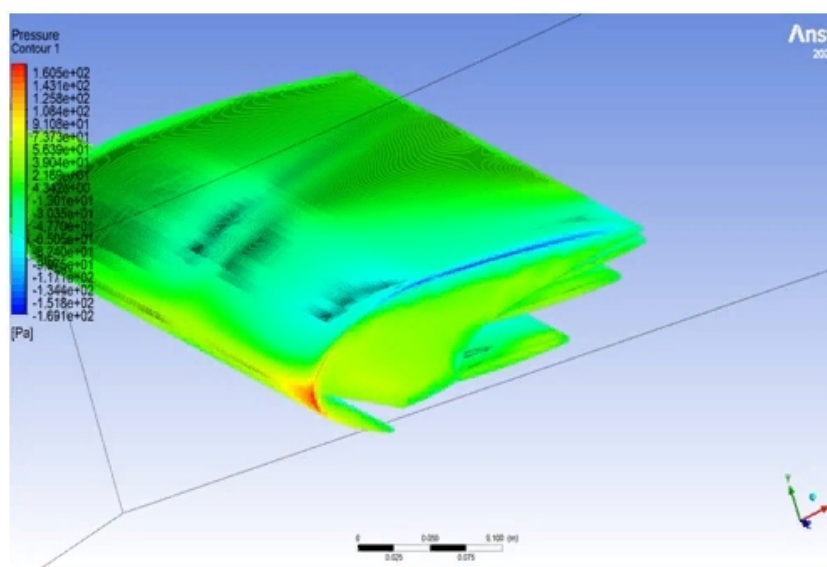


Рис. 2. Контур давлений лопасти с закрылками и предкрылком Крюгера

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент М.А. Иванов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка методики определения дефектов сварных соединений на основе данных системы компьютерного зрения iRVision 3DL с применением нейросетевых технологий.

### ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

4 научных доклада на международных и всероссийских конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

6 статей в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Изучение возможности встроенной системы лазерного сканирования iRVision 3DL на роботе FANUC распознавать поверхностные дефекты стыковых сварных соединений на специально подготовленном образце.
- ➔ Определение условий наибольшей чувствительности системы компьютерного зрения к поверхностным дефектам.
- ➔ Разработка моделей, основанных на принципе преобразования изображений в векторы значений границы поверхности сварного соединения и применении одномерных сверточных нейронных сетей для классификации полученных векторов на наличие дефектов стыковых сварных соединений.
- ➔ Разработка моделей искусственных нейронных сетей, основанных на улучшенной архитектуре YOLOv5 для обнаружения поверхностных дефектов стыковых сварных соединений после роботизированной сварки.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Проведение контроля качества сварного шва в автоматизированном режиме.

Уменьшение количества технологических операций контроля качества.

Уменьшение количества брака при производстве стальных конструкций.

Повышение экономичности от

эффекта роботизации сварочного производства.

Повышение скорости и эффективности контроля качества сварных соединений.

Внедрение практик и программ применения искусственного интеллекта в промышленном производстве.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Роботизация и цифровизация технологических процессов на крупных промышленных предприятиях является важнейшим направлением развития интеллектуальных технологий индустрии 4.0. С помощью системы компьютерного зрения iRVision 3DL, установленной на сварочном роботе FANUC, на основе нейросетевых технологий разработана система автоматизированного визуального контроля сварных швов, которая позволяет после сварки выполнить визуальный контроль качества сварного шва.

Контроль качества сварных соединений является обязательной технологической операцией и в настоящее время проводится преимущественно вручную, что нивелирует эффект от роботизации сварочного производства. Использование сварочных роботов не только для сварки, но и для контроля качества позволит повысить уровень автоматизации производства и увеличит производительность труда.

Разработанные научные положения найдут применение при создании автоматических сварочных линий, развитии промышленных безлюдных технологий в РФ, а также на отечественных заводах по производству роботов и систем технического зрения для них.



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Собран уникальный набор данных дефектов сварки для обучения нейронных сетей. Из общего набора собранных с помощью системы компьютерного зрения iRVision 3DL на предыдущем этапе из 45000 изображений группой экспертов на основании выбора наилучшего угла наклона камеры сварочного робота для анализа дефектов было отобрано 593 изображения 3DL (445 изображений шва без дефектов и 148 изображений шва с дефектами) и 607 изображений лазера (494 изображения шва без дефектов и 113 изображений шва с дефектами).
- ☑ Для применения на системах компьютерного зрения в целях обнаружения поверхностных дефектов стыковых сварных соединений после роботизированной сварки были разработаны и оценены на тестовом наборе данных две различные топологии нейронных сетей, каждая из которых потребовала своей разметки набора данных:
  - разработана модель на основе одномерных свёрток;
  - проведена разметка собранных на предыдущем этапе данных для решения задачи классификации с помощью искусственных нейронных сетей прямого распространения. Разметка была осуществлена группой экспертов. Каждому изображению была поставлена метка 0 – нет дефекта или 1 – дефект есть;
  - разработан алгоритм предварительной обработки данных, позволяющий выделить область дефекта и преобразовать её в одномерный массив точек;

– разработана топология искусственной нейронной сети прямого распространения на основе слоев одномерных свёрток. Качество работы искусственной нейронной сети на тестовом наборе данных: Accuracy 0.99, Precision 1.0, Recall 0.92. Дефекты, которые мы не можем обнаружить, относятся к пограничным областям между дефектом и нормальной поверхностью сварного соединения. Поскольку мы сканируем поверхность сварного соединения с шагом 0,5 мм, полученная модель сможет обнаружить дефект, даже если он отсутствует на одном изображении;

– апробирована модель, основанная на улучшенной архитектуре YOLOv5;

– произведена дополнительная разметка набора данных для однопроходного детектора на основе топологии YOLOv5. На каждом изображении группой экспертов была выделена область дефекта;

– качество работы искусственной нейронной сети на тестовом наборе данных: Accuracy 0.87, Precision 0.68, Recall 0.94 и с заданным значением Confidence threshold 0.19.

- ☑ Доказана применимость нейросетевого подхода к задаче обнаружения сварных дефектов с помощью лазерного сканирования и системы компьютерного зрения. Внедрение разработанных моделей позволит повысить выявляемость поверхностных дефектов визуального контроля. Обе модели нейронных сетей обучались для получения наилучшего значения метрики recall даже в ущерб общей точности, поскольку пропуск дефекта намного хуже, чем ложное срабатывание.
- ☑ На основе полученных результатов был разработан веб-сервис для локального развёртывания на основе технологии Docker, включающий в себя обученную нейронную сеть и алгоритм предварительной обработки изображений, для классификации дефектов сварных соединений.



Рис. 1. Сварочный робот FANUC с установленной системой iRVision



Рис. 2. Процесс сканирования поверхности

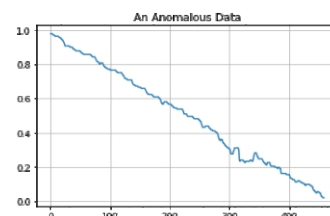


Рис. 3. Пример предобработки изображений

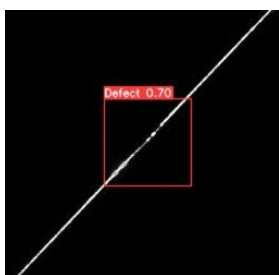


Рис. 5. Работа модели YOLOv5 с изображениями лазера

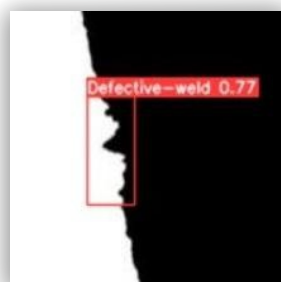


Рис. 6. Работа модели YOLOv5 с изображениями 3DL



Рис. 4. Пример предобработки изображений

# РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ НАНЕСЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ТВЕРДОХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ НА ТИТАНОВЫЕ ДЕТАЛИ С ДИСКРЕТНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ВРЕМЯТОКОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ХРОМИРОВАНИЯ

Руководитель проекта – доктор технических наук, доцент **Д.В. Ардашев**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установление и последующее теоретико-экспериментальное исследование взаимосвязи между условиями нанесения твердохромового покрытия на титановые детали (температура электролита, начальная плотность тока, времятоковые характеристики процесса – динамика изменения плотности тока в процессе нанесения покрытия во времени, качество подготовки поверхности перед хромированием) и качеством формируемого покрытия (шероховатость, микротвердость, сплошность, толщина).

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в журналах из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Теоретическое исследование особенностей нанесения твердохромового покрытия на титановые детали (термодинамические и кинетические аналитические расчеты).
- ➔ Формирование научно-обоснованных рекомендаций по нанесению качественного твердохромового покрытия на титановые детали с учетом установленных времятоковых закономерностей процесса на основе выявленных теоретических закономерностей.
- ➔ Изготовление опытных образцов титановых деталей с твердохромовым покрытием, нанесенным с различными времятоковыми характеристиками с применением лабораторно-промышленной базы ООО «Уральский инжиниринговый центр» (г. Челябинск).
- ➔ Экспериментальное исследование твердохромового покрытия опытных образцов титановых деталей методами микроскопии:
  - исследование морфологии покрытия (наличие пор, отслоений);
  - исследование характеристик покрытия (толщины, микротвердости).
- ➔ Установление характера влияния времятоковых параметров процесса нанесения твердохромового покрытия (начальная плотность тока, различная динамика ее

изменения в процессе хромирования) на качество формируемого покрытия (шероховатость, микротвердость, сплошность, толщина).

- ➔ Разработка обобщенных рекомендаций по реализации технологии нанесения твердохромового покрытия на титановые детали.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Теоретическое обоснование научно-методической базы нанесения твердохромовых покрытий на титановые детали, заключающееся в установлении взаимосвязи параметров процесса хромирования (температура электролита, плотность тока, режим подачи тока) с выходными характеристиками процесса (кинетические и термодинамические характеристики).
- ➔ Установление и изучение взаимосвязи превращений, происходящих в электролите, с процессами, протекающими на границе раздела фаз электрод–электролит (с величинами стационарного потенциала и поляризационной емкости) в процессах хромирования титановых деталей.
- ➔ Эмпирические зависимости, носящие предиктивный характер, связывающие параметры качества твердохромового покрытия (шероховатость, микротвердость, сплошность, толщина) с времятоковыми параметрами его нанесения (начальная сила тока,

различная динамика ее изменения в процессе хромирования).

- ☞ Научно обоснованные рекомендации по реализации технологии нанесения твердохромового покрытия на титановые детали с изменяющимися времятоковыми характеристиками.

Научная значимость проекта:

- ☞ Вскрытие взаимосвязи между условиями нанесения твердохромового покрытия на титановые детали и выходными параметрами процесса позволит прогнозировать качественные и количественные характеристики процесса.
- ☞ Установление характера влияния условий нанесения твердохромового покрытия на титановые детали на его характеристики позволит конкретизировать и дополнить теоретически установленные взаимосвязи.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- ☑ Установленные в результате реализации проекта теоретические зависимости протекания процесса гальванического хромирования титановых деталей, а также результаты экспериментальных исследований влияния варьируемых условий нанесения покрытия на его качество лягут в основу обобщенных технологических рекомендаций по назначению режимов нанесения покрытия и реализации технологии хромирования титановых деталей для нужд авиа- и ракетостроения, а также потребностей военно-промышленного комплекса.
- ☑ Предприятие, привлекаемое для производства опытных образцов титановых деталей с твердохромовым покрытием – ООО «Уральский инжиниринговый центр» (г. Челябинск), готово взять на себя функцию экспериментальной научно-производственной площадки для реализации научно обоснованной опытной технологии хромирования титановых деталей, сформированной по результатам выполнения заявляемого проекта, дальнейшего ее освоения и применения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Результаты исследований физико-химических свойств растворов для электроосаждения хрома и сплавов на его основе: методом обратного гидростатического взвешивания – плотность растворов; вязкость – при помощи вискозиметра; удельная электропроводность – при помощи кондуктометра.
- ☑ Предиктивные математические модели, позволяющие определить оптимальные режимы нанесения твердохромового покрытия на титановые детали.
- ☑ Эмпирические зависимости изменения параметров качества покрытия (шероховатость, микротвердость, сплошность, толщина) от исходных условий нанесения покрытия. Установление влияния исходной подготовки поверхности перед нанесением покрытия на качество покрытия.
- ☑ Вскрытие характеристических основ влияния исходных условий нанесения твердохромового покрытия на титановые детали на качество формируемого покрытия на основе информации, полученной по результатам микроскопии теоретического исследования и экспериментального исследования опытных образцов титановых деталей с твердохромовым покрытием.
- ☑ Технологические рекомендации по нанесению качественного твердохромового покрытия на титановые детали.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ООО «Уральский инжиниринговый центр», г. Челябинск

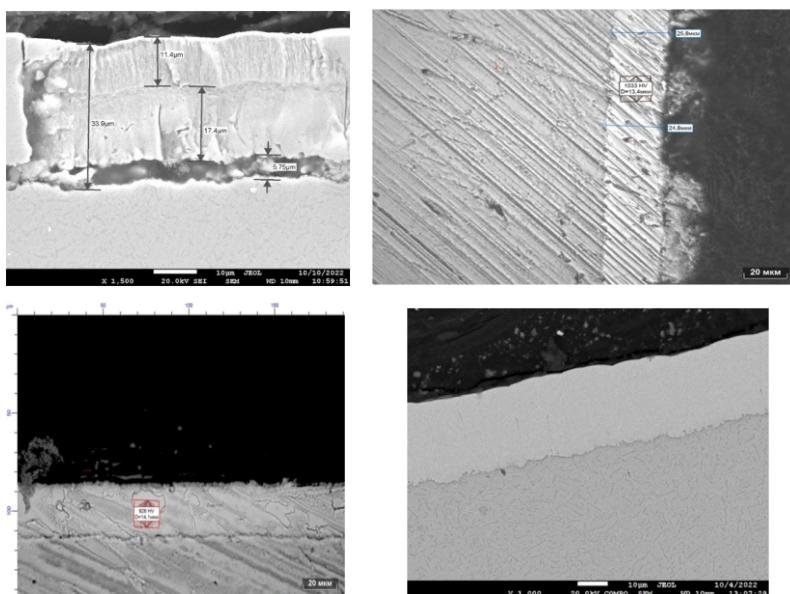


Рис. 1. Образцы – титановые детали с твердохромовым покрытием

# РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАДИОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент **М.Г. Вахитов**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка теоретических и экспериментальных основ выявления дефектов структуры полимерных композитных материалов, возникающих вследствие низкоскоростных трансверсальных ударов, радиоволновым методом.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

3 научных доклада на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/WoS

1 статья в журналах из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Проведение численного моделирования определения типов повреждений композитных материалов (внутрислойные повреждения, расслоения, обрыв волокон).
- Экспериментальные исследования композитных материалов с ударными повреждениями (дефектами) радиоволновым и радиолокационным методами.
- Верификация результатов расчетов по полученным экспериментальным данным, формирование рекомендаций по дальнейшему развитию методики экспериментального определения ударных повреждений в композите радиолокационными и радиоволновыми методами.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Результаты численного моделирования определения типов повреждений композитных материалов (внутрислойные повреждения, расслоения, обрыв волокон).
- Экспериментальное определение внутренних повреждений материалов по методике сравнения S-параметров, диэлектрической и магнитной проницаемостей образцов без повреждений и

образцов с внутренними повреждениями.

- Рекомендации по дальнейшему развитию методики экспериментального определения ударных повреждений в композите радиолокационными и радиоволновыми методами. Разработанные подходы и полученные данные будут служить основой для практического использования радиоволновых и радиолокационных методов контроля в целях мониторинга состояния элементов из полимерных композитных материалов.
- Сопоставление данных по влиянию внутренних дефектов образцов композитных материалов на величину диэлектрической проницаемости в микроволновом частотном диапазоне позволит обогатить теорию и составить картину электромагнитного отклика на различные типы дефектов. Будет проведена модернизация методов измерения СВЧ-материальных параметров для увеличения их точности и расширения рабочего СВЧ-диапазона в области высоких (миллиметровые длины волн) частот.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В результате работы над проектом будут созданы методы обнаружения скрытых повреждений в композитных материалах, определены частотные диапазоны, которые позволят проводить мониторинг состояния композитного элемента. Применение радиоволнового



метода неразрушающего контроля при исследовании скрытых повреждений в элементах самолетов из ПКМ позволит осуществить создание цифровой карты «несущественных» повреждений для каждого летательного аппарата. Также позволит следить за состоянием этих повреждений и своевременно принимать меры по восстановлению поврежденного участка.

Данный метод может быть применен для авиастроительной и космической отраслей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Были проведены исследования по измерению коэффициентов отражения и прохождения [S11, S21] для образцов композитных материалов. При этом рассматривался вопрос выбора оптимальной решающей функции для радиосистем с принятием решений. Проведен анализ алгоритмов объединения частных решений на основе байесовского подхода. Предложен метод вычисления оптимальной

решающей функции для определения принадлежности наблюдаемых значений к заданному классу значений. Предложенный метод позволяет эффективно использовать частные решения для принятия общего решения в другом алфавите на основе сведений о составе наблюдаемой группы объектов и распределении их по классам, а также оптимального учёта текущей достоверности этих частных решений.

- ☑ Разработан стенд в составе робота-манипулятора с векторным рефлектометром CABAN R180 для проведения измерений в диапазоне частот от 1 ГГц до 18 Гц. Для работы в данном частотном диапазоне были закуплены необходимые коаксиально-волноводные переходы. Разработанная программа для данного стенда в последующем позволит проводить автоматические измерения сложных объектов. При этом будет происходить сравнения базы данных исходного состояния данного объекта с его текущими показателями.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ 000 «Планар»

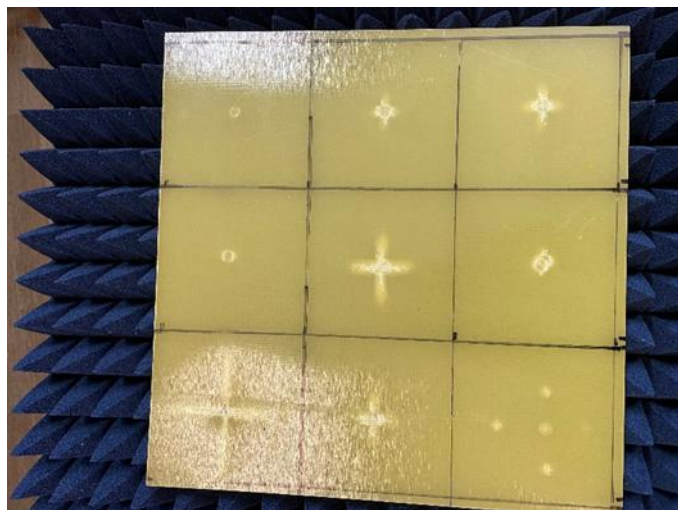


Рис. 1. Образец на основе стеклотекстолита с ударными дефектами различной силы

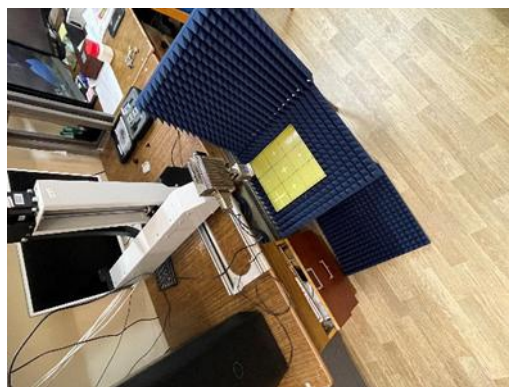


Рис. 2. Стенд для автоматизированного измерения электродинамических параметров композитных материалов

# МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Руководитель проекта – доктор физико-математических наук М.Л. Цымблер

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и исследование новых моделей, методов и алгоритмов, обеспечивающих эффективный интеллектуальный анализ данных временных рядов на основе совместного применения нейросетевых и параллельных вычислительных технологий.

## ПУБЛИКАЦИИ

7 научных статей

2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

7 научных докладов на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/Wos

4 статьи в Ядро РИНЦ

1 статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка новых нейросетевых моделей для решения задач анализа данных временных рядов в режиме реального времени.
- Разработка новых параллельных алгоритмов интеллектуального анализа данных временных рядов для современных высокопроизводительных вычислительных платформ.
- Разработка новых методов интеграции параллельных алгоритмов интеллектуального анализа данных временных рядов и нейросетевых технологий в СУБД.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Разработка новых параллельных алгоритмов для многоядерных ускорителей и вычислительных кластеров и нейросетевых моделей для решения задач интеллектуального анализа временных рядов (поиск аномалий, шаблонов, восстановление, прогноз и др.).
- Проведение вычислительных экспериментов с разработанными методами и алгоритмами на синтетических и реальных временных рядах из различных предметных областей. Подготовка публикаций в высокорейтинговых рецензируемых научных изданиях.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработанные методы и алгоритмы могут использоваться для обработки и анализа временных рядов в широком спектре предметных областей, связанных с интеллектуальным анализом сенсорных данных цифровой индустрии и Интернета вещей: прогноз остаточного ресурса и предиктивное обслуживание сложных механизмов и машин, персональная медицина, энергоэффективное ЖКХ и др.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Разработан новый параллельный алгоритм, выполняющий поиск диссонансов (аномалий) всевозможных длин на вычислительном кластере с узлами на базе графических процессоров. Алгоритм обеспечивает выявление аномалий произвольной длины в большом временном ряде, который не может быть целиком размещен в оперативной памяти.
- ☑ Разработан новый параллельный алгоритм, выполняющий поиск сниппетов (поведенческих шабло-

- нов) временного ряда на вычислительном кластере с узлами на базе графических процессоров. Алгоритм обеспечивает автоматизированную разметку большого временного ряда, который не может быть целиком размещен в оперативной памяти, с минимальным участием эксперта.
- ☑ Разработан новый метод поиска аномальных подпоследовательностей временного ряда на основе нейросетевой модели и параллельных алгоритмов поиска диссонансов (аномалий) и снippetов

(поведенческих шаблонов) ряда. Метод позволяет выполнять обнаружение аномалий временного ряда в режиме реального времени.

- ☑ Разработан метод восстановления пропущенных значений многомерного временного ряда на основе нейросетевой модели и параллельного алгоритма поиска снippetов (поведенческих шаблонов). Метод позволяет с высокой точностью синтезировать отсутствующие значения временно-го ряда в режиме реального времени.

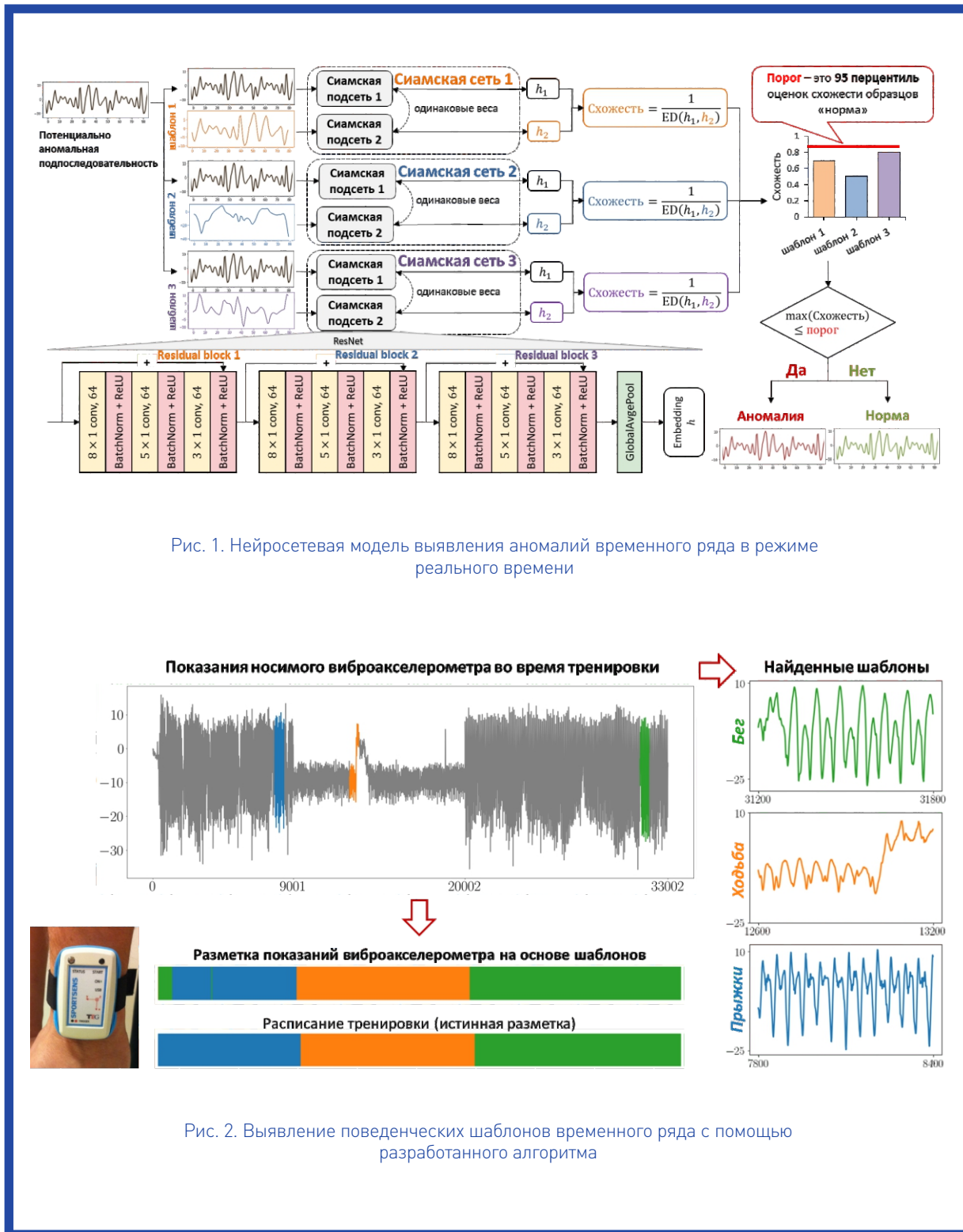


Рис. 1. Нейросетевая модель выявления аномалий временного ряда в режиме реального времени

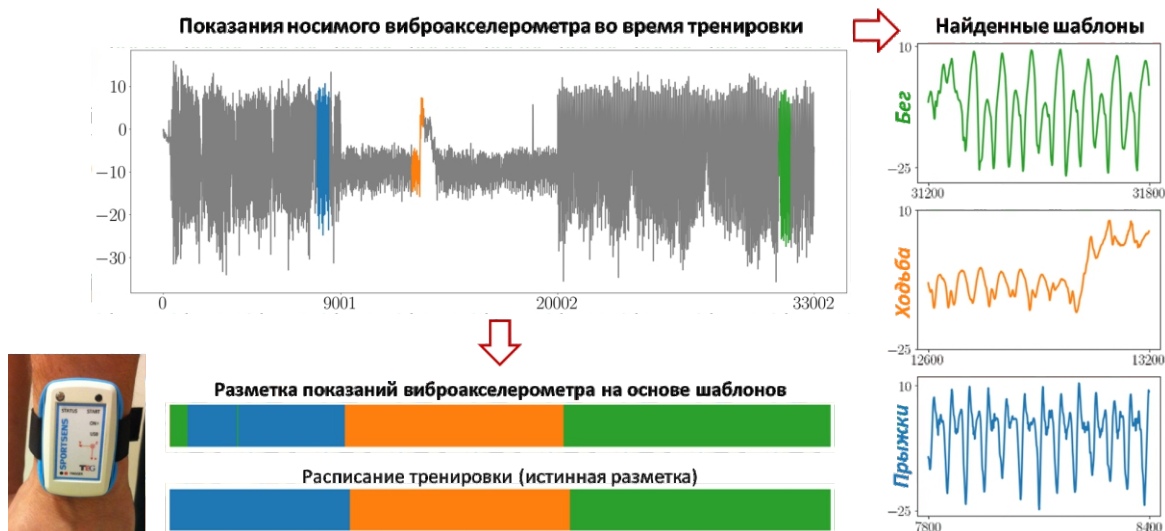


Рис. 2. Выявление поведенческих шаблонов временного ряда с помощью разработанного алгоритма

# РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Руководитель проекта – доктор физико-математических наук, профессор  
Л.Б. Соколинский

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка эффективных методов линейного программирования для решения больших оптимизационных задач с быстро меняющимися исходными данными в режиме реального времени.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus/WoS

3 статьи в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

➔ Разработать принципиально новые модели, методы, алгоритмы и программное обеспечение для решения масштабных задач линейного программирования (ЛП) на основе многомерной визуализации с использованием суперкомпьютерных и нейросетевых технологий. Разработанные методы и алгоритмы должны обеспечивать решение нестационарных задач ЛП в режиме реального времени. Параллельный алгоритм визуализации больших задач ЛП должен демонстрировать ускорение, близкое к линейному, на кластерных вычислительных системах петафлопсного уровня производительности.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

➔ Фундаментальная нейросетевая модель решения задач линейного программирования на основе итерационного метода поверхностного движения.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

☑ Решение сложных нестационарных задач линейной оптимизации в следующих областях: выбор оптимальных стратегий в роботрейдинге, оптимальное управление летательными аппаратами, оптимизация технологических процессов, логистические и транспортные задачи, планирование и управление производством продукции. Решение следующих оптимизационных задач в режиме реального времени: управление химическим производством, управление системой многоточечного впрыска топлива в ДВС, управление сотовыми сетями, автопилотирование, системы самонаведения ракет.



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- Разработан новый метод решения задач ЛП, получивший название «Метод поверхностного движения». Метод поверхностного движения впервые открывает возможность применения искусственных нейронных сетей прямого распространения для решения многомерных задач ЛП на основе анализа их образов.
- Разработана новая масштабируемая версия апекс-метода для решения задач ЛП. Апекс-метод впервые позволяет построить на поверхности допустимого многогранника близкий к оптимальному путь от начальной точки до точки решения задачи ЛП. Апекс-

метод используется для построения обучающего множества для разработки нейросетевых моделей, решающих задачи ЛП.

- Разработана нейросетевая модель решения задач ЛП, позволяющая впервые применить аппарат искусственных нейронных сетей прямого распространения для решения больших задач ЛП на основе анализа их многомерных образов. Время работы нейронной сети, разработанной на основе крестообразного рецептивного поля, линейно зависит от размерности пространства и не зависит от числа ограничений задачи ЛП. Это позволяет решать задачи ЛП в режиме реального времени.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН

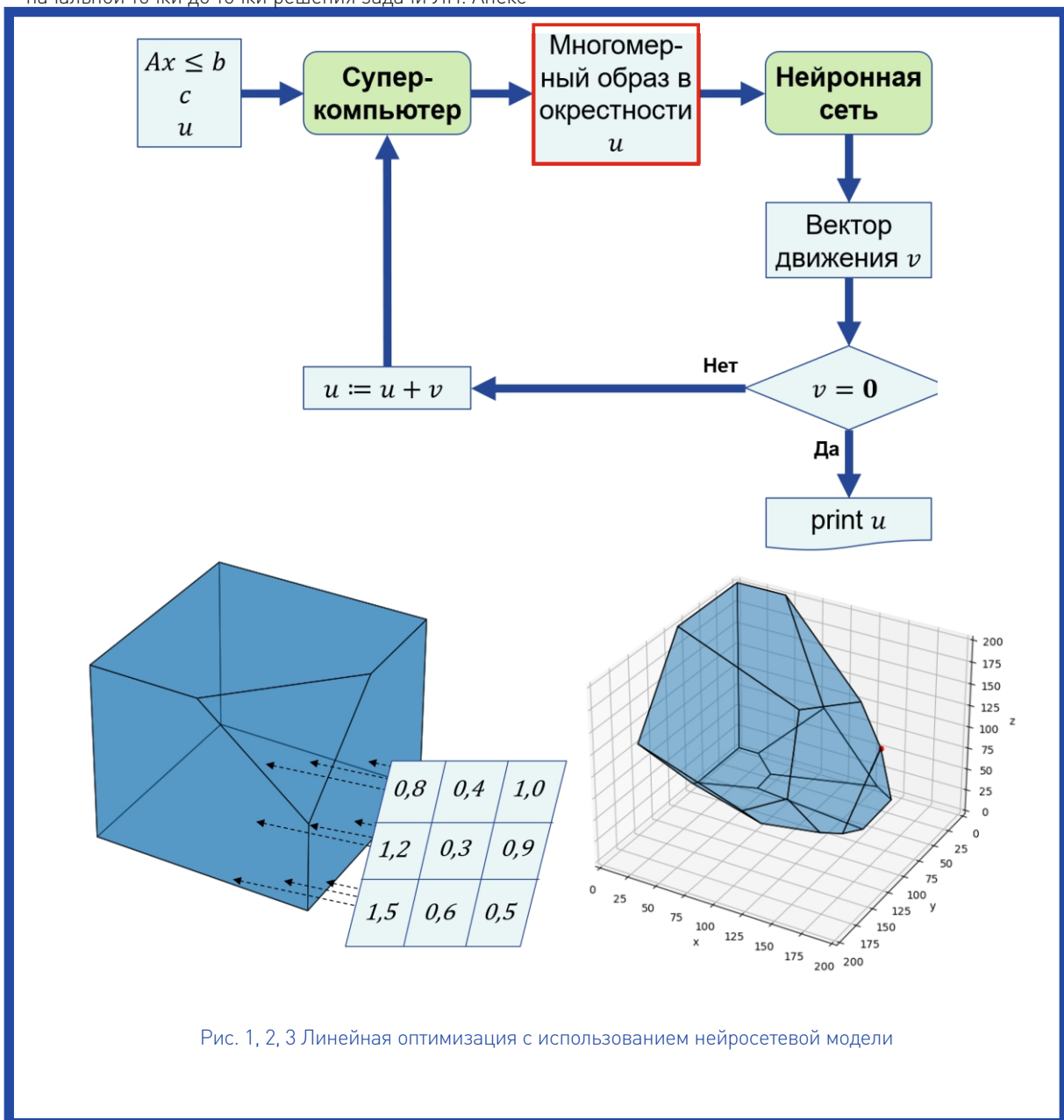


Рис. 1, 2, 3 Линейная оптимизация с использованием нейросетевой модели

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПАРТИИ ДЕТАЛЕЙ НА ОПЕРАЦИЯХ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ С ЧПУ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент А.В. Акинцева

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка методического и математического обеспечения для создания автоматизированной информационной системы контроля управляющих программ для станков с ЧПУ (АИС контроля УП ЧПУ), позволяющей проверить возможность технологического обеспечения заданной точности обработки и шероховатости обрабатываемой поверхности для всей партии деталей на операции плоского шлифования с ЧПУ.

## ПУБЛИКАЦИИ

11 научных статей

8 докладов на международных и всероссийских конференциях

3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

4 статьи в журналах из перечня ВАК

5 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Разработать аналитическую модель силы резания для плоского шлифования, устанавливающую взаимосвязь силы резания и физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров, характеристики, степени затупления абразивного инструмента, режимов резания и т. д. с учетом кинематики процесса плоского шлифования.
- ➔ Разработать аналитическую модель расчета глубины резания, устанавливающую взаимосвязь между глубиной резания, переменной жесткостью технологической системы по площади стола станка, входными параметрами процесса обработки, режимами резания, кинематикой и особенностями съема припуска процесса плоского шлифования.
- ➔ Разработать модель съема припуска при управлении ступенчатым изменением трех программных подач в цикле плоского шлифования с учетом влияния переменных технологических факторов.
- ➔ Разработать модели формирования обрабатываемой поверхности и формирования технологических размеров и их рассеяния в условиях воздействия переменных технологических факторов.
- ➔ Разработать модель расчета рассеивания погрешности размеров, формы и расположения обрабатываемых поверхностей (отклонения прямолинейности, плоскостности, параллельности, перпендикулярности, погрешность линейных размеров)

- ➔ Разработать модель расчета шероховатости шлифуемой поверхности на операциях плоского шлифования с учетом влияния переменных технологических факторов.
- ➔ Разработать методику контроля управляющих программ для станков с ЧПУ (УП ЧПУ) на возможность технологического обеспечения точности и шероховатости обработанной поверхности при плоском шлифовании с ЧПУ партии деталей в условиях серийного производства с учетом переменных технологических факторов.
- ➔ Разработать структуру и состав «Паспорта контроля УП ЧПУ» с прогнозными значениями параметров точности и шероховатости обрабатываемой поверхности, который документирует проведение контроля УП ЧПУ.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Модель силы резания для плоского шлифования, которая устанавливает взаимосвязь между основными технологическими параметрами (физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, геометрическими параметрами, характеристикой, степенью затупления абразивного инструмента, режимами резания и т. д.), оказывающими влияние на силу резания, а также учитывает физику процесса резания, кинематику и особенности плоского шлифования.
- ➔ Модель расчета глубины резания, которая учитывает кинематику и особенности формирования обрабатываемой поверхности на операциях плоского шлифования. Модель расчета глубины резания базируется

на силовой модели плоского шлифования и учитывает влияние упругих деформаций технологической системы на величину снимаемого припуска. Модель позволяет на протяжении всего цикла плоского шлифования установить взаимосвязь между глубиной резания (величиной снимаемого припуска), переменной жесткостью технологической системы по площади стола станка, основными технологическими параметрами процесса обработки, режимами резания и т. д.

- ➔ Модель расчета рассеивания погрешности размеров, формы и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, которая позволяет оценивать погрешность высотных размеров и отклонения от прямолинейности, плоскостности, параллельности. Моделирование рассеивания погрешности осуществляется на основании расчетных значений высотных размеров, полученных в разных сечениях с учетом влияния переменных условий обработки (размеры заготовки в конце цикла шлифования). Поскольку процесс формообразования шлифуемой поверхности зависит от условий обработки, то технологический размер в каждом сечении будет разным. Таким образом, получается облако расчетных точек рассеивания размеров при обработке заготовки в различных условиях. По совокупности полученного облака точек получаются расчетные значения для всех видов погрешностей.
- ➔ Модель расчета шероховатости обрабатываемой поверхности, которая устанавливает взаимосвязь между шероховатостью обрабатываемой поверхности, характеристикой и степенью затупления шлифовального круга, режимом резания, прочностью абразивных зерен и связки, площадью контакта круга с заготовкой на операции плоского шлифования. Данная модель базируется на аналитической взаимосвязи параметров рельефа рабочей поверхности круга с микрорельефом обрабатываемой поверхности, режимом резания и с прочностными показателями абразивного зерна и связки.
- ➔ Методика контроля УП ЧПУ на возможность обеспечения точности и шероховатости обработанной поверхности при плоском шлифовании с ЧПУ партии деталей. Методика контроля УП ЧПУ основывается на комплексе аналитических моделей, которые устанавливают взаимосвязь между глубиной резания, силой резания, режимами резания, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, характеристикой и геометрическими параметрами шлифовального круга, его степенью затупления, технологическим размером и др. основными технологическими параметрами. В результате становится возможным расчет и прогнозирование изменения текущих размеров заготовки и шероховатости обрабатываемой поверхности на протяжении всего цикла плоского шлифования с ЧПУ.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Практическая применимость результатов данного научного проекта заключается в:

- ➔ разработке технического задания на создание АИС контроля УП ЧПУ в производственных условиях проектируемых управляющих программ на возможность обеспечения заданной точности обработки при изготовлении партии деталей;
- ➔ повышении производительности и качества проектирования УП ЧПУ на этапе технологической подготовки производства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Разработана аналитическая модель расчета параметров шероховатости обрабатываемой поверхности, которая устанавливает взаимосвязь между шероховатостью обрабатываемой поверхности, характеристикой и степенью затупления шлифовального круга, режимом резания, прочностью абразивных зерен и связки, площадью контакта круга с заготовкой на операции плоского шлифования. Данная модель позволяет рассчитывать шероховатость обрабатываемой поверхности, формирующейся в цикле плоского шлифования с ЧПУ, и в дальнейшем может быть использована для прогнозирования возможности получения заданных параметров шероховатости при обработке партии детали с учетом влияния переменных технологических факторов.
- ☑ Разработана методика контроля УП ЧПУ на возможность обеспечения точности и шероховатости обработанной поверхности при плоском шлифовании с ЧПУ партии деталей. Методика контроля УП ЧПУ основывается на комплексе аналитических моделей, которые устанавливают взаимосвязь между глубиной резания, силой резания, режимами резания, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, характеристикой и геометрическими параметрами шлифовального круга, его степенью затупления, технологическим размером и др. основными технологическими параметрами. В результате становится возможным расчет и прогнозирование изменения текущих размеров заготовки и шероховатости обрабатываемой поверхности на протяжении всего цикла плоского шлифования с ЧПУ. Методика позволяет не только контролировать существующие и вновь разрабатываемые производственные циклы плоского шлифования на стабильность показателей точности и качества, но и определять причины возникновения брака.
- ☑ Разработано техническое задание на создание АИС контроля УП ЧПУ на возможность обеспечения точности и шероховатости обрабатываемой поверхности при обработке партии деталей на операциях плоского шлифования с ЧПУ.



Рис. 1. Свидетельства о государственной регистрации данных программ для ЭВМ

# РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗМЕРНОГО ВИБРОДИСПЕРГИРОВАНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ – КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩИХ, РАСТИТЕЛЬНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ОТХОДОВ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ С ЦЕЛЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ВОКСЕЛЬНОГО ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ ИЗ НИХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ РЕЦИКЛИНГЕ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент Ю.С. Сергеев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект направлен на решение фундаментальных проблем механики – управляемого разрушения с вибрационным воздействием упруго-вязко-пластичных сред для повышения однородности дисперсных частиц, применяемых при изготовлении изделий из природоподобных композитов на Уральских предприятиях, перерабатывающих отходы различных волокнистых материалов.

## ПУБЛИКАЦИИ

11 научных статей

5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ

1 патент РФ

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

4 статьи в журнале из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Теоретически исследовать процессы диспергирования отходов упруго-вязко-пластичных сред растительного и минерального происхождения.
- Теоретически исследовать характеристики вибрационных полей виброприводов с модулирующими свойствами в вибродиспергаторах отходов растительных волокон высокоскоростным скользящим резанием и минералов вибродроблением для переработки отходов хрупких сред.
- Выполнить компьютерное и натурное моделирование процесса формирования стружки и крошки при диспергировании отходов упруго-вязко-пластичных сред растительного и минерального происхождения.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Принципиально новые процессы размерного механического диспергирования резанием со скольжением волокнистых сред растительного происхождения и минералов с интенсивным образованием глубоких и поверхностных трещин, основанные на воксельном подходе, обеспеченные путем принудительного введения в зону разрушения материала расчетного управляемого вибрационного амплитудно-модулированного воздействия. Такой подход станет научной основой проектирования вибрационных технологий и высоко-

технологичного, энергоэффективного оборудования для размерного диспергирования отходов растительного и минерального происхождения для производства дисперсной фазы, применяемой при производстве изделий из природоподобных и вариатропных композитов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты уже востребованы и позволят получать дисперсные частицы (крошка, стружка, мелкодисперсные порошки) требуемого качества без изменения их физико-химических характеристик, чего ожидают производители изделий из порошков, а также переработчики твердых промышленных и бытовых отходов. На основе синтеза полученных новых знаний в областях вибрационной механики (теории резания и теории разрушения) сформированы алгоритмы расчета кинематических связей в станках-диспергаторах нового поколения, что очень актуально в условиях импортозамещения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Физические механизмы управления геометрией дисперсных частиц при диспергировании отходов упруго-



вязко-пластичных сред растительного и минерального происхождения. Уникальные математические модели, описывающие процесс размерного вибродиспергирования отходов упруго-вязко-пластичных тонковолокнистых сред для его суперкомпьютерного моделирования.

- ☑ Математическое описание и моделирование возможных сложных формообразующих движений виброприводов главного движения.
- ☑ Критериальные зависимости, определяющие предельные возможности вибрационного диспергирования резанием со скольжением отходов упруго-вязко-пластичных растительных сред и хрупких минералов вибродроблением.
- ☑ Методология проектирования диспергаторов нового поколения для размерного вибродиспергирования отходов упруго-вязко-пластичных сред. Концептуаль-

ные основы алгоритмов проектирования и настройки вибродиспергаторов. Результаты экспериментальных исследований процессов размерного вибродиспергирования отходов упруго-вязко-пластичных сред растительного и минерального происхождения.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ООО «Аллюр-Злат», г. Златоуст.
- ☑ ООО «Студия Хорс», г. Златоуст.
- ☑ АО «НИИ «Гермес», г. Златоуст.
- ☑ ЗАО «Юничел-Злато», г. Златоуст.
- ☑ ООО НПП «Парус», г. Златоуст.
- ☑ ОАО «Первая нерудная компания», Хребтовский щебеночный завод, г. Миасс.
- ☑ ООО «ПКФ УНГД», г. Златоуст.
- ☑ Уральский сувенир (ИП Петров В.В.), г. Куся.

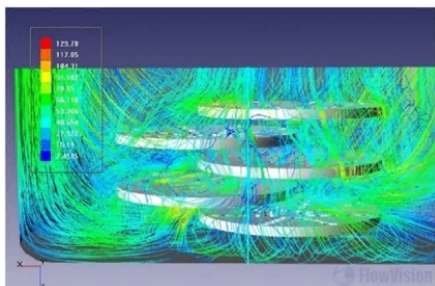


Рис. 1. Результаты моделирования перемешивания бингамовских сред при приготовлении смесей композитов (патент РФ № 2720149)

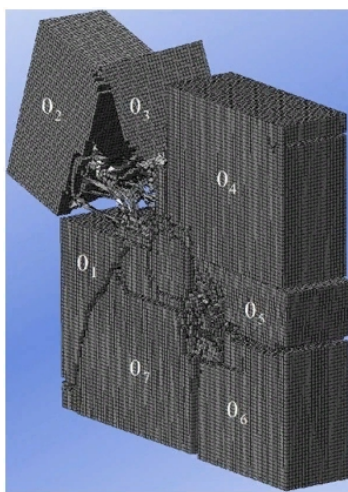


Рис. 2. Результаты моделирования в LS-Dyna нового способа дробления хрупких сред (патент РФ № 2732619)

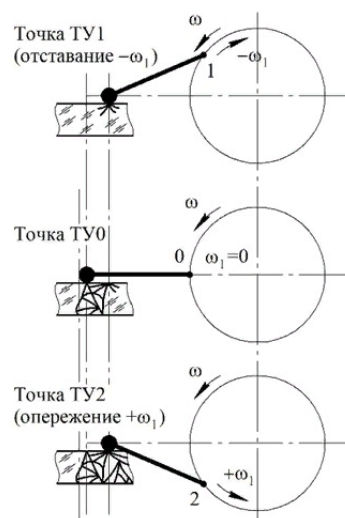


Рис. 3. Схема формирования увеличенной мгновенной площади поверхности трещинообразования (патент РФ № 2732619)

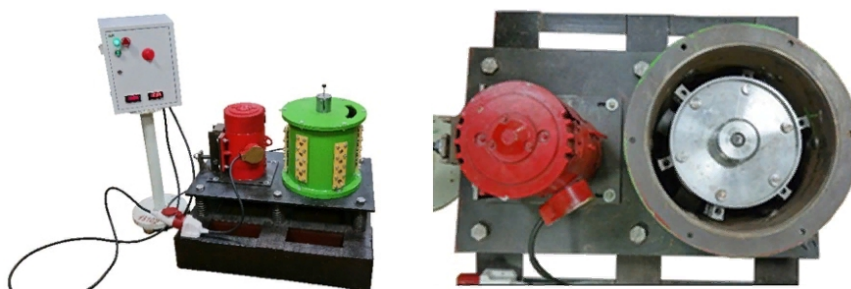


Рис. 4. Экспериментальная молотковая дробилка (патент РФ № 2732619)

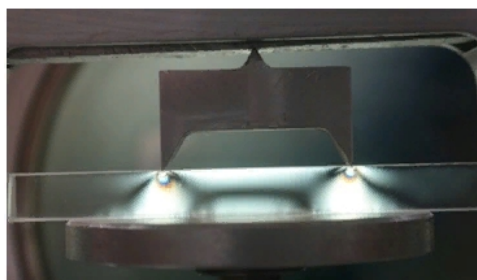


Рис. 5. Визуальное изображение внутренних напряжений при внедрении имитатора инструмента в эквивалентный образец из оптически чувствительного материала

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОЦЕССА

Руководитель проекта – кандидат технических наук Л.В. Шипулин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка методологии технологического проектирования операций высокоскоростной абразивной обработки, обеспечивающей эффективное использование возможностей современного станочного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) на основе использования цифрового двойника процесса.

## ПУБЛИКАЦИИ

5 научных статей

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus

2 статьи в журналах из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка методологии технологического проектирования операций высокоскоростной абразивной обработки, учитывающей возможности современных станков с ЧПУ и физическую природу процесса.
- Реализация методологии технологического проектирования операций высокоскоростной абразивной обработки в виде программного обеспечения для проектирования и цифрового двойника.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Разработана и реализована в виде программного обеспечения методология технологического проектирования операций высокоскоростной абразивной обработки на основе использования цифрового двойника процесса. Использование программного обеспечения позволяет проектировать производительные и эффективные технологические процессы высокоскоростной абразивной обработки, обеспечивая при этом полное использование возможностей современного оборудования с ЧПУ, отсутствие брака и различных дефектов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Программное обеспечение позволит проектировать операции высокоскоростной абразивной обработки для станков с ЧПУ на основе использования цифрового двойника процесса. Проектируемая технология будет выдаваться в виде управляющей программы в G-кодах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Разработан цифровой двойник высокоскоростной абразивной обработки – программное обеспечение, представляющее собой ядро для глубокого физического моделирования протекающих при шлифовании процессов в автоматическом проектировщике циклов шлифования.
- ☑ Разработано программное обеспечение для автоматизированного технологического проектирования операций высокоскоростной абразивной обработки, позволяющее на основе введенных пользователем исходных данных проектировать высокоэффективные циклы обработки.

Проведена работа по апробированию разработанного программного обеспечения для автоматического проектирования операций шлифования на станках с ЧПУ на предприятиях машиностроительной отрасли.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ООО «Уральское Отделение АДЕМ»
- ☑ ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК»
- ☑ АО СКБ «Турбина»

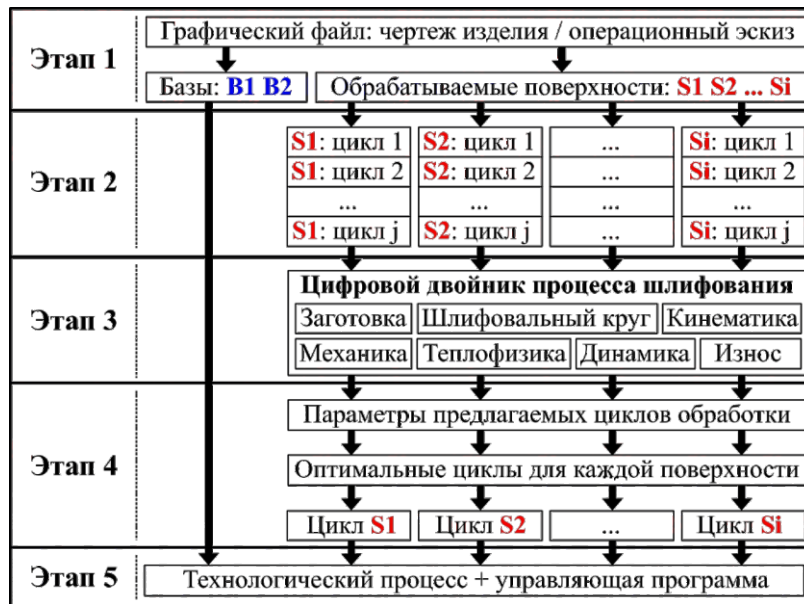


Рис. 1. Методология автоматического проектирования операций шлифования на станках с ЧПУ

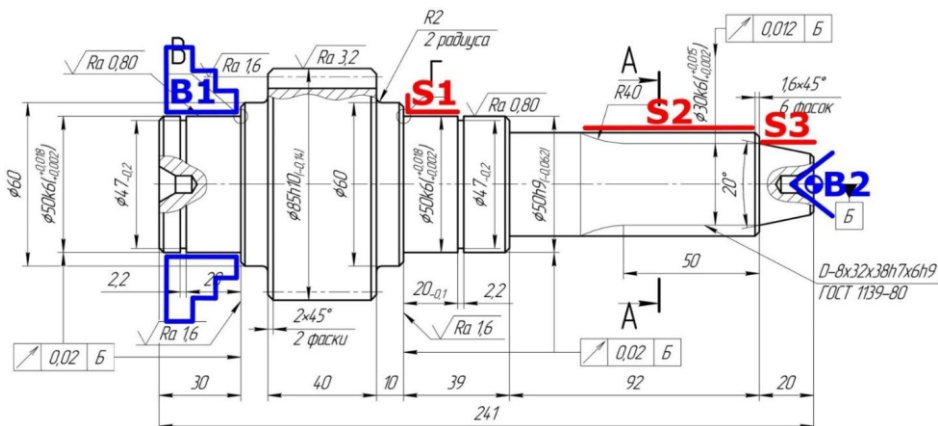


Рис. 2. Графическое представление чертежа вала с обозначением схемы базирования обрабатываемых поверхностей и ноля системы координат заготовки

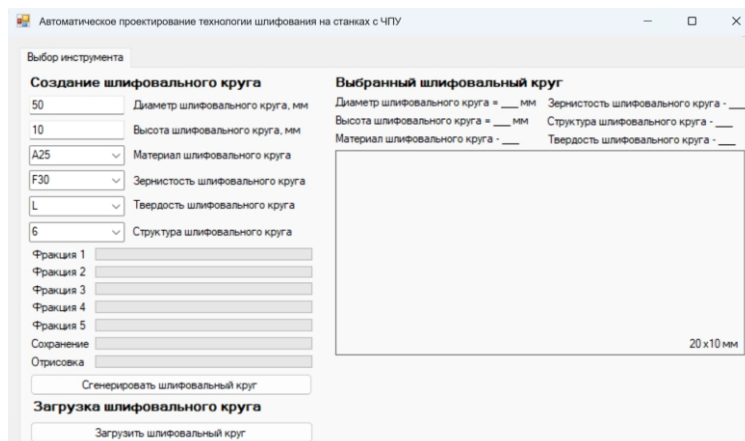


Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения для проектирования операций шлифования на станках с ЧПУ

# ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ СВЕРХВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ С АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫМ ПОКРЫТИЕМ

Руководитель проекта – PhD Чжао Д.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение влияния Zn-покрытия на механизм изменения поверхности медных электродов в процессе сварки путем совместного моделирования и экспериментальных исследований.

### ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

3 научных доклада на международных конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus/WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Создана база данных, связывающая переменные данные параметров сварки, микроструктуру, макроструктуру, поле напряжений, температурное поле и поле деформаций электрода в процессе его работы.
- ➔ Разработаны модели мониторинга состояния электрода путем контроля сигнала динамического сопротивления в процессе сварки на основе алгоритмов искусственного интеллекта.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ База данных, показывающая взаимосвязь между макроструктурой, микроструктурой, химическим составом, полем напряжений, температурным полем и полем деформаций электрода в процессе его работы.
- ➔ Передовая система мониторинга изменения электродов в режиме реального времени.
- ➔ Оптимизированная и комплексная методология для выявления механизма изменения электрода под воздействием Zn-покрытия.
- ➔ Индивидуальные модели прогнозирования срока службы сварочного электрода.
- ➔ Публикация работ в научных журналах.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Во время точечной сварки тепло, выделяемое контактным сопротивлением между электродом и стальной пластиной под действием сварочного тока, поддерживает высокую температуру электрода в течение длительного времени. В сочетании с эффектом давления на электрод кончик электрода легко деформируется, что приводит к изменению плотности тока и таким образом влияет на качество сварки. Металлургическая реакция происходит между электродом и покрытием металла на поверхности листа высокопрочной стали, вызывая легирование электрода и ускоряя его разрушение. На практике в настоящее время используются электроды из CuCrZr с максимально допустимым усилием на электроде 7,0 кН. В основном соединяются стальные, а также алюминиевые листы. Среднее количество сварных точек составляет примерно 150 – 300, после чего электроды приходится фрезеровать для восстановления исходной геометрии электрода. В общей сложности возможно около 35 циклов фрезерования/зачистки до замены электродов. Это увеличивает расход электродов, что приводит к росту производственных затрат; кроме того, эффективность производства значительно снижается из-за частой замены электродов. В данном проекте предлагается использовать динамические кривые сопротивления для контроля износа поверхности



электродов и своевременного определения времени обрезки или фрезерования электрода, что позволит повысить эффективность производства сварки без износа электродов для контактной точечной сварки стальных листов кузова автомобиля.

Преимущества и возможности применения результатов данного исследования следующие:

- Подходит для контактной точечной сварки стальных и алюминиевых листов в конструкциях автомобильных кузовов.
- Высокая электропроводность в сочетании с наилучшей обрабатываемостью.
- На поверхности электрода не образуются интерметаллические соединения или сплавы, что обеспечивает качество сварки.
- Отпадает необходимость в периодической ручной оценке износа электродов, так как степень износа электродов можно отслеживать в режиме реального времени.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Участие в международной конференции <International Technology and Application Conference "PIPES"> с докладом по теме выполняемого проекта.
- ☑ Опубликовано 3 статьи в международных журналах, входящих в список Q1.
- ☑ Зарегистрирована программа, входными данными которой являются выбранные признаки из сигнала динамического сопротивления, а выходными – диаметр торца электрода, что свидетельствует об износе электрода.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Huazhong University of Science and Technology, China
- ☑ Qingdao University of Technology, China

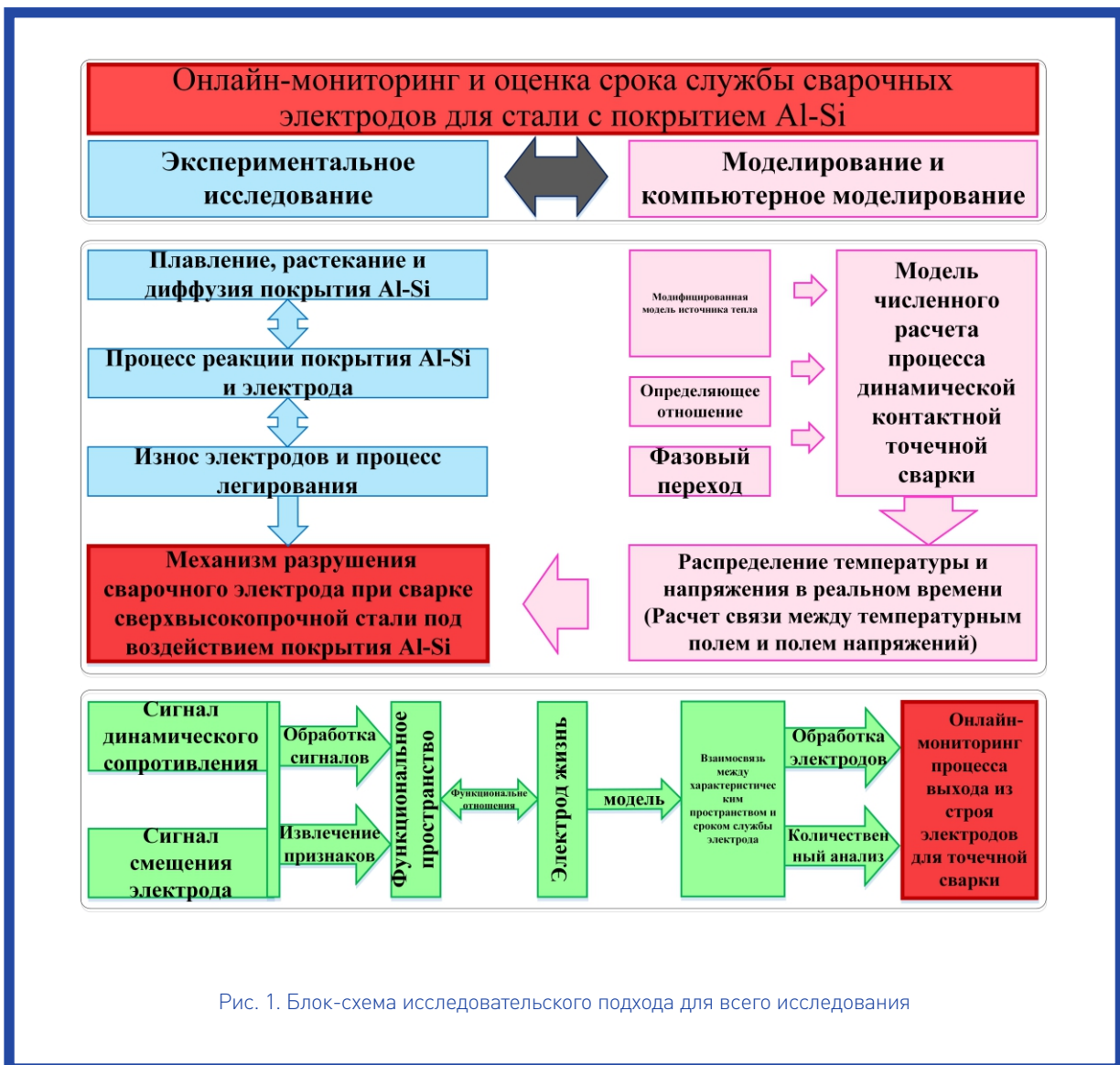


Рис. 1. Блок-схема исследовательского подхода для всего исследования

# РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО СЛУЧАЙНОГО НАГРУЖЕНИЯ

Руководитель проекта – кандидат технических наук А.В. Ерпалов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка научных основ для создания новых высокоэффективных алгоритмов вероятностной оценки остаточного ресурса конструкций ответственных элементов машиностроительного оборудования в парадигме создания цифровых двойников, основанных на совместном использовании физических полуэмпирических моделей вероятностного накопления повреждений в конструкции, эмпирической декомпозиции нестационарных сигналов и интеллектуальных методов машинного обучения.

### ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

2 научных доклада на международной конференции

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

1 статья в журнале из перечня RSCI

1 статья в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Разработка нового алгоритма накопления повреждений в конструкции при воздействии на него нестационарного случайного процесса как процесса с реальных датчиков конструкции (за счет применения современных методов эмпирической декомпозиции нестационарных процессов)
- ➔ Разработка научных основ оценки усталостной долговечности конструкции на основе современных методов частотно-временного разложения нестационарных процессов и обработки частотно-временных спектров свёрточными нейронными сетями
- ➔ Разработка методических основ создания цифровых двойников машиностроительных конструкций для мониторинга и прогнозирования их остаточной долговечности.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Методика обработки сигналов с установленных на конструкции сенсоров в режиме реального времени и алгоритм мониторинга остаточного ресурса машиностроительных конструкций при нестационарном эксплуатационном нагружении.
- ➔ Оригинальная гипотеза суммирования эмпирических сигналов, полученных в результате

декомпозиции нестационарного процесса, с позиции их вклада в накопление повреждений в конструкции.

- ➔ Новые экспериментальные данные по усталостным характеристикам материалов при гармоническом и случайном нагружениях.
- ➔ Концепция интеллектуальной вероятностной модели оценки остаточного ресурса конструкции с нестационарной историей нагружения с применением методов машинного обучения.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработка алгоритмического обеспечения цифровых двойников натуральных объектов позволит планировать ремонтно-восстановительные работы объектов, сократить внезапные остановки производства (~10 %) в результате образования усталостных трещин, а также контролировать ресурс путем оптимизации технологического процесса производства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Выявлены особенности применения современных методов декомпозиции нестационарных случайных

процессов нагружения машиностроительных конструкций в оценке их усталостной долговечности.

- ☑ Разработан подход суммирования эмпирических процессов, полученных в результате декомпозиции нестационарного процесса нагружения, с позиции их вклада в накопление повреждений в конструкции.
- ☑ Проведены стендовые экспериментальные исследования образцов материалов с заданием случайного нагружения, верифицирован предложенный подход.
- ☑ Сформирована общая концепция создания цифровых двойников изделий машиностроения с

точки зрения долговечности с использованием методов эмпирической декомпозиции нестационарных процессов нагружения.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук» (ИМАШ РАН), г. Москва

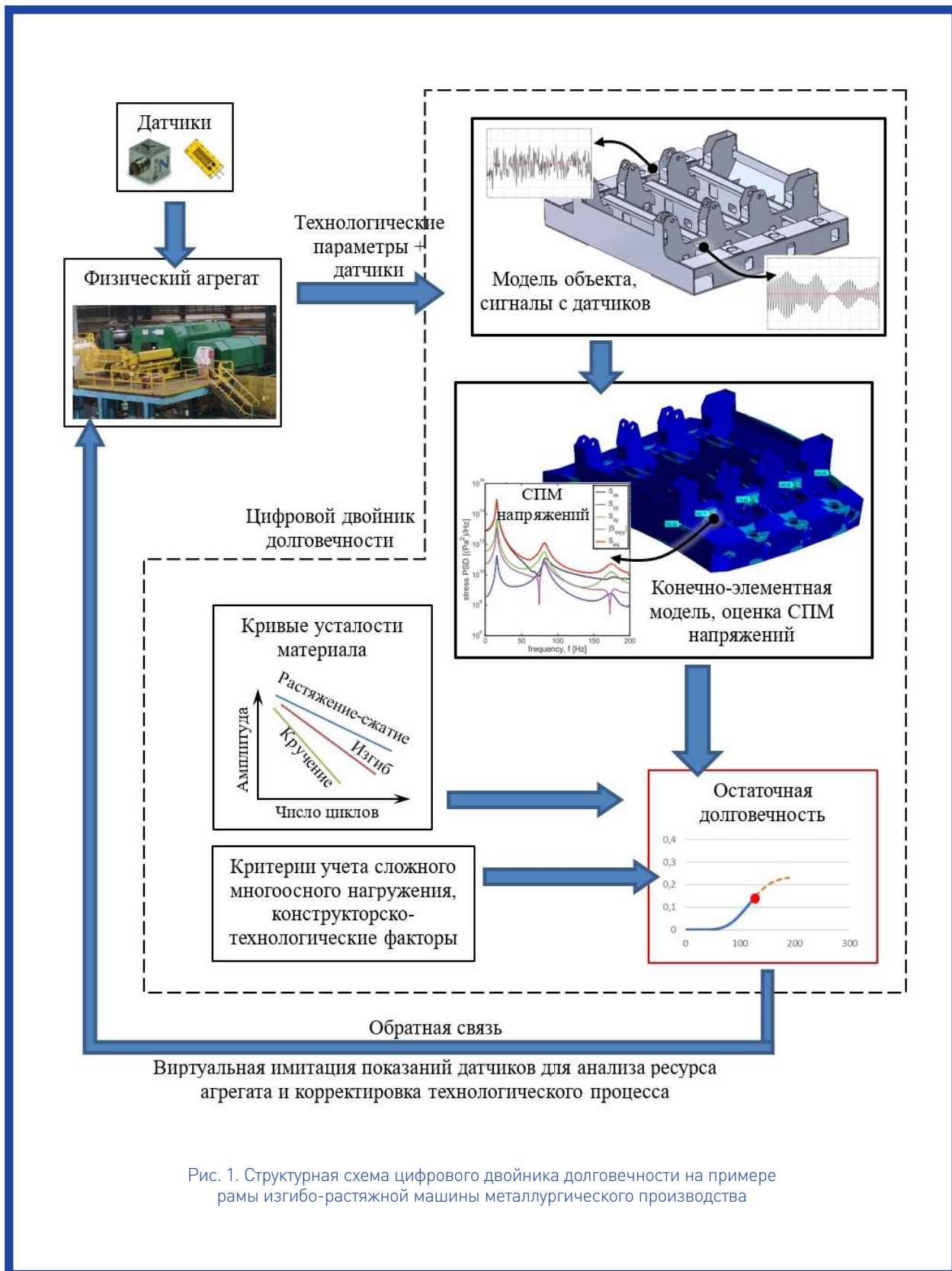


Рис. 1. Структурная схема цифрового двойника долговечности на примере рамы изгибо-растяжной машины металлургического производства

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ТРЕХМЕРНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ РАДОНА, В РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ С КОНУСНЫМ ПУЧКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор Е.Н. Симонов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать алгоритм реконструкции трехмерных изображений для рентгеновской компьютерной томографии (КТ) с конусным пучком излучения и спиральным сканированием, основанный на точном аналитическом представлении трехмерного преобразования Радона (прямого и обратного) проекционных данных.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

1 статья в журнале из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Получение на основе трехмерного преобразования Радона основного уравнения КТ для конусного пучка излучения и плоского детектора.
- Получение фильтра проекционных данных.
- Получение уравнения визуализации для трехмерного протяженного объекта исследования при спиральной траектории источника излучения.
- Проведение исследования устойчивости трехмерного алгоритма реконструкции и качества томографических изображений.
- Разработка программного кода и реконструктора томографических изображений для КТ с конусным пучком излучения и спирального сканирования.
- Определение практического приложения реконструктора для онлайн контроля и диагностики внутренней структуры аддитивного слоя в любой точке его объема при изготовлении из металла крупногабаритных, сложных, высоконадежных изделий высокой стоимости по аддитивной технологии.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Программный продукт (программный код) решения для конусного пучка излучения и спирального сканирования прямой задачи томографии – получение проекционных данных для объекта исследования (программный реконструктор).

- Математическая модель трехмерного фантома для моделирования проекционных данных (для решения прямой задачи томографии).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Как известно, аддитивное изготовление изделий из металлов и их сплавов (АТ) в машиностроении относится к технологии нового 6-го научно-технологического уклада. Одной из главных причин сдерживания внедрения АТ для крупногабаритных изделий высокой надежности и стоимости, в которых дефект недопустим, является проблема контроля и диагностики в реальном масштабе времени (онлайн) при изготовлении изделия внутренней структуры аддитивного слоя в любой точке его объема с управлением режимов изготовления для обеспечения качества.

Онлайн контроль внутренней структуры изделий в любой точке его объема с требуемым пространственным разрешением и разрешением по плотности, с высокой скоростью, в автоматическом режиме технологического процесса изготовления изделий, с цифровым получением измерительной информации (изображений) можно осуществлять оперативно современными томографическими методами на основе рентгеновской компьютерной томографии (КТ).

Для рентгеновского томографического контроля требуется разработка высокоскоростных алгоритмов реконструкции томографических изображений с применением трехмерного преобразования радона для конусного пучка рентгеновского излучения, охватывающего требуемую область аддитивных слоев объекта исследова-



ния. И здесь результаты проекта могут быть востребованы для разработки систем контроля и диагностики.

Система онлайн контроля и диагностики внутренней структуры на основе КТ с применением разрабатываемых трехмерных алгоритмов реконструкции дает практически стопроцентную гарантию качества изготовления конкретного изделия.

Наибольший экономический эффект такая система онлайн контроля и диагностики для АТ технологии может дать при изготовлении крупногабаритных сложных высоконадежных изделий высокой стоимости, таких, например, как корпуса ракет, других летательных аппаратов и корпусов активных зон атомных модульных реакторов и т. д.

Для исследования быстропротекающих процессов в ВВ с помощью динамической рентгеновской компьютерной томографии также требуются высокоскоростные алгоритмы реконструкции томографических изображений с применением трехмерного преобразования радона для конусного пучка рентгеновского излучения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ✓ Установлены связи между трехмерным преобразованием радона и уравнением лучевой суммы для конусного пучка излучения. Получение средневзвешенной проекции и нефльтрованного уравнения визуализации.
- ✓ Получены ядра в средневзвешенной проекции. Интерпретация ядра как произвольной функции

рассеяния точки (ФРТ). Определение условий перехода от произвольной ФРТ к итерационно-инвариантной ФРТ, позволяющей, в свою очередь, перейти к свертке в интегральном уравнении реконструкции. Исследование количества итераций – приближений ФРТ от параметров конусного пучка излучения и значений радиуса траектории источника. Получение фильтрованного уравнения визуализации.

- ✓ Проведено исследование произвольной ФРТ. Показано, что произвольную ФРТ можно свести приближенно к ядру свертки путем ее итерации. Для этого было проведено математическое доказательство итерационного подхода в определении ядра свертки, используя свойства и преобразования дельта-функции: фильтрующее свойство, масштабирование, дифференцирование и интегрирование, произведение дельта-функций, преобразование сложной дельта-функции. Представление итерационно-инвариантной ФРТ через преобразование Фурье. Исследование уравнения реконструкции в Фурье области.

## ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ✓ АО «ГРЦ им. академика Макеева В.П.», г. Миасс (аддитивное изготовление корпусов ракет).
- ✓ АО «ОКБ им. Африкантова И.И.», г. Н. Новгород (аддитивное изготовление активных зон модульных малогабаритных атомных реакторов).
- ✓ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Забабахина Е.И.», г. Снежинск (компьютерная импульсная томография ВВ).

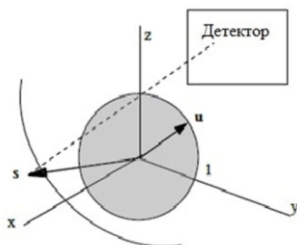


Рис. 1. Геометрия сканирования конусным пучком с матричным детектором

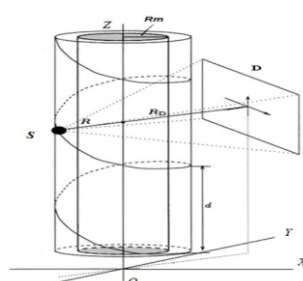


Рис. 2. Геометрия спирального сканирования с конусным пучком излучения

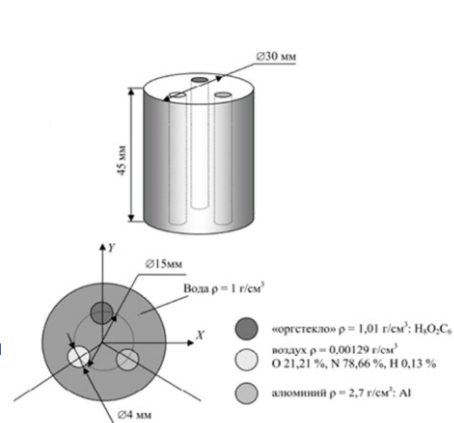


Рис. 3. Физический фантом, для которого разработана математическая модель



Рис. 5. Томограммы математической модели фантома, полученные при реконструкции по трехмерному алгоритму

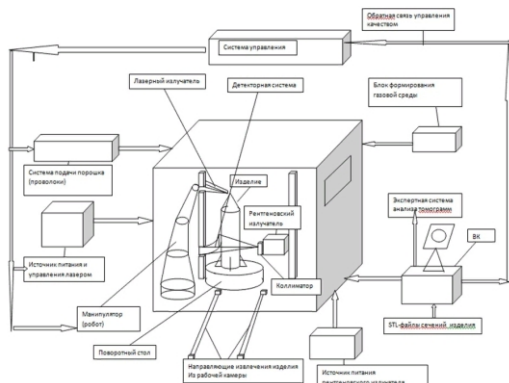


Рис. 4. Структурная схема системы аддитивной технологии (АТ) с онлайн контролем и диагностики внутренней структуры аддитивных слоев на основе КТ с применением разрабатываемых трехмерных алгоритмов реконструкции (ВК), автоматизированной системой анализа томограмм и управления режимами АТ

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯХ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Руководитель проекта – доктор технических наук К.В. Гаврилов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка основных научных положений, методов, алгоритмов и программ для моделирования динамики и исследования нестационарных процессов, происходящих в тонком смазочном слое узлов трения, работающих в условиях высоких и сверхвысоких давлений.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

1 научный доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus/WoS

1 статья в журнале из перечня ВАК/RSCI

1 статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Описание топографии (микрорельефа) поверхностей трения.
- Применение подхода в задачах оптимизации конструкции деталей узлов трения ТНВД поршневых двигателей внутреннего сгорания, в том числе дизелей специального назначения.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Математическая модель сложнонагруженного трибосопряжения ТНВД; математическое описание геометрии смазочного слоя с учетом топографии поверхностей трения; методика определения траектории движения подвижных элементов; реологическая модель смазочной жидкости (диз. топлива).
- Разработка программного комплекса, реализующего математическую модель и позволяющего проводить расчетные параметрические исследования плунжерной пары ТНВД.
- Оптимизация параметров микрорельефа трибосопряжения, выработка рекомендаций.
- Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.
- Доклады о результатах работы на международных конференциях.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Программное обеспечение позволит проводить расчетный анализ параметров элементов системы топливоподачи для новых перспективных дизельных двигателей на этапах создания и доводки и может являться элементом системы цифрового двойника дизеля в целом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Выполнены экспериментальные исследования по изучению влияния микрорельефа параметров плунжерной пары.
- ☑ Проведены расчетные параметрические исследования зависимости характеристик исследуемого трибосопряжения ТНВД от параметров лазерного микротекстурирования.

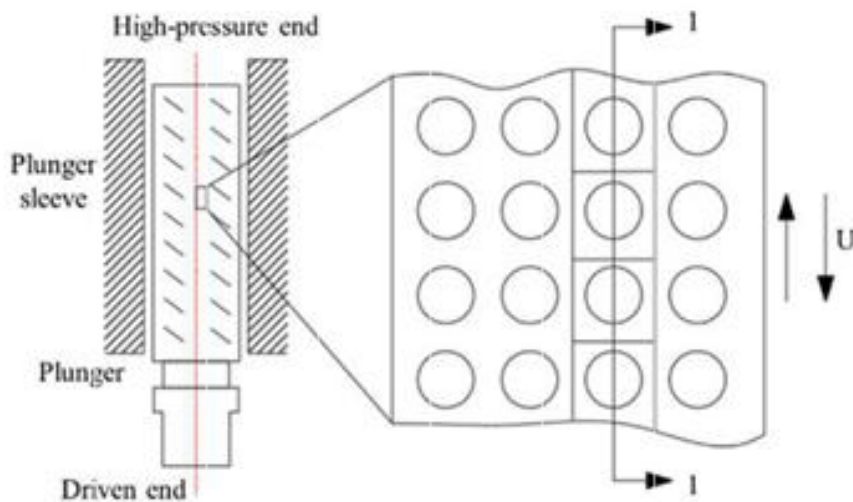


Рис. 1. Расчетная схема

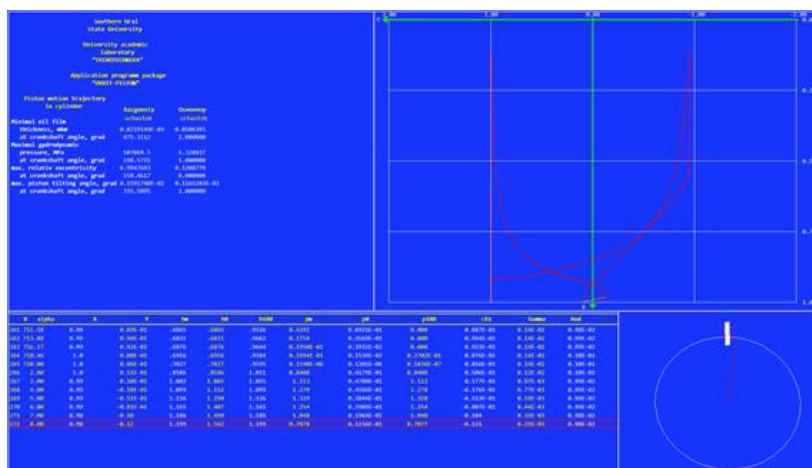


Рис. 2. Рабочее окно программы

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ, РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Руководитель проекта – доктор технических наук, доцент А.В. Коржов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Теоретическое и экспериментальное исследование перенапряжений для выявления уязвимых участков кабельной распределительной сети 6(10) кВ.
2. Уменьшение количества технологических нарушений в кабельных распределительных сетях путем прогнозирования и ограничения возникающих перенапряжений.

## ПУБЛИКАЦИИ

- 4 научные статьи
- 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ
- 2 научных доклада на всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

- 1 статья в Scopus
- 2 статьи в журналах RSCI
- 1 статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Провести анализ статистики технологических нарушений в кабельных сетях напряжением 6(10) кВ по нескольким филиалам ПАО «РОССЕТИ».
- Выявить зависимость между неоднородностью распределительной сети и уровнем возникающих перенапряжений. Разработать методику по определению наиболее аварийных участков и режимов кабельной сети.
- Разработать прототип нового технического средства для ограничения перенапряжений (ОПН или иное электротехническое оборудование) с учетом специфики перенапряжений, возникающих в кабельных распределительных сетях 6(10) кВ.
- Разработать рекомендательно-методические указания по установке средств защиты (ОПН или иного электротехнического оборудования) в кабельных распределительных сетях 6(10) кВ.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Методические рекомендации по прогнозированию, расчету и анализу перенапряжений в неоднородной кабельной распределительной сети напряжением 6(10) кВ с использованием карты перенапряжений, карт наиболее аварийных участков и режимов.
- Принципиальная схема нелинейного защитного элемента, обладающего

способностью эффективного подавления перенапряжений в кабельных сетях 6(10) кВ. Определены и изучены основные электрические и термические свойства защитного элемента.

- Математическая модель прототипа защитного устройства.
- Конструкция и лабораторный образец защитного устройства для защиты кабельных линий 6(10) кВ от перенапряжений.
- Корректировки в действующую методику по выбору характеристик и порядку применения устройств защиты от перенапряжений для кабельных линий 6(10) кВ. Оценка эффективности применения защитных устройств для различных участков сети.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В настоящее время в условиях высокого износа городской кабельной инфраструктуры и частых технологических нарушений, сопровождающихся перенапряжениями, актуальным является – снижение количества аварий и организация мероприятий по повышению эксплуатационной надежности распределительных сетей 6(10) кВ. Результаты работы в перспективе позволят:

- определять оптимальную конфигурацию сети при аварийных и оперативных переключениях;
- производить ранжирование кабельных линий и организовывать процесс их замены с учетом степени износа и вероятности повреждения при перенапряжениях;
- организовывать мероприятия по применению защитных устройств, которые снизят степень негативного влияния перенапряжений на изоляцию и кабельную линию в целом, что позволит увеличить срок службы и повысить основные показатели надежности.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведен анализ статистики повреждаемости кабелей 6(10) кВ по нескольким филиалам ПАО «Россети». Выявлены основные технические и организационные причины повреждений.
- ☑ Получены новые экспериментальные данные по уровням перенапряжений в кабельной распределительной сети напряжением 6(10) кВ на энергообъектах города Челябинска. Сделан вывод о необходимости использования устройств защиты от перенапряжений.
- ☑ Изучены конфигурации распределительной сети, при которых возможно возникновение переходного резонанса и факторы, влияющие на него.
- ☑ Разработана и апробирована методика по построению карты распределения перенапряжений вдоль

длины кабельной линии, карты наиболее аварийных участков и режимов сети.

- ☑ Введены термины: неоднородная сеть, критическая область сети, критический узел сети.
- ☑ Разработана и апробирована математическая модель влияния импульсных явлений на интенсивность частичных разрядов.
- ☑ Определены характеристики токового импульса через ограничитель перенапряжения.
- ☑ Предложен ряд конструкций ОПН с изменяющейся вольт-амперной характеристикой.
- ☑ Проведены исследования по изучению морфологии, основных свойств и характеристик металлооксидных варисторов. Оценена пропускная способность и способность рассеяния мощности импульсного воздействия варисторов.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ АО «Энергия + 21», п. Увельский, Челябинская обл., Россия
- ☑ ОАО «ЧГЭС»

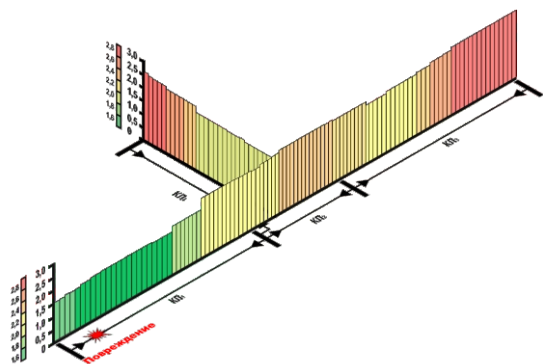


Рис. 1. Карта распределения перенапряжений вдоль длины кабельной линии



Рис. 2. Экспериментальные исследования в городской кабельной сети 10 кВ с целью выявления перенапряжений

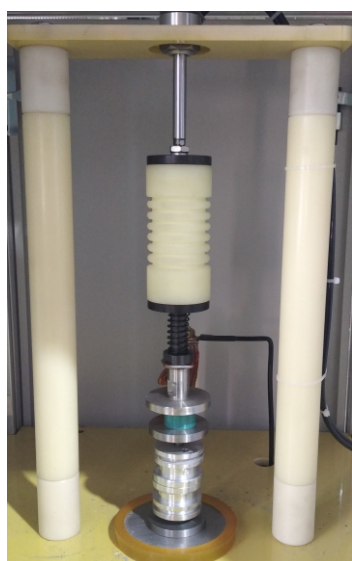


Рис. 3. Исследование электрических характеристик металлооксидных варисторов

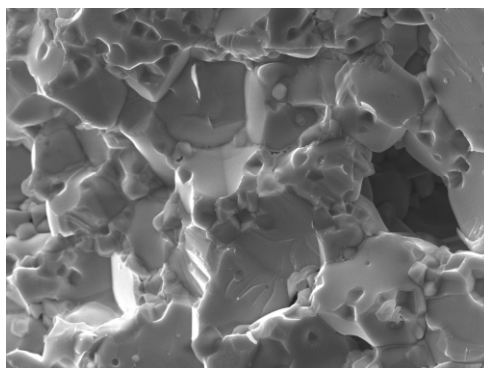


Рис. 4. Морфология металлооксидного варистора

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор С.Г. Воронин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка алгоритмов адаптивного управления синхронными двигателями с постоянными магнитами (СДПМ) в режиме фазово-векторного управления (ФВУ) в условиях изменяющихся параметров и режимов работы.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

1 научный доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

1 статья в журнале из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Исследование и обоснование выбора алгоритмов управления СДПМ с дискретной коммутацией обмотки. Оценка эффективности использования в указанных электромеханических системах алгоритмов ФВУ.
- Моделирование процессов преобразования энергии в указанных выше системах и выявление общих закономерностей, в виде аналитических зависимостей отражающих алгоритмы управления.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Алгоритмы адаптивного управления электроприводом с ФВУ в условиях изменяющихся параметров и режимов работы. Проведено сравнение различных алгоритмов прямого и непрямого адаптивного управления, а также алгоритмов на основе принципов нечеткого управления, систем с обучением или систем экстремального регулирования. Показана предпочтительность использования того или иного алгоритма в зависимости от задач, решаемых приводом, и требований, предъявляемых к нему. Эффективность разработанных алгоритмов подтверждена на цифровых моделях привода с реальными параметрами двигателей и регуляторов в статических и динамических режимах работы в широком диапазоне изменения рабочей скорости и момента, максимальные значения которых превышают номинальные величины.

- Алгоритмы идентификации и адаптации применительно к электроприводам с дискретной коммутацией обмотки в режиме ФВУ. Показаны отличительные особенности дискретного электропривода с несинусоидальной ЭДС с точки зрения реализуемых алгоритмов и с точки зрения рабочих характеристик и свойств. Проведено сравнение электроприводов с синусоидальным напряжением и дискретной коммутацией по таким показателям, как энергетическая эффективность и реализуемый диапазон рабочих моментов и скоростей при в одних и тех же габаритах и температурных режимах двигателя. Проанализированы различные способы дискретной коммутации (180-, 150- и 120-градусная) с точки зрения целесообразности и эффективности их применения для различной формы ЭДС двигателя и сформулированы практические рекомендации по выбору способа коммутации с учетом формы ЭДС.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты работы могут быть использованы и уже используются на ряде предприятий региона при разработке тягового электропривода наземных транспортных средств и БПЛА.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ☑ Разработаны уточненные математические модели, позволяющие анализировать механические, регулировочные, энергетические и динамические характеристики электроприводов с СДПМ в режиме фазового векторного управления. Отличительной особенностью моделей является возможность учитывать наличие неравенства индуктивностей обмотки по осям  $d$  и  $q$ , а также изменение таких параметров двигателя, как индуктивность обмотки, коэффициент связи между скоростью вращения ротора и противо-ЭДС, обусловленных изменением электромагнитной нагрузки статора.
- ☑ Разработаны алгоритмы идентификации не измеряемых координат привода, представленные в виде аналитических соотношений, описывающих нелинейные наблюдатели. В частности, для идентификации электромагнитного момента двигателя был разработан наблюдатель в дифференциальной форме, для определения момента сопротивления вращению двигателя (момента нагрузки) используется редуцированный (пониженного порядка) наблюдатель Люенбергера.

- ☑ Проанализированы адаптивные свойства систем ФВУ с вентильными двигателями (ВД), возможность их функционирования в условиях параметрических возмущений и изменяющихся режимов работы.
- ☑ Проведены исследования процессов электромеханического преобразования энергии в СДПМ с дискретной коммутацией обмотки при несинусоидальном потокоцеплении поля ротора с обмоткой статора, т. е. при несинусоидальной ЭДС двигателя.
- ☑ Составлена универсальная математическая модель, отражающая электромагнитные процессы в двигателе для различных способов дискретной коммутации, несинусоидальной ЭДС, ненулевой индуктивности обмотки и любом значении угла коммутации.
- ☑ Впервые удалось показать, что дискретная 120-градусная коммутация превосходит как случай синусоидального питания, так и 180-градусную коммутацию по КПД при всех значениях реализуемой для неё относительной индуктивности. Однако изменение угла  $\theta$  в этом случае дает слабый эффект с точки зрения как регулирования момента, так и регулирования скорости.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ООО «Мэлс», г. Миасс
- ☑ ООО «Станкомаш», г. Челябинск

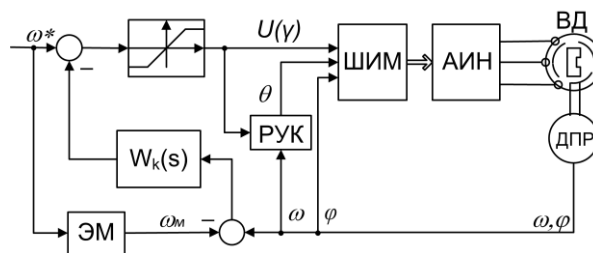


Рис. 1. Система фазового векторного адаптивного управления с регулированием амплитуды и фазы напряжения (с эталонной моделью)

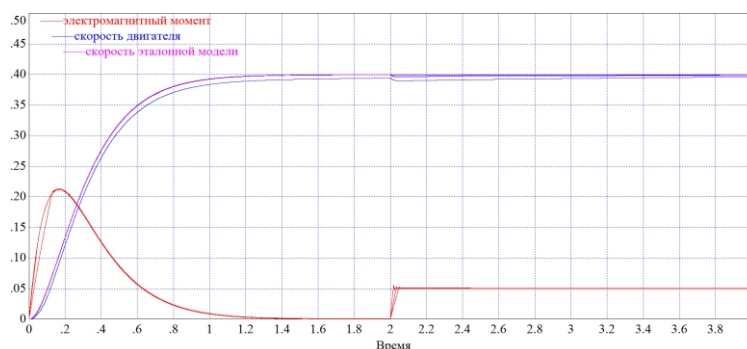


Рис. 2. Процесс отработки задания по частоте вращения и нагрузке

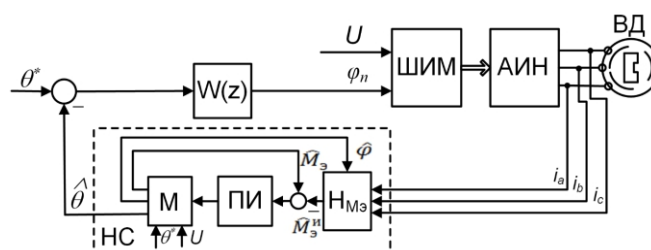


Рис. 3. Система бездатчикового фазового векторного адаптивного управления двигателем

# СОЗДАНИЕ ОСНОВ ТЕОРИИ НОВЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ И НАДЕЖНОСТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ И СИНТЕЗ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭТИХ СИСТЕМ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор М.А. Григорьев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Впервые будут выявлены и охарактеризованы зависимости фазовых переменных.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

3 научных доклада на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

6 статей в журнале из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Впервые будут выявлены и охарактеризованы зависимости фазовых переменных (ток, напряжения, частота питания, электромагнитный момент) систем электроприводов от геометрии активных частей электро-механического преобразователя, формы управляющих воздействий фазных токов (отказ от ограничений на эту форму – не только синусоидальная), конфигурации схем силовых цепей (по количеству фаз, структуре полупроводникового преобразователя (количество уровней преобразователя) на примере крупных электроприводов переменного тока объектов металлургического производства и нефтегазового комплекса.
- Показаны семейства энергетических состояний в этих точках.
- Оценены удельные массогабаритные показатели систем электропривода.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Комплекс (набор) регрессионных моделей, полученных на основе обработки результатов экспериментальных исследований в полевых условиях и анализа данных каталогов электротехнической промышленности.
- Анализ полученных регрессионных моделей, на основании которого выполняется оценка текущих возможностей современных систем электропривода по таким критериям, как удельные массогабаритные показатели (момент / к массе), максимальный КПД, средневзвешенный КПД.

- Результаты систематизация полученных данных в широком диапазоне мощностей. Результаты сопоставления этих данных и оценка предельных возможностей, достигаемых в идеализируемых объектах.  
Результаты сопоставления текущих энергетических показателей электроприводов с предельными, которые могут быть достигнуты в идеализируемой системе.
- Результаты исследований зависимостей фазных переменных систем электропривода от геометрических параметров электрической машины для широкого класса электрических машин. Результаты сопоставления известных решений с полученными на обобщенной модели. Критическая оценка результатов.
- Результаты исследования зависимостей уровня сложности конфигурации ротора и спинки статора синхронной реактивной машины при традиционных методах оптимизации и с учетом влияния конфигурации схем силовых цепей.
- Результаты зависимостей оптимального количества полюсов в синхронных реактивных машинах с учетом и без учета схемы питания полупроводникового преобразователя частоты.
- Результаты исследований зависимостей уровня сложности конфигурации спинки статора асинхронной машины при традиционных методах оптимизации и с учетом влияния конфигурации схем силовых цепей.
- Результаты зависимостей оптимального количества полюсов в асинхронных машинах с учетом и без учета схемы питания полупроводникового преобразователя частоты.
- Получение семейства зависимостей энергетических показателей комплекса полупроводниковый преобразова-



тель – двигатель для традиционных подходов к оптимизации и для предложенных в данном проекте в разных системах электроприводов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- ✓ Применение относительно новых методик в электроэнергетике и электромеханике (параллельных методов расчета на высокопроизводительных вычислительных кластерах методом конечных элементов совместно с численными методами решения трансцендентных уравнений, позволяющих решать задачи анализа и синтеза полупроводниковых преобразователей частоты) и парадигм (синергетическая парадигма, основывающаяся на том, что синтез новых технических систем, содержащих новые элементы, позволяет не просто суммировать возможности этих элементов, а существенно их усиливать, например, создание теории электромеханического преобразователя на базе синхронной реактивной машины требует учета ограничения угла нагрузки по условиям выпадения из синхронизма и это принципиально ограничивает возможности системы на 20–30 %, переход к же к построению теории сложной системы, содержащей электромеханический преобразователь, полупроводниковый преобразователь и систему управления, эти ограничения снимает принципиально).
- ✓ Прямое применение научных результатов на практике при построении новых систем электроприводов для объектов металлургии и нефтегазового комплекса с улучшенными массогабаритными, энергоэффективными и надежностными показателями.

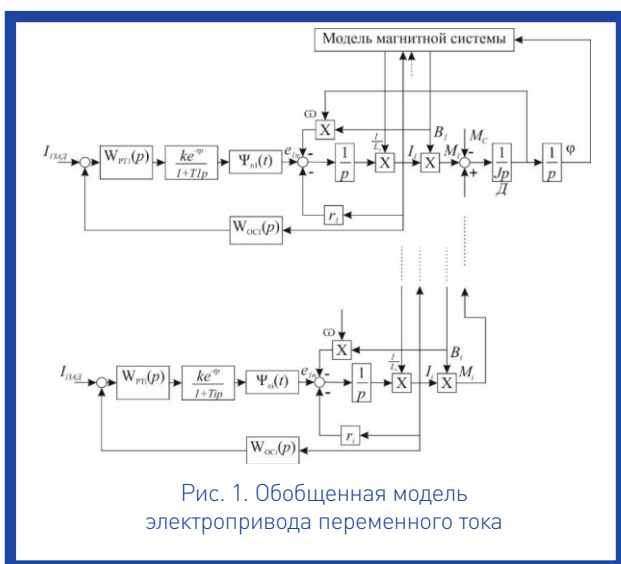


Рис. 1. Обобщенная модель электропривода переменного тока

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2023 г.

- ✓ Выполнены расчеты на обобщенной математической модели по выявлению зависимостей фазовых переменных (ток, напряжения, частота питания, электромагнитный момент) систем электроприводов от геометрии активных частей электромеханического преобразователя для разного класса машин (синхронных реактивных, синхронных машин с возбужденным ротором, асинхронных электрических машин).
- ✓ Проведен анализ зависимости фазовых переменных (ток, напряжения, частота питания, электромагнитный момент) систем электроприводов от формы управляющих воздействий фазных токов для разного класса электрических машин (синхронных реактивных, синхронных машин с возбужденным ротором, асинхронных электрических машин); анализ зависимости фазовых переменных (ток, напряжения, частота питания, электромагнитный момент) систем электроприводов от конфигурации схем силовых цепей по количеству фаз, количеству уровней полупроводникового преобразователя (синхронных реактивных, синхронных машин с возбужденным ротором, асинхронных электрических машин).
- ✓ Разработаны градиентные методы оптимизации для поиска наилучших конфигураций электромеханических преобразователей и полупроводниковых источников питания по критерию минимальных потерь, содержащей несколько этапов и позволяющей выполнить многокритериальную оптимизацию разрабатываемых систем электропривода.
- ✓ Выполнен расчет семейства показателей энергетической эффективности разрабатываемых систем электропривода на метод исследования на разработанной обобщенной математической модели.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ✓ ООО НТЦ «Приводная техника», г. Челябинск

# РАЗВИТИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМИ СИЛОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МОДУЛЕЙ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент А.С. Маклаков

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка фундаментальных основ и научно обоснованных технических решений, направленных на разработку новых энергоэффективных методов управления высоковольтными силовыми преобразователями в условиях низкой частоты переключений полупроводниковых модулей. Научная проблематика заявляемого проекта вытекает из фундаментальной проблемы силовой электроники, которая связана с возникновением электрических потерь при преобразовании электрической энергии полупроводниковыми преобразователями, а также с ухудшением показателей качества преобразованной мощности.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

5 статей в Scopus/WoS

1 статья в журнале из перечня ВАК

1 статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработать математические модели высоковольтных трёхуровневых силовых полупроводниковых преобразователей с фиксирующими диодами.
- Разработать алгоритмы расчёта широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей высоковольтных трёхуровневых силовых полупроводниковых преобразователей с фиксирующими диодами.
- Определить наиболее эффективные последовательности переключений полупроводниковых модулей высоковольтных трёхуровневых силовых полупроводниковых преобразователей с фиксирующими диодами;
- Провести теоретические исследования методом математического моделирования электромагнитных процессов на разработанных математических моделях.
- Проанализировать и установить закономерности получения количественных показателей электромагнитных процессов на разработанных математических моделях.
- Сформулировать методику выбора наиболее эффективного метода управления высоковольтными силовыми преобразователями в условиях низкой частоты переключений полупроводниковых модулей.
- Провести экспериментальные исследования на лабораторном исследовательском стенде для подтверждения адекватности разработанных математических моделей и доказательства работоспособности предложенных алгоритмов и методики их выбора путём сравнения результатов электромагнитных процессов, полученных на экспериментальной установке и компьютерным моделированием.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Результаты сравнительного анализа влияния режимов работы силовых полупроводниковых преобразователей трёхуровневой и двухуровневой топологий на качество напряжения при рассчитанных заранее предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностях переключений полупроводниковых модулей в диапазоне частот от 150 до 1500 Гц.
- Зависимости значений каждой отдельной гармоники в спектре напряжения преобразователя и суммарные индексы гармонических искажений от коэффициента модуляции.
- Результаты сравнительного анализа влияния каждой в отдельности неудалённой гармоники напряжения на потребляемый ток высоковольтного преобразователя трёхуровневой и двухуровневой топологий при рассчитанных последовательностях переключений полупроводниковых модулей.
- Метод расчёта предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей преобразователя, отличающийся от известных тем, что поиск решений будет учитывать частотную характеристику электрической цепи и гармонический спектр потребляемого тока.
- Результаты переходных процессов токов и напряжений в силовой цепи полупроводникового преобразователя трёхуровневой и двухуровневой топологий при возникновении искажений сетевого напряжения из-за несинусоидальности потребляемого тока.
- Рекомендации к алгоритмам управления высоковольтными преобразователями для снижения искажений напряжения в условиях низкой частоты переключений полупроводниковых модулей.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработка новых энергоэффективных методов управления высоковольтными силовыми преобразователями в условиях низкой частоты переключений полупроводниковых модулей позволит запустить в производство высоковольтных преобразователей для управления мощными высоковольтными электродвигателями атомных ледоколов, ветроэнергетических систем генерирования электрической энергии и промышленных электроприводов большой мощности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Разработан метод расчёта предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей высоковольтного полупроводникового преобразователя трёхуровневой топологии с фиксирующими диодами при использовании четвертьволновой формы симметрии выходного

переменного напряжения при полном удалении и выборочном подавлении отдельных гармонических составляющих на основе методов доверительных окрестностей с ломаным шагом и барьерных функций.

- ✓ Разработана методика поиска минимума суммарного индекса гармонических искажений напряжения на входе высоковольтного полупроводникового преобразователя трёхуровневой топологии с фиксирующими диодами с помощью метода роя частиц на заранее определённом интервале изменения коэффициента модуляции.
- ✓ Сформулированы рекомендации по разработке энергоэффективных методов управления высоковольтными силовыми преобразователями в условиях низкой частоты переключений полупроводниковых модулей, учитывающие многочисленные схемы подключения к питающей сети на основе фазосдвигающих трансформаторов, предельную частоту коммутаций полупроводниковых модулей преобразователей в диапазоне изменения выходной частоты и амплитуды напряжения, частотную характеристику комплексного сопротивления в точке общего подключения преобразователей к питающей сети, быстродействие и точность обработки сигналов системы управления преобразователем.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ✓ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

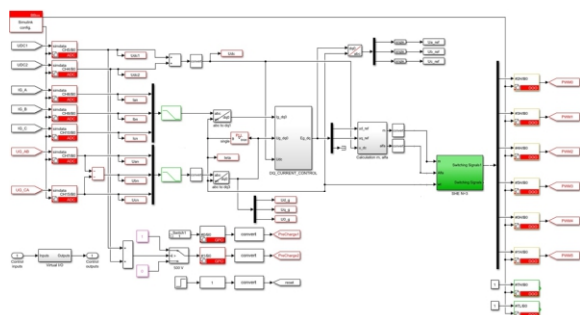


Рис. 1. Реализации программы для микроконтроллера в Matlab/Simulink

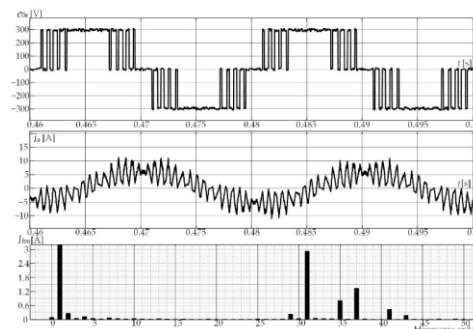


Рис. 2. Осциллограммы фазных напряжений и токов трёхуровневого АВН при  $m = 1,02$  для ПШИМ с ИУГ с удалением 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25 гармоник

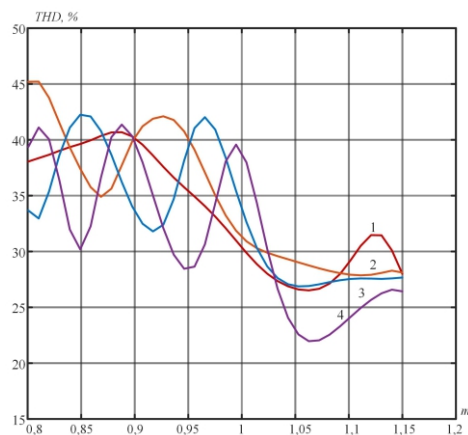


Рис. 3. Поведения THD% фазного напряжения трёхуровневого АВН в зависимости от коэффициента модуляции для четырёх шаблонов ПШИМ с ИУГ

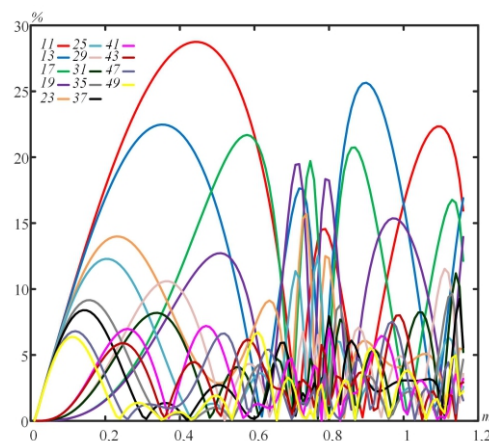


Рис. 4. Состав спектра напряжения трёхуровневого АВН при ПШИМ с исключением 5 и 7 гармоник

# РАЗВИТИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ЗАПРОГРАММИРОВАННЫХ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНО-МОДУЛИРУЕМЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МОДУЛЕЙ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент А.С. Маклаков

## ЦЕЛИ РАБОТЫ

- Разработка энергоэффективного метода широтно-импульсной модуляции высоковольтными силовыми полупроводниковыми преобразователями при низких частотах переключений полупроводниковых модулей.
- Разработка метода обеспечения электромагнитной совместимости высоковольтных силовых полупроводниковых преобразователей с питающей сетью.
- Разработка метода поиска предварительно запрограммированных широтно-импульсно-модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого высоковольтного преобразователя с фиксирующими диодами.

## ПУБЛИКАЦИИ

14 научных статей

1 патент

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/WoS

6 статей в журналах из перечня ВАК

6 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработать математические модели алгоритмов управления силовыми преобразователями на основе предварительно запрограммированных широтно-импульсно-модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей.
- Провести экспериментальные исследования методом математического моделирования электромагнитных процессов на разработанных математических моделях.
- Проанализировать и установить закономерности получения количественных показателей электромагнитных процессов на разработанных математических моделях.
- Выявить характерные особенности, положительные и отрицательные явления в процессах преобразования электроэнергии полупроводниковыми преобразователями на основе предварительно запрограммированных широтно-импульсно-модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей.
- Провести экспериментальные исследования на лабораторном исследовательском стенде для подтверждения адекватности разработанных математических моделей и доказательства работоспособности предложенных алгоритмов и методики их выбора путём сравнения результатов электромагнитных процессов, полученных на экспериментальной установке и компьютерным моделированием.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Усовершенствованные алгоритмы широтно-импульсной модуляции высоковольтными силовыми полупроводниковыми преобразователями при низкой частоте приключений ключей, обеспечивающие адаптацию к резонансным явлениям в питающей сети за счет ослабления амплитуд высших гармоник тока или их полного удаления в области основного резонанса.
- Метод расчёта предварительно запрограммированных широтно-импульсно-модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей на основе метода роя частиц с возможностью получения нескольких последовательностей без необходимости перебора начальных углов переключений.
- Метод расчёта предварительно запрограммированных широтно-импульсно-модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей преобразователя для создания обладающей четвертьволновой симметрией формы напряжения на входе преобразователя при подавлении отдельных гармонических составляющих.
- Результаты экспериментальных исследований на лабораторном исследовательском стенде для проверки адекватности разработанных методов расчета предварительно запрограммированных широтно-импульсно-модулируемых



последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого преобразователя, демонстрирующие работоспособность и адекватность разработанного метода.

- ➔ Рассчитанные предварительно запрограммированные широтно-импульсно-модулируемые последовательности переключений полупроводниковых модулей для применения в высоковольтных трёхфазных трёхуровневых преобразователях большой мощности, позволяющие снизить электрические потери в пределах от 20 до 30 % при сохранении требуемых показателей качества электроэнергии.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- ➔ Разработка новых энергоэффективных методов управления высоковольтными силовыми преобразователями позволит модернизировать серийно выпускаемые преобразователи частоты в Челябинской области для управления мощными тяговыми электродвигателями, автономных систем генерирования электрической энергии, а также промышленных электроприводов для металлургии, машиностроения, нефтегазовой и др. отраслей промышленности.
- ➔ Коммерциализация результатов проекта может быть достигнута на базе производственных мощностей «Парус электро».
- ➔ Повышение энергетической эффективности систем силовой электроники в области экологически чистого и энергоэффективного городского и промышленного электротранспорта соответствует приоритетному направлению социально-экономического развития г. Челябинска в вопросах повышения качества жизни горожан и уменьшения объёмов вредных выбросов в атмосферу.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Разработан способ управления активным выпрямителем напряжения, с помощью которого можно

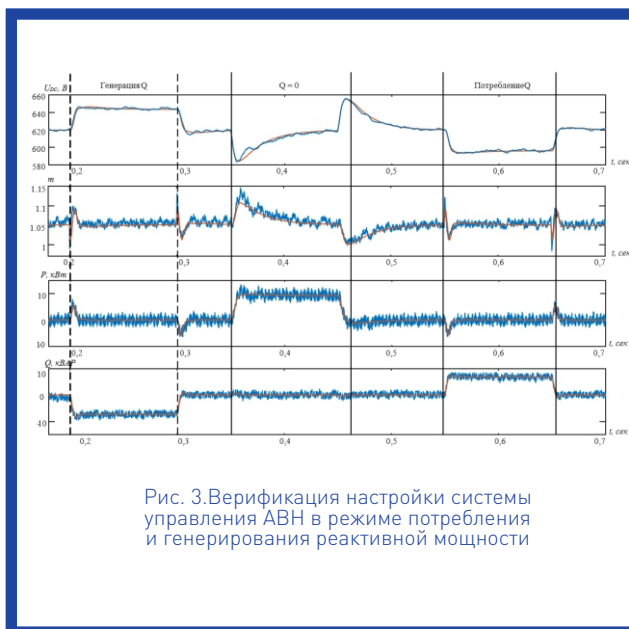


Рис. 3. Верификация настройки системы управления АВН в режиме потребления и генерирования реактивной мощности

регулировать уровень напряжения в звене постоянного тока в зависимости от заданной реактивной мощности и коэффициента модуляции. Разработанный метод позволяет осуществить генерацию и потребление реактивной мощности при постоянном номинальном коэффициенте модуляции ПШИМ с ИУГ.

- ☑ Разработана математическая модель системы управления АВН для исследования режимов генерирования и потребления реактивной мощности в программе Matlab/Simulink, учитывающая трехуровневую топологию преобразователя, схему подключения к сети и алгоритмы ПШИМ с ИУГ. Математическая модель позволяет проводить оценку качества системы автоматического регулирования, уровней индивидуальных и суммарных гармонических составляющих токов и напряжений.
- ☑ Результаты моделирования электромагнитных процессов в системе «Питающая сеть – трёхуровневый АВН» показали наиболее благоприятный диапазон значений коэффициента модуляции АВН от 1,05 до 1,1 по отношению к уровню суммарных гармонических искажений при различных алгоритмах ПШИМ с ИУГ.
- ☑ Проведены экспериментальные исследования на лабораторном исследовательском стенде для проверки адекватности разработанного способа управления АВН в режимах генерирования и потребления реактивной мощности. Полученные экспериментальные результаты показали сходимость в пределах инженерной точности измеренных токов и напряжений АВН при сравнении с результатами моделирования.
- ☑ Проведены экспериментальные исследования на лабораторном исследовательском стенде для проверки адекватности методики расчета индивидуальных и суммарных гармонических составляющих токов и напряжений трёхуровневого АВН с ПШИМ с ИУГ. Полученные экспериментальные результаты подтвердили адекватность и работоспособность разработанного метода.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

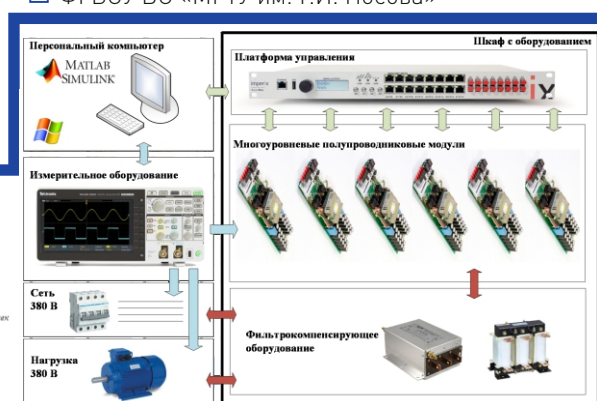


Рис. 1. Лабораторная установка

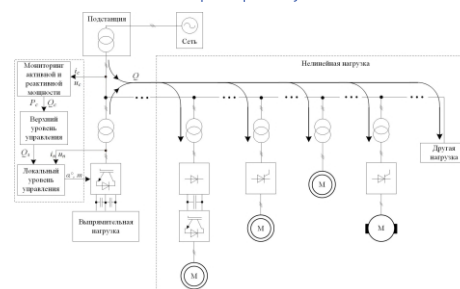


Рис. 2. Функциональная схема АВН для интеллектуальных сетей электроснабжения

# РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФУНКЦИЯМИ САМОДИАГНОСТИКИ И САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ

Руководитель проекта – доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор С.Б. Сапожников

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка научных основ для создания новых материалов, обладающих свойствами самодиагностики и самовосстановления после различных видов силовых и климатических повреждений, которые могут использоваться в различных областях техники и технологий.

### ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 патент на полезную модель

3 научных доклада на международных и всероссийских конференциях

1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/WoS, в т. ч. 1 статья – в журнале Q1

3 статьи в РИНЦ

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Методика получения, данные о микроструктурах, составах и образцах самовосстанавливающихся полисилоксанов, а также методы выбора параметров и характеристик электроизоляционных материалов в различных конструкциях с учетом свойств самовосстановления.
- Характер изменения чувствительности комплексных электрических характеристик к микрповреждениям разного рода: разрывам волокон, расслоениям, порам и т. п. в процессе циклического нагружения.
- Новые данные о самовосстановлении бетонов в результате карбонатной минерализации и биоминерализации и способы управления полиморфизмом карбоната кальция и структурой залечивающего агента для наиболее плотного заполнения пространства трещины или другого дефекта бетона.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Характеристики новых самозалечивающихся полисилоксанов позволяют рекомендовать их как перспективные материалы для электрической изоляции в электротехнической и электронной промышленности.
- По результатам RLC-измерений проводящих композитов возможно

прогнозирование наступления катастрофического состояния ответственных конструкций.

- Разработаны новые составы бетонов с функциями самозалечивания трещин за счёт введения доменного шлака и бактерий *Bacillus Subtilis*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ В проекте положены начала создания теоретических разработок, позволяющих на основе многомасштабного моделирования выполнять прогноз свойств полисилоксанов и далее проверять синтезированные образцы на соответствие модельным расчетам. Для начала структурного моделирования выполнен подбор параметров силового поля GAAF, необходимых для моделируемой системы взаимодействий. Исследование поведения материалов на макроуровне реализовано с помощью моделирования механизмов химического и физического восстановления при возникновении фигур Лихтенберга. Полученные модели скорректированы с учетом свойств псевдопластической жидкости, определенных по экспериментальным данным возникновения и исчезновения триингов в образце полисилоксана. Разработана экспериментальная установка для исследования динамики самозалечивания полисилоксанов после электрического пробоя с малым током. Это позволило уточнить свойства образцов при воздействии внешних факторов.

- Впервые показано, что наполнение полимерных матриц углеродными нанотрубками делает их уникальными материалами для регистрации предельных деформаций, а наполнение проводящими микрочастицами меди позволяет проводить измерение температур с использованием переменного тока без предварительного усиления. Эти материалы могут быть перспективными сенсорами состояния для ответственных изделий.
- Совместное использование в бетонных конструкциях, эксплуатирующихся в условиях переменного увлажнения, доменного гранулированного шлака в дозировках 40–80 % и бактерий *Bacillus Subtilis* может обеспечить процесс самозалечивания

трещин и поддержания прочности бетона в длительной перспективе благодаря одновременным процессам упрочнения структуры за счет длительной гидратации шлаковых минералов и осаждения кальцита в трещинах за счет жизнедеятельности бактерий *Bacillus Subtilis*.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- СПбГУ (г. Санкт-Петербург).
- ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского (г. Жуковский).
- ФГБН «Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза» Уральского отделения РАН (г. Оренбург).

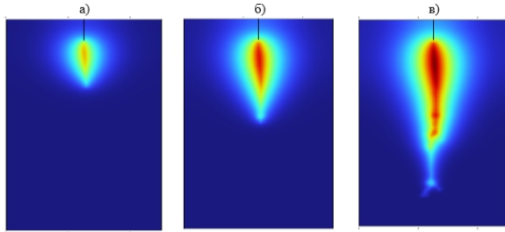


Рис. 1. Распределение температур в зоне тринга

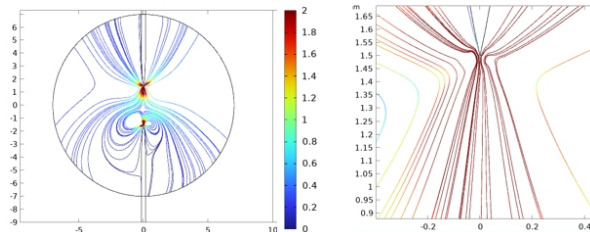


Рис. 2. Траектории и скорости течения вещества в зоне тринга

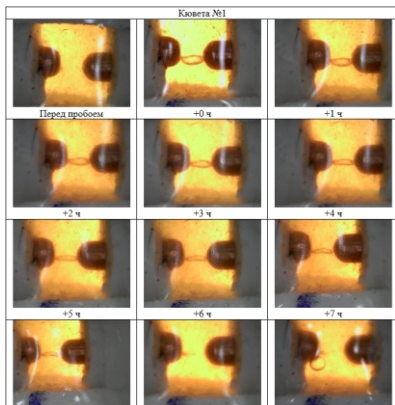


Рис. 3. Возникновение и зарастание тринга

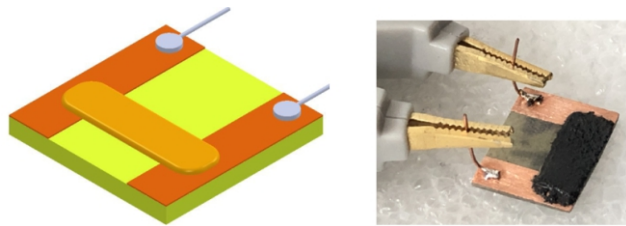


Рис. 4. 3D-макет и реальная измерительная ячейка в процессе измерения импеданса

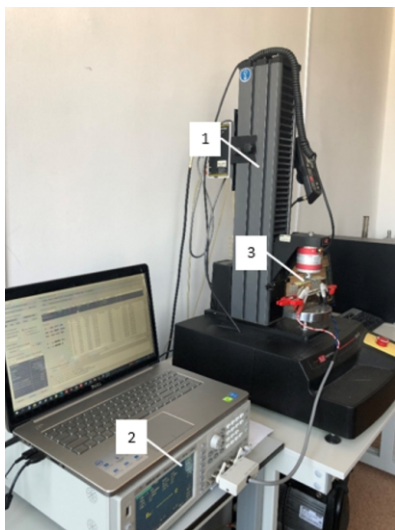


Рис. 5. Установка для измерения импеданса в процессе нагружения образца

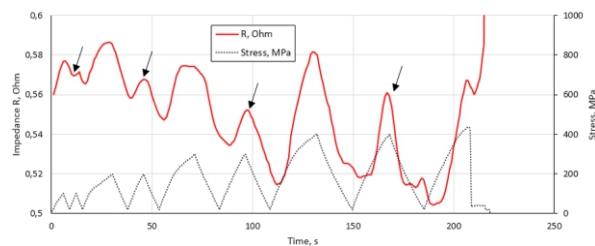


Рис. 6. Изменение импеданса и напряжений при циклическом нагружении углепластика

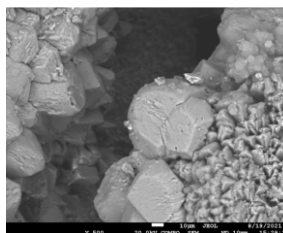


Рис. 7. Зарастание трещины в бетоне (SEM-изображение) без пуццолановых добавок

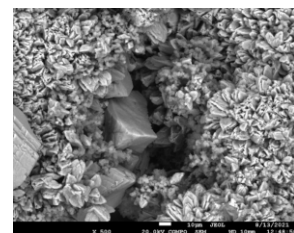


Рис. 8. Ускоренное зарастание трещины в бетоне (SEM-изображение) с метакеолитом 2 %

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ С ОПТИМИЗИРОВАННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Руководитель проекта – доктор химических наук, доцент Д.А. Винник

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание физико-химических основ получения перспективных материалов на металлической основе с повышенными механическими характеристиками с перспективой трансляции полученных фундаментальных знаний на решение прикладных задач совершенствования отдельных узлов двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

## ПУБЛИКАЦИИ

21 научная статья

3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

5 научных докладов на российских и международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

14 статей в Scopus/WoS, в т.ч. 13 статей – в журналах Q1 – Q2

4 статьи в журналах из перечня ВАК

3 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- Первопринципное моделирование (расчет) взаимодействия примесей P/C/Sr/Mn на границах зерен в ОЦК-железе и ее влияния на процессы охрупчивания сталей, а также влияния легирования ванадием и титаном на ближний порядок в сталях, моделирование концентрированных зависимостей энергии и энтальпии смешения, ближнего порядка твердых ОЦК растворов Fe-V, Fe-Ti и определение границ устойчивости твердого раствора.
- Математическое моделирование тепломассообмена в процессе нанесения высокофункциональных покрытий на поверхности сложной конфигурации методом лазерной наплавки.
- Термодинамическое и кинетическое моделирование эволюции фазовых составов разрабатываемых сплавов в процессе их выплавки, термообработки и эксплуатации.
- Опирающееся на результаты моделирования, литературные данные и собственные экспериментальные разработки определение оптимальных направлений создания материалов для изготовления ДВС тяжелой техники.
- Разработка новой жаропрочной высокохромистой стали, а также силуминов нового поколения в качестве материалов для поршней высоконагруженных двигателей. Изучение влияния модификаторов на форму частиц первичного

кремния в эвтектическом сплаве Al-Si и Al-Al9FeNi. Разработка режимов термической обработки новых материалов.

- Разработка химического состава, а также технологии получения заготовок нужных размеров и форм методами открытой выплавки и методами спецэлектрометаллургии для сталей, способных увеличить ресурс элементов шатунно-поршневой группы (ШПГ) двигателей тяжелой техники. Изучение кинетики распада переохлажденного аустенита, структуры и механических свойств после различных режимов охлаждения, влияния отпуска на свойства прочности и вязкости предложенных сталей.
- Разработка оптимальных методик нанесения высокофункциональных покрытий на поверхности элементов ШПГ методом холодного газодинамического напыления.
- Разработка научных основ методов программируемого синтеза металл-матричных композитов и изделий сложной формы на примере электродугового выращивания компонентов двигателя нового поколения.
- Изготовление и испытание характеристик деталей ДВС из разработанных материалов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Обеспечение широкого спектра промышленных технологий высокоэффективными современными материалами. Совершенствование процессов создания



материалов на металлической основе для изготовления ДВС, в том числе для тяжелой автомобильной техники.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Полученные результаты моделирования упругих свойств систем Fe-V и Fe-Ti, проведенные методом ab initio и молекулярной динамики, показывающих возможность проведения расчетов упругих констант различных сплавов. Изготовлен нано-/ультраструктурированный композит Al/Латунь с использованием двух различных способов обработки: накопительного склеивания валиков (ARB) и перекрестного накопительного склеивания валиков (CARB) с изучением характеристик микроструктуры и механических свойств. Осуществлен комплекс работ по термодинамическому моделированию эволюции фазового состава трёх алюминиевых сплавов в процессе их выплавки, кристаллизации, термообработки и длительной эксплуатации. Исследованы взаимосвязи кристаллографической текстуры

и траектории деформации с механическими свойствами сплава AA2024 с использованием способов обработки ARB и CARB. Разработан состав экспериментальной конструкционной стали, легированной хромом, марганцем и никелем. Разработаны математические модели, позволяющие теоретически описать газовый поток и поведение порошковых частиц в высокоскоростной газовой среде для обоснования режимов холодного газодинамического напыления с целью получения покрытий из легкоплавких материалов. Отработана технология послойного электродугового выращивания на примере двух алюминиевых сплавов с целью получения минимального влияния теплового воздействия на качество образцов и выбора приоритетной технологии выращивания образца, также исследованы характеристики микроструктуры и механических свойств. Разработана комплексная методика и решена задача определения теплового состояния подшипников скольжения ротора турбокомпрессора на основе численного моделирования процессов теплообмена и динамики ротора.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

☑ НИТУ МИСИС

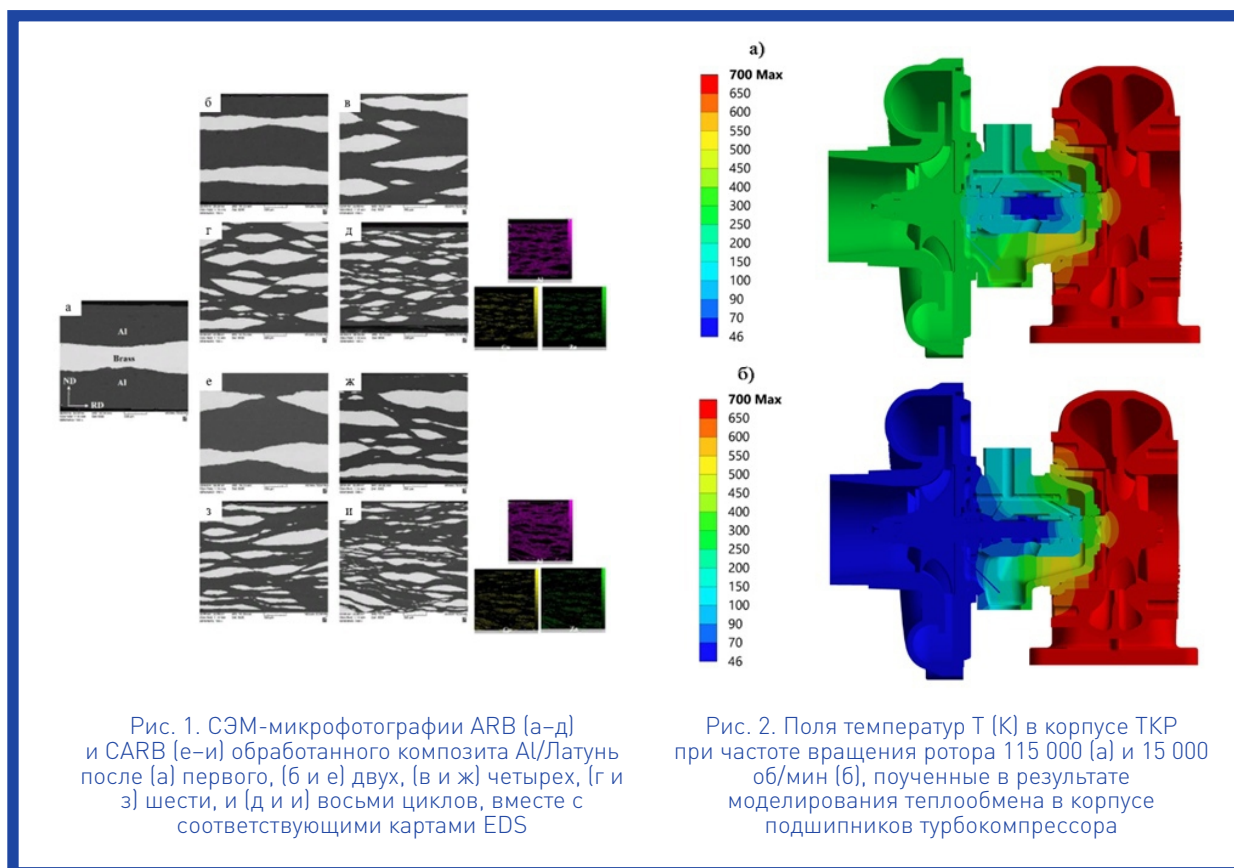


Рис. 1. СЭМ-микрофотографии ARB (а–д) и CARB (е–и) обработанного композита Al/Латунь после (а) первого, (б и е) двух, (в и ж) четырех, (г и з) шести, и (д и и) восьми циклов, вместе с соответствующими картами EDS

Рис. 2. Поля температур  $T$  (K) в корпусе ТКР при частоте вращения ротора 115 000 (а) и 15 000 об/мин (б), полученные в результате моделирования теплообмена в корпусе подшипников турбокомпрессора

# РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ПРОТЕЗОВ КОНЕЧНОСТЕЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Руководитель проекта – доктор биологических наук, доцент В.В. Эрлих

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание технологии производства протезов коленного и голеностопных суставов из композитных материалов с управлением кинематическими характеристиками.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научных статьи

1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

2 научных доклада на российских и международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/WoS

1 статья в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- Создание расчётных моделей коленных и голеностопных суставов различной конструкции на базе 3D-моделирования (реверс-инжиниринг известных конструкций и разработка новых) для обеспечения процедуры оптимизации.
- Проектирование и изготовление элементов с шарнирами коленного сустава из угле- или стеклопластика для обеспечения необходимой кинематики.
- Сборка опытных суставов и определение пространственно-временных фаз, перемещений, ускорений и скоростей основных сегментов движения здоровой конечности и протезированной на добровольцах.
- Изготовление опытной, максимально приближенной к индивидуальной анатомии сохранной конечности эластичной косметической оболочки стопы.
- Разработка методики адаптации людей с травмами конечностей к использованию протезов из композитных материалов.
- Создание технологические инструкции на производство деталей протезов из композитов и сборки/настройки под заданную кинематику для конкретного человека.
- Создание опытного производства компонентов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Современные протезы, особенно коленного сустава, выполняются, как правило, из высокопрочных сталей и поэтому имеют большую массу и сложны в обработке. Кроме того, кости человека имеют жёсткость, намного меньшую, чем у стали, поэтому применение стали в протезах не является рациональным.

В настоящее время имеются эффективные заменители сталей – волокнистые композиты, плотность которых в 4 раза меньше стали, а прочность – выше. Наряду с этим современные технологии проектирования ориентируются на численные методы при назначении размеров деталей, что позволяет снизить как стоимость самой НИОКР, так и цену конечного изделия.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Объемы отечественного производства протезов остаются незначительными по сравнению с импортом. Крупнейшими поставщиками протезов в Россию являются США и Ирландия. Основной причиной низкого уровня отечественного производства является технологическая отсталость РФ в данной сфере – зарубежные компании предлагают не просто функциональные и технологичные протезы высокого качества, но и технологию их установки.

С началом специальной военной операции и введения санкций у инвалидов

в России уже возникли проблемы: они сообщили о невозможности получить гарантированный производителем ремонт протезов иностранного производства. В дальнейшем прогнозируется ухудшение ситуации, связанное с увеличением количества нуждающихся в технических средствах реабилитации (ТСР). Фактически возрастет количество инвалидов «инового типа», молодых людей, получивших тяжелые ранения на территориях новых российских регионов, где идут боевые действия. Одними из самых востребованных станут протезы конечностей, что требует разработки отечественных технологий, обладающих аналогичной функциональностью и меньшей массой.

Таким образом, актуальность импортозамещения протезов конечностей не вызывает сомнений. Реализация НИОКР позволит создать отечественную технологию производства, позволяющую уменьшить массу изделия за счет применения композитных материалов при сохранении необходимой функциональности с возможностью её повышения с использованием цифрового управления.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведены расчётные модели коленных и голеностопных суставов различной конструкции на базе

3D-моделирования (реверс-инжиниринг известных конструкций и разработка новых) для обеспечения процедуры оптимизации.

- ☑ Разработана методика анализа кинематики движения добровольцев одинаковой комплекции при ходьбе с различной скоростью с использованием системы XSens без протезов и с протезами.
- ☑ Проведены исследования кинематики движения добровольцев (до 10 человек), определение ключевых пространственно-временных характеристик биомеханики движения без протезов и с протезами.
- ☑ Проведены параметрические исследования в пакете ANSYS (multibody dynamics) для оценки нагруженности элементов коленного и голеностопных суставов при различных условиях эксплуатации и выявление наиболее опасных комбинаций нагрузок.
- ☑ Выполнена расчётная оценка прочности и долговечности элементов конструкции суставов методом конечных элементов.
- ☑ Разработана технология изготовления и оптимальной структуры заготовок стержневых элементов протезов из композитов для достижения заданной прочности и жёсткости.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ АО «Московское протезно-ортопедическое предприятие».



Рис.1. Протезы



Рис.2. Протезы с гипсовой ногой

# РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Руководители проекта – Ю.С. Латфулина

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Моделирование и разработка новых гибридных материалов на уровне от атомно-молекулярного до наночастиц. Создание новых углеродных материалов для производства конструкционных изделий. Это продукты, используемые в особых условиях. Они могут работать без изменения своих свойств при высоких, а в некоторых случаях и при очень высоких температурах (до 2500 °С), в агрессивных средах (химическое воздействие), при динамических нагрузках. Данный проект предполагает расширение сферы разработки углеродных композиций с добавлением различных добавок в виде меди, серебра и других, что позволит повысить технологические и физико-химические свойства новых композиций.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 патент на изобретение

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- ➔ Разработка нового оптимального состава композиции для изготовления изделий для железнодорожной техники нового поколения, имеющих необходимые технологические свойства (плотность, электропроводность, износостойкость и т. д.), обеспечивающие долговременную работу этих изделий, а также в целом конструкции, в состав которой они входят.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Получение финального продукта в виде скользящих контактов из углеродистой композиции: щетки электрических машин, пантографы железнодорожного транспорта для использования в токосъеме железнодорожного транспорта, а также токосъемных элементов в виде щеток для двигателей различного назначения.

Научная новизна заключается в разработке на основе теоретических, экспериментальных и практических исследований процесса изготовления металлографитовых изделий методами порошковой металлургии комплексной математической модели, определяющей зависимость плотности изделия от усилия прессования и позволяющей определять оптимальные режимы

прессования порошка и предлагать на данной базе корректировки по совершенствованию процессов деформации и выбору оснащения для них. В ходе реализации проекта будет проведен ряд испытаний на износостойкость, механическую прочность, анизотропность свойств, а также исследования микроструктуры. Итогом работы будет получение конкретного состава композиции на основе углерода с определенными технологическими свойствами, который будет в виде порошкового сырья готов для использования конечным потребителем. Данный проект предполагает расширение сферы разработки углеродных композиций с добавлением различных добавок в виде меди, серебра и других, которые позволят повысить технологические и физико-химические свойства новых композиций.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Работа с графитовыми изделиями осуществляется во всех отраслях промышленности (энергетика, атомная промышленность, космос, самолетостроение и т. д.). Сегодня изделия из графита поставляются практически во все регионы России, а также в страны СНГ (Беларусь, Казахстан и др.). Поэтому важно разработать новый состав, который обеспечит качественную и безаварийную работу оборудования.

Основной рынок сбыта разрабатываемой продукции –



предприятия металлургической промышленности, компании городского и железнодорожного электрического транспорта, предприятия по изготовлению щеток электрических машин для различных двигателей в промышленности, космической отрасли, электроинструмента и многих других сфер жизнедеятельности человека.

На этапах продвижения продукции планируется прежде всего сконцентрировать внимание на данных предприятиях: ЭПМ – электродный завод (г. Челябинск) – изготовление графитированных электродов для металлургических печей; РЖД – пантографы токосъема для железнодорожного транспорта, щетки для локомотивов; Роскосмос, Росатом – щетки для двигателей и микромоторов электрических машин; Fortum – графитовые уплотнения для клапанов трубопроводов, транспортирующих воду, пар, газ и т. д.; Интерскол – щетки для локомотивов в электроинструментах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ За 2023 г. в ходе реализации проекта был проведен анализ рынка токосъемных элементов и выявлены перспективные направления.
- ☑ Проанализированы и скорректированы способ изготовления и параметры оборудования для производства токосъемных элементов из новых композиций.
- ☑ Подобраны и испытаны составы углеродных композиций с содержанием меди, олова и серебра.
- ☑ Изготовлены опытные образцы, произведены исследования микроструктуры и свойств полученных образцов. Выбран оптимальный состав и ведется подготовка к его дальнейшему патентованию.



Рис. 2. Морфология изломов образцов: а – Графит+ Смола, б – Графит+ Смола+ Медь

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ Открытое акционерное общество «Российские железные дороги».



Рис. 1. Отпрессованные образцы из композиции с содержанием порошка меди

# ТЕТРЕЛЬНЫЕ СВЯЗИ В ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ ПОДГРУППЫ УГЛЕРОДА: МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И НАПРАВЛЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

Руководители проекта – доктор химических наук, доцент Е.В. Барташевич

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Понимание природы тетрельных связей (ТtВ) и других нековалентных взаимодействий с участием атомов подгруппы углерода, а также количественные модели для оценки их влияния на структурную организацию и свойства многокомпонентных систем, уточнение и систематизация электронных признаков тетрельных связей и настройка инструментов их идентификации в молекулярных комплексах, кристаллах и твердых телах.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 патент

5 научных докладов на конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/ WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Исследовать причины появления и утрачивания электрофильных сайтов на внутренней поверхности колец поликонденсированной ароматической системы под влиянием дефектов, допирования и взаимодействий с сорбатом.
- Анализ электронного строения 2D-периодических дефектных и допированных Si углеродных поверхностей.
- Разработка моделей сорбции герматранов и силатранов на двухслойном силикате. Уровень исследования должен был включать анализ поведения фермионного потенциала для оценки эффектов делокализации электронов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Ожидаемые результаты проекта отвечают современным вызовам в сфере разработки органических материалов для SERS подложек и позволяют решить широкий круг практических задач от обнаружения загрязнителей до регистрации антител. Новые теоретические подходы к моделированию структуры, свойств и поведения слоистых органических материалов на основе соединений, включающих образующие тетрельные связи атомы подгруппы углерода, будут обладать широким потенциалом применения.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Применение разрабатываемой комбинированной методологии моделирования функционализированных одномерных материалов (углеродные нити и трубки), двумерных, таких как слои модифицированного графена, силицированного графита, силикатена, а также изучение методами квантовой кристаллографии природы нековалентных связей, влияющих на структурную организацию и физико-химические свойства многокомпонентных соединений, позволит расширить диапазон перспективных для сорбции и катализа многокомпонентных функциональных материалов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Несмотря на то, что на сегодняшний день подробно изучен конечный продукт силицирования графита – карбид кремния, строение и свойства промежуточных фаз этого соединения исследованы очень мало. Поэтому разработка цифровых структурных моделей силицированного углеродного материала, способного к проявлению сорбционных и каталитических свойств, полезна для изучения тенденций и прогноза физико-химических характеристик при модификации структуры и состава

новых кремний-углеродных материалов. В нашем проекте мы разработали компьютерные модели, учитывающие свойства электронной делокализации, чтобы оценивать и сравнивать сорбционную способность поверхности материала при частичной замене углерода на кремний. Как правило, такая модификация поверхностей способна усилить образование тетрельных связей – специфических нековалентных взаимодействий, природа которых обусловлена выраженными электростатическими взаимодействиями, формирующимися за счет внутриатомной анизотропии электронного распределения. Атомы подгруппы углерода, предоставляющие электрофильную область для нековалентного связывания, называются донора-

ми тетрельной связи. Именно они могут обеспечить эффективное связывание кремний-углеродных материалов с нуклеофильными фрагментами молекул сорбата. Коллекция структурных моделей графеноподобных поверхностей была нами расширена за счет моделей двумерного карбида Si, а также поверхностей, допированных атомом Si в разные положения. В результате поиска оптимального метода и протокола моделирования было установлено, что только полноэлектронные атомные базисные наборы годятся для корректного анализа свойств функций, построенных на основе электронной плотности и её градиентов.

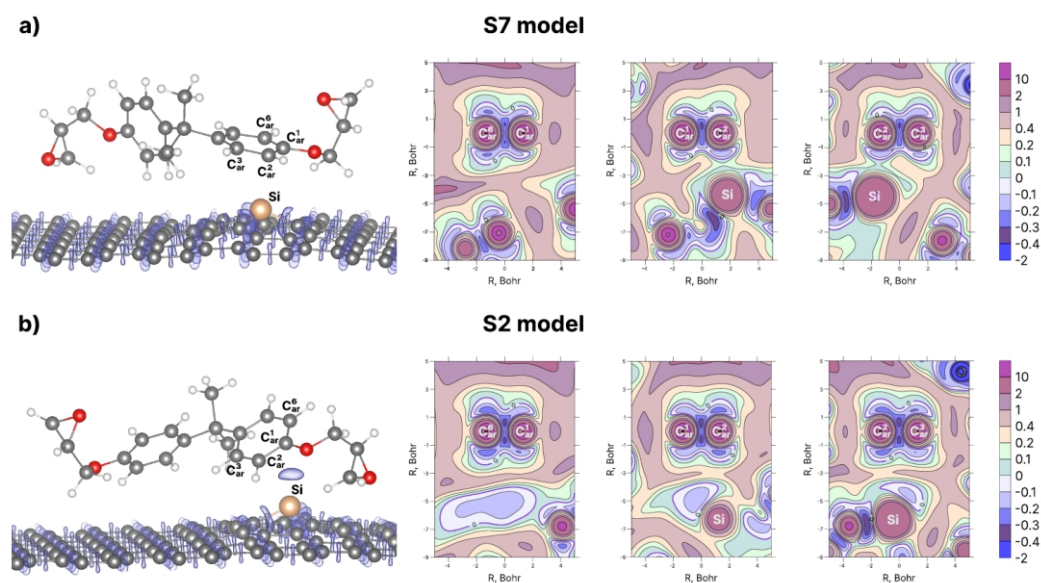


Рис. 1. Распределения фермионного потенциала  $U_f^{\oplus}$  для связей Si...C<sub>ar</sub><sup>2</sup> в системах графен – DGEBA. 2D распределения построены в плоскостях арильных колец, взаимодействующих с атомом Si. Каждая из них включает связи C<sub>ar</sub>–C<sub>ar</sub> и ортогональна к плоскости арильного кольца

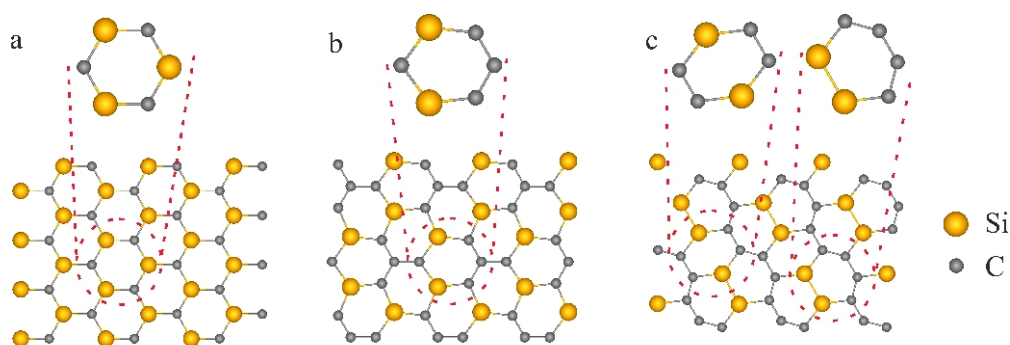


Рис. 2. Структура а) гексагонального карбида кремния, допированного графена с атомами Si в б) мета-положениях и в) орто- и пара-положениях

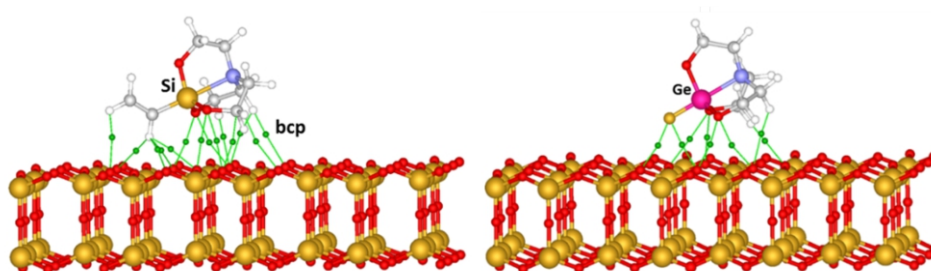


Рис. 3. Примеры модельных систем атранов на поверхности силикатена

# АРОМАТИЧЕСКИЕ ДИАЦЕТИЛЕНЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ СИНТЕЗА НОВЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМ УГЛЕРОДА

Руководитель проекта – PhD Р. Кантхапам

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выполнение предлагаемого проекта позволит получить новый тип кристаллических полимеров, продукты термолитиза которых могут открыть дорогу к новому классу кристаллических углеродных материалов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Химия диацетиленов – бурно развивающееся направление современной химии, связанное как с химией полимеров, так и с ковалентными органическими каркасами (Covalent Organic Frameworks, COF) и с металлоорганическими каркасами (Metal Organic Frameworks, MOF), если в жесткую молекулу входят две и более полярные, например, карбоксильные, группы. Диацетиленовые полимеры являются полупроводниками и перспективны для органической электроники, в том числе светодиодов. В ходе выполнения проекта впервые будут получены новые производные бензола, а также полициклических углеводородов с 4–9 сопряженными кольцами и одной (в случае бензола), двумя и более диацетиленовыми группами. Ряд этих диацетиленов будет содержать карбоксильные группы, что позволит использовать их как линкерные молекулы и создавать на их основе новые, ранее неизвестные металлоорганические каркасы. Кристаллические ароматические полимеры с полностью углеродным скелетом и системой сопряженных связей будут созданы на основе новых мономеров и поэтому будут обладать высокой новизной.

Углеродные материалы, которые будут получены при термолитизе кристаллических ароматических

полимеров в диапазоне 500–1000 °С, могут быть первыми примерами семейства новых кристаллических аллотропных форм углерода. Это открытие сможет стоять на той же ступени, что и открытие фуллеренов или углеродных нанотрубок.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Благодаря пористости и электропроводности новых углеродных материалов они могут найти применение как адсорбенты, газовые сенсоры, электроды электрохимических устройств, катализаторы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- Получены монокристаллы и решены структуры четырех важных промышленно-кубовых красителей. На данном материале опубликована статья [2024] в журнале уровня Q2.



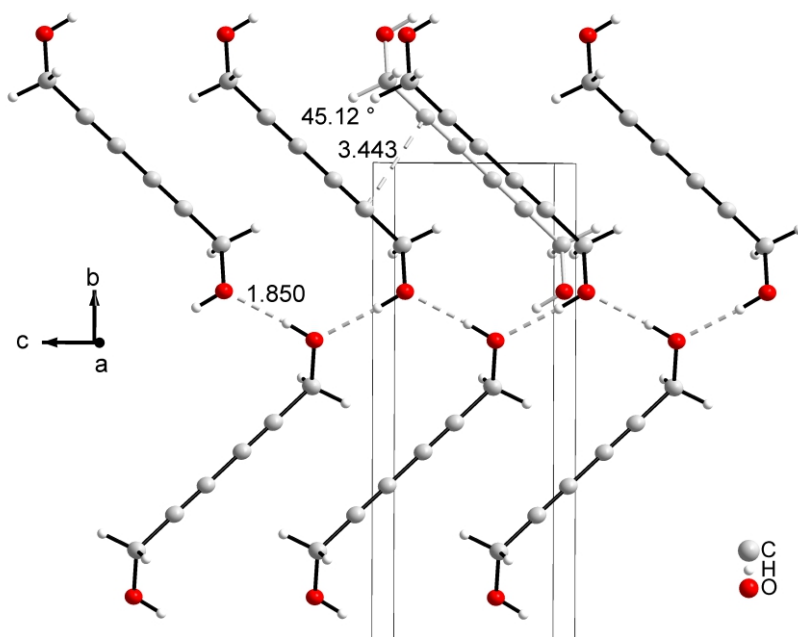


Рис. 1. Решенная нами структура диацетилендикарбонла



Рис. 2. Голубая флуоресценция диацетилендибензойной кислоты

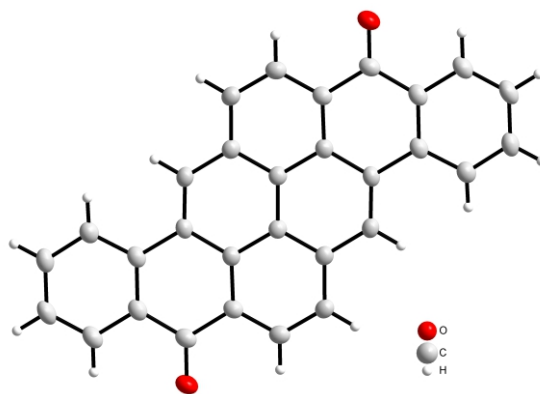


Рис. 3. Решенная нами структура кубового красителя

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ПРИ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент Д.С. Клыгач

## ПУБЛИКАЦИИ

7 научных статей

1 научный доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

7 статей в Scopus/WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Экспериментальное и теоретическое исследование частотной дисперсии СВЧ-материальных параметров композитных материалов.
- Экспериментальное и теоретическое исследование частотной дисперсии диэлектрической проницаемости порошковых материалов и композитных материалов в широком температурном диапазоне.
- Модернизация методов измерения магнитной проницаемости в СВЧ-диапазоне.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Предложен и отработан способ измерения электродинамических параметров функциональных материалов в диапазоне частот от 10 МГц до 50 ГГц при температурах от  $-200$  до  $+20$   $^{\circ}\text{C}$ .
- Показана возможность использования исследуемых материалов с учетом изменения типа структурной поляризации (дипольной, электронной) в диапазоне частот до 50 ГГц при температурах до  $-200$   $^{\circ}\text{C}$ . Для группы известных и новых материалов будет получен и проанализирован комплекс результатов, определяющий возможность их применения в современной технике.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В соответствии со Стратегией научно-технического развития РФ по направлению №6 «Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики» необходимо разработать материалы, которые будут обладать заданными электродинамическими, механическими свойствами при отрицательных температурах. Для Антарктики до  $-80^{\circ}\text{C}$ . Для космического пространства диапазон температур может составлять от  $+200$  до  $-270$   $^{\circ}\text{C}$ .

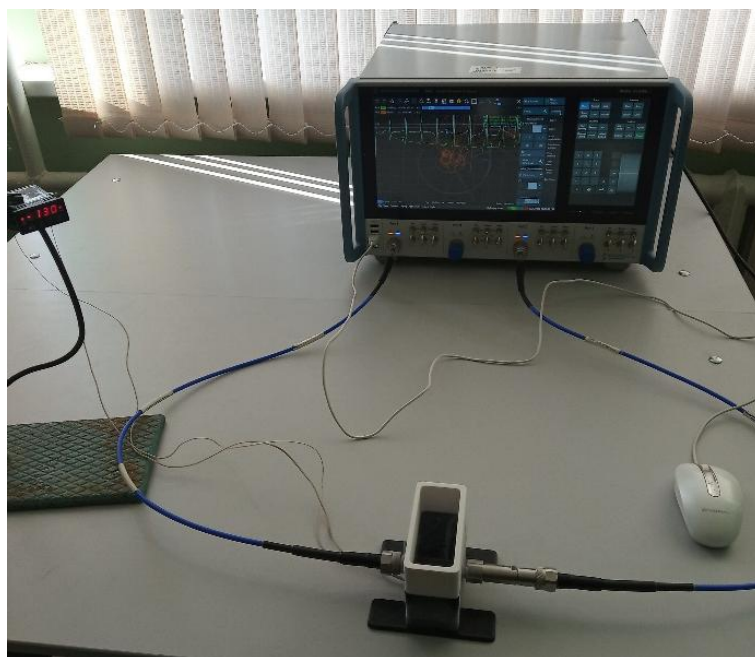


Рис. 1. Установка измерения электродинамических параметров при низких температурах



Рис. 2. Измерительная линия

# СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ОКСИДНЫХ ФАЗ СО СТРУКТУРОЙ МАГНЕТОПЛОМБИТА

Руководитель проекта – профессор РАН, доктор химических наук Д.А. Винник

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование возможностей создания высокоэнтропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

1 научный доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus/ WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Получение образцов нового класса высокоэнтропийных оксидных фаз – высокоэнтропийных фаз со структурой магнетоплюмбита.
- ➔ Исследование состава и структуры, а также свойств полученных образцов.
- ➔ Анализ полученных экспериментальных данных с целью формулирования общих закономерностей образования высокоэнтропийных фаз со структурой магнетоплюмбита, которые будут включать в себя и критерии стабильности фаз такого рода.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Образцы (включая монокристаллы размером до 10 мм) высокоэнтропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита.
- ➔ Данные о температурных и концентрационных диапазонах стабильности фаз такого рода.
- ➔ Методики синтеза высокоэнтропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита.
- ➔ Данные о стабильных режимах их получения, включая составы расплавов, обеспечивающие получение монокристаллов, режим корректировки составов в ходе длительного выращивания кристаллов, а также температурные режимы процесса.
- ➔ Данные о магнитных и микроволновых характеристиках

полученных кристаллических образцов.

- ➔ Результаты анализа зависимости магнитных и микроволновых характеристик от кристаллической структуры и состава образцов.
- ➔ Рекомендации по использованию кристаллических структур, полученных в процессе исследования, для изготовления компонентов электронной техники.
- ➔ Лабораторные технологические регламенты выращивания замещенных кристаллических структур.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Планируемые к получению результаты исследования существенно превосходят имеющийся мировой уровень знания о предмете исследования. При этом исследование позволит получить результаты, которые, безусловно, будут востребованы в ходе прикладных исследований, направленных на создание материалов для деталей и устройств электроники, в т. ч. СВЧ- и КВЧ- диапазонов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Главным результатом, полученным в процессе исследований, является получение монофазных образцов нового класса материалов – высокоэнтропийных кристаллов



различного состава со структурой магнетоплюмбита и исследование их магнитных и электрических характеристик. Благодаря тому, что на предыдущем этапе был определён круг элементов, которые склонны образовывать высокоэнтропийную структуру с кристаллической решёткой типа магнетоплюмбита, получение монофазных образцов заметно упростилось. Отдельный интерес представляют успешные результаты экспериментов по получению фаз с участием значительных количеств меди,

поскольку из литературы известно, что медь в фазах со структурой магнетоплюмбита может замещать железо в относительно небольших количествах.

- ☑ В процессе экспериментальных работ разными методиками получены и исследованы 83 экспериментальных образца различного состава. Получены и проанализированы новые данные об их структуре и составе.

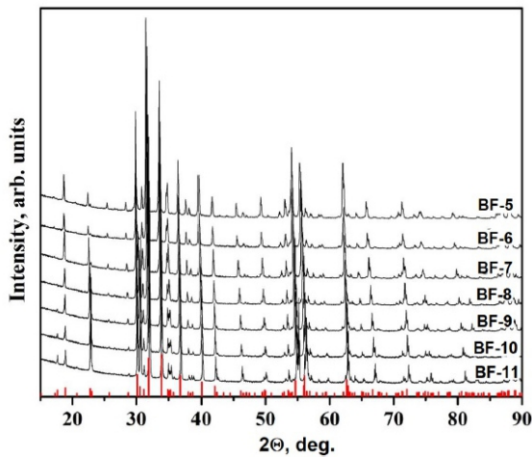


Рис. 1. Рентгенограммы высокоэнтропийных оксидов  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Ti}/\text{Mn}/\text{Ga}/\text{In})_x\text{O}_{19}$  ( $x = 1-7$ )

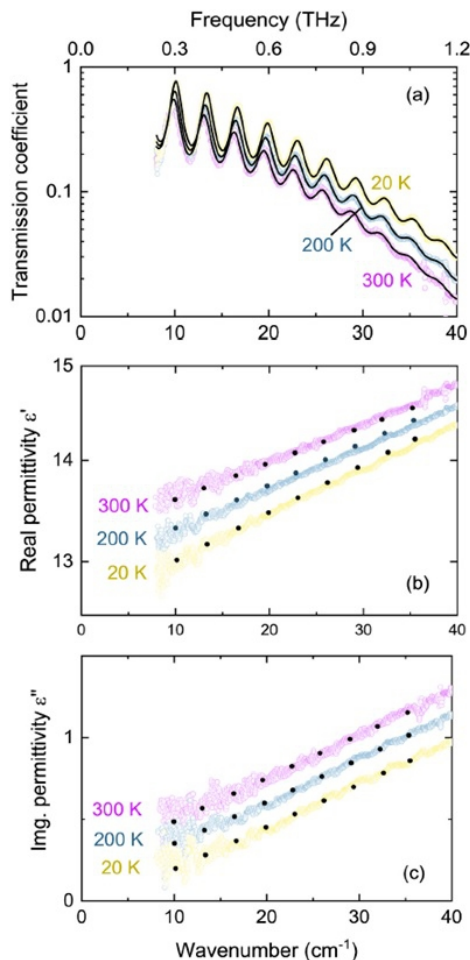


Рис. 3. Терагерцовые спектры плоскопараллельного образца керамики  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Ti}, \text{Mn}, \text{In}, \text{Ga})_x\text{O}_{19}$  ( $x = 7$ ) толщиной 0,41 мм  $T = 20; 200$  и  $300$  К: а) коэффициенты передачи; б) действительная часть диэлектрической проницаемости; в) мнимая часть диэлектрической проницаемости

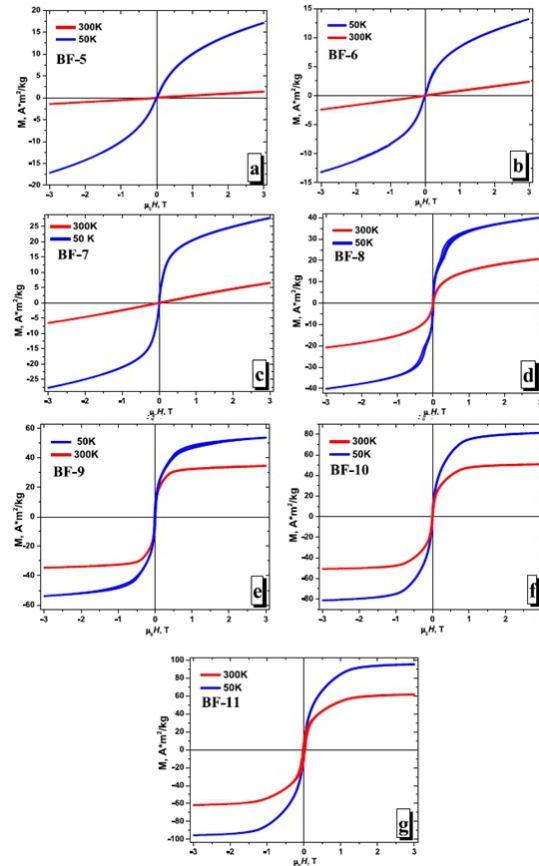


Рис. 2. Полевые зависимости удельной намагниченности высокоэнтропийных оксидов  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Ti}/\text{Mn}/\text{Ga}/\text{In})_x\text{O}_{19}$  ( $x = 1-7$ ) при  $T = 50$  К и  $300$  К

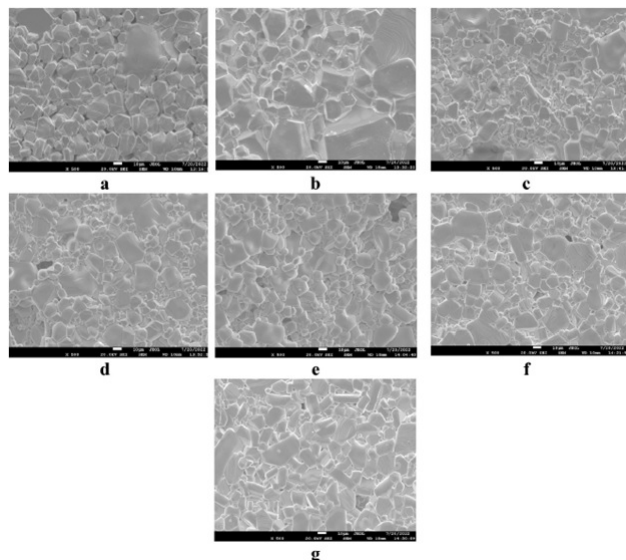


Рис. 4. SEM-изображения высокоэнтропийных оксидов  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Ti}/\text{Mn}/\text{Ga}/\text{In})_x\text{O}_{19}$  ( $x = 1-7$ ).

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА КИНЕТИКУ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИЯХ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор С.Б. Сапожников

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Решение проблемы корректной оценки несущей способности и ультрамалоцикловой усталостной прочности ответственных высоконагруженных композитных конструкций из традиционных и гибридных композитов с концентраторами напряжений различного рода с использованием конечно-элементного моделирования в рамках инженерных расчетов.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научных доклада на всероссийских конференциях

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Разработка новых экспериментальных методик исследования влияния вида напряженного состояния на кинетику деформирования слоистого композита при квазистатическом нагружении.
- ➔ Экспериментальное исследование влияния концентрации напряжений на нелинейное поведение и прочность композитов различной мезоструктуры вблизи отверстий различного размера при комбинированном нагружении (растяжение/сдвиг, сжатие/сдвиг).
- ➔ Экспериментальное исследование влияния низкоскоростных ударных повреждений на остаточную статическую и ультрамалоцикловую прочность гибридных псевдопластичных композитов при комбинированном нагружении.
- ➔ Формирование методических рекомендаций по численному моделированию механического отклика композитных конструкций с концентраторами напряжений в условиях сложного напряженного состояния.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Новые экспериментальные методики исследования влияния вида напряженного состояния на кинетику деформирования слоистого композита при квазистатическом нагружении.

- ➔ Новые экспериментальные данные о влиянии концентрации напряжений на нелинейное поведение и прочность композитов различной мезоструктуры вблизи отверстий различного размера при комбинированном нагружении.
- ➔ Методические рекомендации по выбору размера КЭ при численном моделировании композитных конструкций с концентраторами напряжений.
- ➔ Данные о границах применимости линейных моделей деформирования при анализе статической прочности композитных конструкций с концентраторами напряжений.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Проект направлен на создание инструментария именно для инженерных расчетов, что предполагает высокие требования к доступности предлагаемых экспериментальных подходов, численной эффективности используемых расчетных моделей. Также необходимо отметить, что планируется сконцентрироваться на углепластиках из отечественного углеволокна, поскольку сейчас существует огромная потребность в проверенных экспериментальных данных о прочности и долговечности данных материалов при различных видах нагружения. Результаты работы по проекту могут найти применение при разработках нового поколения гражданских пассажирских самолетов, авиационных двигателей, сосудов давления для высокотехнологичного наземного транспорта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Сравнительные испытания образцов тканевого углепластика на сдвиг по методу Иосипеску и на растяжение под  $45^\circ$  к направлению основы показали, что до деформаций сдвига 5 % оба метода дают схожие результаты по прогнозу как упругих характеристик, так действующих сдвиговых напряжений при 5 % деформации. Результаты испытаний на растяжение образцов, вырезанных под углами к направлению основы тканевого армирующего наполнителя, позволили установить, что кривые сдвига при различных соотношениях  $\sigma_1/\tau_{12}$  с приемлемой точностью могут быть описаны единой кривой сдвига, полученной из испытаний на чистый сдвиг, вплоть до деформаций 5 %. При этом жесткость композита на начальном участке кривой сдвига (до 0,5 % деформаций) можно считать независимой от вида напряженного состояния и прочих факторов.

- ☑ Две модели деформирования тканевого композита mFEA и UPF, учитывающие необратимые деформации, вызванные эффектами пластичности и деградации свойств в композите в результате накопления повреждений, были модифицированы и откалиброваны для описания кинетики деформирования в условиях многоосевого нагружения.
- ☑ В ходе выполнения проекта были получены экспериментальные данные о характере изменения эффективного коэффициента концентрации напряжений для образцов-полосок с отверстиями в диапазоне диаметров от 2 мм до 10 мм. Полученные данные демонстрируют, что при уменьшении размера ячейки плетения наблюдается более быстрый выход эффективного коэффициента концентрации напряжений к значениям, не зависящим от размера концентратора. новые данные об их структуре и составе.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ KU Leuven (Бельгия)

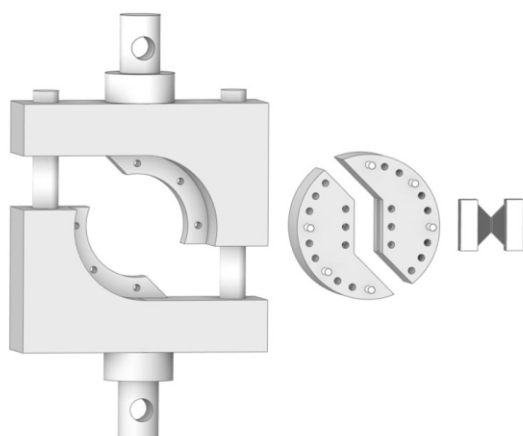


Рис. 1. Трехмерная визуализация новой оснастки для испытаний образцов полимерных композитов при комбинированном нагружении

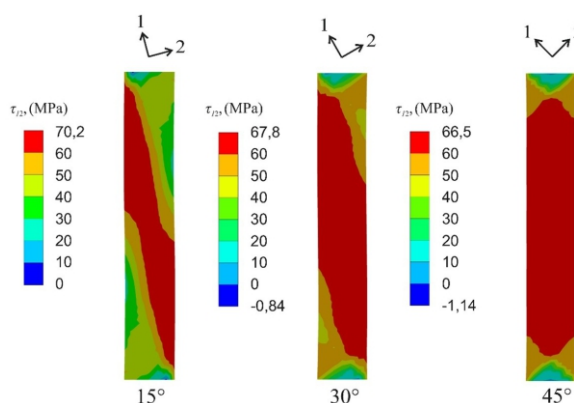


Рис. 2. Распределение сдвиговых напряжений в образцах с разным углом вырезки при средней сдвиговой деформации 5 %, определенное на основе подхода mFEA

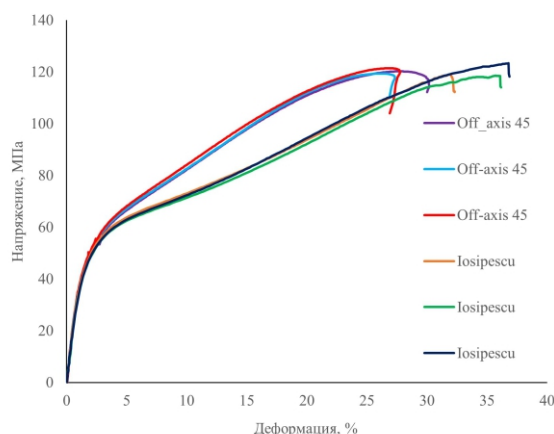


Рис. 3. Диаграммы деформирования T-Y для двух методов испытаний

# НОВЫЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Руководитель проекта – Остовари Могаддам Ахмад

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание и исследование свойств нового класса высокоэнтропийных фаз – высокоэнтропийных интерметаллидов, т.е. многокомпонентных фаз с близкими к эквимольным концентрациями основных компонентов, в которых гомогенная кристаллическая интерметаллическая структура стабилизирована высокой энтропией смешения.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

1 научный доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus/WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Синтез образцов нового класса высокоэнтропийных систем – высокоэнтропийных интерметаллических соединений (high-entropy intermetallic compounds, HEIC), а также композитов на их основе.
- Исследование состава и структуры, а также свойств полученных образцов.
- Анализ полученных экспериментальных данных с целью формулирования общих закономерностей образования высокоэнтропийных интерметаллических соединений, которые будут включать в себя и критерии их стабильности.
- Изучение возможности использования полученных фаз в качестве материалов для промышленности.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Синтезированные образцы высокоэнтропийных интерметаллических фаз и композитов на их основе, полученные по итогам исследования различных систем. Экспериментальные данные о температурных и концентрационных диапазонах стабильности фаз такого рода.
- Методики синтеза высокоэнтропийных интерметаллических фаз. Данные о стабильных режимах их получения, включая составы исходных расплавов, а также температурные режимы процесса.
- Выводы о критериях возможности образования и стабилизации интерметаллических высокоэнтропийных фаз.

- Термодинамическая модель высокоэнтропийных интерметаллических фаз с набором модельных параметров, позволяющих описывать зависимость термодинамических функций таких фаз от их состава и температуры.
- Данные о структуре и составе образцов, полученные методами рентгеноструктурного анализа, а также методами электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.
- Данные о магнитных и механических характеристиках полученных образцов.
- Рекомендации по использованию изученных в процессе работы высокоэнтропийных интерметаллических фаз в качестве материалов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Возможные применения разработанных материалов включают покрытия с высокой твердостью, высокой стойкостью к окислению, магнитные применения и порошок в качестве армирующей фазы для разработки композитов с металлической матрицей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Основным результатом, полученным в ходе исследований второго этапа, является открытие нескольких однофазных высокоэнтропийных интерметаллидов со структурой сплавов Гейслера (FH-HEIC), а также изучение их микрострук-



туры, термической стабильности, механических и магнитных свойств.

- ☑ В ходе экспериментальных работ второго этапа всего было получено и исследовано разными методами 14 образцов различного состава. Получен и проанализирован набор данных об их строении, составе и функциональных свойствах.
- ☑ Анализ XRD и SEM/EDS показывает наличие незначительной сегрегации и вторых фаз в некоторых образцах. Высокотемпературный отжиг позволил значительно снизить как сегрегацию, так и количество второй фазы. Основной характеристикой разработанных HEIC является возможность изменения их свойств путем незначительного изменения химического состава.

- ☑ Изучено окислительное поведение  $(\text{Mo}_{1/3}\text{Cr}_{1/3}\text{Ta}_{1/3})\text{Si}_2$  и межкристаллитное разрушение материалов при относительно низких температурах в интервале температур от 500 до 900 °C.  $(\text{Mo}_{1/3}\text{Cr}_{1/3}\text{Ta}_{1/3})\text{Si}_2$  демонстрирует превосходную стойкость к окислению при 500 °C. Через 100 часов масса практически не увеличилась, что превосходит почти все материалы на основе  $\text{MoSi}_2$ , о которых до сих пор сообщалось. Образец также продемонстрировал хорошую стойкость к окислению при 750 °C. Через 10 часов увеличение массы составило менее 1 мг/см<sup>2</sup>.помолом).

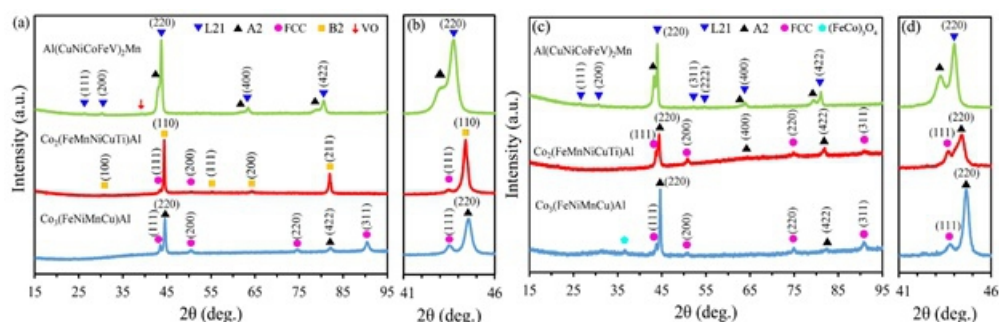


Рис. 1. XRD спектры литых (a) и термообработанных (b) образцов.

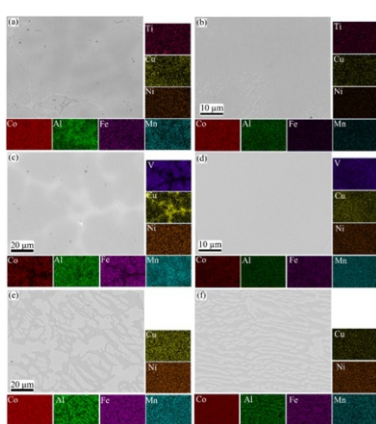


Рис. 2. BSE-SEM изображения и результаты картирования литых и отожжённых образцов  $\text{Co}_2(\text{FeMnNiCuTi})\text{Al}$ ,  $(\text{CoFeNiCuV})_2\text{MnAl}$  и  $\text{Co}_3(\text{FeNiMnCu})\text{Al}$ .

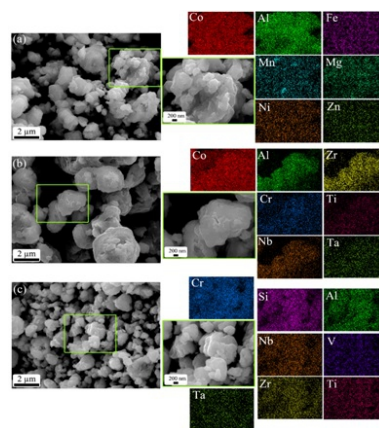


Рис. 3. BSE-SEM изображения и результаты картирования образцов  $\text{Co}_2(\text{FeNiMnMgZn})\text{Al}$  (a),  $\text{Co}_2(\text{TiZrTaNbCr})\text{Al}$  (b) и  $\text{Cr}_2(\text{TiZrTaNbV})(\text{AlSi})$  (c) после обработки в мельнице.

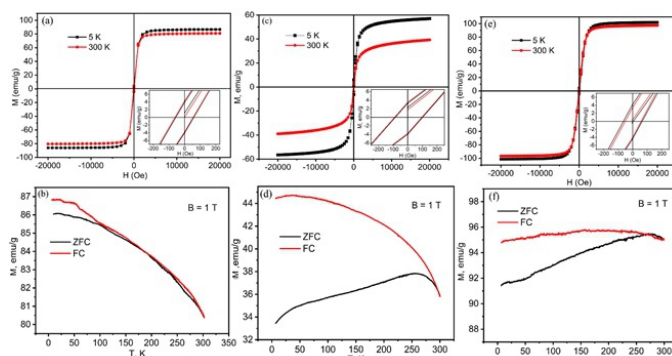


Рис. 4. Результаты изучения магнитных свойств образцов  $\text{Co}_2(\text{FeMnNiCuTi})\text{Al}$ ,  $(\text{CoFeNiCuV})_2\text{MnAl}$  и  $\text{Co}_3(\text{FeNiMnCu})\text{Al}$

# СИНТЕЗ, ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ

Руководитель проекта – доктор химических наук, доцент Е.А. Трофимов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научная проблема, на решение которой направлен настоящий проект – создание и исследование свойств нового класса высокоэнтропийных фаз – высокоэнтропийных интерметаллидов, т.е. многокомпонентных фаз с близкими к эквимоллярным концентрациями основных компонентов, в которых гомогенная кристаллическая интерметаллическая структура стабилизирована высокой энтропией смешения.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

3 научных доклада на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Синтез образцов нового класса высокоэнтропийных фаз – высокоэнтропийных интерметаллидов.
- Исследование состава и структуры, а также комплекса свойств полученных образцов.
- Анализ полученных экспериментальных данных с целью формулировки общих закономерностей образования высокоэнтропийных интерметаллических фаз, которые будут включать в себя и критерии стабильности такого рода фаз.
- Изучение возможности использования полученных фаз в качестве функциональных и/или конструкционных материалов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Синтезированные образцы высокоэнтропийных интерметаллических фаз для ряда различных систем. Экспериментальные данные о температурных и концентрационных диапазонах стабильности полученных фаз.
- Методики синтеза исследуемых высокоэнтропийных интерметаллических фаз. Данные о стабильных режимах их получения, включая составы исходных расплавов, а также температурные режимы процесса. Лабораторные регламенты для синтеза данных высокоэнтропийных интерметаллических фаз.
- Выводы о критериях возможности образования и стабилизации высокоэнтропийных фаз, образованных химическими соединениями.

- Термодинамическая модель высокоэнтропийных интерметаллических фаз с набором модельных параметров, позволяющих описывать зависимость термодинамических функций таких фаз от их состава и температуры. Результаты моделирования неравновесной кристаллизации высокоэнтропийных расплавов с образованием высокоэнтропийных интерметаллических фаз.
- Данные о структуре и составе образцов, полученные методами рентгеноструктурного анализа, а также методами электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.
- Данные о магнитных и электрофизических (зависимость электросопротивления от температуры) характеристиках полученных образцов. Результаты анализа зависимости магнитных и электрофизических характеристик от структуры и состава образцов.
- Рекомендации по использованию полученных высокоэнтропийных интерметаллических фаз в качестве функциональных и/или конструкционных материалов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В ходе исследования показано, что некоторые из полученных в процессе исследования веществ могут быть использованы в качестве:

- стойких к окислению нагревателей для высокотемпературных печей (которые в перспективе могут заменить широко используемые нагреватели из силицида молибдена, уязвимые к окислению при относительно низких температурах);
- основы твёрдых коррозионностойких покрытий (как в индивидуальном качестве, так и в составе композиционных материалов) с коэффициентом

термического расширения практически равным этому коэффициенту у покрываемого металла, что способствует устойчивости покрытия в условиях, когда покрытая деталь в процессе эксплуатации подвергается циклическому нагреву и охлаждению;

- магнитомягких материалов для различного типа электронных устройств;
- гетерогенных катализаторов различных важных химических реакций (окисления, восстановления, электрохимических процессов).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ✓ Предложены и испытаны новые, ранее не использованные нами методики получения высокоэнтропийных интерметаллидов, включающие, в частности, механохимическую обработку и последующую термообработку в вакуумной печи. Получены экспериментальные данные, позволяющие оптимизировать этот процесс, меняя такие параметры, как скорость и время обработки смеси порошков в планетарной мельнице, а также температуру и время термообработки с целью максимального увеличения выхода продукта синтеза – высокоэнтропийного интерметаллического соединения.
- ✓ Различными методами (получение из расплава, твердофазное спекание, комбинация механо- и термообработки) получены образцы интерметаллических высокоэнтропийных систем, состав многокомпонентной составляющей которых эквимоларен или близок к эквимоларному. В число исследованных систем входили как системы со структурой бинарных интерметаллидов, так и системы, структура которых может быть описана трёхподрешёточной моделью.
- ✓ Получены новые данные о структуре, составе, механических (микротвёрдость) и электрофизических (электропроводность / электросопротивление)

свойства ряда, полученных в ходе исследования в 2022-2023 гг. образцов, а также об их магнитных характеристиках. Для ряда полученных образцов полученные ранее данные были уточнены и расширены. Также получены результаты исследования термической стабильности ряда изученных твёрдых интерметаллических растворов, которые позволили установить температуры плавления изученных фаз.

- ✓ Полученные в 2023 году и ранее экспериментальные результаты, а также экспериментальные данные, полученные другими авторами и представленные в литературе, были проанализированы с точки зрения их использования для проведения термодинамического описания исследуемых высокоэнтропийных интерметаллидов. Предложена трёхподрешёточная модель для описания интерметаллидов со сложной структурой (в частности, со структурой, характерной для сплавов Гейслера). Таким образом, заложен фундамент для полноценного термодинамического моделирования процессов фазообразования в исследуемых системах в ходе дальнейших работ в рамках этого направления.
- ✓ В рамках совершенствования методик теоретической оценки стабильности высокоэнтропийных интерметаллидов, с учётом полученных новых экспериментальных результатов (а также новых данных, которые в 2023 году появились в литературе) проанализированы предложенные ранее подходы, позволяющие оценивать возможность формирования высокоэнтропийных интерметаллидов, опираясь на значения электроотрицательностей и атомных радиусов элементов, от которых ожидается формирование высокоэнтропийного интерметаллида.
- ✓ Полученные в ходе реализации данного проекта результаты, а также новые литературные данные о высокоэнтропийных интерметаллидах проанализированы с точки зрения определения наиболее перспективных из полученных материалов (групп материалов), сфер и условий их эксплуатации.

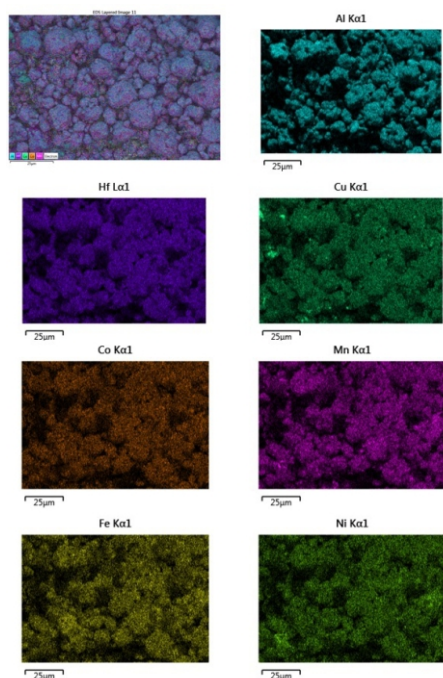


Рис. 1. Результат EDS картирования образца  $(\text{FeCoNiCuMn})_2(\text{Hf})(\text{Al})$  после механообработки и обжига в вакууме при 1000 °C

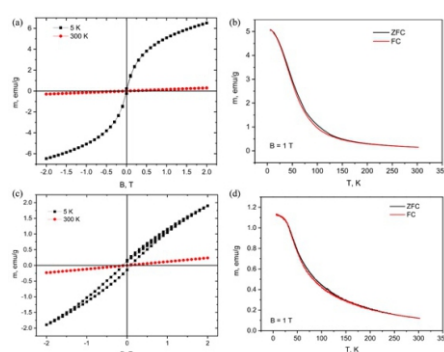


Рис. 2. Кривые намагничивания (a, c) и температурные зависимости (b, d) охлажденного в поле 0,1 Тл (FC) и охлажденного в нулевом поле (ZFC) для литых высокоэнтропийных интерметаллидов  $(\text{Co,Cu,Fe,Mn,Ni})\text{Al}$  (a, b) и  $(\text{Co,Cu,Fe,Mn,Ni})\text{Zn}_3$  (c, d)

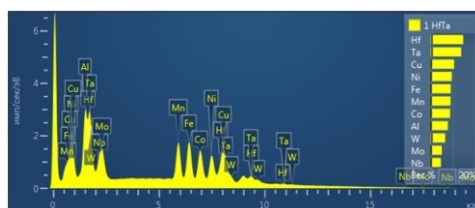


Рис. 3. Результат EDS-исследования образца  $(\text{FeCoNiCuMn})_2(\text{TaMoWNBHf})(\text{Al})$  после механообработки

# ИЗУЧЕНИЕ ЖАРСТОЙКОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОВ ПОДГРУППЫ ЖЕЛЕЗА, ДОПИРОВАННЫХ БЛАГОРОДНЫМИ ИЛИ ТУГОПЛАВКИМИ МЕТАЛЛАМИ

Руководитель проекта – кандидат химических наук **О.В. Самойлова**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение механизмов и результатов высокотемпературного окисления на воздухе, а также электрохимического поведения в агрессивных водных растворах высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) на основе переходных металлов подгруппы железа, допированных благородными или тугоплавкими металлами.

## ПУБЛИКАЦИИ

**3** научные статьи

**1** научный доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

**3** статьи в Scopus/WoS, в т. ч. 3 статьи – в журнале Q1-Q2

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Разработка методики выплавки образцов ВЭС  $Al_xCoCrFeNiCu_yMe_z$  (где Me – это Ag, Au, Pt, Ta, Mo, W);  $x =$  от 0 до 1 с шагом 0,25,  $y =$  от 0 до 1 с шагом 0,25 и  $z =$  от 0 до 0,5 с шагом 0,1. Проект предполагает также изучение влияния допирующих благородных (Ag, Au, Pt) и тугоплавких (Ta, Mo, W) элементов на микроструктуру и фазообразование в предложенных для исследования ВЭС.
- ➔ Термодинамическое моделирование процесса высокотемпературного окисления ряда высокоэнтропийных сплавов, позволяющее установить зависимость химического и фазового состава продуктов окисления от условий этого процесса и состава исходного металла.
- ➔ Экспериментальное исследование кинетики и результатов высокотемпературного (700–1100 °С) окисления в течение 10–50 часов вышеуказанных образцов ВЭС.
- ➔ Экспериментальное построение поляризационных кривых для вышеуказанных образцов ВЭС в растворах 1M NaCl и 0,5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при комнатной температуре, расчет токов и потенциалов коррозии по уравнению Тафеля, а также токов и потенциалов пассивации.
- ➔ Определение путей создания ВЭС с повышенной стойкостью к высокотемпературной газовой и/или электрохимической коррозии.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Адаптированные алгоритмы термодинамического моделирования фазовых равновесий, реализующихся в ходе высокотемпературного окисления предлагаемых к исследованию ВЭС. База термодинамических данных, применимых для анализа процессов взаимодействия компонентов исследуемых ВЭС с кислородом для интервала температур 700–1100 °С с образованием различных оксидных фаз. Результаты термодинамического моделирования будут представлены и в форме фазовых диаграмм различных типов исследуемых систем и в форме зависимостей масс отдельных фаз от температур, концентраций компонентов, парциального давления кислорода в газовой фазе.
- ➔ Методики выплавки экспериментальных образцов ВЭС. Результаты исследования микроструктуры и фазового состава полученных слитков. Результаты по определению оптимальной концентрации вводимых благородных или тугоплавких металлов для получения однородной структуры без сегрегации элементов в отдельные низкоэнтропийные фазы.
- ➔ Результаты экспериментального изучения процессов высокотемпературного окисления образцов ВЭС в виде кинетических (10–50 часов) кривых окисления при 700–1100 °С.
- ➔ Результаты исследования электрохимического поведения в виде построенных поляризационных кривых для исследуемых сплавов. Результаты определения токов и потенциалов коррозии с использованием методики расчета по уравнению Тафеля, а также токов и потенциалов пассивации.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Практическую значимость данного научного проекта определяет необходимость создания сплавов, которые сочетали бы высокий уровень механических характеристик и жаропрочность с жаростойкостью и/или коррозионную стойкость в морской воде. Исследования в этих направлениях должны привести к созданию металлических материалов, которые найдут применение в аэрокосмической промышленности, в атомном и химическом машиностроении, в новых областях энергетики, в судостроении.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Показана эффективность применения термодинамического моделирования как инструмента, позволяющего предсказывать поведение многокомпонентных сплавов (таких как высокоэнтропийные сплавы (ВЭС)) при высокотемпературном окислении.
- ☑ Разработана методика и проведены плавки экспериментальных образцов систем  $Al_xCoCrFeNiCu_yMe_z$  (где Me – это Ag, Au, Pt);  $x =$  от 0 до 1 с шагом 0,25,  $y =$  от 0 до 1 с шагом 0,25 и  $z =$  от 0 до 0,5 с шагом 0,1. Установлено, что введение благородных металлов в ВЭС изменяет микроструктуру и фазовый состав предлагаемых к исследованию сплавов. Серебро не входит в состав твердых растворов, а выделяется отдельной фазой – частицами, распределенными по объему образца. Золото также практически не входит в состав твердых растворов (не более

0,5 ат. %), а выделяется в виде интерметаллидов по границам зерен основного металла. Фазовый состав таких выделений зависит от соотношения меди и золота в составе сплава. Платина входит как в состав многокомпонентного твердого раствора с гранецентрированной кубической (ГЦК) кристаллической решеткой, так и в состав ГЦК твердого раствора на основе меди, а также в состав многокомпонентного твердого раствора с объемно центрированной кубической (ОЦК) кристаллической решеткой (характерного для ВЭС с содержанием алюминия более или равном 0,5). При содержании алюминия порядка 1,0 возможно образование интерметаллида  $Al_2Pt$ .

- ☑ Выявлены особенности поведения ВЭС, легированных благородными металлами, при высокотемпературном окислении. По результатам исследования наилучшие составы ВЭС, обладающие повышенной жаростойкостью, следующие:  $Al_{0,25}CoCrFeNiPt_{0,1}$ ;  $Al_{0,25}CoCrFeNiCu_{0,25}Pt_{0,1}$ ;  $Al_{0,5}CoCrFeNiCuPt_{0,3}$ ;  $AlCoCrFeNiCuAu_{0,1}$ ;  $AlCoCrFeNiCuAu_{0,3}$ .
- ☑ Выявлены особенности поведения ВЭС, легированных благородными металлами, в растворах 1M NaCl и 0,5M  $H_2SO_4$ . В растворе 1M NaCl наибольшую коррозионную стойкость проявили сплавы состава  $Al_{0,25}CoCrFeNiPt_{0,1}$ ;  $Al_{0,25}CoCrFeNiCu_{0,25}Au_{0,3}$ ;  $AlCoCrFeNiCu_{0,5}Ag_{0,1}$ ;  $AlCoCrFeNiCuAg_{0,1}$ . В растворе 0,5M  $H_2SO_4$  наибольшая коррозионная стойкость выявлена для ВЭС  $Al_{0,25}CoCrFeNiPt_{0,1}$ ;  $Al_{0,25}CoCrFeNiCu_{0,25}Au_{0,1}$ ;  $Al_{0,25}CoCrFeNiCuAu_{0,3}$ .

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», г. Челябинск
- ☑ ФГБУН «Институт высокотемпературной электрохимии» УрО РАН, г. Екатеринбург

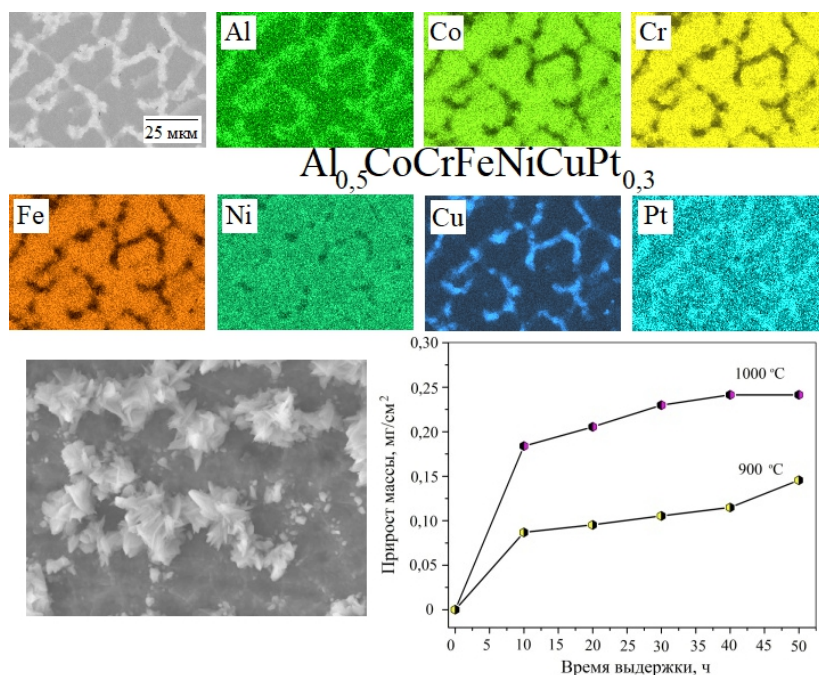


Рис. 1. Результаты исследования микроструктуры до (картирование по площади шлифа) и после (левый нижний рисунок) проведения испытаний на высокотемпературное окисление образца ВЭС

$Al_{0,5}CoCrFeNiCuPt_{0,3}$ .

На графике приведены кинетические кривые высокотемпературного окисления в течение 50 часов. Образец демонстрирует минимальный удельный прирост массы – порядка 0,15 мг/см<sup>2</sup> при 900 °C и 0,25 мг/см<sup>2</sup> при 1000 °C

# ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, М.В. Мишнев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект посвящен решению научной проблемы прогнозирования зарождения и развития остаточных напряжений в элементах конструкций из полимерных композиционных материалов при нестационарных термомеханических воздействиях.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

1 научный доклад на всероссийской конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/WoS, в т. ч. 2 статьи – в журнале Q1

2 статьи в журнале из перечня ВАК/RSCI и РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка методики прогнозирования формирования и накопления в полимерах и композитах остаточных напряжений при термомеханическом воздействии с использованием вязкоупругой многоэлементной структурной модели В.М. Асташкина.
- Получение новых экспериментальных данных и результатов прогнозирования уровня остаточных напряжений, формирующихся в термореактивных полимерах при нестационарных термомеханических воздействиях.
- Проведение экспериментальных исследований влияния накопленных остаточных напряжений на механические свойства (модуль упругости, предел вынужденной эластичности) термореактивных полимеров и композитов на их основе в том числе с учетом термического старения материалов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В результате выполнения проекта будут получены:

- Новые экспериментальные данные об уровне остаточных напряжений, формирующихся в термореактивных полимерных связующих при нестационарных термомеханических воздействиях, включающих циклы нагрева и охлаждения в условиях стесненности деформаций.
- Результаты прогнозирования уровня остаточных напряжений с использованием многоэлементной структур-

ной модели, результаты сопоставления с экспериментом и оценки точности применяемой структурной модели.

- Новые экспериментальные данные о влиянии накопленных остаточных напряжений на механические свойства (модуль упругости, предел вынужденной эластичности) термореактивных полимеров и композитов на их основе, в том числе с учетом термического старения материалов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты будут использованы для прогнозирования напряженного состояния композитных строительных конструкций, эксплуатирующихся при длительном совместном воздействии повышенных (циклически меняющихся) температур и механических нагрузок. К таким конструкциям, например, относятся стеклопластиковые газоотводящие тракты предприятий химической промышленности, металлургии, а также нефтепроводы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

В 2023 г.

- ☑ Разработана методика проведения испытаний полимерных и композиционных материалов на циклическое (нестационарное) термомеханическое воздействие в условиях стесненности деформаций. Разработано и изготовлено экспериментальное оборудование, предназначенное для совместного использования с имеющимся испыта-

тельным оборудованием. Проведена отработка и верификация экспериментальной методики с использованием изготовленного оборудования и выполнены основные запланированные экспериментальные исследования напряженного состояния.

- ☑ Проведено математическое моделирование испытаний образцов полимерных материалов на нестационарные, включающие циклы нагрева и охлаждения, термомеханические воздействия.
- ☑ Моделирование выполнено с использованием предложенной структурной модели материала, позволяющей учитывать вязкоупругое поведение материала, с учетом нестационарных температурных воздействий, а также возможное накопление остаточных температурных напряжений.

- ☑ Исследовано влияние циклического термомеханического воздействия и формирующихся при нем остаточных напряжений на механические (в том числе вязкоупругие) свойства эпоксидного полимера горячего отверждения на ангидридном отвердителе, который являлся основным объектом исследования на данном этапе, в том числе после длительного термического старения.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ЗАО «Специальные композиционные материалы»
- ☑ ООО «Инновационные композиционные структуры»

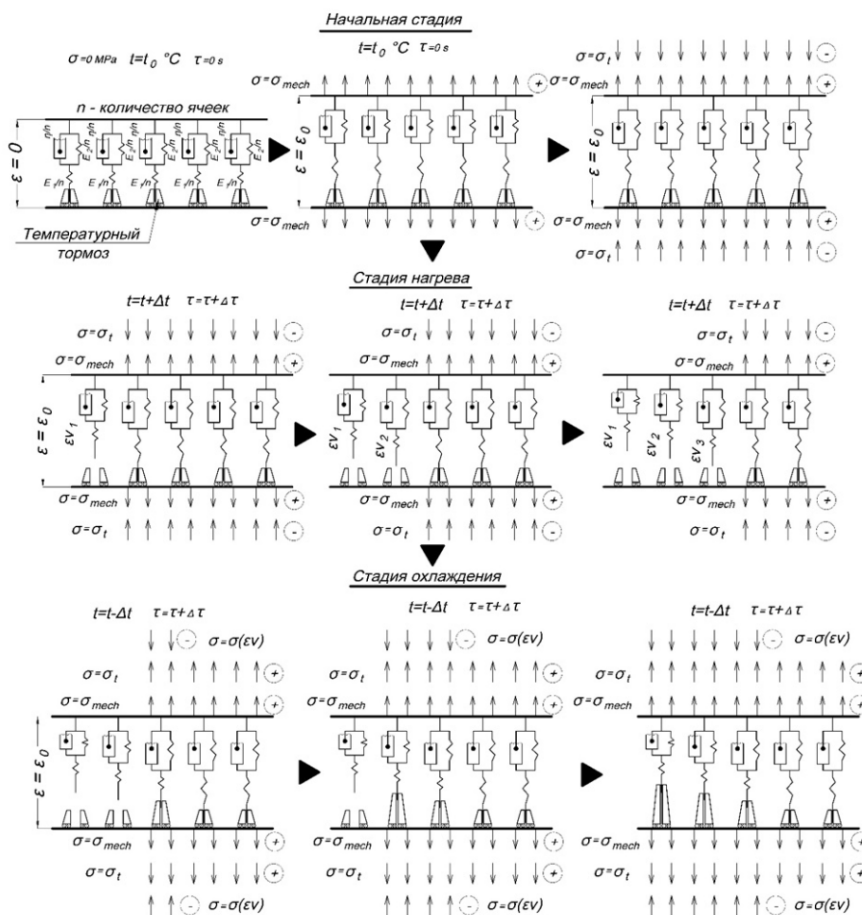


Рис. 1. Схема работы предлагаемой структурной модели

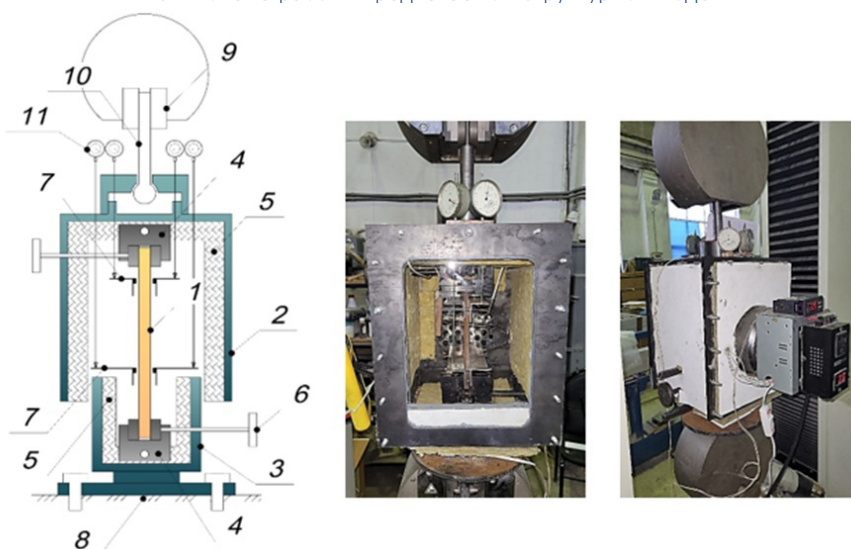


Рис. 2. Схема и внешний вид изготовленной термокамеры

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ, ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ МЕТОДАМИ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент Н.А. Шабурова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка новых методов (прежде всего с использованием аддитивных технологий – лазерной наплавки и детонационного напыления) получения металломатричных композиционных покрытий с включениями новых неметаллических и интерметаллических высокоэнтропийных фаз, а также теоретическое и экспериментальное изучение физико-химических особенностей процессов, реализующихся в системах, включающих высокоэнтропийные фазы, исследование свойств образующихся покрытий и того, как сказываются на этих свойствах параметры процессов образования покрытий.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 научный доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/WoS, в т. ч. статья – в журнале Q1-Q2

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности получения металломатричных покрытия с армирующими частицами неметаллических и интерметаллических высокоэнтропийных фаз методами аддитивных технологий с использованием порошков чистых компонентов в качестве исходных материалов.
- ➔ Выбор состава композиционных покрытий, опираясь на современные методы термодинамического, и кинетического моделирования.
- ➔ Теоретическое и экспериментальное изучение кинетики и термодинамики процессов образования новых неметаллических и интерметаллических высокоэнтропийных фаз в металлической матрице в условиях реализации аддитивных технологий.
- ➔ Определение состава, формы и размера частиц порошков, обеспечивающих формирование неметаллических и интерметаллических высокоэнтропийных фаз в объёме металлической матрицы в условиях реализации аддитивных технологий.
- ➔ Определение параметров процессов, обеспечивающих получение металломатричных композиционных покрытий с участием неметаллических и интерметаллических высокоэнтропийных фаз в условиях реализации аддитивных технологий, которые бы характеризовались высоким уровнем адгезии к покрываемому металлу.
- ➔ Изучение структуры и свойств (механических характеристик, стойкости к коррозии в электролитах и газовой коррозии, прочности сцепления с подложкой) разработанных покрытий.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Новые образцы металломатричных покрытий с участием в качестве наполнителя частиц высокоэнтропийных интерметаллических и/или неметаллических фаз, полученные методами лазерной наплавки и детонационного напыления.
- ➔ Новые методики получения композиционных покрытий с участием высокоэнтропийных фаз методами лазерной наплавки и детонационного напыления из порошков различного состава, включая низкоэнтропийные металлические порошки (порошки чистых компонентов или сплавов двух-трёх компонентов).
- ➔ Термодинамические и кинетические модели процессов образования высокоэнтропийных фаз в условиях нанесения покрытий и возможных условиях эксплуатации. Новые базы модельных параметров, позволяющих реализовывать адекватное экспериментальным данным моделирование. Новые результаты моделирования исследуемых процессов.
- ➔ Результаты исследования состава и микроструктуры полученных покрытий, их механических и трибологических характеристик, коррозионной стойкости, жаростойкости, адгезии к подложке. Результаты экспериментального исследования фазовой стабильности полученных покрытий, и, в частности, их фазовой стабильности, в условиях длительной термообработки покрытий при различных температурах. Новые данные о концентрационных границах стабильности фазового состава покрытий, полученных посредством разработанных методик.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Планируемые в проекте исследования позволяют решать задачи, связанные с получением композиционных многофункциональных покрытий, а также расширить область их применения. Составы, с которыми планируется проводить работу, подобраны таким образом, что позволяют рассчитывать на получение покрытий различного назначения, включая:

- покрытия с очень высокой твёрдостью;
- покрытия с высокой износостойкостью;
- покрытия с низким коэффициентом трения;
- покрытия с высокой коррозионной стойкостью (и жаростойкостью и стойкостью к коррозии в электролитах),
- покрытия, экранирующие от электромагнитного излучения в избранном его диапазоне;
- покрытия, стойкие к ионизирующим излучениям и т.д.

Кроме того, методики, которые планируется разработать в ходе исследования, будут полезны для развития аддитивных технологий не только по отношению к работе непосредственно с исследуемыми системами, но также с гораздо более широким спектром материалов (включая и многофазные сплавы). В частности, важным прикладным результатом планируемых работ могут стать методики получения покрытий заданного состава из смесей порошков-прекурсоров, отличающихся по составу от состава покрытия. В условиях, когда покупка/изготовление порошка требуемого состава может быть существенно затруднена или вовсе невозможна в течении длительного времени, методики, позволяющие получить покрытие нужного состава (из сложнолегированного сплава, например) из относительно небольшого количества разных исходных порошков, которые имеются в наличии, безусловно будут востребованы промышленностью.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Образцы (в общей сложности 27 образцов различного состава) металломатричных покрытий с наполнителем из интерметаллических и неметаллических высокоэнтропийных фаз, полученные методами лазерной наплавки, детонационного напыления и холодного газодинамического напыления.
- ☑ Методики получения металломатричных покрытий с наполнителем из интерметаллических и неметаллических высокоэнтропийных фаз, полученные методами лазерной наплавки, детонационного напыления и холодного газодинамического напыления из порошков различного состава, включая низкоэнтропийные порошки (состоящие из чистых компонентов). Подобраны оптимальные режимы нанесения покрытий, включающие: степень дисперсности порошков, состав компонентов порошковых смесей, режимы работы технологического оборудования.
- ☑ Новые данные о структуре, составе и механических свойствах (прежде всего о микротвёрдости образцов), результаты исследования фазовой стабильности полученных покрытий при различных температурах, а также адгезии покрытий к подложке.
- ☑ Физико-химические (термодинамические, кинетические и теплофизические) модели реализующихся процессов, реализованные в рамках современных специализированных программных средств (прежде всего посредством программных комплексов Thermo-Calc и FactSage), а также результаты теоретического анализа полученных экспериментальных данных и литературных данных, полезных с точки зрения задач исследования. Результаты моделирования были использованы при планировании экспериментов по получению покрытий.

В процессе работы получено большое количество данных о составах, структуре, морфологических характеристиках композиционных покрытий и их свойствах.

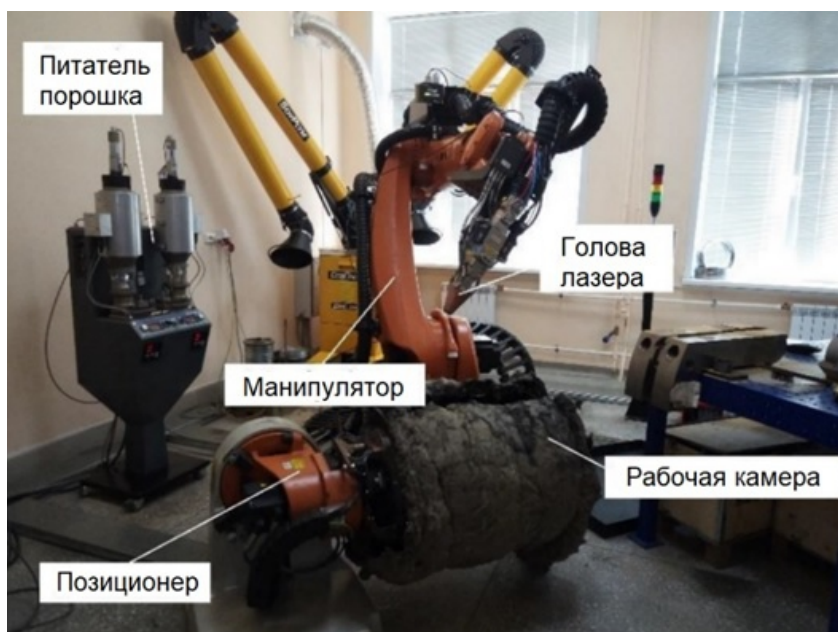


Рис. 1. Установка для лазерной наплавки

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ АРКТИКИ

Руководитель проекта – кандидат технических наук К.В. Шулдяков

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка теоретических предпосылок для создания высокоморозостойких цементных композитов со сроком службы не менее 50 лет в суровых условиях эксплуатации для реализации стратегии социально-экономического развития Арктической зоны России, а также Сибири и Крайнего Севера.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

2 научных доклада на всероссийских конференциях

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Установить влияние типа цемента (ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-Ш, ЦЕМ II/B-Ш и ЦЕМ III) на характеристики стойкости цементных композитов при различных внешних физико-химических воздействиях.
- Исследовать взаимосвязь стойкости цементных композитов с параметрами формируемой микроструктуры гидратных фаз цементного камня.
- Изучить возможности направленного формирования необходимой микроструктуры гидросиликатных фаз.
- Установить влияние современных органо-минеральных добавок на модификацию структуры цементного камня.
- Исследовать основные критерии, согласно которым формируется наиболее стойкая микроструктура цементного камня при циклических воздействиях.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

По итогам первого года на материалах постоянного качества будут выявлены наиболее эффективные минеральные и комплексные добавки, обеспечивающие повышенную стойкость цементного камня к циклическим воздействиям Арктической зоны. Из данных проведенных микроструктурных исследований будут сделаны заключения о стабильности гидросиликатных фаз при различных воздействиях. Эти данные будут сопоставлены со стойкостью цементного камня. Совокупность полученных

результатов позволит выдвинуть основную рабочую гипотезу о роли микроструктуры гидратных фаз в обеспечении длительной стабильности и стойкости цементных композитов при внешних воздействиях. Также можно будет предварительно выявить экономическую эффективность добавок модификаторов. Будет выявлен тип цемента, а также условия и длительность твердения образцов, обеспечивающие наибольшую стойкость цементному камню при циклических воздействиях.

По итогам второго года будет сделано заключение о возможности получения бетона с маркой по морозостойкости F<sub>2500</sub> и выше при использовании минеральных и органических модификаторов. Кроме того, будет выработана методика оценки стабильности микроструктуры гидратных фаз по сравнению кинетики водонасыщения основных и контрольных образцов. Установлен механизм разрушения бетона при различных циклических воздействиях и роль модификаторов в обеспечении высокой долговечности бетона на разных цементах, выявлены параметры оперативного контроля долговечности. Будет разработана концепция обеспечения длительной стойкости цементных композитов и формирования стабильной микроструктуры цементного камня.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Практическая значимость будет заключаться в создании модифицированных цементных композитов (марка по морозостойкости свыше F<sub>2500</sub>, низкая истираемость и водопроницаемость), не требующих капитального ремонта в течение длительного срока эксплуатации (не менее 50 лет) в суровых климатических условиях.

То есть применяя высокофункциональные бетоны с повышенными эксплуатационными характеристиками, можно будет уменьшать сечение конструкций, обеспечивая их материалоемкость, что будет очень выгодно с точки зрения снижения доли транспортных издержек, которые в конечной стоимости продукции Арктической зоны могут составлять до 60 %.

Данная технология может применяться при производстве бетонов для различных инфраструктурных объектов – морских платформ, магистральных трубопроводов, взлетно-посадочных полос, а также иных объектов промышленного и гражданского строительства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Проведен литературный обзор по разрабатываемому вопросу и подобраны качественные сырьевые матери-

алы, а также добавки-модификаторы. Осуществлено математическое планирование эксперимента – была построена модель в виде полинома, позволяющая оптимизировать различные переменные параметры в экспериментах типа состав-свойства и другие. Этапы математического планирования включают выбор переменных и интервалов их варьирования, проведение экспериментов по плану с необходимым числом повторов и установление регрессионных зависимостей, а также их оптимизацию.

Для исследования свойств структуры цементного камня было заформовано 42 состава образцов-кубов из цементного теста нормальной плотности. Для этого использовалось 5 различных водоредуцирующих добавок и 2 активные минеральные добавки. Были проведены исследования прочностных характеристик образцов в возрасте 1, 2, 3, 7, 28 и на 90 суток. Сейчас в процессе микроструктурные исследования – дериватографический анализ (ДТА), рентгенофазовый анализ (РФА) с внутренним эталоном и электронная растровая микроскопия с рентгеновским микроанализатором.

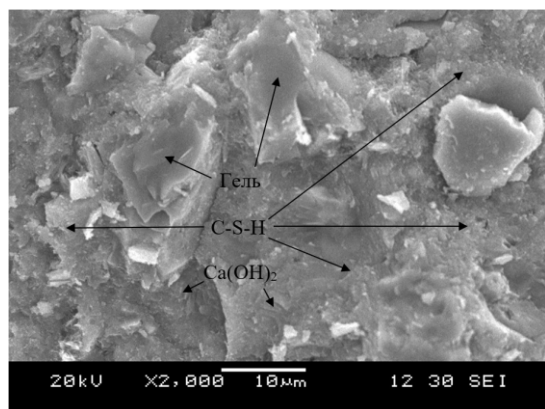


Рис. 1. Микрофотография структуры цементного камня с добавками АСЕ и МК при увеличении в 2000 раз

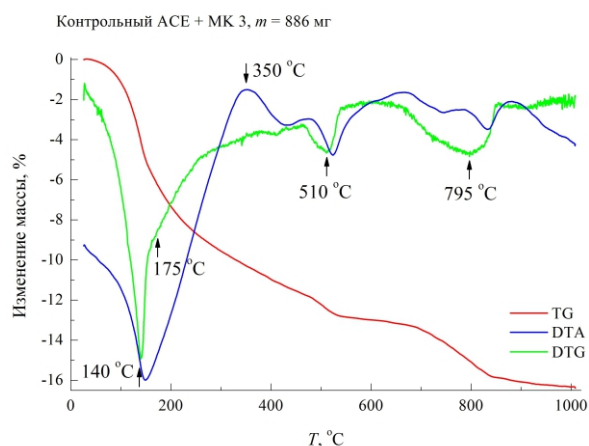


Рис. 2. Данные рентгенофазового анализа цементного камня с добавкой СП-1 после 50 циклов замораживания и оттаивания

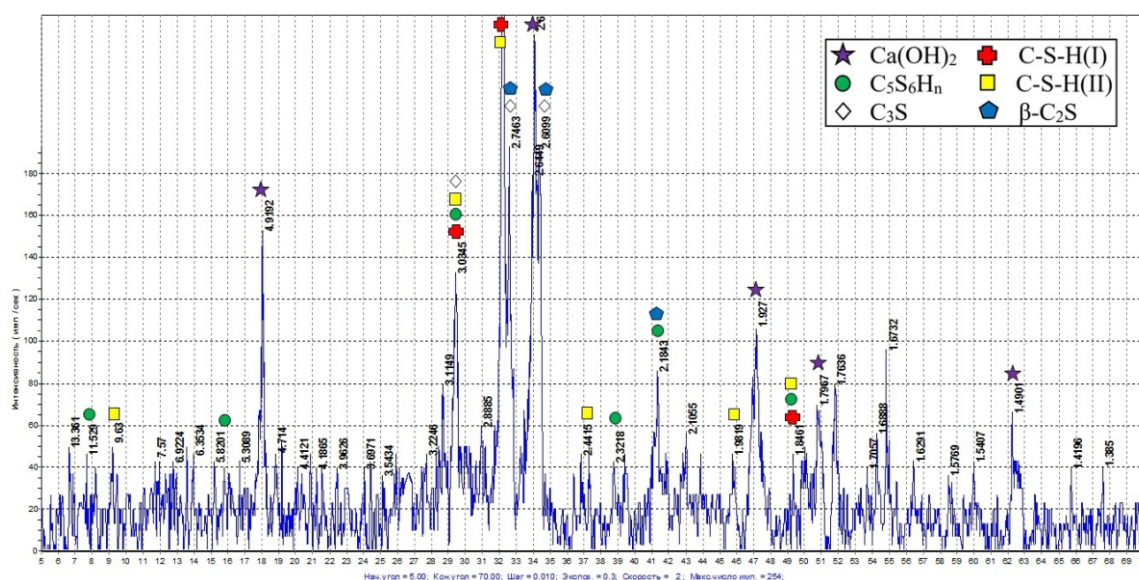


Рис. 3. Данные дериватографического анализа цементного камня в возрасте 28 суток с добавками АСЕ и МК

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНО- МАССОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА «ЖИДКОСТЬ–ГАЗ»

Руководитель проекта – кандидат технических наук П.А. Тараненко

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка неинвазивной методики оценки объемно-массовых параметров компонентов текущей двухфазной среды «жидкость – газ» (непрерывная фаза – жидкость, дискретная фаза – воздух) без ее разделения на компоненты.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

1 научный доклад на международной научной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в журнале из перечня ВАК/RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка новой гибридной вихререзающей модели турбулентности и методики определения на ее основе параметров турбулентного течения с учетом пульсационной составляющей скорости для различных закрытых каналов в условиях течения двухфазной среды. Основными выходными параметрами будут конвективный и акустический фронты частотно-волнового спектра турбулентного потока, по параметрам которых можно будет определять объемный расход двухфазной среды.
- Определение конвективной и акустической составляющих пульсирующего вихревого поля в потоке, создание математической модели турбулентности для описания процесса диссипации турбулентного вихря.
- Разработка метода детектирования турбулентных вихрей через стенку.
- Разработка математической модели двухфазной среды «жидкость–газ», текущей по измерительным трубкам кориолисовых расходомеров.
- Поиск и исследование фундаментальных взаимосвязей между объемно-массовыми параметрами двухфазной среды «жидкость–газ» и параметрами колебаний измерительных трубок кориолисовых расходомеров, возбуждаемыми потоком текущей среды и внешним вынуждающим воздействием.
- Исследование влияния диссипативных свойств текущей двухфазной среды, зависящих от объемной доли газа в текущей среде, на наблюдаемые параметры колебаний измерительных трубок кориолисовых расходомеров.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Оригинальная математическая модель турбулентного течения с учетом пульсационной составляющей скорости потока с применением вихререзающих моделей турбулентности и системы компьютерного моделирования и оптимизации вихревого течения.

Новый способ неинвазивного измерения объемного расхода жидкости и газа по конвективному фронту частотно-волнового спектра.

Зависимости параметров колебаний измерительных трубок кориолисовых расходомеров от содержания газа в измеряемой жидкости.

Математическая модель течения двухкомпонентной среды «вода – воздух» (основная несущая фаза – вода) по деформируемым измерительным трубопроводам, колебания которых возбуждаются потоком текущей двухкомпонентной среды и внешней сосредоточенной силой. Методика численного решения задачи о колебаниях измерительного трубопровода, возбуждаемых потоком текущей двухфазной среды «жидкость–газ» и внешней сосредоточенной силой, обеспечивающая минимальный уровень численного демпфирования.

Методика измерения покомпонентного определения объемно-массовых параметров двухфазной среды «жидкость–газ» по наблюдаемым параметрам колебаний и деформаций трубопроводов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Многофазный расходомер, не содержащий источников радиоактивного излучения



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведены теоретические, расчетные и экспериментальные исследования по динамике течений жидких и газообразных сред применительно к вопросам диссипации турбулентных вихрей в многофазном потоке.
- ☑ Проведены экспериментальные исследования течения двухкомпонентной среды «жидкость – газ» по кориолисовому расходомеру.

- ☑ Выполнено расчетное исследование влияния уровня демпфирования на параметры колебаний кориолисового расходомера.
- ☑ Разработана математическая модель течения жидкости с пузырьком воздуха по кориолисовому расходомеру.
- ☑ Проведены расчетные и экспериментальные исследования зависимости амплитуд, частот и фаз механических колебаний кориолисового расходомера при кратковременном впрыске воздуха в текущую среду.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ООО «ЭлМетро Групп».
- ☑ ООО «К-Омега» (г. Челябинск).



Рис. 1. Испытания прототипа накладного гидроакустического расходомера «К-Омега П-1»

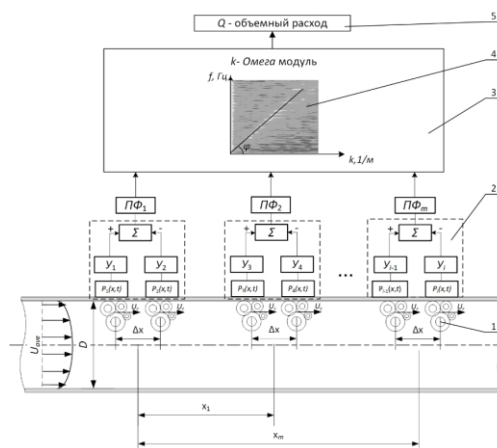


Рис. 2. Функциональная структура метода неинвазивного измерения расхода

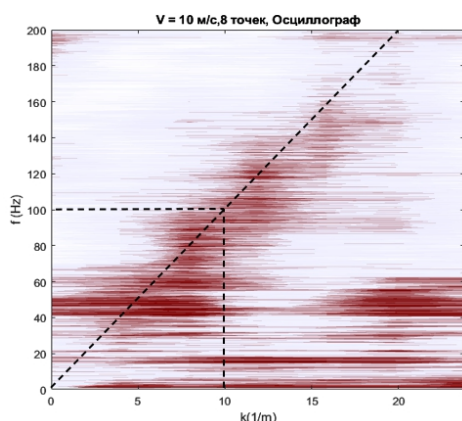


Рис. 3. Экспериментальный частотно-волновой спектр

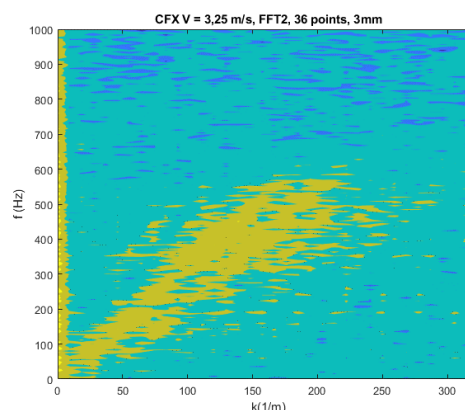


Рис. 4. Расчетный частотно-волновой спектр

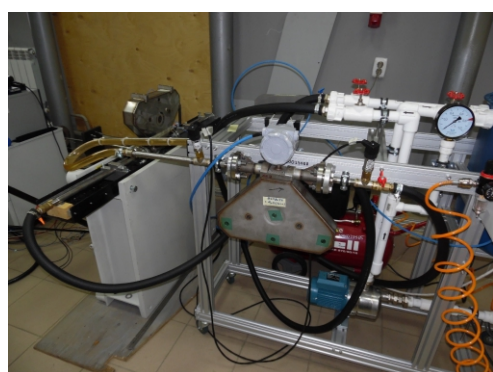


Рис. 5. Проливочные испытания кориолисового расходомера в условиях течения двухфазной среды «жидкость – газ»

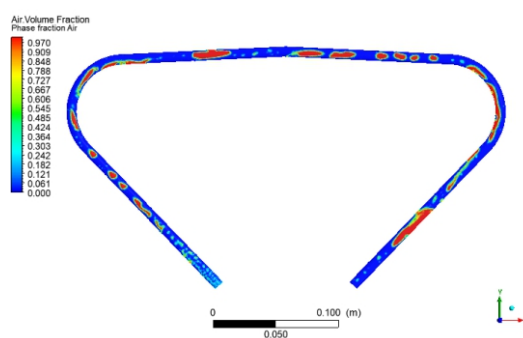


Рис. 6. Распределение воздуха при течении флюида по недеформируемой измерительной трубке кориолисового расходомера

# КОМПЬЮТЕРНЫЙ ДИЗАЙН ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ Fe-V И V-Ti ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Руководитель проекта – доктор физико-математических наук, профессор А.А. Мирзоев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект направлен на развитие теоретических основ прогнозирования свойств ванадийсодержащих сплавов системы Fe-V и V-Ti, на основе которых могут быть спрогнозированы характеристики новых составов перспективных конструкционных сталей. Для достижения этой цели и исследования свойств указанных систем используются методы квантовых первопринципных расчетов полной энергии, а также инструменты машинного обучения.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 научный доклад на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в журнале из перечня ВАК/RSCI

1 статья в РИНЦ

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Уточнение термодинамических характеристик системы Fe-V путем ab initio моделирования разности энергий гамма- и альфа-фаз сплавов железо-ванадий, концентрационных зависимостей энергии смещения, а также величин локальных и средних магнитных моментов сплавов.
- Определение энергий взаимодействия между атомами компонентов и нахождение параметров ближнего порядка в системе Fe-V методами статистической термодинамики, построение физической картины выделения микрочастиц карбидов ванадия в стали путем расчета энергий образования ванадий-углеродных кластеров в железе.
- Определение основных структурных и энергетических характеристик неупорядоченных растворов системы V-Ti, важных для проектирования материалов для ядерных реакторов на быстрых нейтронах.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Уточнение термодинамических характеристик системы Fe-V позволит улучшить построение фазовых диаграмм системы Fe-V и тройных систем Fe-V-C для ванадиевых сталей.

- Полученные методами машинного обучения межчастичные потенциалы межатомных взаимодействий в сплавах Fe-V откроют дорогу к высокоточному моделированию на атомном уровне систем из нескольких тысяч частиц, что позволит решать задачи мезомеханики ванадиевых сталей.
- Результаты исследования влияния ближнего порядка на модули упругости и энергии образования вакансий дадут важную информацию для проектирования перспективных материалов для ядерных реакторов на быстрых нейтронах на основе сплавов V-Ti.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- Проведено первопринципное моделирование базовых характеристик (структуры, модуля упругости и магнитных свойств) ОЦК-твердых растворов Fe-V (1-25 ат. %) в ферромагнитном и парамагнитном состоянии. Изучение концентрационной зависимости среднего магнитного момента, атомных моментов на железе и ванадии ОЦК-растворов Fe-V показало их схожесть с магнитными свойствами системы Fe-Cr. Накоплен объем разнообразных ab initio атомных конфигураций ОЦК-системы Fe-V для различных содержаний компонентов вместе с расчетными значениями их полных энергий для подготовки достаточного обучающего и тестового набора входных данных для проведения машинного обучения и тестирования полученных MLIP-потенциалов.

☑ Методом *ab initio* расчета получены значения необходимых энергетических параметров, используемых для расчета фазовых диаграмм системы Fe-V, включая энергии ОЦК- и ГЦК-структур чистых железа и ванадия. Удалось существенно уточнить параметры термодинамического описания, используемые в CALPHAD-расчетах.

☑ В рамках первопринципного моделирования изучены полная энергия, энергия растворения примесей титана, параметры решетки, модуль упругости в неупорядоченных сплавах системы V-Ti (до 6 ат. %).

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

☑ Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург

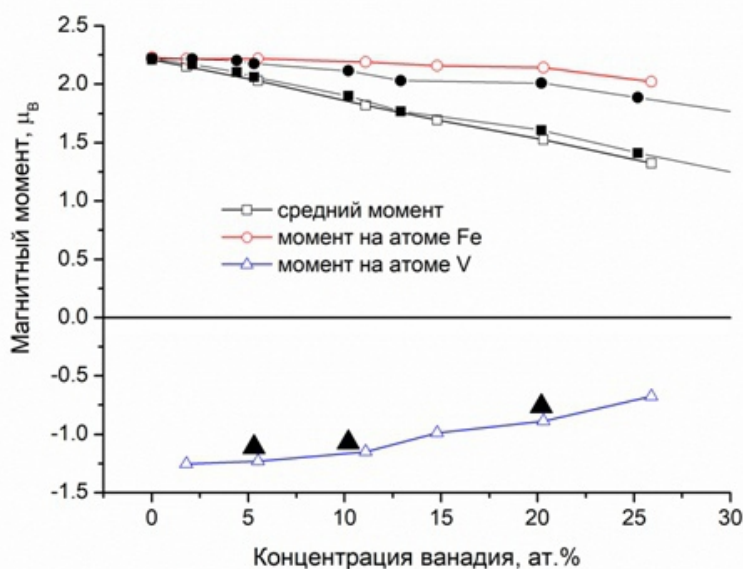


Рис. 1. Сравнение результатов моделирования (пустые значки) магнитных моментов в неупорядоченном твердом ОЦК-растворе Fe-V с данными эксперимента (закрашенные значки)

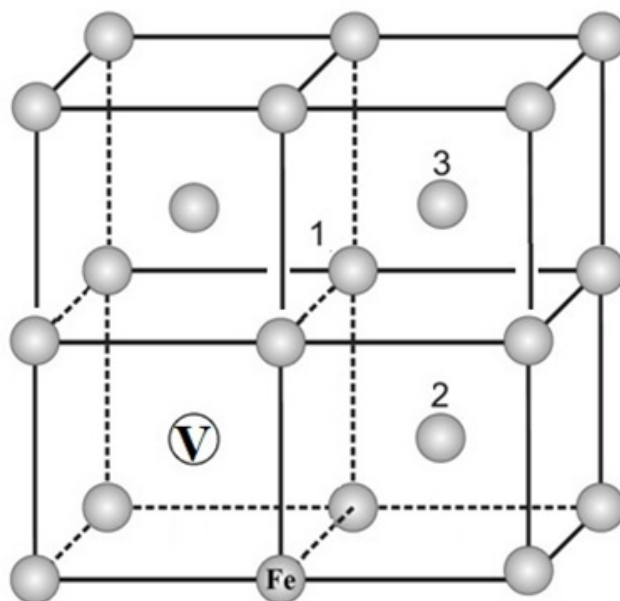


Рис. 2. Конфигурации пары атомов ванадия в ОЦК-железе. Второй атом ванадия занимает положения 1-3, которые соответствуют первым трем координационным сферам по отношению к первому атому, обозначенному кружком с символом V

# ЗАВИСИМОСТЬ ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА ОТ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Д.В. Сергеев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект направлен на изучение влияния электротермических сил на фронт кристаллизации металла в процессе ЭШП на постоянном токе при реализации технологии с вращением расходуемого электрода. Полученные зависимости позволят определять критерии, обеспечивающие изотропность свойств получаемой заготовки с одновременным снижением энергетических затрат данного процесса рафинирования.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

2 научных доклада на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

5 статей в журналах из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Определить электротермические силы, влияющие на формирование фронта кристаллизации.
- Разработать математический аппарат решателя, учитывающий влияние электротермических явлений и центробежных сил в рабочей зоне ЭШП.
- Разработать компьютерную модель ЭШП на постоянном токе с вращением расходуемого электрода.
- Произвести натурный эксперимент на установке ЭШП для валидации разработанной модели и ее корректировки.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Выявление закономерностей между электротермическими процессами, формой фронта кристаллизации металла и жидкой пленки на оплавленном торце электрода с учетом компенсационного воздействия поля центробежных сил, позволяющих полностью описать природу влияния электротермических явлений при протекании ЭШП на постоянном токе с наложением центробежных сил на каплю жидкого металла.
- Определение методов контроля формирования фронта кристаллизации для обеспечения ее неизменности.

- Разработка достоверных компьютерных моделей процесса ЭШП на постоянном токе с вращением расходуемого электрода, позволяющих осуществлять прогнозирование каждой плавки при ЭШП на постоянном токе с вращением расходуемого электрода.
- Проведение натурных экспериментов на действующей установке ЭШП для валидации разработанной компьютерной модели.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты проведенной работы являются актуальными для внедрения отечественных металлургических производств, специализирующихся на производстве стального полупродукта на печах традиционной черной металлургии (ДСП, ОИП), а также специальной электрометаллургии (ЭШП, ВДП, ВИП, ЭЛП, ПДП), заинтересованных в углубленном изучении протекания физико-химических процессов в электросталеплавильных агрегатах путем внедрения расширенной цифровизации производства на основе численных моделей гидродинамики сплошных сред и нейросетевых моделей машинного обучения. В перечень конкретных организаций-потребителей можно отнести: ПАО «Северсталь», АО «Электросталь», НПО «ЦНИИТМАШ», ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина, ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, ОАО «Златоустовский металлургический завод», АО «Корпорация Красный Октябрь», ПАО «ММК», ПАО «ЧМК», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ФГАОУ ВО «УрФУ им. Б.Н. Ельцина».



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

При проведении макроанализа получены результаты, описывающие строение кристаллической структуры слитка, полученного при переплаве на печи ЭШП на постоянном токе с вращением расходоуемого электрода. Направленность дендритных осей первого порядка имеет слабое отклонение от продольной структуры слитка, среднее значение угла которого составляет  $85^\circ$  относительно поперечного сечения слитка. При сравнении с ранее полученными результатами, полученными на печи ЭШП на переменном токе со стационарным расходоуемым электродом, значения которых лежат в диапазоне  $70^\circ$ – $80^\circ$ , явно наблюдается тенденция к формированию коаксиально направленной кристаллической структуры к продольной оси слитка. Данный результат является следствием изменения формы фронта кристаллизации, глубины металлической ванны и выраженности ее мениска. Металлическая ванна становится более плоской в продольном сечении слитка, что также описывается значением ее глубины, равной 35 мм на стационарном расходоуемом электроде, против 17 мм на вращающемся. Данные результаты были получены на слитках круглого сечения диаметром 90 мм.

При проведении сравнительного анализа макро-структуры и микроструктуры между слитками, полученными на постоянном токе прямой и обратной полярности, выявлена разница между формой металлической ванны и распределением вредных примесей на примере серы. На слитках, полученных при использовании обратной полярности тока, не замечено значительных отличий в части глубины металлической ванны и формы фронта кристаллизации, однако замечена интенсификация процесса десульфурации, что подчеркивается снижением концентрации серы с 0,014 до 0,009 %, однако этот результат хуже показателя на переменном токе, составляющего 0,005 %. При использовании прямой полярности тока наблюдается отрицательный эффект в части десульфурации, концентрация серы увеличилась с 0,014 до 0,025 %. Данный результат подчеркивает существование эффекта ионизации, возникающего при ЭШП на постоянном токе. При исследовании микроструктуры слитков ЭШП на постоянном токе было зафиксировано,

что, несмотря на худшие показатели десульфурации относительно ЭШП на переменном токе, низкий балл зерна слитка в совокупности с направленной структурой обеспечивает лучшую равномерность распределения редных примесей в его теле с измельчением их удельного размера. Показатель удельной плотности распределения неметаллических включений при использовании вращения расходоуемого электрода снизился до 18 шт/мм<sup>2</sup> по сравнению со стационарным расходоуемым электродом, средняя удельная плотность распределения неметаллических включений составляет 27 шт/мм<sup>2</sup>. Анализ удельной плотности проводился на микрошлифе из центральной части слитка.

При 90 об/мин достигается оптимальная форма металлической ванны и фронта кристаллизации. Средняя величина центробежной силы для капли диаметром 4 мм составляет 0,66 Н, что на порядок выше среднего значения величины силы Лоренца, действующей на каплю металла и составляющей 0,067 Н. При этом при использовании постоянного тока наблюдается увеличение скорости переплава в среднем на 30 % с использованием вращения расходоуемого электрода по сравнению со стационарным расходоуемым электродом на переменном токе. Значение линейной скорости переплава на постоянном токе с вращением расходоуемого электрода составляет 8,13 мм/мин против 6,3 мм/мин на переменном токе со стационарным расходоуемым электродом.

Разработана опытная технология получения слитков круглого и квадратного сечения со средним диаметром или стороной квадрата 90 мм и длиной не более 400 мм на полупромышленной печи ЭШП А-550 на постоянном токе с вращением расходоуемого электрода, работающей по одноэлектродной монофазной схеме. Выплавка слитков обеспечивается при следующих параметрах: интервал рабочего напряжения 45–50 В; величина потребляемого тока 800–1000 А; род тока – постоянный; полярность тока – прямая; скорость вращения расходоуемого электрода – 92 об/мин; скорость подачи расходоуемого электрода – не менее 0,1 мм/сек, переменная, регулируемая автоматикой при поддержании необходимого напряжения; тип старта – твердый с использованием затравки высотой 25–30 мм той же формы и марки стали, что и у расходоуемого электрода; шлаковый режим работы печи: использование порции флюса АНФ-6 массой 1000–1100 г без дополнительного внедрения в ходе плавки с предварительной прокалкой не менее 2 часов при температуре 300–350 °С.

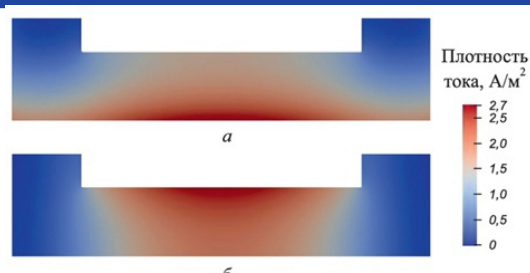


Рис. 1. Числовые поля распределения плотности тока в шлаковой ванне для прямой (а) и обратной (б) полярностей тока

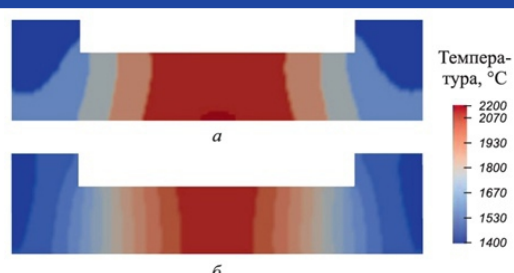


Рис. 2. Числовые поля распределения температуры в шлаковой ванне для прямой (а) и обратной (б) полярностей тока

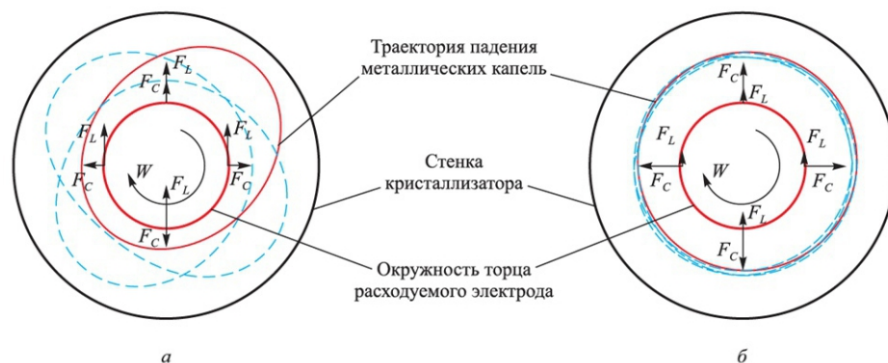


Рис. 3. Траектории падения капель металла и векторы воздействующих сил: стационарный или вращающийся с недостаточной скоростью расходоуемый электрод (а); вращающийся с оптимальной скоростью расходоуемый электрод (б); FL – сила Лоренца; FC – центробежная сила

# РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ПЛАСТИЧНОСТЬЮ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ

Руководитель проекта – PhD Рахеле Ферейдоннежад

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка новых высокоэнтропийных интерметаллидов, то есть многокомпонентных фаз, в которых однородная структура интерметаллидов стабилизируется за счет высокой энтропии смешения, обладающих пластичностью при комнатной температуре, с использованием молекулярно-динамического моделирования в сочетании с экспериментальными методами.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

1 статья в Scopus/WoS

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

С помощью молекулярно-динамического моделирования должна быть рассчитана энтальпия образования интерметаллидов пяти химических составов, кристаллизующихся в трех различных кристаллических структурах (B2, L12, D03), и предсказаны наиболее стабильные фазы (наименьшая энтальпия образования) для экспериментального синтеза.

Механические свойства для трех структур должны быть смоделированы для всех групп элементов с использованием молекулярно-динамического моделирования.

Образцы с наибольшей пластичностью и устойчивостью (судя по результатам моделирования) должны быть экспериментально изготовлены, а их свойства изучены.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Параметры межатомного потенциала 2NN MEAM для высокоэнтропийных интерметаллидов.
- Синтезированные образцы высокоэнтропийных интерметаллических соединений с высокой пластичностью при комнатной температуре. Экспериментальные данные о механических свойствах и термостойкости таких фаз.

- Методики синтеза высокоэнтропийных интерметаллических фаз. Данные о стабильных режимах их получения, включая составы исходных расплавов, а также температурные режимы процесса.
- Молекулярно-динамическая модель для понимания основных механизмов деформации в пластичных высокоэнтропийных интерметаллидов с набором параметров межатомного потенциала 2NN MEAM, позволяющая описать корреляцию деформации таких фаз с их составом и температурой.
- Данные о структуре и составе образцов, полученные методами рентгеноструктурного анализа, а также методами электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.
- Рекомендации по использованию изученных в процессе работы высокоэнтропийных пластичных интерметаллических фаз в качестве конструкционных материалов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Применение высокоэнтропийных интерметаллидов, разработанных в этом проекте, возможно в автомобильном и авиационном двигателестроении. В авиационном двигателестроении, где для материала авиационных двигателей важны высокая термостойкость, коррозионная стойкость или длительная прочность, существует значительный интерес к применению интерметаллидов. Например, в 2006 году GE коммерциализировала бинарные интерметаллиды TiAl

для двигателя GE9xTM. В настоящее время более 160 двигателей GE9xTM находятся в коммерческой эксплуатации по всему миру на самолетах Боинг 787 и Боинг 747-8.

Другими возможными вариантами применения являются лопатки и кожухи компрессоров, держатели лопаток и демпферы турбин, статические и вращающиеся аэродинамические поверхности компрессоров и лопатки турбин низкого давления.

Учитывая современные области применения бинарных интерметаллидов, результаты нашего проекта могут иметь широкий спектр областей применения для Российской Федерации, а также для Челябинской области, где есть много металлургических заводов, производящих различные детали методом литья иковки. Очевидно, что изделия из высокоэнтропийных интерметаллидов, обладающие пластичностью при комнатной температуре, могут заменить многие детали в различных отраслях промышленности для увеличения срока службы устройств.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Все теоретические исследования, запланированные к проведению на первом этапе работы, были успешно выполнены. Основными результатами, полученными в ходе исследований настоящего этапа, являются получение межатомного потенциала 2NN-MEAM для бинарных и высокоэнтропийных интерметаллических соединений, а также изучение их кристаллической структуры, расчет энтальпии образования, температур плавления, модуля упругости, механических свойств и поведения при деформации с использованием метода молекулярно-динамического моделирования. Выполненные работы позволили найти составы с наименьшей энергией образования (наивысшей стабильностью) и надлежащими механическими свойствами с помощью теоретических исследований.

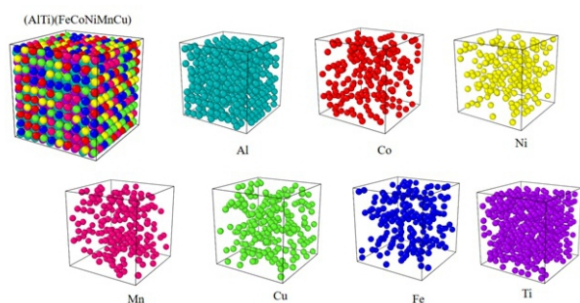


Рис. 1. Кристаллическая структура (AlTi)(FeCoNiMnCu), построенная в программном обеспечении LAMMPS.

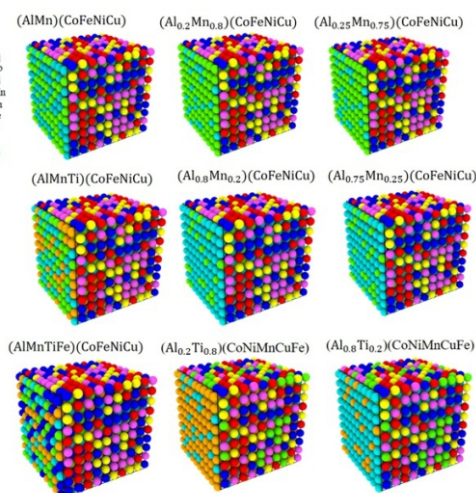


Рис. 2. Результаты моделирования кристаллических решеток типа B2 с использованием различных комбинаций элементов в (AlTi)(FeCoNiMnCu).

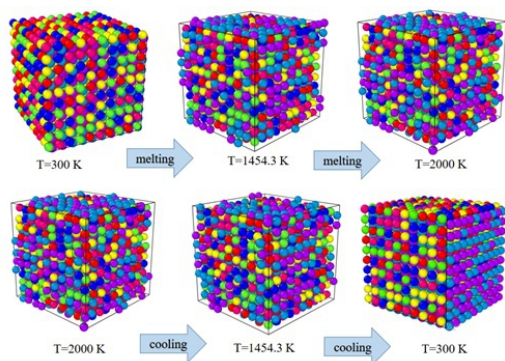


Рис. 3. Изменения кристаллической структуры и атомного разупорядочения при моделировании плавления (AlTi)(FeCoNiMnCu) с использованием расчета методом молекулярной динамики.

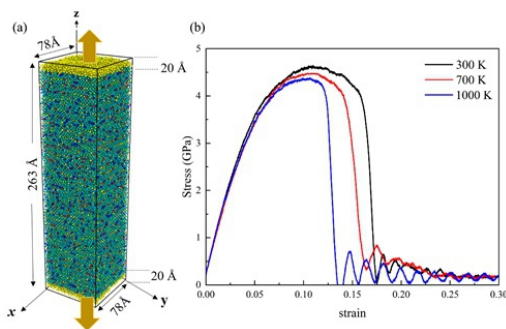


Рис. 4. Схематическая модель суперячейки высокоэнтропийного интерметаллида для моделирования одноосного растяжения. (b) Результаты моделирования кривых напряжения-деформации Al<sub>3</sub>(HfNbTaTiZr) при 300, 700 и 1000 K.

# ИННОВАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА И ВОДЫ, СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА: НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОКОМПОЗИТЫ, ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Руководители проекта – PhD (Chem), Associate Professor Д.М. Станкович (Университет Белграда, Сербия), доктор химических наук, профессор В.В. Авдин (ЮУрГУ)

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение новых электродов на основе титана, модифицированного оксидом свинца(IV), для эффективного электрокаталитического разложения органических загрязнений.

## ПУБЛИКАЦИИ

12 научных статей

1 патент на полезные модели

1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ

17 научных докладов на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

10 статей в Scopus/WoS

2 статьи в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработать методику поэтапной многослойной модификации анодов типа Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/α,β-PbO<sub>2</sub>-Ho.
- Получить модифицированные электроды и изучить их электрокаталитические свойства.
- Исследовать электроды на каждом этапе модификации нового слоя на предмет электрокаталитического разложения органического загрязнения – метиленового голубого.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Получены новые образцы электродов, позволяющие методом электрокатализа выполнять разложение трудноокисляемых органических загрязнений в водных растворах. Отличительным качеством данного подхода является высокая степень конверсии, нечувствительность к наличию посторонних примесей и колебанию состава очищаемой воды.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Метод электрокаталитического разложения позволяет полностью избавиться от трудноокисляемых органических загрязнений, в том числе фенола и его производных, красителей, продуктов нефтепереработки и предназначен для использования в системах водоочистки промышленных

предприятий. Органические примеси полностью минерализуются до простых неорганических веществ без образования продуктов вторичного загрязнения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Отработана многостадийная методика получения новых Ho-допированных электродов. На каждом этапе подобраны оптимальные параметры синтеза для осуществления плотных покрытий с хорошей адгезией. Метод порошковой рентгеновской дифрактометрии продемонстрировал, что на каждом этапе нанесения слоя наблюдаются четкие дифракционные максимумы, которые характеризуют фазы SnO<sub>2</sub>, α-PbO<sub>2</sub>, β-PbO<sub>2</sub>. Успешное допирование редкоземельным элементом в кристаллическую решетку внешнего электроактивного слоя β-PbO<sub>2</sub> доказывается наличием на рентгенограмме максимумов, которые соответствуют фазам Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (рис. 1).

Электрохимические свойства двойного электрического слоя на границе раздела фаз «материал пластины–электролит» исследованы с помощью циклической вольтамперометрии и электрохимической импедансной спектроскопии в растворе окислительно-восстановительной пары Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>. Так, результаты циклической вольтамперометрии, (рис. 2А), и импедансной спектроскопии, (рис. 2Б), подтвердили выбор оптимальных условий проведения электролитического осаждения покрытий α-PbO<sub>2</sub>, β-PbO<sub>2</sub>, α,β-PbO<sub>2</sub> и α,β-PbO<sub>2</sub>-Ho. Модифицирование электроактивного слоя α,β-PbO<sub>2</sub> допированием редкоземельным элементом Ho увеличивает скорость переноса заряда в двойном электрическом слое на границе раздела фаз «материал пластины–электролит», что является положительной предпосылкой, указываю-



щей на более быструю скорость электрокаталитического разложения органического загрязнителя.

Исследование эффективности электрохимической деградации метиленового голубого (МГ) в качестве модельного органического загрязнителя показало успешные результаты модифицированных титановых пластин, допированных редкоземельным элементом Ho. Так, на рис. 3А видно, что конверсия МГ на анодах типа Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/α,β-PbO<sub>2</sub>-Ho уже после 90 минут составляла почти 100 % (98,6 %). Для сравнения, конверсия МГ на аноде, не модифицированном редкоземельным элементом, за то же время составила 93 %. Тем не менее аноды со слоями-предшественниками /β-PbO<sub>2</sub>/ и /α,β-PbO<sub>2</sub>/ также вышли на показатель 100 % спустя 180 минут. Из этого делается вывод, что допирование анодов элементом Ho благоприятно сказывается на электроокислении МГ в слабых кислотах.

Кинетические кривые процесса разложения МГ (рис. 3Б) для анодов типа Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb и Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/α-PbO<sub>2</sub> имеют линейный характер и описываются кинетическим уравнением первого порядка. Константы скорости соответствуют значениям 1,0·10<sup>-4</sup> и 6,2·10<sup>-4</sup> с<sup>-1</sup> соответственно. Аноды типа Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/β-PbO<sub>2</sub>, Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/α,β-PbO<sub>2</sub> и Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/α,β-PbO<sub>2</sub>-Ho описываются уравнением псевдопервого порядка, константы скорости реакции соответствуют значениям 5,0·10<sup>-4</sup>, 6,2·10<sup>-4</sup>, и 8,1·10<sup>-4</sup> с<sup>-1</sup> соответственно.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ✓ Белградский университет (Сербия, Белград)
- ✓ Институт органической химии РАН (Москва)

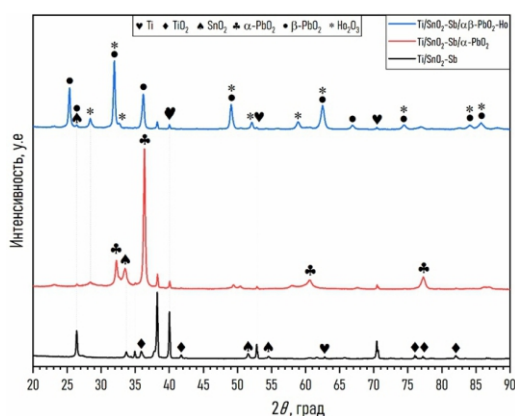


Рис. 1. Фрагменты рентгенограмм полученных анодов на каждом этапе модификации непористых титановых пластин

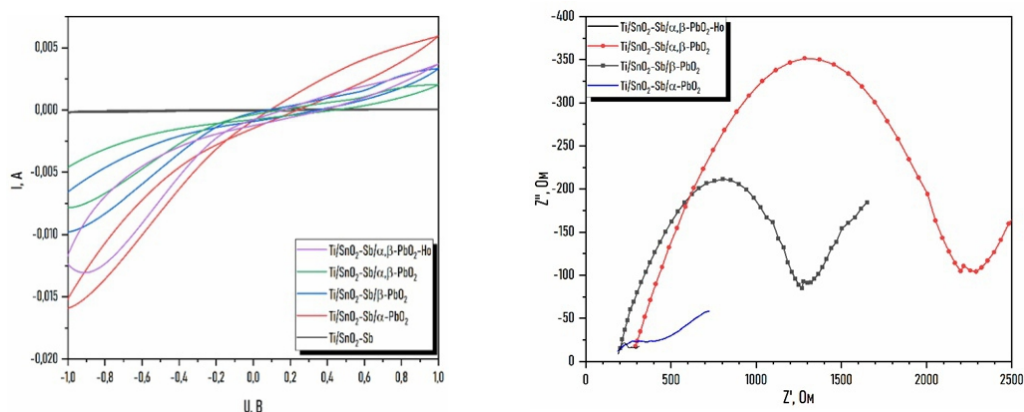


Рис. 2. Циклические вольтамперограммы (А) и годографы импедансов (Б) модифицированных анодов

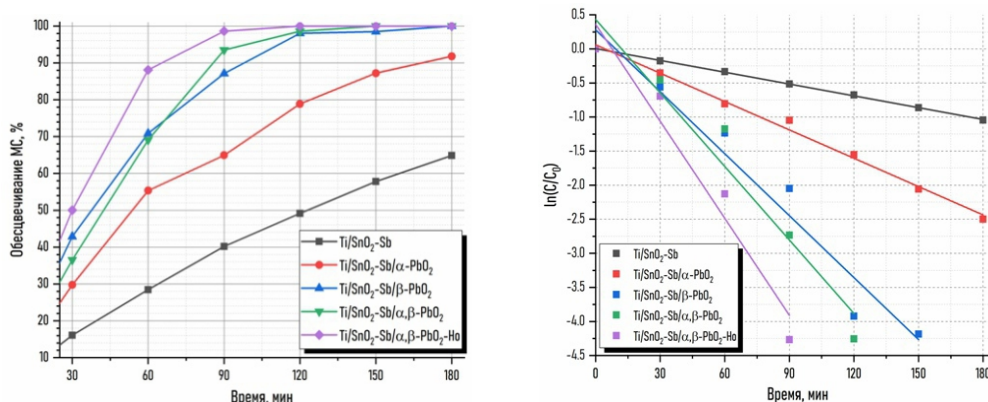


Рис. 3. Результаты электрокаталитического разложения метиленового синего в слабых кислотах на модифицированных анодах: кривые зависимости обесцвечивания загрязнителя в % от времени (А), кривые зависимости  $\ln(C/C_0)$  от времени (Б)

# КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРЕБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент П.А. Гамов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка импортозамещающей технологии производства чугунных мелющих тел и синтетического базальта, основанной на рециклинге шлаков медеплавильного производства.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 патент на изобретение

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus/WoS

1 статья в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка технологии извлечения железа из шлаков медеплавильного производства.
- Разработка технологии изготовления чугунных мелющих тел, соответствующих ГОСТ 7524-2015.
- Разработка технологии изготовления синтетического базальта.
- Разработка технико-экономического обоснования технологии и технологического регламента.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Пилотная линия по производству чугунных мелющих тел и синтетического базальта.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Снижение количества накопленных отходов медеплавильного производства, получение чугунных мелющих тел и синтетического базальта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- Изготовлены и испытаны на прочность окатыши диаметром 10 мм.
- Получены металлизированные окатыши.
- Получены образцы чугуна и изготовлена лабораторная партия чугунных мелющих тел.
- Проведены испытания изделий, подтверждено соответствие требованиям ГОСТ 7524-2015.
- Спроектирован кокиль для литья шаров Ø60 мм.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ООО «ИЦ АС Теплострой»



Рис. 1. Печь для твердофазного восстановления



Рис. 2. Чугунные мелющие тела

# СОЗДАНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА БЕЗИЗОЦИАНТНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ (NIPU) ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ

Руководитель проекта – доктор химических наук, профессор В.В. Авдин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Восстановление технологического суверенитета РФ в одном из ключевых технологических направлений – производстве полимеров. Снижение зависимости предприятий химической отрасли от поставок импортного сырья и развитие производства продукции гражданского и оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации. Создание уникального высокотехнологичного производства без использования высокотоксичных веществ, обновление технологии производства критически важной группы полимеров, возможность дальнейшего тиражирования технологии и увеличения объема выпуска продукции. Создание научного направления, воспитание специалистов для полимерной промышленности.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

3 патента на изобретение

3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка технологии получения компонентов безизоцианатных полиуретанов и адаптация технологии под местные сырьевые источники.
- Проектирование, создание и запуск в эксплуатацию высокотехнологичного, современного, экологически безопасного производства компонентов для безизоцианатных полиуретанов (NIPU).
- Разработка технологии получения безизоцианатных полиуретанов для получения широкого ассортимента продукции.
- Проектирование, создание и запуск в эксплуатацию производства ПУ на безизоцианатной основе.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Разработаны технологии получения компонентов неизоцианатных полиуретанов на основе отечественного сырья и технологии получения полиуретанов на безизоцианатной основе.
- Подготовка специалистов по новому профилю безизоцианатных полиуретановых систем и промышленному применению NIPU: ученых, технологов и специалистов других профилей, что даст новый импульс обновлению и развитию системы высшего образования и науки в ЮУрГУ.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Создание и развитие производства исходных компонентов для многочисленных линеек полимерных материалов: полиуретанов, полимочевин, полиамидов, эпоксидных смол и т. д., что, несомненно, даст новый импульс развитию производств, использующих современные полимерные материалы в РФ.
- Создание технологии современного мирового уровня, не использующей высокотоксичных компонентов, безопасной как для человека, так и для окружающей среды.
- Повышение экспортного потенциала российской экономики за счет создания экологически безопасных, ориентированных на биовозобновляемое сырье химических технологий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Сформированы опытные образцы и разработаны рецептуры неизоцианатных полиуретанов на основе доступного сырья в лабораторных условиях.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ ООО Завод «СТИ ППУ», г. Челябинск





Рис. 1. Образец полимерной трубы с неизоцианатной теплоизоляцией

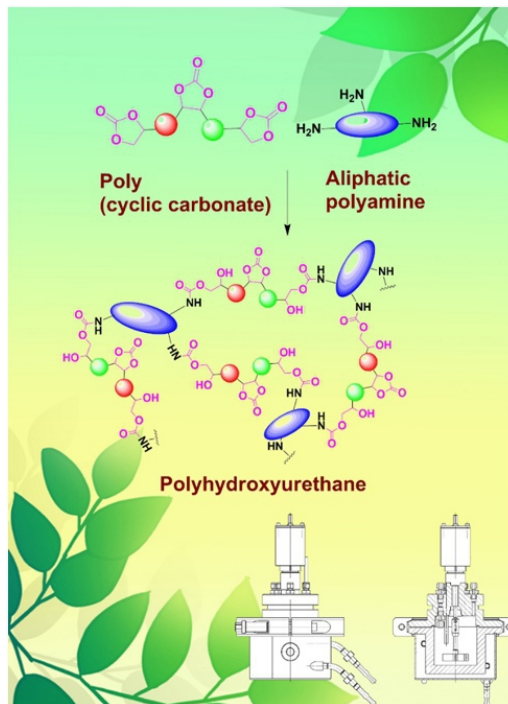


Рис. 2. Схема получения неизоцианатного полиуретана



Рис. 3. Экспонат, международная промышленная выставка «Иннопром-2023», г. Екатеринбург

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНЫХ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Руководитель проекта – доктор физико-математических наук, профессор Ю.М. Ковалев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка математических моделей, позволяющих оценивать безопасность и эффективность применения водорода в технологических процессах, а также изучение механизмов и параметров взаимодействия молекулярного водорода с низкоразмерными и объемными структурами и оценка перспективности использования этих структур как функциональных и конструктивных материалов для хранилищ водорода.

## ПУБЛИКАЦИИ

8 научных статей

2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

11 научных докладов на российских и международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

6 статей в Scopus/WoS

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- ➔ Разработка фундаментальных основ кинетики восстановления металлов из комплексных оксидных материалов.
- ➔ Разработка фундаментальных основ оценки безопасности применения водорода в технологических процессах.
- ➔ Изучение механизмов и параметров взаимодействия молекулярного водорода с низкоразмерными и объемными структурами.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В области разработки фундаментальных основ кинетики восстановления металлов из комплексных оксидных материалов:

- ➔ Получение универсальной математической модели процесса восстановления металлов из комплексных оксидных материалов, содержащей уравнения: локального баланса массы, глобального баланса массы, уравнений движения, локального баланса внутренней энергии системы, глобального баланса внутренней энергии системы, локального баланса энтропии, глобального баланса энтропии.

В области разработки математических моделей для оценки безопасности и эффективности применения водорода в технологических процессах:

- ➔ Проведение сравнительного анализа некоторых математических моделей воспламенения водород-кислородных смесей; проведение анализа влияния математических

моделей химических превращений на воспламенение водородно-кислородных смесей.

- ➔ Построение математической модели горения водорода на основе метода взаимопроникающих и взаимодействующих континуумов.
- ➔ Проведение анализа жесткости систем ОДУ.
- ➔ Разработка численного метода расчета горения водород-кислородных смесей. В области разработки методов первопринципного моделирования атомно-молекулярных систем, взаимодействующих с водородом:
- ➔ Проведение моделирования атомной и электронной структуры дефектных углеродных нанотрубок, декорированных атомами Ti.
- ➔ Отработка методики моделирования сорбции водорода в пакетах, использующих атомноподобный базис.
- ➔ Исследование модели адсорбции водорода на чистом монослое тетраоксо[8]циркулена.
- ➔ Построение модели межфазной границы феррит-цементит и проведение оптимизации параметров моделирования для дальнейшего исследования энергетических характеристик взаимодействия границы с водородом.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Область применения результатов: металлургическое производство, изучение процессов, происходящих в газовых водород-кислородных смесях при аварийных ситуациях, процессов, протекающих при утечке в условиях промышленных площадок и замкнутых пространств, например, защитных оболочек реакторов, заполненных арматурой, перегородками и иными препятствиями, приводящими к ускорению пламени и делающими невозможным применение существующих инженерных методик и иных методик

экспресс-оценки взрывных нагрузок, не являющихся консервативными, в том числе для оценки ущерба, возникающего при утечке горючих газов из трубопроводов и ёмкостей с последующим воспламенением. Разработанная методика моделирования материалов для хранилищ водорода может быть использована при выборе материалов для синтеза и лабораторных испытаний, а также при выборе способа модификации (дефектами или/и декором), если материал уже синтезирован.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Получена термодинамическая модель процесса твердофазного восстановления водородом металлов из комплексных оксидов, в наиболее широком виде математически описывающая реальные исследуемые процессы. Разработана математическая модель роста включения.
- ☑ На основе термодинамической модели процесса разработана математическая модель, уравнения которой могут быть решены численными методами.
- ☑ На основе математической модели процесса твердофазного восстановления водородом металлов из комплексных оксидов разработана и отлажена компьютерная программа, реализующая математическую модель.
- ☑ Разработана модификация метода Куропатенко для расчёта ударных волн, позволяющая применять его для моделирования одно-, двух- и трёхмерных течений в эйлеровых координатах. Построена модель односкоростного многокомпонентного химически реагирующего континуума.

- ☑ Проведена верификация численного алгоритма в одно-, двух- и трёхмерных расчётах на ортогональных и неортогональных неструктурированных расчётных сетках. Продемонстрирована высокая точность описания течений, включающих ударные волны.
- ☑ На примере модели химических превращений продемонстрирована возможность внедрения моделей дополнительных физико-химических процессов в модель сплошной среды и схему расчёта значений на новом временном слое.
- ☑ Рассчитаны энергии связи молекулярного водорода на совершенных и дефектных углеродных нанотрубках, легированных атомами Ti, а также на двух аллотропах бислоя графена. В последнем случае определены также энергии связи атомов декора (Ca, Li) при их расположении внутри и снаружи бислоя.
- ☑ Выполнены расчеты структуры и сорбционных свойств по отношению к водороду двух недавно синтезированных аналогов графена – нитрида углерода C<sub>2</sub>N и тетраокси[8]циркулена.
- ☑ Разработана эффективная методика первопринципного моделирования материалов в рамках подхода DFT с базисом атомно-подобных орбиталей, ориентированная на расчеты систем со слабосвязанными структурными фрагментами.
- ☑ Построена атомистическая модель межфазной границы феррит/цементит, определен спектр энергии ловушек для атомов водорода на этой границе, включая захват водорода вакансией.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ РФЯЦ-ВНИИТФ
- ☑ ИМет УрО РАН

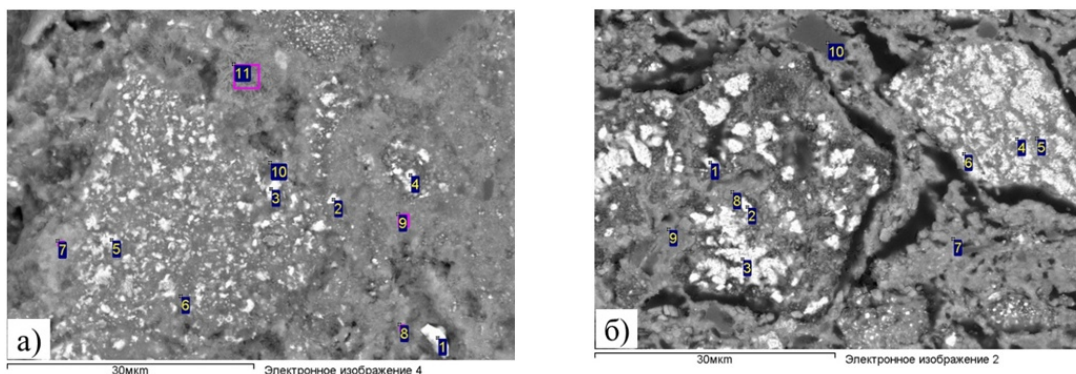


Рис. 1. Участки кирпича после восстановительного обжига водородом при температурах 700 (а) и 800 (б) °С.

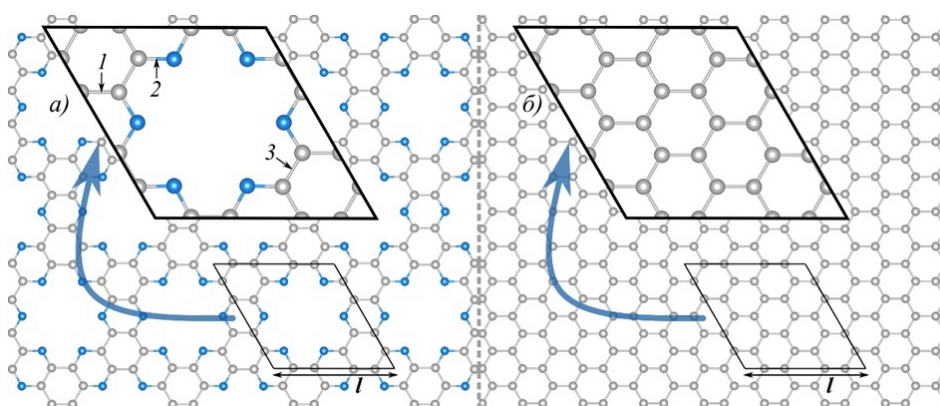


Рис. 2. Оптимизированные атомные структуры ячеек моделирования а) монослоя C<sub>2</sub>N, б) графена



# РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕТЕПЛОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДУАЛЬНОГО ТИПА В СИНТЕЗЕ АУТЕНТИЧНЫХ БИОАКТИВНЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ, БИОДОСТУПНЫХ В СОСТАВЕ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Руководитель проекта – PhD Багале Удай Дашаратх

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Решение задачи создания уникальной биоактивной системы за счет механизмов двойной эмульсии с использованием низкого ультразвука для функционального питания, с доказанным влиянием профилактики стрессовых состояний.

## ПУБЛИКАЦИИ

- 3 научные статьи
- 1 патент на изобретение
- 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ
- 2 научных доклада на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

- 2 статьи в Scopus/WoS, в т. ч. 2 статьи в журналах Q1-Q2
- 1 статья в журнале из перечня ВАК/RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Протестировать биологическую активность полисахарида (фукоидана) бурых водорослей микроструктурно с помощью низкочастотного ультразвука; изучить биодоступность и биодоступность фукоидана.
- Получить эмульсию первого уровня (типа W1/O), нагруженную фукоиданом для второго уровня эмульсии (W1/O/W2); Установить рациональные режимы воздействия при различных концентрациях липидов внутренней фазы и их влияние на стабильность конструкции двойной эмульсии.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Получение массива данных по исходным характеристикам биоактивных веществ в составе полисахаридных комплексов.
- Установление рационального режима сонохимического микроструктурирования БАВ бурых водорослей в водной системе (ВОДА+БАВ).
- Разработка технологий загрузки микроструктурированных биоактивных веществ оптимального сочетания компонентов в первый уровень двойной эмульсии W1(H2O+БАВ)/O.
- Подбор оптимальных сырьевых компонентов БАВ бурых водорослей и липидной фракции с учетом жирнокислотного состава и витаминного комплекса отдельных видов жиров.

- Получение массива данных разработанных эмульсионных комплексов нагруженных двойных эмульсий по показателям устойчивости к окислительной порче и сохранения заявленных значений биоактивности.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Полученные в ходе реализации проекта решения ориентированы на обеспечение полноценного питания, профилактику заболеваний, увеличение продолжительности и повышение качества жизни населения, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции специализированного назначения и надлежащего качества. (Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. (распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Созданы варианты пищевых ингредиентов на основе микроструктурированного комплекса БАВ бурых водорослей и липидной фракции с учетом показателей их биологической ценности (липидной фракции с учетом жирнокислотного состава и витаминного комплекса отдельных видов жиров).

С целью оптимизации ведения процессов и определения рациональных режимов ультразвукового воздействия (УЗВ), полученный массив экспериментальных данных оценен с применением планов Бокса–Бенкена (Box–Behken Design (BBD)).



Валидация экспериментальных данных показала, что испытания проводились в идеальных условиях, созданных в модели Бокса–Бенкена. Основываясь на оптимизированных условиях экспериментальных данных, были воспроизведены параметры ультразвукового воздействия в условиях множественных факторов. Доказано влияние ультразвуковой обработки

на показатели полезности, увеличение антиоксидантной активности и биодоступности.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ✓ Предприятия пищевой индустрии (молочная продукция)

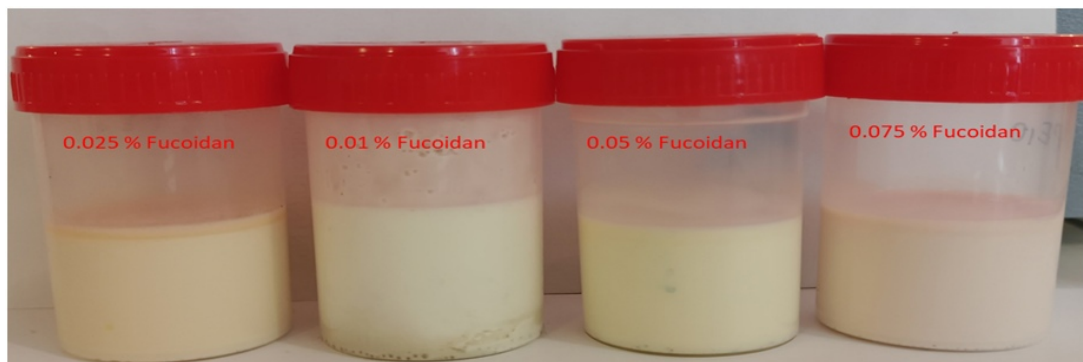


Рис. 1. Данные о стабильности различных концентраций фукоидана в двойной эмульсии (W1/O/W2)

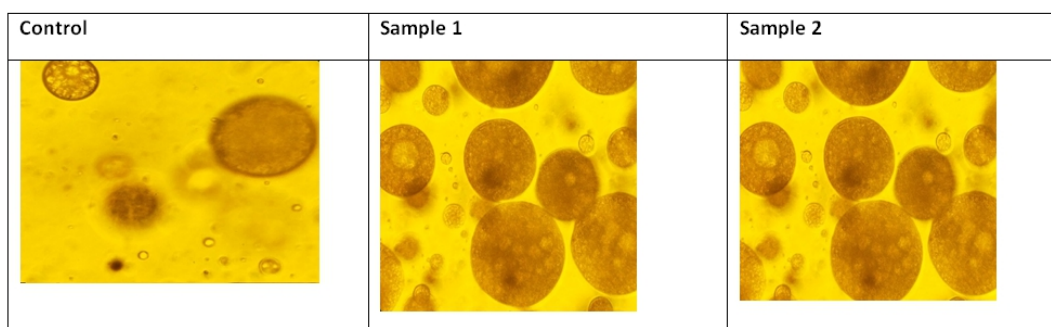


Рис. 2. Микроизображение двойной эмульсии (увеличение)

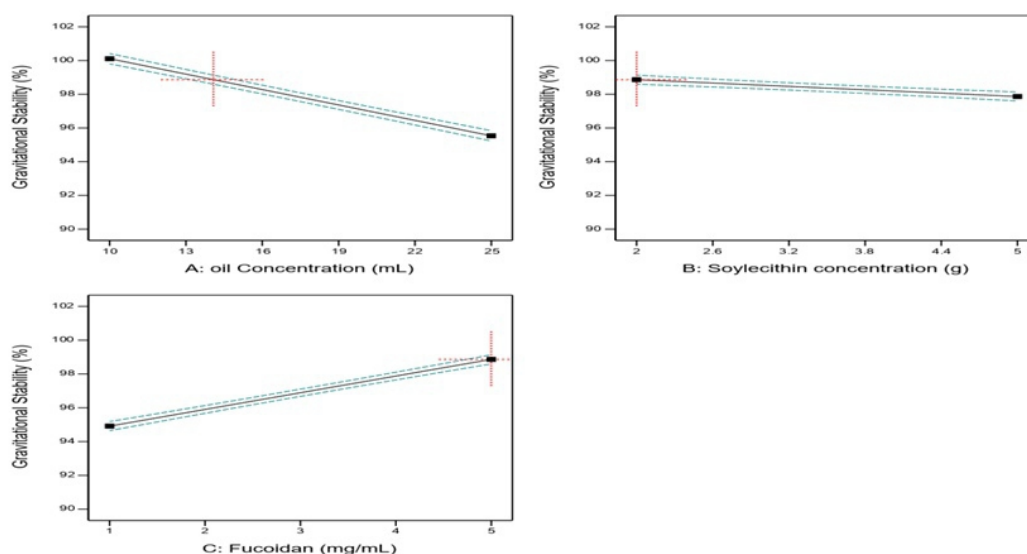


Рис. 3. Гравитационная стабильность при концентрации эмульгатора, масла и фукоидана.

# МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГРУНТОВЫХ И МОРСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор **Е.В. Соломин**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка методологической концепции многокритериальной эксергетической оптимизации установки по опреснению грунтовых минеральных вод.

## ПУБЛИКАЦИИ

10 научных статей

1 патент

3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

5 научных докладов на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

8 статей в Scopus/WoS, в т.ч. 4 статьи Q1

1 статья в журнале из перечня RSCI

1 статья в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Проект решает как теоретическую задачу создания новой методологии термодинамического анализа, так и совершенно конкретные задачи в рамках данного направления СНТР, к которым относится разработка технологии опреснения грунтовых минеральных вод на основе ветроэнергетических установок, солнечных модулей и коллекторов (электро-тепловой системы) с использованием комбинированного органического цикла Ренкина и элементами регенерации теплоты.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Новая методология эксерго-экономического анализа, созданная на основе известных и вновь сформулированных методов термодинамического анализа теплоэнергетических комплексов.
- Новая технология опреснения грунтовых минеральных и морских вод на основе солнечных коллекторов, комбинированного органического цикла Ренкина с элементами цикла Калина, с электроснабжением от высокоэффективного энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии.
- Новые методы оптимизации и оптимизированный процесс опреснения грунтовых вод на базе эксерго-экономического метода термодинамического анализа

комбинированного органического цикла Ренкина с элементами цикла Калина. Значимость как теоретическая в части создания методологии на основе известных и новых методов оптимизации, так и практическая в части получения оптимальных параметров компонентов и оборудования в целом.

- Новый действующий макетный образец опреснителя на основе энергоснабжения от возобновляемых источников. Значимость чисто практическая: по окончании проекта изделие мощностью до 1 кВт подлежит технологической доработке для постановки на серию и последующей коммерциализации.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Общественная значимость проекта заключается в получении возможности сокращения вредных выбросов в атмосферу с практически полной утилизацией тепла и увеличением объема генерации от возобновляемых источников, с соответствующим вкладом в снижение глобального потепления планеты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Формирование технологических подходов к реализации комбинированного технологического процесса.
- ☑ Сборка экспериментальной системы (гибридного автономно-сетевоего энергокомплекса) опреснения воды на основе сбросного тепла возобновляемых источников из полученных на предыдущем этапе комплектующих.

- ☑ Изготовление и/или приобретение недостающих комплектующих, а также компонентов, изменяемых в процессе проведения экспериментов и оптимизации системы.
- ☑ Отладка системы.
- ☑ Разработка программы и методики исследований/испытаний.
- ☑ Осуществление экспериментов по предварительному выявлению оптимальных режимов работы системы с использованием Центров коллективного пользования ЮУрГУ.
- ☑ Формирование предварительных данных (целевых функций, мат. моделей и т. д.) для оптимизации системы.
- ☑ Синтез термодинамического анализа и способов оптимизации процессов тепломассопереноса. Численное моделирование тепломассопереноса в компонентах системы.
- ☑ Обоснование целесообразности структурного и функционального развития технологической концепции с выявлением преимуществ перед альтернативными подходами. Проведение предварительного маркетингового анализа. Сравнение разработанной технологии с аналогами. Проведение оптимизационных мероприятий в части совершенствования компонентов системы.

- ☑ Исследование способов и методов применения изученных ранее явлений и полученных знаний для решения главных практических задач проекта. Компьютерное математическое моделирование технологического цикла, оптимизация оборудования и режимов. Построение и исследование функциональной компьютерной модели системы. Начало оптимизации производительности системы энергоснабжения и опреснения.
- ☑ Разработка и создание предварительного управляющего программного обеспечения на основе алгоритмов, максимально оптимизирующих работу энергоустановки, с возможным применением генетического алгоритма.
- ☑ Экологический и экономический анализ. Интегральная оценка рисков реализации и коммерциализации проекта, экономическое обоснование внедрения технологии в РФ и за рубежом.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Налажено сотрудничество с ООО «ТочМаш» (г. Миасс) в части совместного производства компактных дистилляторов.
- ☑ В ходе проекта предполагается коллаборация с рядом университетов Китая, Малайзии, Ирана.

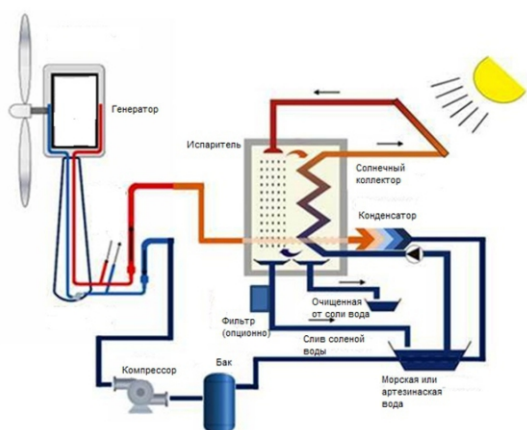


Рис. 1. Общая схема испарителя на основе использования сбросного тепла возобновляемых источников энергии

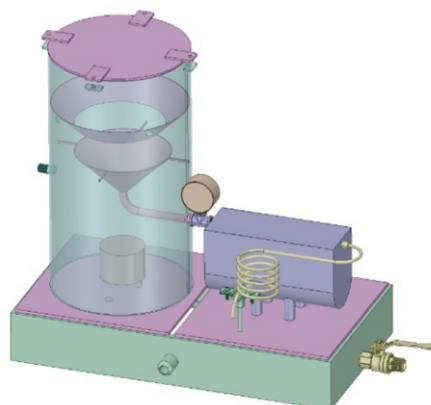


Рис. 2. Эскизная конструкторская трехмерная модель дистиллятора



Рис. 3. Тестирование стенда с установленным электрооборудованием

# ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОСТАВЕ ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ, ПОЧВ, СНЕЖНОГО ПОКРОВА И АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ г. ЧЕЛЯБИНСКА

Руководитель проекта – кандидат химических наук, доцент Т.Г. Крупнова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка единого методического подхода к анализу состава и механизмов распределения потенциально токсичных элементов в различных объектах окружающей среды.

## ПУБЛИКАЦИИ

87 научных статей

7 научных докладов на конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

5 статей в Scopus

3 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

Выявить закономерности распределения потенциально токсичных элементов As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sr, V и Zn и идентифицировать их источники в различных объектах окружающей среды и оценить риски для здоровья.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Разработка комплексной методологии мониторинга состояния снежного покрова территории индустриальной агломерации с использованием технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и физико-химических методов анализа.
- Определение основных антропогенных источников загрязнения, оценка их вклада в общее металлоидное загрязнение.
- Оценка рисков для здоровья человека, учитывающая комбинированное воздействие токсикантов из окружающей среды.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В соответствии с полученными данными будут разработаны рекомендации и меры по снижению металлоидного загрязнения окружающей среды для органов власти, которые должны осуществляться посредством эффективного управления городской средой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Были определены концентрации растворенных и взвешенных форм металлов и металлоидов (ММ) в снежном покрове. Определена пылевая нагрузка на урбанизированных территориях.
- ☑ Применен комплексный подход к оценке степени загрязнения снегового покрова с помощью дистанционных технологий. Установлена корреляция с данными, полученными методами физико-химического анализа.
- ☑ Оценены концентрации металлоидов на разных стадиях развития озимой и яровой пшеницы.
- ☑ Были рассчитаны канцерогенные и неканцерогенные риски с учетом биодоступности металлов и металлоидов.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ФГБУН Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Миасс.
- ☑ ФГБУН Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург.
- ☑ ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН, г. Якутск.





Рис. 1. Отбор проб пыли



Рис. 2. Лабораторные образцы пшеницы

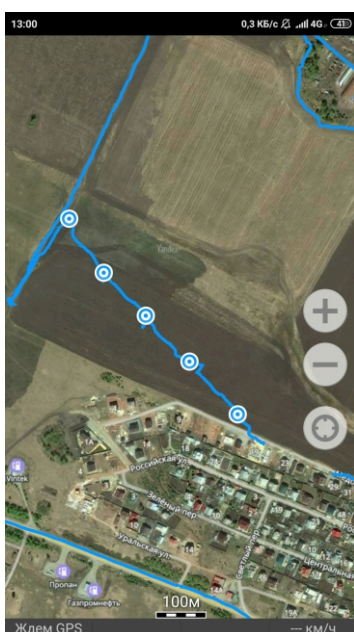
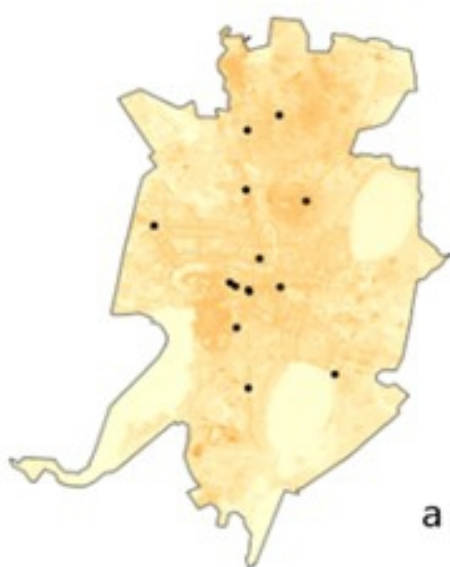


Рис. 3. Исследовательское поле и точки пробоотбора



Рис. 4. Отбор проб в поле



a



b

Рис. 5. Карты индексов, полученных по данным Д33: Nir/Green (a) и Swir1/Green (b)

# РАЗРАБОТКА НОВЫХ НАУЧНЫХ ПОДХОДОВ К МИНИМИЗАЦИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ И ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ РЕСУРСОВ В СИСТЕМЕ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Руководитель проекта – доктор технических наук, доцент Н.В. Науменко

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и апробация технологии контролируемого проращивания зерна пшеницы, ячменя и овса для получения сырьевых ингредиентов повышенной пищевой ценности.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научных статьи

1 патент

4 научных доклада на конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

3 статьи в журналах из перечня RSCI/BAK

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Провести входной контроль зерна (пшеницы, овса и ячменя) по расширенной номенклатуре показателей качества, оценить возможность применения каждого в отдельности зернового сырья в технологии проращивания.
- Разработать технологию контролируемого проращивания зерновых культур с использованием физических факторов воздействия и определить антиоксидантные свойства и накопление гамма-аминомасляной кислоты в полученных сырьевых ингредиентах.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Получение массива данных о возможности использования сочетания наиболее эффективных режимов и типа физического воздействия в контролируемом процессе проращивания зерновых культур и синтезе гамма-аминомасляной кислоты.
- Получение массива данных каждого в отдельности физического воздействия по возможности и эффективности использования в процессе проращивания зерновых культур, определение контролируемых параметров в процессе проращивания. Разработка методик контролируемого проращивания низкокачественного растительного сырья.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты выполнения проекта представляют потенциальный интерес для предприятий пищевой промышленности, производящих продукты повышенной пищевой ценности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Проведены исследования и получены данные о физико-химических свойствах каждого вида зерна, доказана необходимость комплексного подхода в технологии цельнозерновых сырьевых ингредиентов.

Используя математическое планирование в совокупности с решением задач оптимизации для каждого из параметров и отдельно для вида зерна, были подобраны эффективные режимы воздействия на зерно, позволяющие активировать процесс проращивания и проводить его в контролируемых условиях. Установлено, что процесс проращивания позволяет повысить их антиоксидантные свойства и содержание гамма-аминомасляной кислоты, причем использование ультразвукового воздействия в качестве интенсифицирующего фактора позволяет получить более выраженный эффект.

Полученный массив результатов исследований показал, что использование сочетания ультразвукового воздействия с растворами экзогенной гамма-аминомасляной кислотой заданной

концентрации при получении сырьевых ингредиентов из пророщенных зерновых культур позволяет повысить содержание флавоноидов и полифенольных соединений, их биодоступность, антиоксидантные и мембраностабилизирующие свойства.

Получены результаты, подтверждающие уменьшение содержания фитиновой кислоты и активации накопле-

ния ГАМК при сочетании подходов контролируемого проращивания и дополнительной ферментации зерна.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

ИТМО (факультет биотехнологий).



Рис. 1. Характерный вид зерна на отдельных этапах проращивания



Рис. 2. Результаты определения содержания флавоноидов и полифенольных соединений контрольных и опытных образцов пророщенного зерна

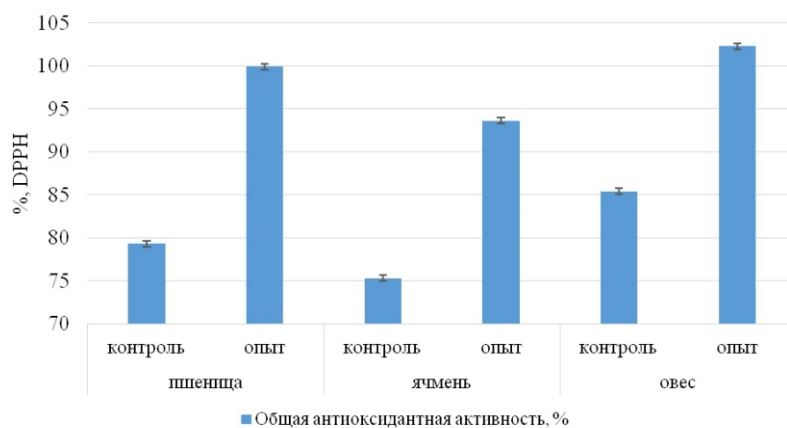


Рис. 3. Результаты определения общей антиоксидантной активности контрольных и опытных образцов пророщенного зерна

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ БРЭКСОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ПЫЛИ ЭДП-МЕТОДОМ ЖЁСТКОЙ ЭКСТРУЗИИ, С ПОСЛЕДУЮЩИМ ПОЛУЧЕНИЕМ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Ю.Е. Капелюшин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение возможности комплексной переработки пыли дугового сталеплавильного производства.

### ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus, в т. ч. 2 статьи – в журнале Q1

1 статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Во всём мире повсеместно ставится задача рационального природопользования и ликвидации техногенных отходов. Исследование технологии жёсткой экструзии с вовлечением в переработку пыли ЭДП и последующим получением чугунных мелющих тел может существенно расширить потенциал ликвидации техногенных отходов.

- Получение сведений о возможности использования технологии жёсткой вакуумной экструзии для изготовления брэксов из пыли ЭДП.
- Исследование возможности использования полученного чугуна для выплавки мелющих тел (мелющих шаров), которые могут применяться в горнодобывающей промышленности.
- Получение новых сведений о процессах восстановления металлов из отходов металлургического производства.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Новые сведения о возможности использования технологии жёсткой экструзии для окускования пыли ЭДП с получением брэксов.
- Получение чугунных мелющих шаров из побочного продукта вельцевания (металлизированных брэксов).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Исследован высокотемпературный фазовый переход  $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_2O_3$  при помощи рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV.
- ☑ Проведены эксперименты по карботермическому восстановлению железа и цинка из брэксов.
- ☑ Выплавлены образцы чугунных мелющих шаров из металлизированных брэксов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Разработка и исследование технологии получения новых материалов, способствующей рациональному природопользованию и решению проблемы утилизации одного из видов металлургических отходов.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ ООО «ИЦ АС Теплострой»





Рис. 1. Общий вид брэксов

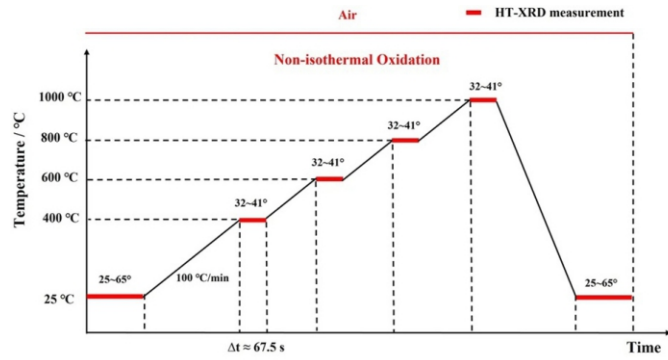


Рис. 2. Исследование процесса окисления катионов железа. Схема нагрева оксида Fe3O4



Рис. 3. Шары чугуные мелушие, выплавленные из побочного продукта вельцевания (металлизированных брэксов)



Рис. 4. Вельц-окись (а) и побочный продукт процесса вельцевания (б)

# РАЗРАБОТКА БИОАКТИВНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗАТОВ ЖИВОТНЫХ БЕЛКОВ И УСТАНОВЛЕНИЕ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ И ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПОРЧИ

Руководитель проекта – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **О.В. Зинина**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение биоактивного пленочного покрытия на основе белкового гидролизата, обладающего функциональными свойствами, формируемыми в процессе его получения микробной ферментацией вторичного коллагенсодержащего сырья, для упаковки продуктов питания с целью ингибирования процессов окислительной и микробиологической порчи и увеличения сроков хранения продукции.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

2 научных доклада на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus, в т. ч. 1 статья – в журнале Q1

4 статьи в журналах из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Оценить функциональные свойства белковых гидролизатов, полученных микробной ферментацией субпродуктов птицы, для обоснования возможности использования в составе биоактивных пленок.
- Разработать составы биокомпозитов на основе альгината/агара/пектина с белковым гидролизатом в качестве активного компонента и технологические схемы получения пленок.
- Исследовать структурно-механические, функциональные и технологические свойства биоактивных пленок для обоснования возможности их использования в качестве упаковочных материалов продуктов питания для ингибирования процессов микробиологической и окислительной порчи.
- Установить эффективность полученных биоактивных пленок, ингибировать процессы микробиологической и окислительной порчи продуктов питания.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В результате выполнения проекта будут получены данные о функционально-технологических свойствах, антимикробной и антиоксидантной активности белковых гидролизатов как потенциального компонента биоактивных пленочных покрытий для пищевых продуктов.

На основе гидролизатов будут получены составы биоактивных пленок, изучен их дисперсный состав. В лабораторных условиях будут получены биоактивные пленки и исследованы их структурно-механические показатели, барьерные свойства и биоразлагаемость. Планируется получить массив научных данных о функциональных свойствах биоактивных пленочных покрытий, позволяющий сформировать научно-обоснованные рекомендации по использованию их для увеличения сроков хранения продуктов питания.

Таким образом, будет создан научно-технический задел для развития нового и актуального на сегодняшний день научного направления по получению композиционных биоактивных покрытий на основе компонентов, обладающих биоактивными свойствами, за счет которых обеспечивается высокая сохранность продуктов питания при хранении.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты проекта перспективны для внедрения на предприятиях пищевой промышленности, повышения эффективности их работы, укрепления конкурентных позиций на мировом рынке биоразлагаемых упаковочных материалов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Проведены исследования и получены данные о физико-химических свойствах каждого вида зерна, доказана необходи-

мость комплексного подхода в технологии цельнозерновых сырьевых ингредиентов.

Используя математическое планирование в совокупности с решением задач оптимизации для каждого из параметров и отдельно для вида зерна были подобраны эффективные режимы воздействия на зерно, позволяющие активировать процесс проращивания и проводить его в контролируемых условиях. Установлено, что процесс проращивания позволяет повысить их антиоксидантные свойства и содержание гамма-аминонасыщенной кислоты, причем использование ультразвукового воздействия в качестве интенсифицирующего фактора позволяет получить более выраженный эффект.

Полученный массив результатов исследований показал, что использование сочетания ультразвукового воздействия с растворами экзогенной гамма-аминонасыщенной кислоты заданной концентрации при получении сырьевых

Проведены исследования функционально-технологических свойств белковых гидролизатов, полученных микробной ферментацией субпродуктов птицы. Установлены их антиоксидантные и антимицробные свойства, позволяющие сделать вывод о перспективности использования в качестве активного компонента в биоактивных пленках. Разработаны составы композиций на основе альгината/пектина/агара с введением белкового гидролизата и технологические схемы получения пленок. Изготовлены опытные образцы биоактивных пленок и исследованы их структурно-механические, функциональные и барьерные свойства.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

☑ ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук

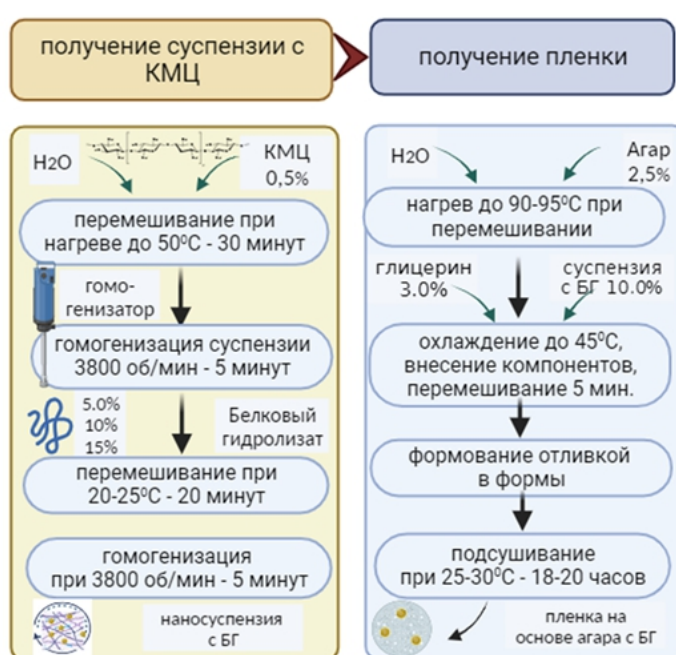


Рис. 1. Технология получения пленок на агаре с суспензией на основе КМЦ и белкового гидролизата: БГ – белковый гидролизат

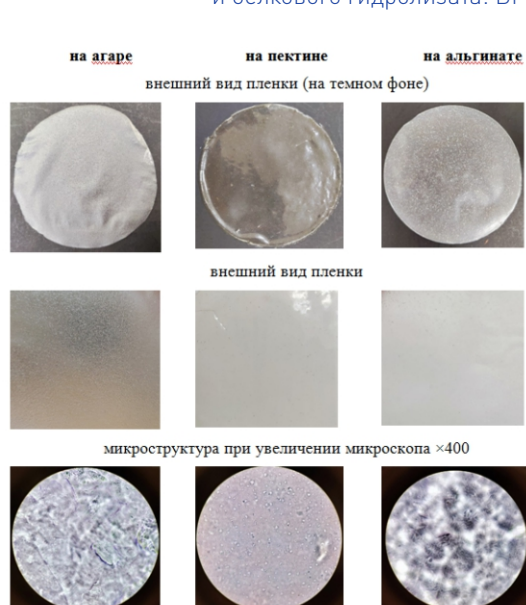


Рис. 2. Внешний вид и микроструктура пленок на различной основе

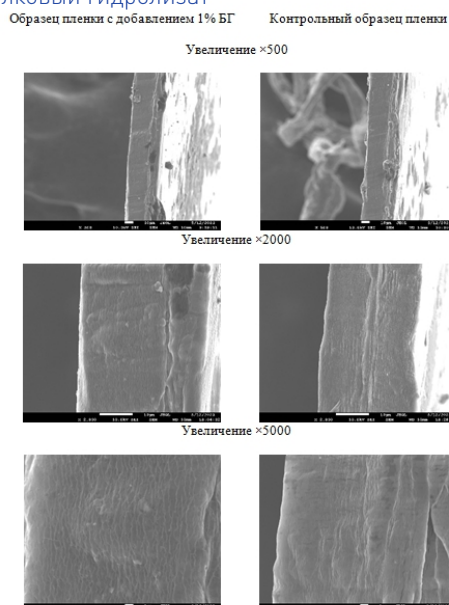


Рис. 3. Микроструктура пленок на основе пектина (СЭМ)

# СЕЛЕКТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ВОДОРОДОМ ИЗ ИЛЬМЕНИТ-ТИТАНОМАГНЕТИТОВОЙ РУДЫ МЕДВЕДЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент П.А. Гамов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование возможности вовлечения в комплексную переработку ильменит-титаномагнетитовой руды Медведевского месторождения с использованием предвосстановления водородом.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

2 научных доклада на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Подготовка сырьевых материалов по существующим способам обогащения с целью выделения концентрата оксидов ведущих элементов из ильменит-титаномагнетитовой руды.
- ➔ Проведение термодинамического моделирования для оценки параметров и возможности протекания химических реакций восстановления ценных металлов из ильменит-титаномагнетитового концентрата.
- ➔ Исследование окускования ильменит-титаномагнетитового концентрата, с получением данных о прочностных характеристиках и пористости окускованного материала.
- ➔ Исследование удельной поверхности зерен концентрата при нагреве в условиях окислительной, восстановительной и инертной атмосферы.
- ➔ Проведение экспериментов по исследованию кинетики реакции восстановления металлов из ильменит-титаномагнетитового концентрата.
- ➔ Анализ полученных результатов и выявление последовательности кристаллохимических превращений при процессе восстановления.
- ➔ Выявить особенности механизма восстановления элементов водородом с учетом специфики кристаллохимического строения зерен в ильменит-титаномагнетитовом концентрате.
- ➔ Выявить параметры, влияющие на процесс восстановления, и определить возможные рычаги воздействия на кинетику реакции восстановления.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Получение сведений о температурах начала восстановления металлов водородом из ильменит-титаномагнетитовой руды Медведевского месторождения. Полученные сведения позволят сформировать представления об интервалах температур для селективного извлечения металлов из кристаллической решетки комплексного оксида.
- ➔ Получение сведений о кинетике протекания реакции восстановления. Кинетические особенности восстановления металлов из руд являются основой для создания технологии, так как сведения о скорости и полноте протекания реакции напрямую влияют на технологический процесс.
- ➔ Получение представлений о механизме процесса восстановления. Представления о механизме восстановления позволят оценить влияние различных физико-химических факторов (температуры, давления, расхода газа, пористости материала, кристаллохимических превращениях и т. д.) на протекание процесса и выявить рычаги воздействия на технологический процесс.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Полученные результаты в рамках реализации проекта позволят развивать технологию переработки титаномагнетитовой руды Медведевского месторождения с использованием водорода. Технология переработки может быть реализована



на металлургических предприятиях Челябинской области ввиду расположения месторождения на территории, административно подчиненной г. Златоусту. Поскольку металлургические предприятия имеют на своем балансе часть необходимого для переработки оборудования (различного рода дробилки, грохота, магнитные сепараторы, плавильные установки), при этом получая первородное железо, необходимое для производства собственной продукции, и при этом имея востребованный побочный продукт – концентрат диоксида титана, используемый в больших объемах в лакокрасочной промышленности. Важно отметить, что спрос на диоксид титана в Российской Федерации составляет около 80 тыс. тонн в год, при этом собственное производство испытывает трудности с поставкой шихтовых материалов. Также реализация технологии возможна на лакокрасочных производствах региона ввиду получения сырья для собственного производства и организации нового производства для получения ценной готовой продукции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ✓ Проведен термодинамический расчет протекания химических реакций восстановления металлов из ильменит-титаномагнетитового концентрата и выявлены условия для селективного восстановления железа.
- ✓ Подготовлены сырьевые материалы в виде рудных концентратов для дальнейшей работы по проекту.
- ✓ Проведено исследование прочностных характеристик окускованных материалов ильменит-титаномагнетитового концентрата.

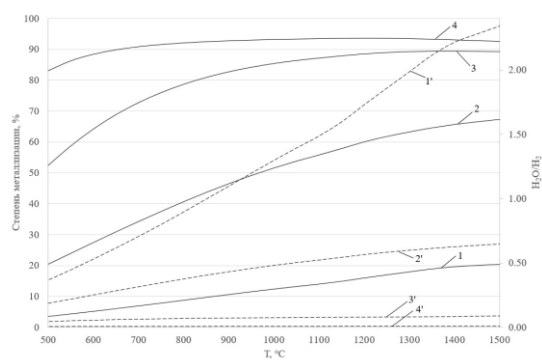


Рис. 1. Равновесные степень металлизации железа (линии 1, 2, 3 и 4) и отношение  $H_2O/H_2$  (линии 1', 2', 3' и 4') при количестве восстановителя: 1 – равное стехиометрии; 2 – 10-кратный избыток; 3 – 100-кратный избыток; 4 – 1000-кратный избыток.

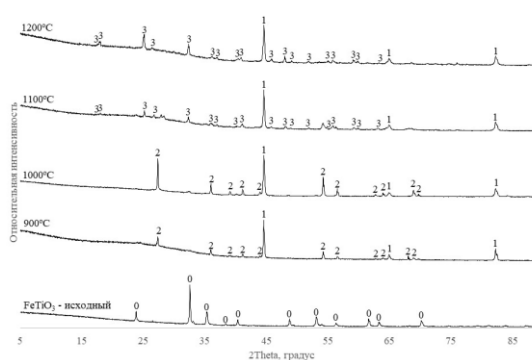


Рис. 2. Дифрактограммы ильменита после восстановительного обжига: 0 – FeTiO<sub>3</sub>; 1 – Fe; 2 – TiO<sub>2</sub>; 3 – Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub>

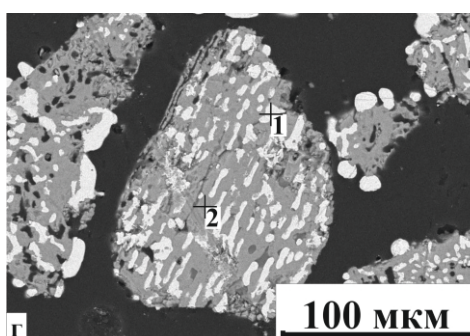
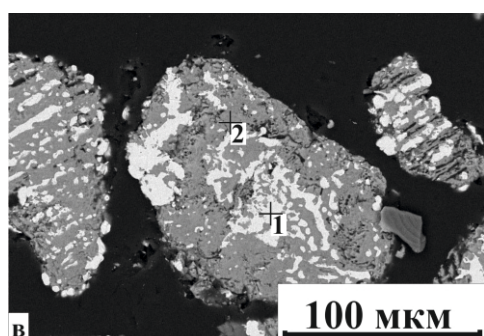
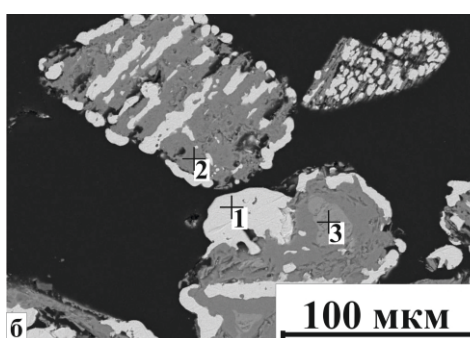
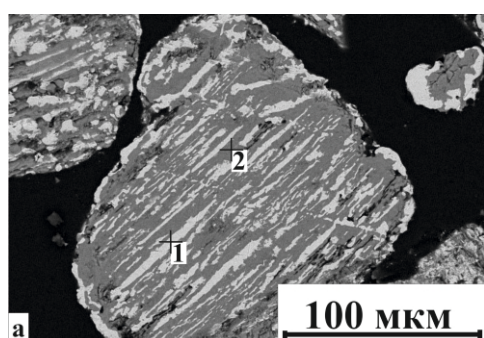


Рис. 3. Снимки образцов после восстановительного обжига: а – 900; б – 1000 °C; в – 1100 °C; г – 1200 °C.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ В СИСТЕМЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент **Н.В. Попова**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект направлен на установление принципов и закономерностей метаболической адаптации пробиотических культур микроорганизмов в системе растительных напитков и оценку их эффективности в качестве функциональных пищевых продуктов.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в журнале из перечня RSCI

1 статья в перечне РИНЦ

2 статьи в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Установить влияние состава системы растительного напитка на процесс метаболической адаптации пробиотических культур микроорганизмов.
- Изучить возможности использования предварительного микроструктурирования растительной основы для улучшения процесса развития пробиотиков.
- Изучить влияние концентраций минорных биологически активных веществ в питательной среде на процесс метаболической адаптации пробиотических культур микроорганизмов.
- Установить эффективные технологические режимы и условия процесса получения пробиотических немолочных напитков;
- Исследовать органолептические и физико-химические, а также функциональные свойства полученных продуктов, оценить их эффективность.
- Установить принципы и закономерности получения немолочных пробиотических продуктов. Получить новые функциональные продукты с заданными свойствами.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Систематизация данных о химическом составе и физико-химических свойствах растительных напитков.
- Оценка влияния ультразвукового воздействия на состав и свойства

растительных напитков и получение рациональных режимов этого воздействия.

- Установление эффективных режимов и условий осуществления процесса ферментации напитков на растительной основе.
- Оценка влияния минорных биологически активных веществ на технологические характеристики пробиотических культур микроорганизмов и процесс их метаболической адаптации в системе растительных напитков, а также функциональные свойства готового продукта.
- Оценка потребительских достоинств вырабатываемых пробиотических напитков с точки зрения их привлекательности для потенциальных потребителей.
- Оценка стабильности пробиотических растительных напитков в хранении.
- Оценка эффективности разработанных пробиотических продуктов, в том числе их биоактивности и биодоступности, с применением культур простейших в условиях индуцирования стресс-факторов, а также с применением разных подходов моделирования процесса переваривания *in vitro*.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты выполнения проекта будут потенциально интересны и доступны как для крупных компаний, так и для небольших предприятий пищевой промышленности, выпускающих продукты на растительной основе и заинтересованных в расширении ассортиментного ряда функциональных продуктов питания.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Были получены и систематизированы данные о химическом составе и физико-химических свойствах растительных напитков на примере овсяного, рисового и в качестве дополнительного растительного напитка на соевой основе. Изучение состава и свойств растительных напитков позволило установить влияние дополнительных компонентов состава на активность молочнокислого брожения.

Оценено влияние ультразвукового воздействия на состав и свойства растительных напитков и установлены рациональные режимы этого воздействия. Фактически установлено, что ультразвуковое воздействие дает положительную кинетику экстракции вкусоароматических веществ и при верно смоделированных режимах обработки позволяет регулировать органолептические характеристики растительного напитка. Математическая обработка результатов на основе применения двухфакторного регрессионного анализа по критерию степень дисперсности частиц позволила установить оптимальные режимы обработки растительной среды.

Определены эффективные режимы и условия процесса ферментации растительных пробиотических напитков с применением разных заквасочных культур. Для закваски *Lactococcus lactis subsp. lactis*; *Lactococcus lactis subsp. cremoris* рациональные

условия для создания пробиотических напитков –  $16,7 \pm 0,2$  часа при температуре  $34,7 \pm 0,5$  °C; для *Lactobacillus acidophilus* – температура  $36 \pm 1$  °C, длительность процесса – 19,4 часа, причем наличие в составе растительного напитка дополнительных сырьевых компонентов требует повышения температуры ферментации до  $38,5$  °C. Для закваски *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii*; *Propionibacterium globosum* оптимум процесса ферментации:  $37 \pm 0,5$  °C в течение  $16 \pm 0,2$  часа; для «Бифидо плюс»: *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus*, *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bidum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium longum ssp. longum*, *Bifidobacterium longum subsp. infantis*, *Bifidobacterium animalis ssp. lactis* –  $37,2 \pm 0,5$  °C в течение  $16,5 \pm 0,2$  часа.

Получены математические модели, адекватно описывающие процесс получения пробиотических растительных напитков, в том числе на основе сонохимического воздействия. На основе определения показателей активной и титруемой кислотности, накопленного количества молочной кислоты, количества пробиотических микроорганизмов в системе напитков, а также общего содержания экзополисахаридов доказан высокий уровень адаптационной способности микроорганизмов исследуемых заквасочных культур в системе растительных напитков при использовании установленных режимов ферментации.

Содержание пробиотических микроорганизмов в исследуемых образцах составляет в пределах  $5,2 \times 10^7$ , что позволяет отнести их к функциональным продуктам с пробиотиками.

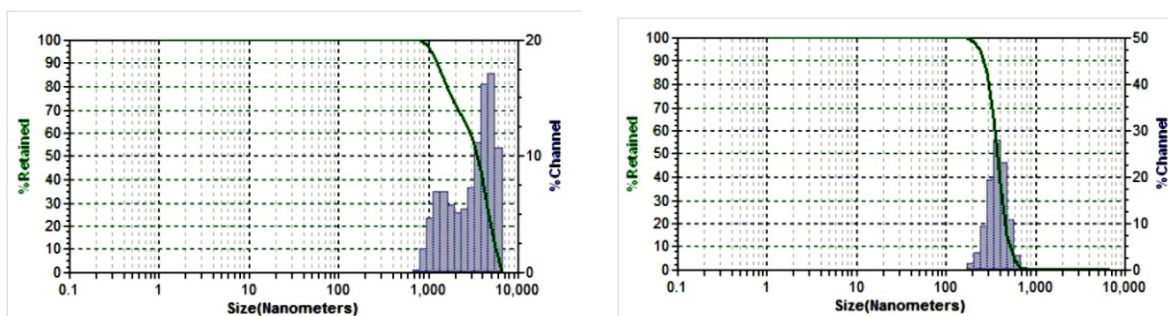


Рис. 1. Распределение частиц дисперсного состава соевого напитка до (а) и после (б) обработки ультразвуком в режимах 315 Вт/3 мин.

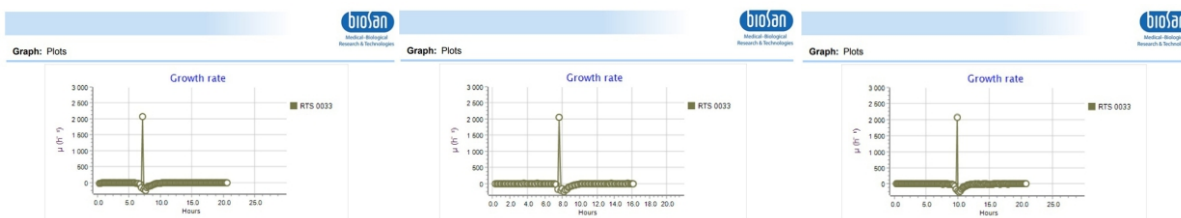


Рис. 2. Оценка адаптации закваски пробиотической культуры *Bifidobacterium* в растительной среде напитка  
а – контроль; б – внесение пребиотика в качестве интенсифицирующего фактора  
в – обработка ультразвуком 315 Вт, 3 мин

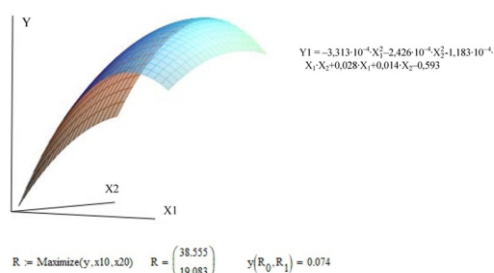


Рис. 3. Оптимизация условий ферментации напитка растительного на соевой основе для максимального накопления молочной кислоты

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОГО КЛАССА СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОБОЛЕВСКОГО ТИПА ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРИМЕНИМОГО К ВОДНЫМ РЕСУРСАМ

Руководитель проекта – доктор физико-математических наук, профессор Г.А. Свиридюк

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Аналитическое и численное исследование системы Вентцеля уравнений фильтрации в рамках новой парадигмы, введенной Ю.Г. Гликлихом, где под белым шумом понимается производная по Нельсону–Гликлиху от одномерного винеровского процесса.

## ПУБЛИКАЦИИ

3

научные статьи

1

свидетельство о регистрации программ для ЭВМ

1

научный доклад на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1

статья в Scopus/WoS

1

статья в журнале из перечня ВАК/RSCI)

1

статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

В рамках данного проекта будет рассматриваться уравнение, которое моделирует динамику давления вязко-упругой жидкости, фильтрующейся в трещиновато-пористой среде. В частности, данное уравнение используется в качестве одного из математических приложений для фильтрации водных ресурсов (рек, водохранилищ и озер). Кроме того, будет проведено исследование математической стохастической модели Дзекцера с начально-краевыми условиями Коши – Вентцеля и Шоултера – Сидорова – Вентцеля, решения которой позволят определить количественные прогнозы изменения геохимического режима грунтовых вод при безнапорной фильтрации. Следует отметить актуальность рассматривания указанных уравнений в связи с возникшей ранее проблематикой поддержания уровня качества воды в водоемах: река Ай, Аргазинское водохранилище, река Миасс. В качестве решения, позволяющего сохранить и улучшить качество воды, в проекте будут предложены две модели: стохастическая гидродинамическая система «пласт – скважина – коллектор» и стохастическая система Баренблатта – Желтова – Кончиной, описывающая динамику давления жидкости в трещиновато-пористой среде.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Разработка математического аппарата для проведения аналитического и численного исследования класса процессов и явлений в естествознании и технике, описываемых вырожденными математическими системами уравнений в пространстве дифференцируемых К-«шумов».
- ➔ Общий метод исследования задачи Шоултера – Сидорова-Вентцеля и задачи Коши – Вентцеля для стохастической системы уравнений Баренблатта – Желтова – Кочиной и стохастической системы уравнений Дзекцера.
- ➔ Разработка алгоритма численных методов и проведение вычислительных экспериментов на модельных и реальных задачах.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Проект направлен на развитие и исследование новых методов в области экологии и рационального природопользования в Челябинской области, позволяющих обеспечить дальнейшие решения по сохранению и улучшению качества воды в водоемах. Для изучения указанной проблемы будет рассматриваться стохастическая гидродинамическая система Вентцеля «пласт-скважина-коллектор», описывающая динамику давления фильтрующейся жидкости в трещиновато-пористой среде и учитывающая диффузию жидкости вдоль границы скважины. Основным подходом послужит теория вырожденных полугрупп операторов и метод фазового пространства.



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Впервые изучены детерминированная и стохастическая системы Вентцеля уравнений Баренблатта – Желтова – Кочиной, описывающих процесс фильтрации влаги в трехмерном шаре и на его границе; в круге и на его границе. В частности, в детерминированном случае установлена одно-значная разрешимость начальной задачи для системы Вентцеля в специфическом построенном гильбертовом пространстве. В случае стохастической системы используется теория производной Нельсона – Гликлиха и строится стохастическое решение, которое позволяет определять прогнозы количественного изменения геохимического режима грунтовых вод при безнапорной фильтрации. Отметим, что для изучаемой системы фильтрации рассматривалось неклассическое условие Вентцеля, поскольку оно представлено уравнением с оператором Лапласа – Бельтрами, заданным на границе области, понимаемой как гладкое компактное риманово многообразие без края, причем внешнее воздействие представлено нормальной производной функции, заданной в области.
- ☑ Разработан численный метод для рассматриваемой системы уравнений фильтрации в круге и в шаре, решения которых определяют количественные прогнозные изменения геохимического режима грунтовых вод при безнапорной фильтрации, протекающей на границе двух сред (в области и на ее границе) в специфических банаховых пространствах с видоизмененным оператором Лапласа. В качестве алгоритма численного решения был использован один из более известных подходов

для нахождения решения – модифицированный метод Галеркина [в силу того, что искомые уравнения Баренблатта - Желтова - Кочиной могут быть вырожденными внутри области и на границе, когда спектр набегает на определённые параметры в системе). Таким образом, основной идеей, которая была реализована в ходе вычислительного эксперимента, являлось корректное построение линейных операторов в подходящих банаховых пространствах, вследствие чего собственные функции не содержали бы для простоты метода специальных функций (в силу того, что в работах идет речь о полярных и сферических координатах).

- ☑ Разработан программный комплекс «Моделирование количественных прогнозных изменений геохимического режима грунтовых вод при безнапорной фильтрации» на языке Python, который позволяет определять количественные прогнозные изменения геохимического режима грунтовых вод при безнапорной фильтрации, протекающей на границе двух сред (в области и на ее границе) в специфических банаховых пространствах с видоизмененным оператором Лапласа. В частности, указанная программа предназначена для применения в составе автоматизированных систем исследования распределения фильтрации для системы Вентцеля фильтрации жидкости. Под функциональными возможностями подразумевается, что на основе длины радиуса, размера квадратной сетки, начальных условий, значений коэффициентов в системе Вентцеля, требующей точности решения, строится график приближённого решения и записывается общий вид решения фильтрации жидкости в отдельный файл.
- ☑ Доказана единственность решения системы Вентцеля в неклассическом смысле для уравнения фильтрации с модифицированным лапласианом с учетом заданной области.

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ЗАПОРНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫХЛОПА АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Д.Ф. Хабарова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка газоструйных аппаратов с малой степенью расширения (сжатия) газа в качестве пневматического запорного устройства и их внедрение в эксплуатацию на предприятиях металлургической и химической промышленности, горнообогатительных комбинатах, предприятиях энергетики и химической промышленности Челябинска и Челябинской области.

## ПУБЛИКАЦИИ

- 5 научных статей
- 1 патент на полезную модель
- 1 научный доклад на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

- 3 статьи в журналах из перечня RSCI
- 2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка физико-математической модели обратных токов в струйных и вихревых течениях с положительным осевым градиентом давления.
- Численный анализ рабочего процесса струйных и вихревых течений с положительным осевым градиентом давления с использованием компьютерных технологий трёхмерного моделирования, для перехода к полной цифровизации технологического процесса и его автоматизации.
- Разработка методики расчета и проектирования пневматического запорного устройства эжекционного и/или вихревого типа для заданных физических условий, геометрических размеров системы, условий монтажа.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Новая физико-математическая модель обратных токов в струйных и вихревых течениях с положительным осевым градиентом давления на основе уравнений состояния, сохранения массы, количества движения и энергии в канале загрузки, рабочей камере и канале выхлопа.
- Замкнутая система уравнений и аналитические выражения для численного моделирования обратных токов в струйных

и вихревых течениях с положительным осевым градиентом давления.

- Расчет и анализ характеристик пневматического запорного устройства. Описание предельно-достижимых режимов работы, при которых заданные требования по предотвращению выхлопа агрессивных газов обеспечиваются минимальным энергопотреблением устройства.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

При таких видах металлургического производства, как доменное, сталеплавильное и ферросплавное, одной из основных операций является загрузка сыпучих материалов (шихта) в печь. Вместе с тем эта операция является источником загрязнения атмосферы и водоемов. На долю предприятий черной металлургии приходится до 50 % общих загрязнений атмосферы промышленностью, что составляет более 10,3 млн т вредных веществ в год. Пыле- и газовыделения печи обусловлены тем, что при подаче шихты на большой конус загрузочного устройства давление по обе стороны малого конуса необходимо выровнять, для чего грязный газ из межконусного пространства выпускают в атмосферу. Кроме того, пылевыведение происходит при каждой ссыпке сырых материалов из скипа в приемную воронку. Для печей емкостью 930–2700 м<sup>3</sup> выбросы пыли и выхлопных газов составляют от 0,17–0,60 до 5–19 т/сут. Удельный выброс пыли может достигать 4 кг/т чугуна, а концентрация ее в газах 200–500 г/м<sup>3</sup>. Решением, полностью исключая выбросы пыли из межконусного пространства, является подача в него

в момент открытия большого конуса компримированного газа давлением, несколько превышающим давление в печи. В этом случае запыленный газ из печи вообще не поступает в межконусное пространство и при выравнивании давления в засыпном устройстве происходит выхлоп чистого газа. При осуществлении этой схемы путём применения пневматического запорного устройства эжекционного и/или вихревого типа полностью исключаются выбросы пыли и выхлопных газов и уменьшаются выбросы в атмосферу в 50 раз. При этом отпадает необходимость автономной системы газоочистки, увеличивается срок службы засыпного аппарата.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Разработана физико-математическая модель рабочего процесса пневматического затвора вихревого типа, которая устанавливает взаимосвязь между параметрами активного газа (давление, температура, массовый расход), геометрическими параметрами устройства (площадь кольцевого сопла, радиус канала загрузки, геометрия направляющего аппарата) и параметрами газа в реакторе (давление, температура).
- ☑ Разработана методика расчёта и проектирования пневматического затвора, основанная на физико-математической модели, дополненная результатами численного моделирования гидродинамического процесса. Данная методика позволяет определить оптимальные с точки зрения энергетической эффективности параметры подвода активного газа (давление, температура, массовый расход), а также геометрические параметры затвора (площадь кольцевого сопла, геометрию направляющего

- аппарата) при заданных условиях эксплуатации.
- ☑ Проведены численные исследования обратных токов в струйных и вихревых течениях, протекающих в пневматическом затворе. Разработаны геометрическая и сеточная модель конструкции пневматического затвора. Проведены численные исследования распределения скорости, температуры и давления. В результате численного моделирования уточнены коэффициент стеснения кольцевого канала подвода активного потока и эмпирический коэффициент расхождения давлений, которые в предыдущих исследованиях принимались, исходя из общепринятых рекомендаций. Сопоставление результатов численного моделирования и аналитического решения системы уравнений позволило определить требуемые массовый расход газа, давление питания, при которых предотвращается выхлоп агрессивных газов из реактора с установленным избыточным давлением в реакторе.
- ☑ Проведены экспериментальные исследования пневматического затвора вихревого типа. Выявлено, что распределение полного давления для пневматического затвора имеет пиковую структуру в области межлопаточного канала, через который протекает поток активного воздуха. В зоне загрузочного канала присутствует зона пониженного давления, косвенно подтверждающая работоспособность затвора. Эксперимент показал, что четырех лопаток направляющего аппарата достаточно для создания вихря, запирающего реактор, при необходимых параметрах активного газа. Визуализирована гидродинамическая картина, а именно локализация пиковых значений полного давления, соответствующая запираению противодавления.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ Правительство Челябинской области

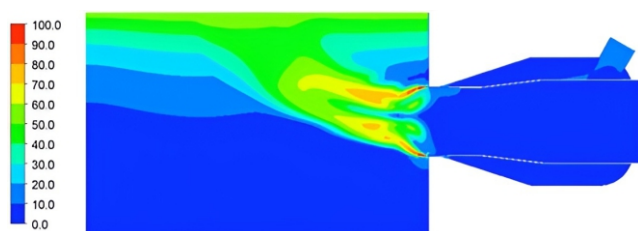


Рис. 1. Распределение результирующей скорости в продольном сечении конструкции пневматического затвора

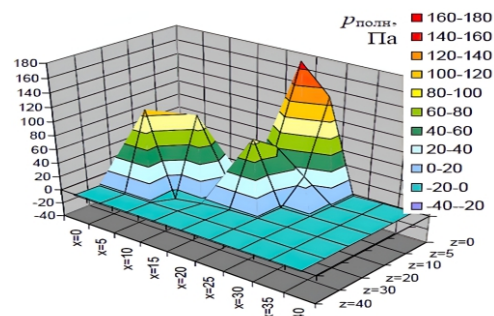


Рис. 2. Поле полного давления на срезе кольцевого сопла

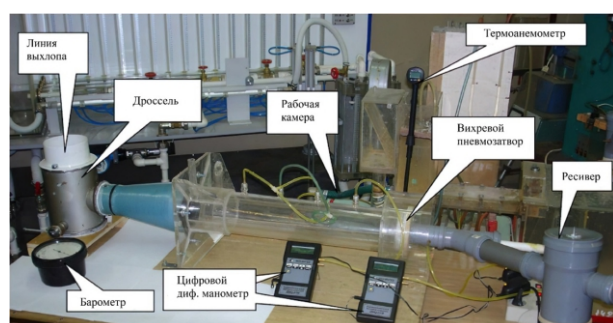


Рис. 3. Испытательный стенд

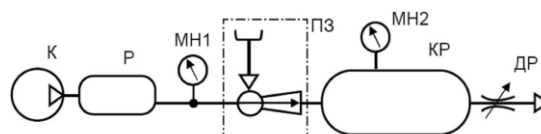


Рис. 4. Принципиальная схема испытательного стенда

# РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ, РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕТОКСИЧНЫХ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И СИНТЕТИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ

Руководитель проекта – доктор технических наук И.Г. Леванов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Повышение надёжности машин и механизмов, повышение энергоэффективности и экологичности машин в эксплуатации за счёт применения новых биоразлагаемых смазочных материалов.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus, в т. ч. 2 статьи – в журналах Q1 и Q2

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Экспериментальные трибологические исследования.
- Разработка реологических моделей смазочного слоя, разделяющего поверхности трибосопряжений.
- Синтез перспективных противоизносных компонентов к биоразлагаемым маслам.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Обоснование и экспериментальное подтверждение механизмов противоизносного действия компонентов, не содержащих серу, фосфор, хлор, металлы и другие токсичные элементы.
- Разработка класса нетоксичных противоизносных компонентов, адаптированных для биоразлагаемых масел растительного и синтетического происхождения.
- Разработка лабораторного метода синтеза противоизносного компонента для масел растительного происхождения.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработана противоизносная присадка для биоразлагаемых смазочных масел, перспективная для про-

мышленного применения. Одной из главных областей применения разработанной присадки является производство гидравлических жидкостей с повышенными противоизносными свойствами и высокой степенью биоразложения для сельскохозяйственной техники.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Установлен преобладающий фактор, влияющий на параметры разделяющего слоя смазки в подшипниках жидкостного трения: разрушение полимолекулярного адсорбционного слоя при достижении критического значения напряжения сдвига. В реологическую модель разделяющего слоя введены зависимости критического значения напряжения сдвига от текущего значения вязкости. Разработана и верифицирована модель, включающая указанную зависимость и приводящая к модели жесткого срезаемого слоя.
- ☑ Синтезирован ряд перспективных нетоксичных противоизносных компонентов для смазочных масел на основе растительных триглицеридов. Выполнены сравнительные трибологические исследования [с применением четырёхшариковой машины трения, модельного подшипника скольжения, плоско-параллельного возвратно-поступательного контакта] синтезированных компонентов. Найден перспективный вариант присадки, превосходящий по эффективности известные противоизносные компоненты, применяющиеся в составе биоразлагаемых смазочных масел.
- ☑ Установлено различие механизмов действия противоизносных присадок в базовых маслах различного химичес-



кого состава. Установлены особенности адсорбционных слоев, формируемых растительными маслами, обусловленные структурой входящих в их состав триглицеридов карбоновых кислот.

- ☑ Разработан метод расчета гидромеханических характеристик радиальных подшипников скольжения, смазываемых маслами на основе растительных триглицеридов. К таким характеристикам относятся: минимальная толщина смазочного слоя за цикл нагружения; максимальные гидродинамические давления, возникающие в смазочном слое; температура. Основное внимание при разработке метода

расчёта на данном этапе было уделено адаптации предлагаемой модели граничного слоя с учётом особенностей адсорбционных слоёв, формируемых растительными маслами, а также с учётом введения функциональной зависимости приведенного модуля упругости от расстояния между поверхностями.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

Приглашаем к сотрудничеству производителей смазочных материалов.



Рис. 1. Общий вид машины трения ИИ-5018

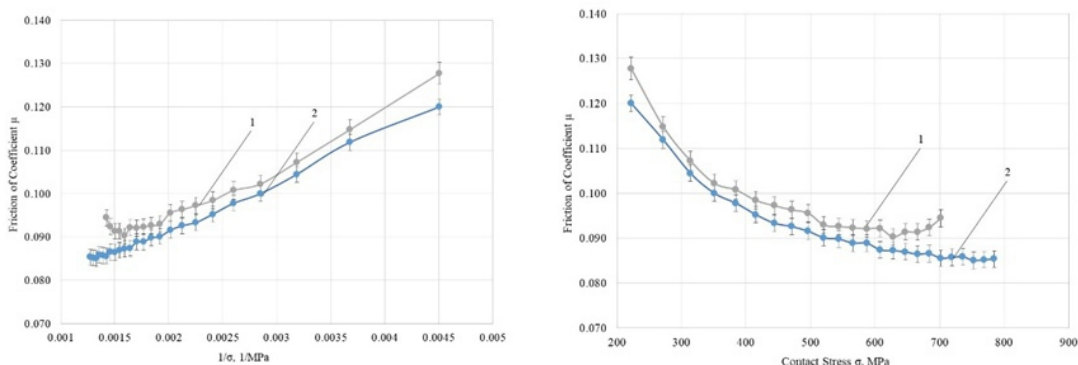


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения от контактного напряжения в контакте качения с проскальзыванием; смазка углеводородным маслом

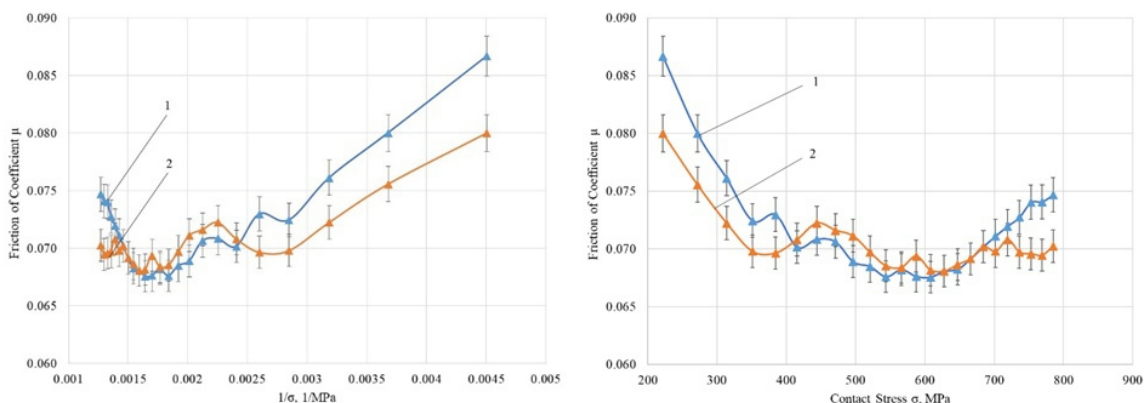


Рис. 3. Зависимости коэффициента трения от контактного напряжения в контакте качения с проскальзыванием; смазка растительным маслом.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ СЕРОТОНИНЕРГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ КЛЕТОЧНОГО СТРЕССА ПРИ ВОСПАЛЕНИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗА

Руководитель проекта – доктор биологических наук А.П. Сарапульцев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект направлен на разработку новых подходов к фармакотерапии, связанных с разработкой низкомолекулярных химически синтезированных препаратов, ингибирующих внутриклеточные «сигнальные» молекулы (янус-киназа (JAK), митоген-активируемых протеинкиназ, транскрипционных факторов клеточного стресса).

## ПУБЛИКАЦИИ

5 научных статей

1 научный доклад на всероссийской конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus/WoS

2 статьи в журнале из перечня ВАК/RSCI

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- Создание моделей информационных сетей клеточного стресса и определение ключевых молекулярных звеньев управления этими функциональными системами в норме и патологии.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Планируется разработать и презентовать принципиально новую нейроиммуновоспалительную концепцию патогенеза депрессии и других ассоциированных с хроническим стрессом заболеваний, включающую как общие положения, так и ряд частных разделов, включая:
  - систематизацию патогенетической роли в патологической активации нейронов и клеток глии сигнальных путей клеточного стресса, связанных с G-белками, путями JAK-STAT, кальций-зависимыми механизмами;
  - определение взаимосвязи на клеточном уровне при этих патологиях эффектов действия цитокинов, других медиаторов воспаления с рецепторными эффектами ключевых нейротрансмиттеров (серотонина, глутамата, ацетилхолина, катехоламинов);
  - оценку патогенетической роли провоспалительного клеточного и тканевого в нарушениях кооперативных взаимосвязей между отдельными компартаментами головного мозга (прежде всего отдельных структур ствола мозга, корковых и

подкорковых образований лимбико-ретикулярного комплекса и фронтальных отделов неокортекса) с изменениями эндокринной системы, метаболического статуса, нарушениями кишечного микробиома, дисфункциями сердечно-сосудистой системы и другими психосоматическими патологиями;

- определение ключевых методологических подходов в профилактике, лечении и реабилитации пациентов с ассоциированными со стрессом нейропсихическими и соматическими заболеваниями.

Провести ансамблевый докинг таргетных соединений (соединения из сформированной базы данных «Ингибиторы серотонинового транспортера SERT». База данных сформирована в результате выполнения работ в 2023 г.) в сайты связывания релевантных биомшеней (белка-мишени и их валидированные 3D-модели. Выявлены в результате выполнения 2 этапа работ в 2023 г.). Построить нейросетевую модель зависимости энергии докинга таргетных соединений в сайт связывания SERT от спектра энергий их докинга в сайты связывания остальных релевантных биомшеней.

Продолжить поиск новых и развитие известных методов синтеза (прямой функционализации и гетероциклизации) производных азинов и/или азолазинов, исследование свойств и структурных трансформаций полученных соединений. Провести исследование строения синтезированных производных методами физико-химического анализа. Осуществить наработку необходимого количества соединений азинов/азолазинов для исследования физиологической активности.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Полученные результаты могут быть использованы в медицине, фармакологии и медицинской химии. Расширение спектра применения ингибиторов JAK-STAT до новой роли в расстройствах, связанных со стрессом, знаменует собой существенный сдвиг, тем самым расширяя как теоретическое понимание базовых принципов системных реакций, так и объем и направление потенциальных терапевтических вмешательств. В области целенаправленного ингибирования JAK появление специфичных для изоформ ингибиторов, таких как филготиниб и упадацитиниб, означает новую эру таргетной фармакологии. Эти агенты направлены на повышение терапевтической эффективности при минимизации нежелательных побочных эффектов, что повышает пригодность JAK-ингибиторов для лечения расстройств, связанных со стрессом, при которых нарушение системного гомеостаза остается серьезной проблемой. В свою очередь, концепция комбинированной терапии открывает новые горизонты в максимизации терапевтической специфичности и эффективности. При сочетании JAK-ингибиторов с такими агентами, как моноклональные антитела, существует потенциал синергических эффектов, которые могут улучшить результаты лечения. Эта мультимодальная стратегия особенно актуальна для лечения нервно-психических состояний, связанных со стрессом, которые часто имеют сложную, многофакторную этиологию. Появление прецизионных систем доставки лекарств, в том числе носителей на основе наночастиц, таких как липосомы, также обещает преодолеть проблемы, связанные с гематоэнцефалическим барьером, особенно в контексте нейропсихиатрических состояний.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

В рамках текущего этапа исследований была очерчена роль JAK-протеинкиназы при развитии клеточного и тканевого провоспалительного стресса, что позволило выявить потенциал терапевтических воздействий за счет модуляции активности рецепторов

серотонина 5HT<sub>2A</sub> и влиянии на передачу сигналов фосфолипазы C (PLC). Учитывая полученные данные, в качестве молекулярных мишеней для последующих этапов исследований были определены SERT, RGS7, 5HT<sub>2A</sub>, PLC, AMPA (рецепторы α-амино-3-гидрокси-5-метил-4-изоксазолпропионовой кислоты), NMDA (рецепторы N-метил-D-аспартата) и мускариновые рецепторы.

В результате исследования впервые сформирована верифицированная база данных (проверенная целевая библиотека таргетных соединений) по химической структуре и уровню SERT ингибирующей активности 3444 известных соединений, экспериментально изученных мировым научным сообществом на этот вид активности. Созданная база данных в дальнейшем будет использована для формирования обучающей выборки с целью последующей разработки нейросетевой модели зависимости аффинитета к SERT известных соединений от их аффинитета к релевантным биомишеням, применительно к исследуемым азотсодержащим гетероциклическим соединениям с противовоспалительной и антистрессорной активностью.

Найденные валидные 3D-модели в дальнейшем будут использованы в разработке нейросетевой модели зависимости аффинитета к SERT известных соединений от их аффинитета к релевантным биомишеням, применительно к исследуемым азотсодержащим гетероциклическим соединениям с противовоспалительной и антистрессорной активностью.

В синтетических исследованиях в проекте был разработан одностадийный OCDC подход к синтезу моно- и бис-1,2,4-триазолоазинов в присутствии соединений гипервалентного йода, при этом часть полученных соединений продемонстрировала высокую биологическую активность, в том числе сопоставимую с известными противоопухолевыми препаратами.

Параллельно было проведено обучение персонала и апробация методики оценки воздействия водорастворимых химических соединений (на примере антигистаминных препаратов) на поведение экспериментальных животных — рыб зебраданио, что является необходимым для выполнения последующих этапов.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Институт иммунологии и физиологии УрО РАН.
- ☑ Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград.

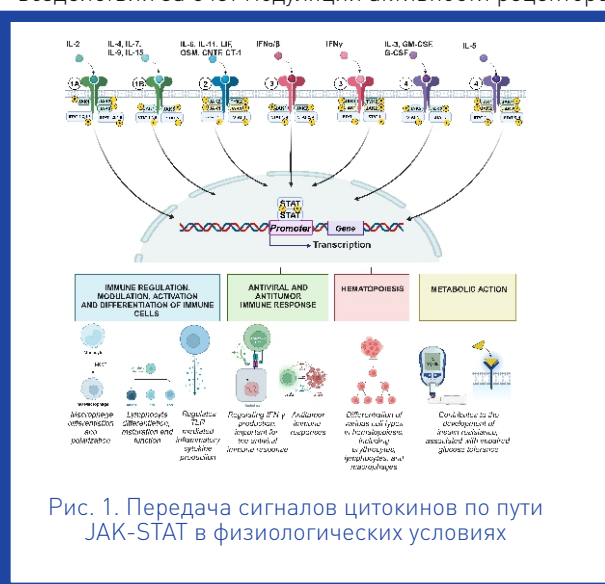


Рис. 1. Передача сигналов цитокинов по пути JAK-STAT в физиологических условиях

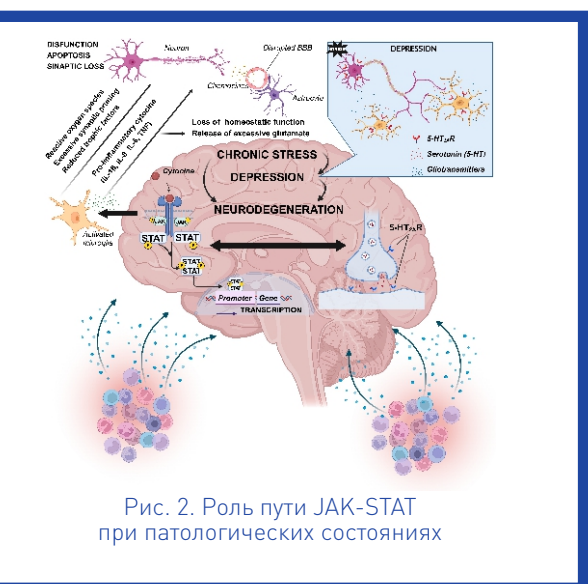


Рис. 2. Роль пути JAK-STAT при патологических состояниях

# ИММУНОПОСРЕДОВАННЫЕ МЕХАНИЗМЫ SARS-COV-2 ИНФЕКЦИИ: НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

Руководитель проекта – доктор биологических наук А.П. Сарапульцев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

На основе выявления новых молекулярных механизмов инвазии SARS-CoV-2 и последствий взаимодействия вируса с иммунной системой, оценки неврологических и других органных нарушений разработать модернизированную концепцию иммунопатогенеза COVID-19 для создания инновационных методов таргетной терапии этого заболевания.

## ПУБЛИКАЦИИ

17 научных статей

6 научных докладов на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

8 статей в Scopus/WoS

9 статей в журнале из перечня ВАК/RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Изучить особенности развития иммунопосредованной симптоматики, включая неврологическую, в целях выявления новых механизмов взаимодействия SARS-CoV-2 с клетками иммунной системы и локального микроокружения.
- Построить комплексы мембранного кофакторного белка CD46 человека со структурными EР, МР, NР и SP белками SARS-CoV-2 и выявить наиболее вероятные области их взаимодействия.
- Разработать методологическую основу для нового способа таргетной терапии SARS-CoV-2 в целях повышения клинической эффективности лечения.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Работа открывает новое направление поиска средств для лечения тяжелых форм SARS-CoV-2 инфекции. Вещества, блокирующие области связывания CD46 человека со структурными белками SARS-CoV-2, могут стать основой для создания принципиально новых инновационных лекарственных препаратов для лечения тяжелых осложнений SARS-CoV-2.

Обозначенные в проекте методологические подходы могут быть полезным инструментом и для создания инновационных лекарственных средств и при других вирусных инфекциях.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Патогенетическое значение механизмов системного и хронического воспаления низкой интенсивности в патогенезе COVID-19 были систематизированы в соответствии с планом работы. Было показано, что при COVID-19 общие изменения в центральной нервной системе (ЦНС), включая гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую систему, характеризуются выраженной стресс-реакцией с переходом в дистресс-реакцию (с признаками надпочечниковой недостаточности), что необходимо учитывать при назначении гормональных препаратов в качестве метода патогенетической терапии COVID-19. Данные особенности реакции нейроэндокринной системы тесно связаны с развитием системного воспаления как особой формы общепатологического процесса, генерализацией вируса SARS-CoV-2 в организме, повреждениями эндотелия и гематоэнцефалического барьера и развитием ряда синдромов общемозговых расстройств.

В целях изучения иммунного статуса у больных COVID-19 было проведено обследование больных COVID-19 с выраженной неврологической симптоматикой с применением методики секвенирования следующего поколения (Next-Generation Sequencing, NGS, RNA-Seq) для обнаружения PHK SARS-CoV-2 в спинномозговой жидкости и плазме крови. Полученные данные свидетельствовали о наличии SARS-CoV-2 в ЦНС и указывают на то, что вирус SARS-CoV-2 может присутствовать в ЦНС даже после элиминации из периферической крови. Также в спинномозговой жидкости была заметна активация системы комплемента с резкой активацией регуляторного белка CD46.



Следует отметить, что CD46 может служить рецептором для ряда вирусов и может модулировать адаптивный иммунный ответ, что и послужило определением его как объекта дальнейших исследований. По современным представлениям основным способом проникновения SARS-CoV-2 в клетку считается взаимодействие белка SP вируса с ACE2 и связанных с ним белков человека. Однако многочисленные клинические данные показывают, что этот путь не является единственным, и CD46 прекрасно подходит на данную роль рецептора-кандидата (поскольку он является рецептором для 11 известных патогенов). Помимо этого, CD46 играет значительную роль во врожденных и адаптивных иммунных реакциях, а нарушения CD46-опосредованных сигнальных путей приводят к врожденным иммунодефицитам.

Результаты настоящего исследования показали значительное снижение у постковидных пациентов как общего количества Т-лимфоцитов, так и NK-клеток, несущих на своей поверхности рецептор CD46. По-видимому, именно лигирование CD46 вирусом индуцирует его подавление. Известно, что в супернатантах CD46-активированных Т-клеток выделение CD46 приводит к образованию растворимого CD46 (sCD46), способного связывать лиганды. В свою очередь, активированные Т-клетки секретируют C3b, который, в свою очередь, связывается с выделенным sCD46 и приводит к ингибированию Т-клеток в петле отрицательной обратной связи. Вероятно, именно эти механизмы иммунопатогенеза определяют дисфункцию Т-клеточного звена и, как следствие, развитие постстрых симптомов COVID-19.

В результате биоинформатического исследования были впервые построены валидные полноразмерные

3D-модели дигетеромерных комплексов белка CD46 человека и EP-MP-NP-SP белков SARS-CoV-2, определен спектр ключевых связывающих аминокислот в этих комплексах и выявлены наиболее вероятные области взаимодействия белка CD46 человека с EP-MP-NP-SP белками SARS-CoV-2. Было выявлено, что наиболее интенсивно с CD46 человека взаимодействует белок NP SARS-CoV-2, за ним по интенсивности взаимодействия следует белок MP, S-белок находится на третьем месте, а наименее интенсивно с CD46 взаимодействует белок оболочки EP. Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что при неспецифическом встраивании в липидную мембрану клетки человека конфигурация SARS-CoV-2 могут существенно изменяться, что обеспечивает возможность взаимодействия с другими, помимо SP, структурными белками вируса. При этом S-белок перестает играть свою ведущую роль инициатора SARS-CoV-2 инфекции. В соответствии с результатами проведенного исследования в случае реализации неспецифического механизма проникновения основным связывающим белком при взаимодействии с белком CD46 человека является нуклеокапсидный белок NP SARS-CoV-2. Таким образом, взаимодействие NP SARS-CoV-2 с CD46 человека предположительно является новым и пока не исследованным механизмом развития SARS-CoV-2 инфекции.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Хуачжунский университет науки и технологии (Ухань, Китай)

[CD46 выделен красным, его связывающие аминокислоты изображены светло-фиолетовым, а ключевые аминокислоты показаны темно-фиолетовым. Белок SARS-CoV-2 выделен зеленым цветом, связывающие его аминокислоты изображены бирюзовым цветом, а ключевые аминокислоты показаны темно-бирюзовым цветом.]

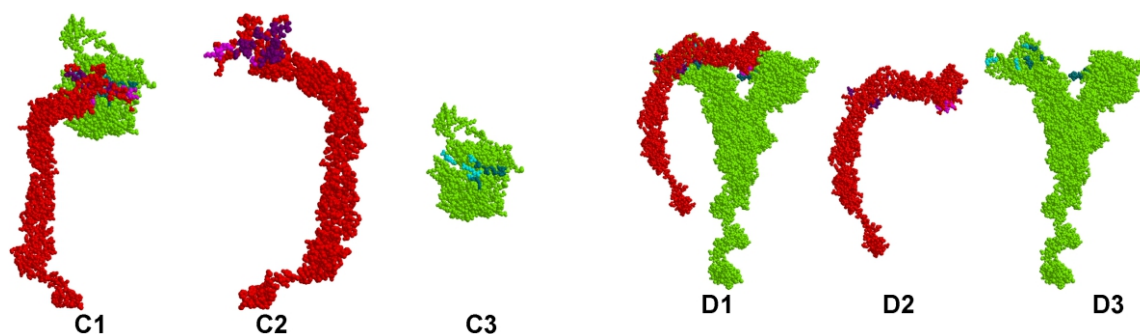


Рис. 1. 3D-модель белково-белкового комплекса CD46 человека и NP SARS-CoV-2

Рис. 2. 3D-модель белково-белкового комплекса CD46 человека и SP SARS-CoV-2

# НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ФАРМАКОКОРРЕКЦИИ ХРОНИЧЕСКОГО СТРЕССА И ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ СТРЕССОРНЫХ РАССТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРОТЕКТОРНЫХ ЭФФЕКТОВ РЕСВЕРАТРОЛА

Руководитель проекта – доктор биологических наук, профессор В.Э. Цейликман

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект нацелен на решение проблемы разработки адекватной нутрицевтической поддержки фармакотерапии болезней, связанных с хроническим стрессом, включая ПТСР.

### ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

4 научных доклада на международных и всероссийских конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus/WoS, в т. ч. 3 статьи – в журналах Q1

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- В экспериментальных исследованиях определить механизмы антистрессорных эффектов ресвератрола в отношении поведенческих расстройств и поражения внутренних органов при ПТСР.
- Оценить потенциальные возможности ресвератрола в плане усиления позитивных эффектов и снижения побочного действия ингибиторов обратного захвата серотонина-препаратов, считающихся «первой линией» в коррекции ПТСР.
- Убедиться в «сохранности» антистрессорных эффектов ресвератрола в составе функциональных продуктов, предназначенных для нутрицевтической поддержки больных ПТСР.
- Разработать рецептуру функциональных продуктов на основе ресвератрола для нутрицевтической поддержки больных ПТСР.
- Экспериментально доказать эффективность функциональных продуктов на основе ресвератрола для нутрицевтической поддержки фармакологической терапии ПТСР.
- Экспериментально продемонстрировать эффективность функциональных продуктов на основе ресвератрола для коррекции хронического стресса.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Будут определены основные механизмы антистрессорного действия ресвератрола в условиях экспериментальной модели ПТСР.
- Будут определены эффективные дозы ресвератрола, реализующие его, в которых он оказывает антистрессорное действие, в условиях на экспериментальных моделях хронического стресса и в условиях ПТСР.
- Будут определены дозы ресвератрола, позволяющие максимально усилить позитивные эффекты антидепрессантов, препаратов из группы СИОЗС, и ослабить их побочные эффекты.
- Будет разработана схема использования нутрицевтической поддержки фармакотерапии хронического стресса и ПТСР с использованием новых функциональных продуктов на основе ресвератрола.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты проекта могут быть использованы в хозяйственной деятельности предприятий пищевой индустрии для разработки функциональных продуктов питания, к которым относят продукты, обладающие помимо основной функции снабжения организма человека нутриентами, дополнительным положительным действием на здоровье и/или предотвращающие то или другое заболевание.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Продемонстрирована способность ресвератрола усиливать корректирующее действие препаратов СИОЗС и снижать их побочные эффекты при фармакологической коррекции.
- ☑ Установлена максимально-эффективная доза ресвератрола для коррекции поведенческих

расстройств и поражения внутренних органов при хроническом предаторном стрессе.

- ☑ Разработан состав и синтезированы липосомы для внедрения ресвератрола в состав функциональных продуктов.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Уральский федеральный университет имени первого президента РФ. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург
- ☑ Институт цитологии и генетики СО РАН, г.Новосибирск

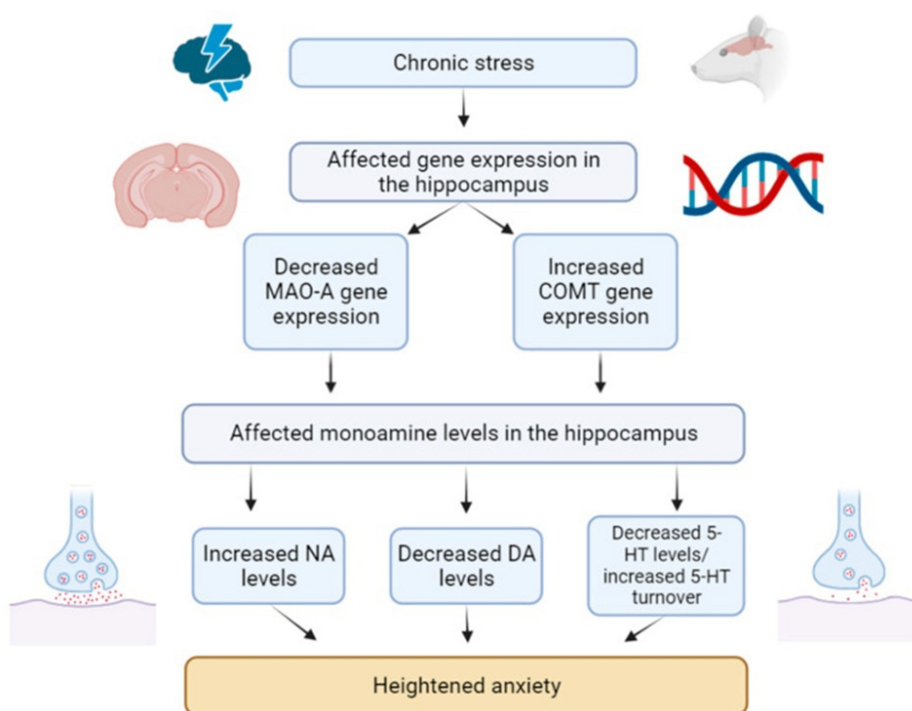


Рис. 1.Общая схема влияния хронического стресса

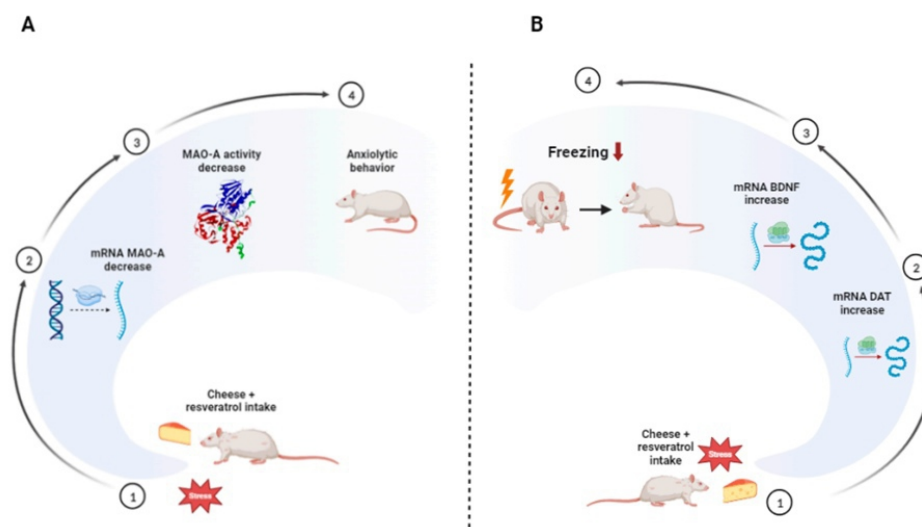


Рис. 2. Анксиолитическое поведение и снижение замораживания, наблюдаемые у крыс с PS-субъектом, которых кормили сыром, дополненным ресвератролом, объясняются изменением экспрессии MAO-A, DAT и BDNF. Панель (А) Крысы с замораживанием+. 1 – стресс хищника, 2 – уровень MAO в мРНК, 3 – активность MAO-A, 4 – анксиолитическое поведение. Панель (В) Крысы, подвергшиеся замораживанию. 1 – Стресс хищника, 2 – уровни мРНК DAT. 3 – уровень мРНК BDNF, 4 – поведение при замораживании.

# НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ЭФФЕКТИВНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ИНКАПСУЛЯЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ДРОЖЖИ *SACCHAROMYCES CEREVISIE*

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор И.В. Калинина

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка нового подхода, раскрытие принципов и закономерностей процесса инкапсуляции биофлавоноидов в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisie* и оценка эффективности полученной биологически активной добавки в рамках доклинических исследований с применением методов *in vitro*, *in silico*, *in vivo*.

## ПУБЛИКАЦИИ

5

научных статей

1

патент

3

научных доклада на конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1

статья в Scopus, в т. ч. статья в журнале Q2

1

статья в журнале из перечня RSCI

1

статья в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Установить эффективные режимы и условия процесса инкапсуляции для различных биофлавоноидов и используемых подходов инкапсуляции (наиболее приемлемые значения pH, температуры, продолжительность инкапсуляции, аэрация и т. д.).
- ➔ Исследовать эффективность инкапсуляции, физико-химические свойства полученных (инкапсулированных) биофлавоноидов.
- ➔ Установить принципы и закономерности инкапсуляции биофлавоноидов в исходном и модифицированном виде в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisie*.
- ➔ Получить новые функциональные ингредиенты, обеспечивающие эффективную доставку биологически активных веществ в организм человека.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В результате выполнения проекта будут получены новые знания в области инкапсуляции биофлавоноидов в дрожжи *Saccharomyces cerevisie*, что позволит создать эффективные функциональные пищевые ингредиенты (ФПИ) и биологически активные добавки (БАД), способные проявлять выраженные функциональные свойства и отвечать заявленным требованиям по биоактивности и биодоступности.

Ожидаемые результаты соответствуют мировому уровню исследований в области создания новых эффективных БАД, поскольку они обладают большим потенциалом для дальнейшего использования в качестве ФПИ в составе пищевых систем, специализированных продуктов питания, кормов и т. д.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты выполнения проекта представляют потенциальный интерес для предприятий пищевой промышленности, производящих продукты функционального и специализированного назначения, а также производителей БАД.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Получены данные о физико-химических свойствах и биоактивности инкапсулированных в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* полифенолов. На основании результатов ДСК-анализа, ИК-Фурье-спектрального анализа и люминесцентной микроскопии подтверждено образование комплексов полифенолов и дрожжевых клеток в результате инкапсуляции.



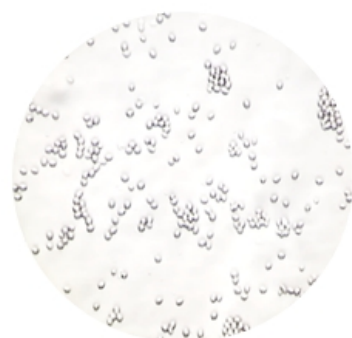
- ☑ Установлено, что наиболее вероятно возникновение водородных связей, гидрофобных взаимодействий и взаимодействий Ван-дер-Ваальса со структурными компонентами дрожжевой клеточной стенки, а именно с маннаном, глюканами и фосфолипидами. Смоделированы молекулярные комплексы полифенолов с маннаном и  $\beta$ -1-3 глюканом, установлена возможность образования устойчивых комплексов.
- ☑ Проведена оценка стабильности инкапсулированных форм полифенолов в хранении, установлена способность дрожжевых клеток как капсульных систем защищать полифенолы от фотодеградаци.
- ☑ Проведены исследования потенциальной биодоступности и биоактивности с использованием

моделирования процесса пищеварения in vitro. Установлено, что основной выброс полифенолов из дрожжевой клетки происходит в условиях кишечного переваривания. Определена ведущая роль желчных солей в стимулировании этого процесса.

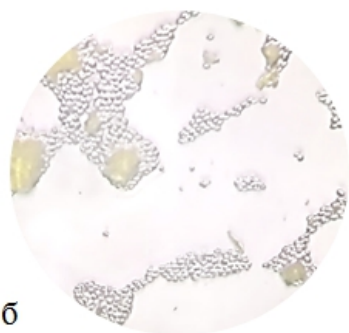
- ☑ Доказана возможность инкапсуляции полифенолов в плазмоллизированные клетки дрожжей, что может стать основой нового направления использования отработанных дрожжей, являющихся отходом биотехнологических производств

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

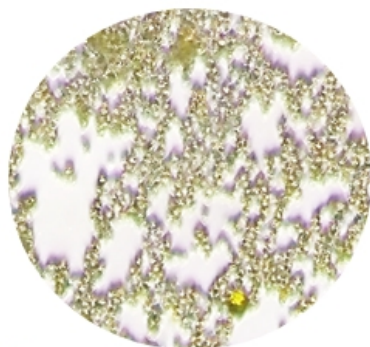
- ☑ ИТМО (факультет биотехнологий)



а



б



в

Рис. 1. Визуализация процесса инкапсуляции куркумина в клетки дрожжей (увеличение  $\times 600$ , люминесцентная микроскопия): а – дрожжи исходные «пустые»; б – физическая смесь куркумина и дрожжей; в – куркумин, инкапсулированный в клетки дрожжей

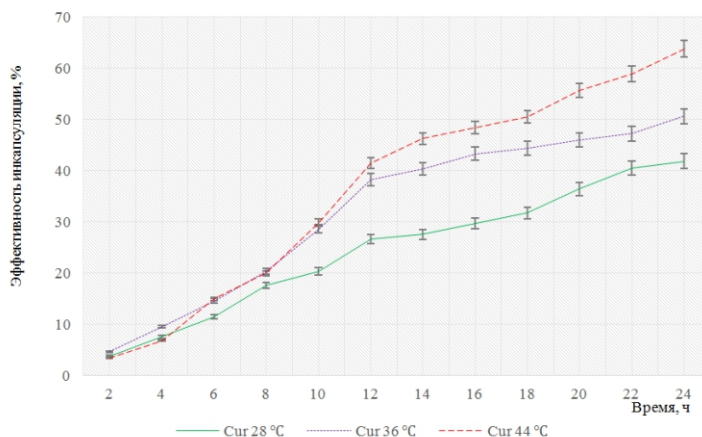


Рис. 2. Динамика эффективности инкапсуляции куркумина в дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae* в зависимости от температуры и времени

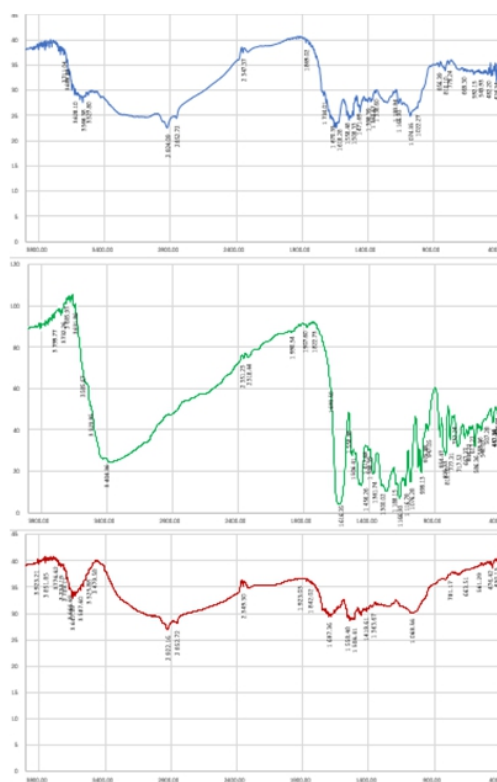


Рис. 3. ИК-Фурье-спектры: а – чистые дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*; б – куркумин неинкапсулированный; в – куркумин, инкапсулированный в клетки дрожжей

# БИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭМУЛЬСИИ ПИКЕРИНГА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор И.Ю. Потороко

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка нового метода создания конструкции стабильно устойчивых эмульсионных систем Пикеринга с повышенной биоактивностью. Проект является экспериментальной работой, направленной на получение новых результатов, которые в дальнейшем будут полезны для транслирования в производственных условиях.

## ПУБЛИКАЦИИ

19 научных статей

2 патента на изобретение

4 научных доклада на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

6 статей в Scopus/WoS

4 статьи в журналах из перечня RSCI

7 статей в журнале из перечня ВАК/RSCI

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- ➔ Оценка применимости ультразвукового воздействия как инструмента для получения биоактивной коллоидной системы эмульсии Пикеринга на основе растительных полисахаридов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В части применимости нетепловых эффектов ультразвука для микроstructuring растительных полисахаридов, в том числе бурых водорослей, будут:

- ➔ исследованы механизмы воздействия стабилизирующих компонентов на структурные характеристики, биологическую ценность;
- ➔ определены оптимизированные модели для модификации свойств биоактивных веществ и их размещения в эмульсии Пикеринга;
- ➔ разработаны рецептуры и технологии производства функциональных пищевых продуктов на основе трехфакторного подхода;
- ➔ оценена устойчивость сонохимически микроstructuring полисахаридов бурых водорослей в системе эмульсий Пикеринга в пищевом матриксе функционального пищевого продукта под воздействием различных факторов;
- ➔ получена модель связи сонохимически микроstructuring биоактивных веществ в системе эмульсий Пикеринга в пищевом матриксе функционального пищевого

продукта с точки зрения биологической активности и включения в метаболические процессы.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработанные в рамках проекта эмульсии Пикеринга, стабилизированные моно- и двухкомпонентными сонохимически модифицированными частицами и комплексами, перспективны для профилактики социально значимых заболеваний, включая риски новообразований, так как в их составе присутствуют биоактивные вещества с доказанной полезностью.

Некоторые компоненты сырья, используемого для стабилизации ЭП, в частности картофельный крахмал, цельнозерновые компоненты зерна, льняная целлюлоза, являются возобновляемыми продовольственными ресурсами, что делает данный проект привлекательным для перерабатывающих предприятий АПК.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

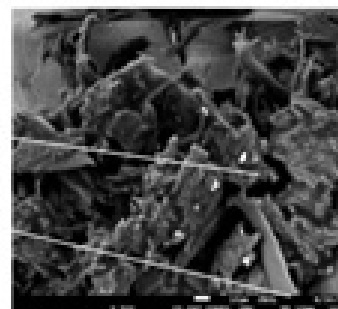
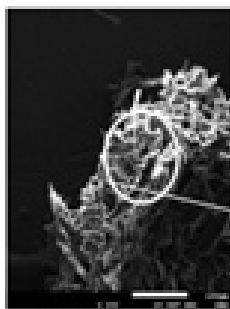
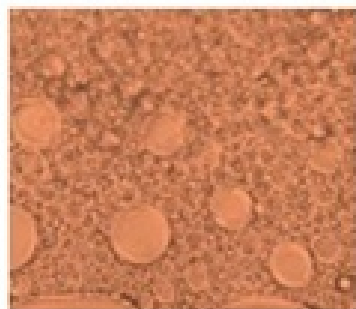
- ☑ Разработана и верифицирована концептуальная методология получения устойчивой бифункциональной эмульсии Пикеринга.
- ☑ Сформирована выборка биоактивных компонентов доказанного действия, применимых в пищевых

системах. Проведена комплексная аттестация исходных стабилизирующих частиц для эмульсий Пикеринга и их бифункциональности

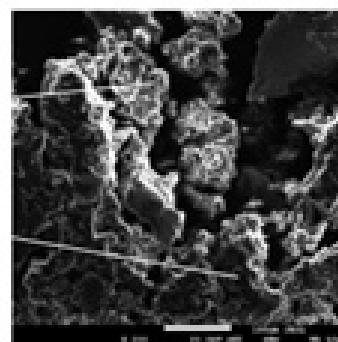
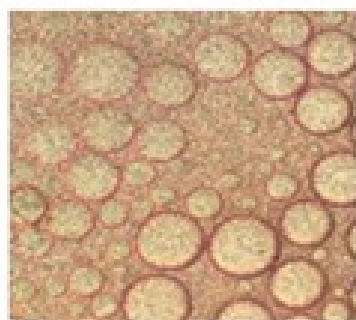
- ☑ Установлены с использованием стратегии *in silico* устойчивые связи полисахаридов с антиканцерогенными и иммуномодулирующими рецепторами.
- ☑ Установлены возможности сращивания технологичности и функциональности компонентов в одной системе с высокой степенью надежности сохранения биоактивных свойств.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ООО «ЛИНУМ»
- ☑ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

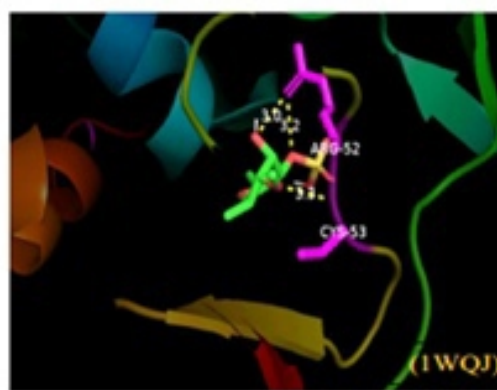


Эмульсия Пикеринга стабилизированная микроструктурированным Alg-Na

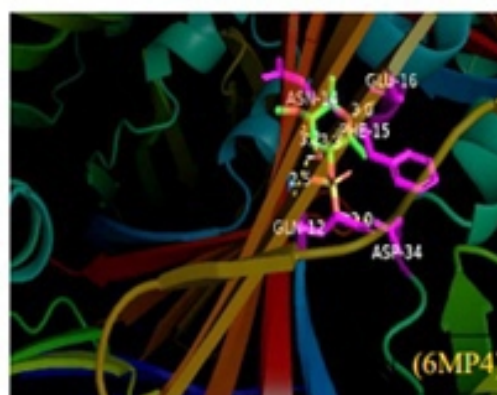


Эмульсия Пикеринга стабилизированная микроструктурированным Фукоиданом

Рис. 1. Эмульсии Пикеринга, стабилизированные микрочастицами полисахаридов бурых водорослей



а



б

Рис. 2. Стыковка вдоль длины связи лиганда Фукоидана с рецепторами: (а) противораковым 1WQJ, (б) иммуномодулирующим 6MP4

# ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИНКАПСУЛЯЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОЙ КОАЦЕРВАЦИИ

Руководитель проекта – кандидат технических наук, доцент Р.И. Фаткуллин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка новых подходов в технологии получения инкапсулированных препаратов на основе природных антиоксидантов полифенольной природы с регулируемыми характеристиками биодоступности и биоактивности, в том числе в составе пищевых систем.

## ПУБЛИКАЦИИ

5 научных статей

1 патент

3 научных доклада на конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

1 статья в журнале из перечня RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработка новой методологии инкапсуляции биоактивных соединений на основе ультразвукового подхода для обеспечения заданных характеристик биодоступности и биоактивности.
- Установление механизмов процесса образования инкапсулированных комплексов БАВ и роли ультразвука в регулировании химических процессов встраивания БАВ в систему коацерватов.
- Оценка эффективности систем доставки с точки зрения биологической активности полученных соединений.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Сформулированы принципы дизайна и закономерности инкапсуляции индивидуальных экстрактов полифенолов методом комплексной коацервации в систему желатин-пектин.
- Установлено влияние ультразвукового воздействия на структуру и свойства антиоксидантов, а также процесс их инкапсуляции в систему желатин-пектин.
- Установлены эффективные режимы для процесса инкапсуляции, наиболее приемлемые значения pH в процессе образования коацерватов. Получены новые функциональные биокомпозиты антиоксидантного действия, эффективные, в том числе в составе сложных пищевых систем.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты выполнения проекта представляют потенциальный интерес для предприятий пищевой промышленности, производящих продукты функционального и специализированного назначения, а также производителей БАД.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведены исследования физико-химических свойств растительных антиоксидантов полифенольной природы (рутина, дигидрохверцетина и куркумина) в исходном и наноструктурированном (с использованием ультразвука) виде с учетом номенклатуры показателей, представленных в проекте.
- ☑ Проведена оценка эффективности инкапсуляции исходных и модифицированных форм биологически активных веществ в желатин-пектиновые капсулы.
- ☑ Отработаны разные режимы инкапсуляции с точки зрения вариации внешних факторов воздействия (pH, температура и время инкапсуляции, соотношение БАВ: желатин при инкапсуляции). На основании собранного массива данных и проведения процедур оптимизации с использованием двухфакторного регрессионного анализа найдены наиболее приближенные к оптимальным условия инкапсуляции выбранных антиоксидантов методом комплексной коацервации.



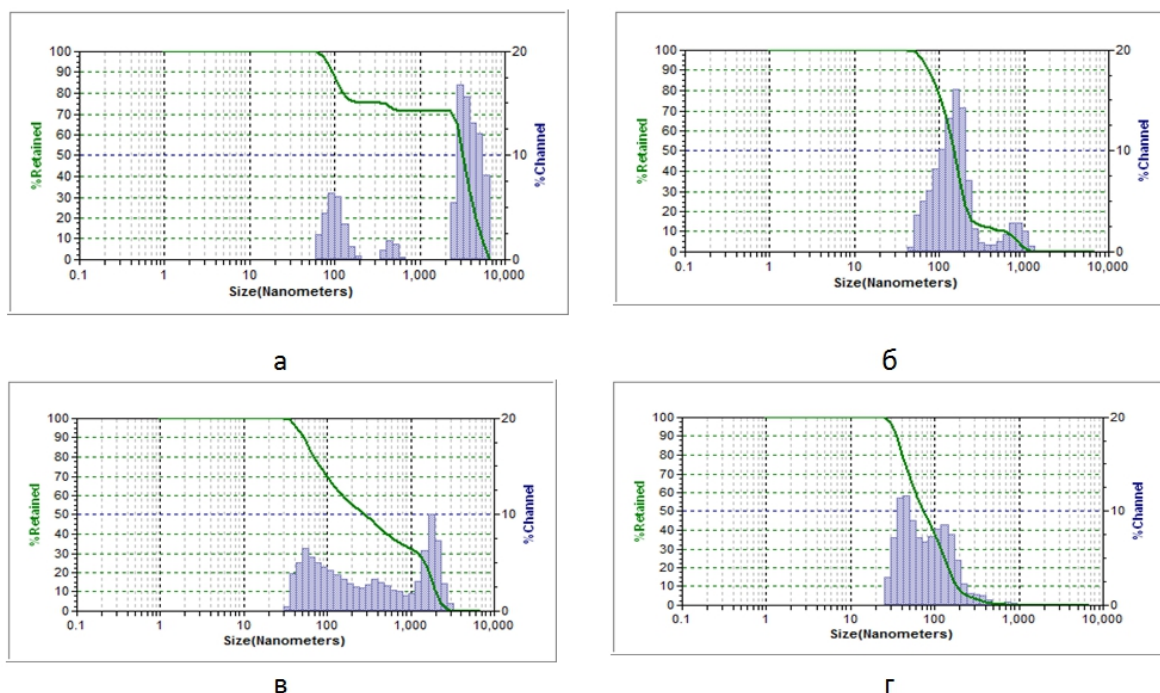


Рис. 1. Кривые распределения частиц дисперсной системы исследуемых растворов куркумина: а-контроль; б-УЗВ 630 Вт, 5 мин; в-УЗВ 630 Вт, 15 мин; г-УЗВ 630 Вт 25 мин

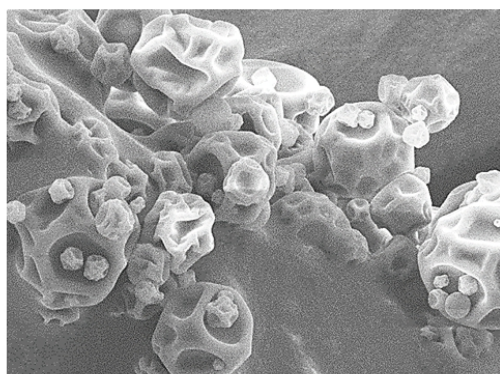


Рис. 2. Сканирующие электронные микрофотографии микрокапсул куркумина (×3000)

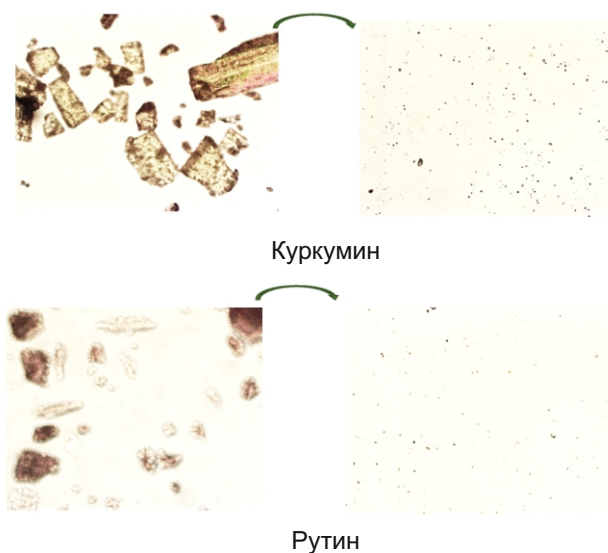


Рис. 3. Визуализация изменения дисперсного состава в процессе ультразвукового воздействия (инвертная микроскопия, ×650)

# РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОМОДАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ

Руководитель проекта – Кумар Сэчин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и исследование новых моделей, методов и алгоритмов для выявления и диагностики заболеваний легких на ранних стадиях на основе многомодальных методов глубокого обучения.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

2 статьи в журнале из перечня ВАК/RSCI

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Разработка многомодальной системы глубокого обучения диагностики и прогнозирования развития заболевания.
- ➔ Создание обобщающего алгоритма для анализа снимков и медицинских данных

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Будет разработан многомодальный подход для объединения информации, состоящий из моделей, методов и алгоритмов сбора информации из нескольких источников, и последующего слияния и обработки этой информации.
- ➔ Будет разработана и использована методика глубокого обучения поверх многомодальной структуры для извлечения признаков и обнаружения инфицированных или пораженных областей на рентгеновских снимках легких.
- ➔ Будет разработана диагностическая модель для ранней диагностики и прогноза течения заболеваний легких с использованием извлеченных признаков.

Ожидаемые результаты обеспечат фундаментальное математическое решение для объединения информации из различных ресурсов с целью разработки более эффективного и точного выявления заболеваний легких на ранних стадиях и прогноза их развития. Наш подход обеспечит комплексный

подход к диагностике. В дополнение к визуализации данных подход будет учитывать клинические показатели, полученные из электронной медицинской карты и других ресурсов. Интеграция других источников информации направлена на улучшение интерпретации медицинских изображений.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Коммерческие и исследовательские организации могут использовать результаты проекта для разработки ряда аппаратных средств и программного обеспечения, которые будут использоваться в больницах для лучшей диагностики заболеваний легких и прогноза их развития с целью повышение качества лечения.

Предлагаемая технология является новой в области объединения многих ресурсов медицинских данных, требующих обработки различными моделями.

Со временем чрезмерное накопление медицинских данных будет способствовать дальнейшему развитию многомодальной системы, повышающей точность определения заболеваний легких и прогноза их развития, что является важным для продолжительности жизни человека. Система будет представлена как прототип сервиса для медицинских экспертов, врачей и исследователей. Личные данные пациентов не будут требоваться или храниться на сервере. Загруженные изображения будут анонимными.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Определены различные надежные мультимодальные источники данных о заболеваниях легких, и данные были загружены для использования.
- ☑ Разработан подход к извлечению признаков из различных методов.

☑ Модель диагностики с использованием подходов, основанных на слиянии, была разработана на основе мультимодальных данных.

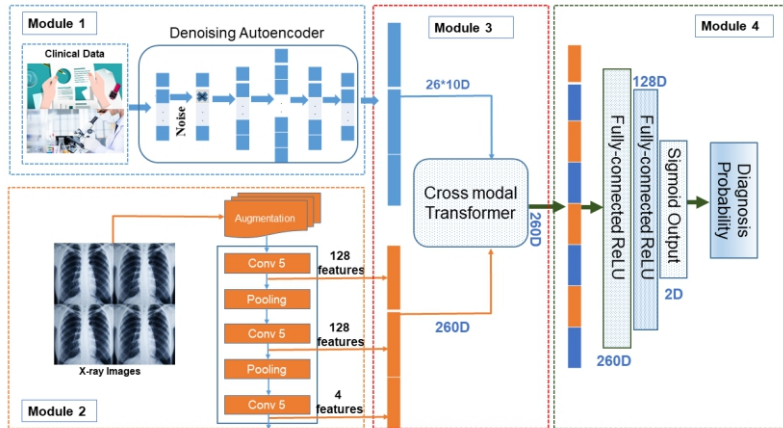


Рис. 1. Трансформатор с перекрестной моделью

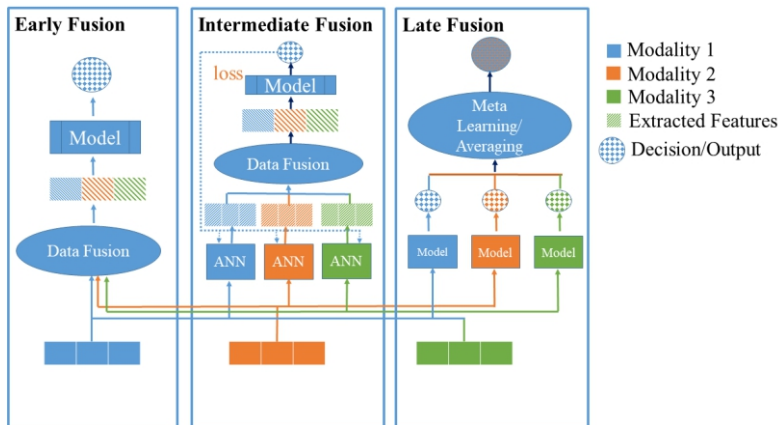


Рис. 2. Иллюстрация техники Фьюжн

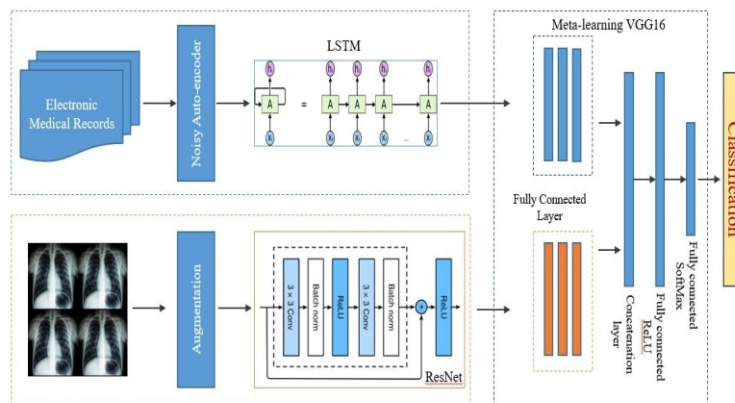


Рис. 3. Электронная медицинская карта

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ТРОЙНЫХ КОМПЛЕКСАХ «РАСТУЩИЙ ПЕПТИД – РИБОСОМНЫЙ ТУННЕЛЬ – АНТИБИОТИК»

Руководитель проекта – кандидат химических наук Г.И. Макаров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Настоящий проект посвящён изучению взаимодействия растущего пептида со стенками рибосомного туннеля, вакантного и связанного антибиотиком.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

4 научных доклада на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

➔ Предлагаемое исследование должно приискать ответы на давно поставленные исследовательским сообществом вопросы о том, как рибосомный туннель может задерживать определённые аминокислотные последовательности, как влияют на эту способность различные антибиотики, действующие на рибосомный туннель, и как влияют связавшиеся в рибосомном туннеле аминокислотные последовательности на аллостерические сети рибосомы. Кроме описанного фундаментального значения результаты исполнения проекта позволят предложить принципы структурно обоснованной разработки новых антибактериальных соединений, способных преодолевать бактериальную резистентность.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В результате выполнения проекта мы ожидаем получить структуры тройных комплексов «эритромицин – А/А,Р/Р-рибосома *E. coli* – стоп-пептид ErmBL», «хлорамфеникол – А/А,Р/Р-рибосома *E. coli* – стоп-пептид cat86AL», «хлорамфеникол – А/А,Р/Р-рибосома *E. coli* – стоп-пептид CmlAL» и комплекса стоп-пептида SecM с рибосомой в каноническом А/А,Р/Р-состоянии и описать реакции аллостерических сетей рибосомы

на связывание стоп-пептидов в рибосомном туннеле. Ожидаемые нами результаты позволят объяснить особенности механизмов действия клинически важных антибиотиков на рибосому, выявляя взаимное влияние растущего пептида, антибиотика и аллостерических сетей рибосомы.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Полученные в результате исполнения проекта сведения необходимы для разработки новых антибактериальных препаратов, способных преодолевать бактериальную резистентность, что особенно актуально, если учитывать все более широкое распространение патогенов, устойчивых к употребляемым антибиотикам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

В 2023 году смоделированы структуры рибосомы *E. coli*, связанной в рибосомном туннеле лидерный пептид CmlAL и хлорамфеникол, а также связанной лидерный пептид ErmBL и эритромицин А. Для обоих лидерных пептидов выявлено расхождение субстратов пептидилтрансферазной реакции – атакующей аминокислотной группы аминокислотного остатка, ацилирующего А/А-тРНК, и атакуемого карбо-



нильного атома углерода аминокислотного остатка, ацилирующего P/P-тРНК — в условиях, соответствующих остановке трансляции этими лидерными пептидами. Разработан метод выявления в структуре рибосомы аллостерических путей по данным молекулярно-динамического моделирования, основанный на корреляционном анализе скользящей встречаемости конкретных нековалентных взаимодействий, таких как водородные связи и стэкинг-взаимодействия.

На примере комплекса пептида ErmBL с рибосомой реконструирована структура пептидилтрансферазного центра, непосредственно предшествующая завершению реакции транспептидации, которая характеризуется множественными стабильными водородными связями, благоприятствующими протеканию пептидилтрансферазной реакции.

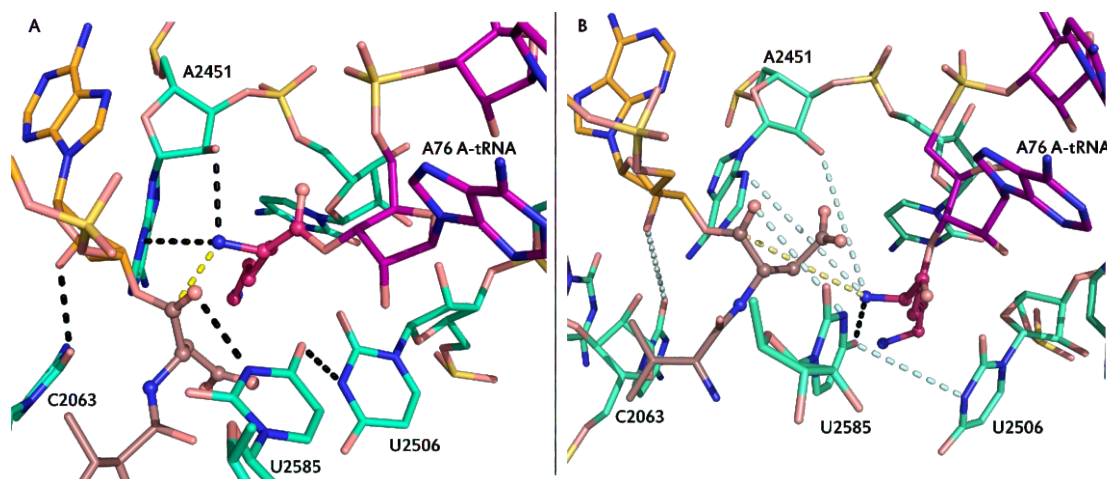


Рис. 1. Плотная конформация ПТЦ, образующаяся в ходе молекулярно-динамического моделирования в системах без эритромицина. В ней азотистые основания остатков C2063 и U2585 непосредственно участвуют в катализе, образуя водородные связи (все водородные связи показаны черным пунктиром). При этом устанавливается минимальное расстояние между атомами будущей пептидной связи (порядка 3.5 Å), которое показано желтым пунктиром. 23S рРНК отображена зелено-голубым цветом, А-тРНК — лиловым, аминоацилирующий остаток Lys — ярко-розовым, Р-тРНК — оранжевым, фрагмент пептида на Р-тРНК — коричневым. А: плотная конформация ПТЦ. В: состояние ПТЦ в траектории в присутствии эритромицина; разрушенные водородные связи показаны бледно-голубым, увеличившееся C-N расстояние — бледно-желтым

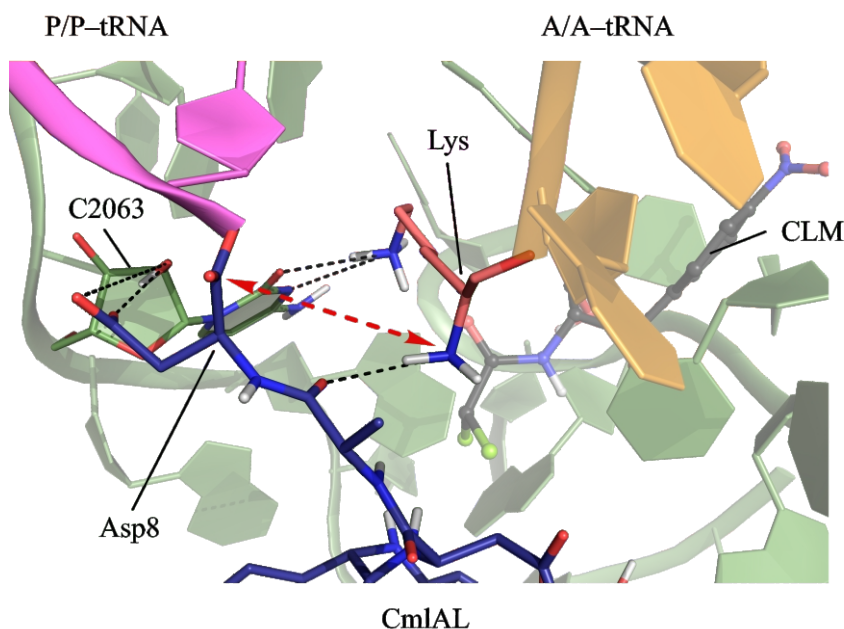


Рис. 2. Конформация субстратов пептидилтрансферазной реакции в структуре тройного комплекса «хлорамфеникол — A/A,P/P-рибосома E. coli — стоп-пептид CmlAL». Чёрным пунктиром показаны водородные связи, красная стрелка показывает расстояние между атакующей аминогруппой остатка лизина и атакуемым карбонильным атомом остатка аспарагиновой кислоты

# ПРОГНОЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Руководитель проекта – кандидат психологических наук Ю.А. Дмитриева

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Построение интегративной модели эффективности в проектной деятельности с одновременным включением психологических, психофизиологических и организационно-управленческих параметров успешности на основе междисциплинарного взаимодействия психологии и математического моделирования.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

3 научных доклада на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus/WoS

2 статьи в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Провести системное исследование параметров эффективности субъектов в проектной деятельности, включающих психологические и психофизиологические ресурсы участников проекта и характеристики успешности самого проекта.
- Разработать и апробировать метод математического моделирования индивидуальной эффективности участников проекта для решения задачи выбора состава команды, позволяющего добиться максимальной эффективности проекта.
- Разработать и валидизировать новый метод дифференциации и типизации субъектов проектной деятельности на основании сочетания психологических и психофизиологических ресурсов для достижения оптимальной эффективности проекта.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Разработка и валидизация интегративной модели эффективности субъекта в проектной деятельности. Данная модель является результатом междисциплинарного исследования эффективности проектной деятельности на основе интеграции психологии и математического моделирования.
- Разработка и апробация метода математического моделирования индивидуальных ресурсов субъектов в проектной деятельности на основе системы линейных уравнений, характеризующих две противоположные тенденции активности

(инновационную и стабилизирующую). Модель позволит осуществлять прогноз индивидуальной эффективности субъектов и выстраивать индивидуальные стратегии работы с участниками проектных команд.

- Коммерческое предложение по реализации интегративной модели формирования и управления проектными командами для коммерческих предприятий и образовательных учреждений.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

На основе соотношения значимых показателей ресурсов активности (или соотношения интегральных показателей инновационной и стабилизирующей активности) студенты могут быть дифференцированы по каждому психологическому ресурсу (психодинамическому, креативному, лидерскому или командно-ролевому). Тем самым будут сформированы группы студентов с различным соотношением выявленных (или рассчитанных) ресурсов для возможности развития навыков soft-skills и повышения эффективности в проектной деятельности в целом.

Разработка индивидуальных траекторий обучения для повышения эффективности в проектной деятельности по результатам проведенного исследования (на основе выявленных психологических ресурсов и барьеров, а также расчета интегральных показателей инновационной и стабилизирующей активности по каждому ресурсу).

Комплекс методов, моделей и методик для формирования и управления проектными командами для коммерческих (инновационных) предприятий/проектов.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведен обзор исследований эффективности деятельности субъектов, в том числе соотнесено понятие эффективности и других характеристик реализации деятельности (результативности, успешности, продуктивности). Доказана связь эффективности деятельности с психологическими характеристиками субъектов, что подтверждает наличие психологических факторов эффективности деятельности. В исследованиях эффективности проектной деятельности значимыми психологическими ресурсами являются особенности индивидуального реагирования на стрессоры, гибкость мышления, стратегии эмоциональной регуляции и сотрудничества, лидерство и распределение ролей в команде. В оценке эффективности проектной деятельности необходимо использование системного подхода к изучению разноразмерных психологических свойств субъектов. Прогнозирование эффективности является перспективным в рамках междисциплинарных исследований и возможно с помощью дискриминантного анализа, множественного регрессионного анализа и нейронных сетей на основе использования внешних параметров деятельности и психологических свойств субъектов деятельности.
- ☑ Разработана теоретическая модель исследования эффективности студентов в проектной деятельности. Разработана программа экспериментального исследования эффективности студентов в проектной деятельности, которая включает комплексную психологическую диагностику для определения их психологических ресурсов и барьеров, определение уровня эффективности, диагностику индивидуального реагирования на стрессоры на разных этапах проектной деятельности по результатам динамики активации полушарий головного мозга.
- ☑ По результатам исследования эффективности студентов в проектной деятельности составлена электронная база данных, включающая уровень эффективности, пол, возраст и специальность студентов и результаты диагностики по 140 показателям 12 психодиагностических методик. Выборку составили 404 студента, выполнявших проект как в индивидуальной форме, так и в составе команды (232 юноши и 172 девушки, средний возраст –  $20,3 \pm 3,8$ ).
- ☑ По результатам статистической обработки данных психологической диагностики студентов получены следующие научные результаты:

  - 1) рассчитаны описательные статистики для всей

выборки студентов по всем диагностируемым показателям;

- 2) выявлены 3 типа динамики активации полушарий головного мозга у студентов на каждом этапе проектной деятельности:
  - отсутствие значимых, более чем в 1,5 раза, изменений суммарной активации полушарий мозга – нормальное реагирование;
  - возрастание суммарной активации более чем в 1,5 раза – стрессовая реакция;
  - уменьшение суммарной активации более чем в 1,5 раза – шоковая реакция;
- 3) методом факторного анализа выявлено место гибкости мышления среди ресурсов переживания стрессовых и фрустрирующих ситуаций, доказано наличие специфики в структуре ресурсов переживания ситуаций стресса и фрустрации у студентов с разным уровнем стресса. Студенты с высоким уровнем стресса склонны обвинять внешнее окружение, прибегать к реакциям самозащиты, не склонны обвинять себя и обращать внимание на препятствие. Гибкость мышления не задействуется ими и не является ресурсом, способствующим снижению уровня стресса;
- 4) при помощи факторного анализа определена специфика психологических ресурсов эффективности и переживания стресса (психодинамических и личностных) у студентов, дифференцированных по уровню эффективности в проектной деятельности; доказана важность использования комплексного подхода к выявлению роли разноразмерных ресурсов субъектов в достижении эффективности проектной деятельности;
- 5) на основании дискриминантного анализа получены математические модели дифференциации студентов с разным уровнем эффективности. Согласно первой модели максимальный вклад в различие студентов с высокой и средней эффективностью вносят: предметная и социальная эргичность, уровень переживания стресса, нестандартность восприятия, эмоциональная реактивность и направленность на человека и природу; рефлексия статусных ролей и спасателя в критической ситуации, ценностные основания труда, свободы и любви. Согласно второй модели максимальный вклад в различие студентов со средней и низкой эффективностью вносят: темп, предметная и социальная эмоциональность; осознание трудности внешнего мира; стрессонаполненность жизни; эмоциональная реактивность, направленность на природу; тревожность, популярность и оригинальность идей; четкость рефлексии Я и рефлексия роли спасателя в критической ситуации, а также ценностные основания познания, любви и свободы.

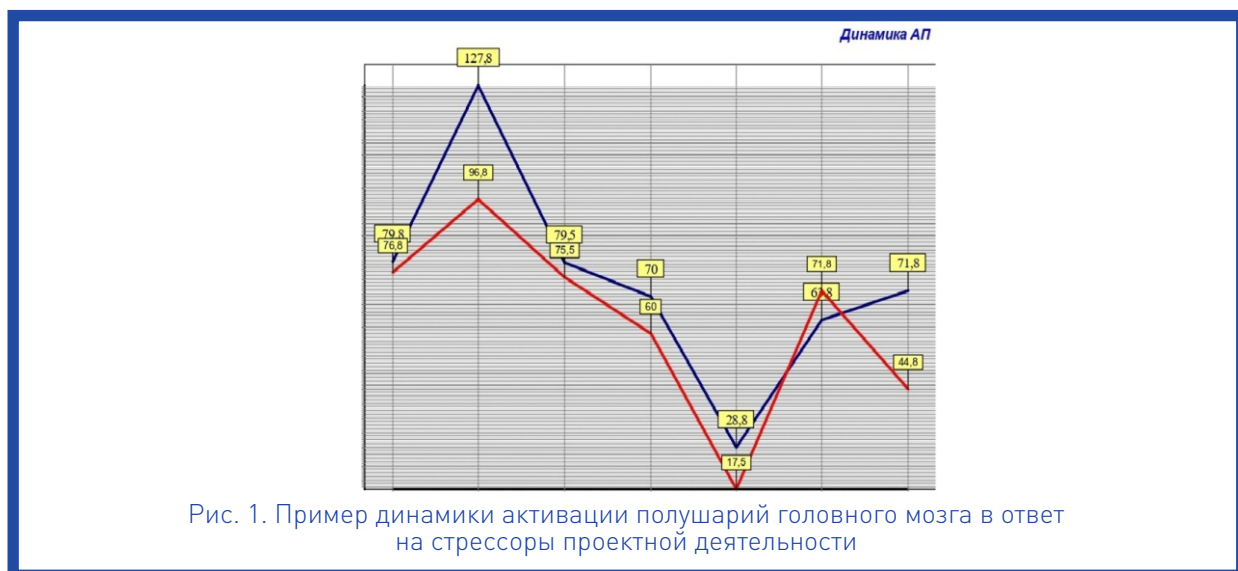


Рис. 1. Пример динамики активации полушарий головного мозга в ответ на стрессоры проектной деятельности

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАТЕРИАЛОВ СМИ, СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА ПО ЭКОЛОГИИ И МЕДИАЗЭФФЕКТОВ НА МОЛОДЕЖНУЮ АУДИТОРИЮ, ПРОЖИВАЮЩУЮ НА ТЕРРИТОРИИ РЕГИОНА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Руководитель проекта – доктор исторических наук, профессор И.В. Сибиряков

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить медиаэффекты и особенности воздействия медиаконтента интернет-СМИ и социальных медиа по экологической тематике на молодежную аудиторию, проживающую на территории региона экологического риска.

## ПУБЛИКАЦИИ

21 научная статья

17 научных докладов на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

4 статьи в журналах из перечня ВАК

15 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Рассмотреть теоретические подходы к исследованию воздействия СМИ, социальных медиа и медиаэффектов в современном медиaprостранстве (теория медиаэффектов, нейромаркетинговые технологии).
- ➔ Проанализировать актуальные информационные повестки по экологической тематике и выявить их атрибутивные характеристики, конструируемые СМИ и социальными медиа городов Челябинской области, Екатеринбурга.
- ➔ Выявить медиаэффекты прайминга и фрейминга в региональной повестке СМИ по экологической тематике, разработать их типологию.
- ➔ Верифицировать выделенные фреймы опытным путем: провести нейромаркетинговые исследования (айтрекинговые исследования), опросы и фокус-группы с представителями молодежи (3 нейромаркетинговых исследования, 3 опроса, 3 фокус-группы).
- ➔ Разработать методику и инструментарий исследования воздействия материалов по экологической тематике на молодежную аудиторию в СМИ с опорой на методы нейромаркетинговых исследований.
- ➔ Провести анализ восприятия сообщений по экологической тематике молодежной аудиторией, осуществить оценку интереса, эмоциональной вовлеченности и реакции при просмотре (300 респондентов).
- ➔ Выявить и изучить паттерны внимания к структурным компонентам экологических медиатекстов (100 ед.) на основе использования айтрекингового оборудования.
- ➔ Сформировать корпус медиатекстов

(400 ед.) интернет-СМИ Челябинска и Челябинской области, посвященных экологической тематике за период 2020–2023 гг., систематизировать и классифицировать эмпирический материал.

- ➔ Сформировать базу паттернов внимания к структурным компонентам экологических медиатекстов на основе использования айтрекингового оборудования.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Теоретико-методологическое обоснование освещения экологических событий при создании контента интернет-СМИ региона.
- ➔ Разработка методики исследования экологического контента интернет-СМИ, направленного на формирование экологического имиджа региона (на примере Челябинской области).
- ➔ Разработка рекомендаций по освещению экологического имиджа региона на основе исследованной и отобранной базы публикаций по экологической проблематике по городам Челябинск и Екатеринбург, имеющим реальные экологические проблемы за период 2019–2023 гг..
- ➔ Исследование восприятия контента по экологической проблематике аудиторией 18–30 лет методами цифровой гуманитаристики (нейромаркетинг, онлайн-опросы) и традиционными методами (контент-анализ) на основе междисциплинарного подхода.
- ➔ Опубликование результатов научных исследований в виде статьи в ведущих рецензируемых зарубежных и отечественных изданиях; участие в международных конференциях.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Полученные результаты теоретико-методологического и эмпирического исследования темы позволят изучить медиаэффекты и особенности медиавоздействия экологической тематики на молодежную аудиторию промышленного региона, разработать механизмы противодействия деструктивному влиянию СМИ и социальных медиа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Теоретико-методологическое обоснование освещения экологических событий при создании контента интернет-СМИ региона опирается на два основных подхода: конструктивистский, когнитивный. Основные положения данных подходов используются при исследовании медиаэффектов, ключевая проблема изучения которых состоит в том, что аудитория скрывает истинные ощущения через психологические экраны. Новизна данной работы заключается в том, что исследовательский фокус при помощи нейромаркетинговых технологий переносится на новую область – неосознанные реакции (когнитивные и аффективные) потребителя на медиатексты по экологии региона.
- ☑ Разработан проект методики исследования воздействия экологического контента интернет-СМИ на молодежную аудиторию с опорой на методы нейромаркетинговых исследований.
- ☑ Ведется разработка методических рекомендаций по формированию экологического имиджа террито-

рии в информационной повестке интернет-СМИ и социальных медиа (на примере городов Челябинской области и Екатеринбурга за период 2019–2023 гг.).

- ☑ Исследование восприятия контента по экологической проблематике молодежной аудиторией осуществлялось на базе 3х групп (18–21 год, 22–25 лет, 26–30 лет, 305 респондентов) методами цифровой гуманитаристики в несколько этапов: 1) предварительный онлайн-опрос; 2) айтрекинговое исследование; 3) пост-опрос; 4) фокус-группа. В работе на основе междисциплинарного подхода использовались количественные (айтрекинг, предварительный опрос и пост-опрос) и качественные методы (фокус-группа) исследования. Выборка 3 медиатекстов (102 ед.) была пропорционально сформирована по тематике на базе выборки 1 контента 16 СМИ и 7 городских сетевых сообществ (факт – 4701 ед, план – 400 ед, за 2019 г. – июнь 2023 г.) городов Челябинской области и Екатеринбурга. В результате контент-анализа генеральная совокупность медиатекстов была систематизирована по 18 рубрикам и представлена в базе данных «МЭР: медиатексты по экологии региона». Результаты исследования восприятия контента по экологии 3-х групп аудиторий с использованием айтрекинговых технологий представлены в базе данных «НЭМ: нейромаркетинг экологических медиатекстов».
- ☑ Опубликованы материалы по теме исследования, из них 2 статьи в изданиях, входящих в зарубежную базу данных Scopus, 4 – в изданиях, входящих в список ВАК. Участие во всероссийских и международных конференциях, в том числе: Международный научный форум «Медиа в современном мире. 62-е Петербургские чтения», Международные научные чтения «СМИ и массовые коммуникации – 2023», Международная научно-практическая конференция НАММИ «Актуальные проблемы медиаисследований – 2023» и др.



Рис. 1. Лаборатория нейромаркетинговых исследований



Рис. 2. Тепловая карта медиатекста по экологии

# ЦИФРОВАЯ АНТРОПОЛОГИЯ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Руководитель проекта – кандидат философских наук, доцент Р.В. Пеннер

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Концептуализировать цифровую антропологию как самостоятельную область социально-гуманитарных наук.

### ПУБЛИКАЦИИ

14 научных статей

1 патент

4 научных доклада на конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

3 статьи в WoS

10 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Сформулировать концептуальные основания новой междисциплинарной области знания – цифровой антропологии, осмысляющей место человека в контексте интенсификации технико-технологического развития.
- ➔ Инициировать интеграцию экспертного сообщества, занимающегося проблематикой, смежной с цифровой антропологией.
- ➔ Создать электронную платформу для координации экспертного сообщества.
- ➔ Решить проблему трансляции научного опыта от экспертного сообщества до широкой общественности.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➔ Формирование новой теоретической области знания.
- ➔ Систематизация имеющихся методов и подходов в гуманитарной экспертизе.
- ➔ Разработка методов осуществления экспертизы конкретных объектов.
- ➔ Создание электронной площадки для координации деятельности экспертов в сфере гуманитарной экспертизы цифровых технологий.
- ➔ Разработка и издание учебника и иных учебных материалов по цифровой грамотности.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- ➔ Приложение #Цифроваяаскетика в удобном мобильном формате: [https://apps.rustore.ru/app/com.ne\\_topatin.Digital\\_print](https://apps.rustore.ru/app/com.ne_topatin.Digital_print). Приложение нацелено на формирование цифровых навыков вне угрозы цифровой зависимости у обучающейся молодежи.
- ➔ Формирование электронной площадки, объединяющей экспертов по цифровой грамотности:
  - сайт <https://digitalanthropology.ru/>,
  - ВКонтакте <https://vk.com/digitalanthropology>,
  - Телеграм <https://t.me/digitalanthropology>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведен круглый стол «Цифровая антропология» [26.10.2023 г., ЮУрГУ (НИУ)].  
Специальный гость – главный редактор журнала «Galactica Media» Р.Т. Алиев.
- ☑ Участие в научных мероприятиях. В том числе 75 конференция профессорско-преподавательского состава (ЮУрГУ (НИУ), 10.04.2023), III Всероссийская научно-практическая

конференция (с международным участием) «РЕГИОНАЛЬНЫЕ КУЛЬТУРНЫЕ СТРАТЕГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ» (Пермский государственный институт культуры, 11–12.05.2023), X Международная научно-методологическая конференция «Селивановские чтения» (Тюменский индустриальный университет, 23.06.2023), II Всероссийская научная конференция «Цифровизация общества: трансформация повседневных практик и исследовательских перспектив» [Высшая школа экономики, 11–12.12.2023].

- ☑ Монография: Пеннер, Р. В. Картография цифрового: опыты философского понимания / Р. В. Пеннер. – Челябинск : Библиотека А. Миллера, 2023. – 246 с. – ISBN 978-5-93162-0000-0.
- ☑ Учебно-методические разработки:
  1. Цифровая аскетика : учебно-методическое пособие / А.Н. Гулеватая, Э.М. Валеева, Е.Г. Миляева [и др.]. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – 77 с.
  2. Цифровая аскетика : учебное пособие для

практических занятий / Е.В. Гредновская, А.Н. Гулеватая, Е. Г. Миляева [и др.]. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – 123 с. – ISBN 978-5-696-00000-0.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Научно-исследовательский центр мониторинга и профилактики деструктивных проявлений в образовательной среде Челябинского института развития профессионального образования
- ☑ Научно-образовательный центр «Цифра» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского
- ☑ Кафедра философии Челябинского государственного университета
- ☑ Кафедра философии и культурологии Челябинского государственного института культуры
- ☑ Кафедра философии и методологии науки Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- ☑ ТоммиГан – Агентство эффективной интернет-рекламы



Рис. 1. Команда гранта



Рис. 2. Круглый стол «Цифровая антропология»

Установить мобильное приложение  
"Цифровая аскетика"



**ЦИФРОВАЯ  
АСКЕТИКА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Рис. 3. «Цифровая аскетика»: пособие + приложение

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ МАССОВОЙ КРЕАТИВНОСТИ: ДИАГНОСТИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Руководитель проекта – доктор психологических наук,  
профессор В.Г. Грязева-Добшинская

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выявление универсальных факторов массовой креативности субъектов (разных возрастов и профессий) и создание типологии креативности субъектов в контекстах культуры на основании количественных и качественных показателей с последующей диагностикой на основе методов машинного обучения.

### ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

2 научных доклада на международных конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Психологическая диагностика креативности на основе образной и вербальной тестовой продукции комплекса методик (Торренса, Урбана, Вартегга) с использованием общих, специфических и новых показателей креативности и многомерных статистических методов анализа данных, направленных на выявление значимости показателей и подтверждение дифференциации субъектов.
- Разработка на основе машинного обучения автоматизированных систем сбора и обработки данных психологической диагностики для фигурного теста Е. Торренса на разновозрастных и профессиональных выборках.
- Разработка авторского теста креативности с автоматизированной системой диагностики на основе машинного обучения.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Выявление универсальных факторов креативности (на выборках субъектов разных возрастов и профессий) на основе анализа современного состояния и применения статистических методов анализа данных психологической диагностики.
- База данных различных параметров креативности на основе образной и вербальной

тестовой продукции по тесту Торренса (на выборках школьников, студентов, взрослых различных профессиональных групп, 3000 человек).

- Типология креативности субъектов в контекстах культуры на основании соотношения универсальных факторов креативности, которая позволит более точно учитывать вариативность индивидуальных креативных ресурсов субъектов в обучении и профессиональной деятельности.
- Авторский тест креативности на основе выявленных универсальных факторов креативности. Подобная психологическая методика отсутствует в настоящее время, зарубежные и отечественные аналоги не охватывают весь спектр как общих, так и специфических показателей для разновозрастных и профессиональных выборок.
- Модель диагностики по тесту Урбана на основе методов машинного обучения.
- Автоматизированные модели и технологии диагностики креативности для классической и онлайн-версии теста Торренса на основе машинного обучения.
- Интернет-портал для проведения массовых мониторинговых исследований по оценке креативности.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Психологическая диагностика массовой креативности, включающей универсальные и специфические факторы, на основе методов машинного обучения, выполненная в рамках междисциплинарного проекта



на различных возрастных и профессиональных выборках, позволяет применять данные методы в различных сферах творчества и инноваций.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведен анализ современных исследований универсальных факторов креативности, выявлены актуальные проблемы исследований креативности и обозначены теоретические основания разработки методики диагностики массовой креативности:
    - развитие интегративных концепций и эмпирических исследований, включающих диагностику свойств креативного мышления и творческой личности;
    - выявление универсальных факторов креативного мышления и творческой личности;
    - выявление обобщенных факторов креативности, их моделирование;
    - изучение специфических аспектов креативности, связанных с особенностями социокультурных контекстов ситуации творчества субъектов, включающих специфику сфер творчества и региональных культур;
    - изучение специфики вариантов повседневной креативности, что показывает актуальность диагностики массовой креативности в будущих исследованиях повседневной креативности, а также в кросс-культурных исследованиях;
    - изучение социокультурных аспектов идентификации творческой личности, определяющих типологическую специфику субъектов творческой деятельности.
- Выявлены актуальные запросы на психологическую диагностику массовой креативности (в аспектах сфер творчества и социокультурной специфики ее субъектов) и разработку методологических оснований ее диагностики, а также дифференциально-психологический подход, основанный на выявлении обобщенных факторов креативности и моделировании их вариантов. На основании выявленных тенденций обозначено актуальное направление эмпирического изучения креативности: от определения универсальных факторов творческого мышления и творческой личности, фиксируемых в различных выборках и культурах, к выявлению обобщенных факторов и дифференциации на их основе различных типов

творцов. Предположительно, типы творцов различаются соотношением когнитивных и личностных свойств, включенных в обобщенные факторы, что определяет их специфические ресурсы и возможности достижений в разных социокультурных контекстах. Обозначенные актуальные направления исследований креативности опираются на разработку и применение современных методов машинного обучения в диагностике универсальных факторов креативности.

- ☑ Проведена диагностика креативности по тесту Торренса в бумажной версии на разновозрастных и профессиональных выборках (3007 протоколов). Выборка включает воспитанников детских садов, обучающихся общеобразовательных школ и лицеев, студентов разных специальностей и взрослых разных профессий.
- ☑ Сформированы базы оцифрованных результатов по тесту Урбана (1823 респондента) и тесту Торренса (3007 респондентов). Бумажные бланки для каждого респондента оценены экспертами и оцифрованы.
- ☑ Создана пилотная версия модели диагностики по тесту Урбана. В качестве выхода модели использовался балл респондента по тесту. Для оценки точности модели использовалась метрика  $R^2$  (коэффициент детерминации). Обученные модели на базе MobileNet показали самый высокий показатель точности предсказания 76 %. Для оценки признаков, на которые опирается обученная модель на базе MobileNet в своем прогнозе, был применен метод объяснимого искусственного интеллекта Grad-CAM. В результате применения метода к каждому из изображений из тестовой выборки на выходе получены изображения, в которых отмечены зоны активации, то есть области, которые в большей степени повлияли на прогноз модели.
- ☑ На основе результатов эмпирических исследований обобщенных факторов креативного мышления и специфики социокультурной идентификации субъектов выявлены параметры дизайна авторской методики диагностики креативности и эффективные в плане массовой диагностики варианты стимульного материала.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ☑ Лаборатория «Психологии и психофизиологии творчества» Психологического института РАН (ИПРАН).



Рис. 1. Результат применения Grad-CAM к обученной модели для рисунка испытуемого с высоким уровнем креативности

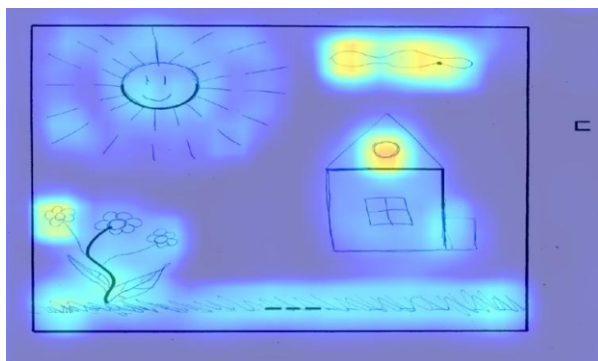


Рис. 2. Результат применения Grad-CAM к обученной модели для рисунка испытуемого с низким уровнем креативности

# МИГРАЦИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ В РАМКАХ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНОГО АНАЛИЗА АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (БРОНЗОВЫЙ ВЕК ЮЖНОГО УРАЛА)

Руководитель проекта – доктор исторических наук, почетный работник сферы образования Российской Федерации А.В. Епимахов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение роли коллективной миграции и индивидуальной мобильности в формировании социально-экономических структур, протекании социальных и культурных процессов.

## ПУБЛИКАЦИИ

12 научных статей

8 научных докладов на конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи Scopus, в т. ч. 1 статья – в журнале Q1

1 статья в журнале из перечня RSCI

7 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➔ Картирование значений биодоступного стронция в горнолесной и лесостепной частях Южного Зауралья с захватом крупных генетически и геохронологически гетерогенных структурно-формационных зон.
- ➔ Решение методических задач, способствующих корректной оценке местного/неместного происхождения древних индивидов при помощи изотопии стронция: проверка сходимости результатов интерполированных карт с отношениями Sr в зубной эмали локальных немигрирующих видов млекопитающих; определение влияния диагенетических процессов и др.
- ➔ Реконструкция социально-экономической специфики сообществ позднего бронзового века, обусловленной миграционной активностью, индивидуальной и коллективной мобильностью.
- ➔ Сравнение доли автохтонных и аллохтонных индивидов в отдельных памятниках и сообществах различных этапов бронзового века и культурных образований исследуемого региона; оценка динамики миграционной активности на протяжении II тыс. до н.э.
- ➔ Выявление особенностей, сходства и различия диеты местных и неместных организмов бронзового века при помощи сравнения результатов отношений изотопов стронция, азота и углерода.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Впервые будут рассмотрены однокультурные коллективы разных ландшафтных зон с точки зрения фактора мобильности, диагностируемой по результатам анализа соотношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Сложная история формирования коллективов будет диагностирована и по данным о составе стабильных изотопов (C/N), которые могут сигнализировать о разных традициях диеты. Разграничение социального и гетерогенного факторов будет проведено методами геохимии, анализа археологического контекста и пр. Эта и другие виды информации позволят детализировать представления о формах и характере миграций и мобильности скотоводческих обществ, углубить понимание процессов их формирования и функционирования.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Расширение площади карты локальной вариативности изотопов стронция до 80 000 кв. км позволит оценить степень мобильности и диагностировать миграции для всех археологических эпох. Выработанная методика создания такого рода ГИС-ресурсов, применения методов геостатистики может быть использована для любых террито-

рий с вариативной геологической структурой. Для разработок в данной области важны также статистически достоверные выводы о репрезентативности разных источников биодоступного стронция.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

Анализ стратегий соотнесения результатов измерений археобиологических и фоновых образцов стронция позволил выбрать оптимальный способ построения карт и статистические процедуры верификации. Завершен пробоотбор фоновых образцов с площади 33 000 кв. км к северу от реки Уй (Тобольский бассейн). Проведены измерения более 150 проб (фоновые и археологические

образцы). Предварительные результаты анализа для эпонимного могильника Алакульский позволили выявить индивидов, резко отличных по соотношению Sr-изотопов. Расширена источниковая база измерений соотношений изотопов азота и углерода. В результате обнаружены статистические выбросы – индивиды, резко отличные от основной группы, т. е. происходящие из иной климатической зоны. Реконструированы особенности животноводства разных культур одного археологического микрорайона.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Институт истории и археологии УрО РАН
- ☑ Институт геологии и геохимии им. ак. А.Н. Заварицкого УрО РАН
- ☑ Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН
- ☑ Институт экологии растений и животных УрО РАН
- ☑ Институт географии РАН

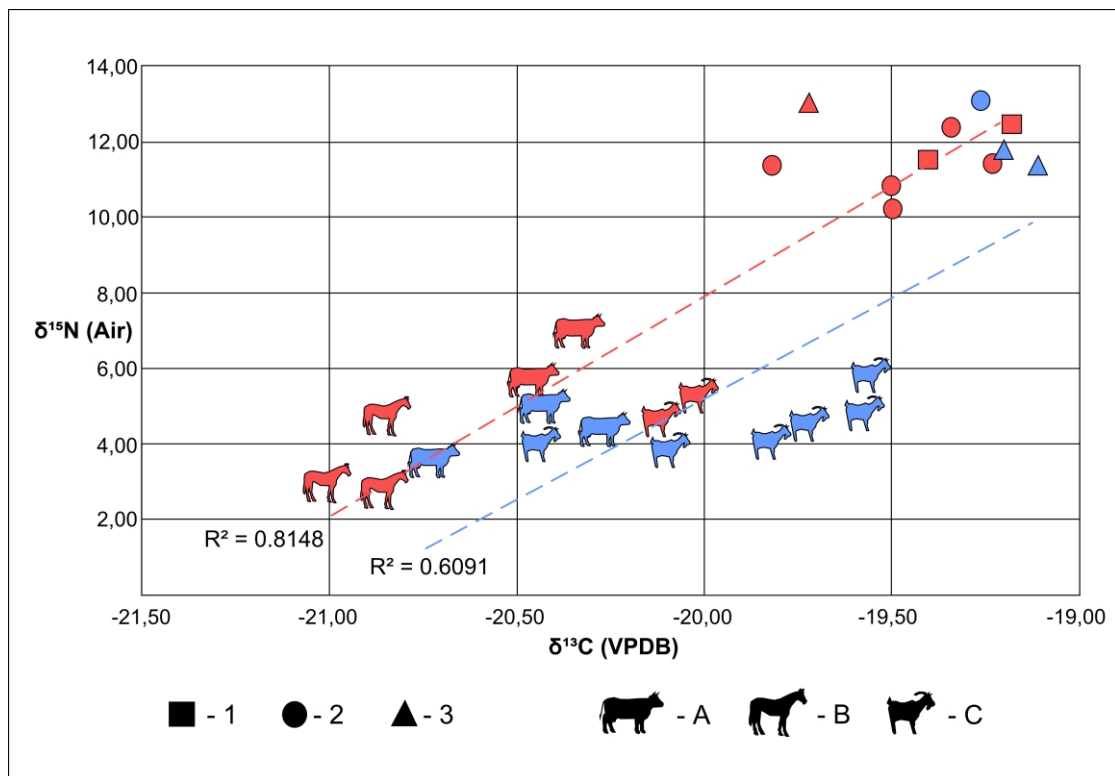


Рис. 1. Микрорайон с. Степное (Пластовский район Челябинской области). График размещения показателей  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  людей и травоядных животных при группировке серии по археологическим культурам бронзового века с нанесением линии тренда (синташтинская культура – синий цвет, петровская – красный). 1 – мужчина; 2 – женщина; 3 – ребенок (не удалось определить пол). А – КРС; В – лошадь; С – МРС.

# ЦИФРОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ (РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ)

Руководитель проекта – кандидат философских наук, доцент Р.В. Пеннер

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Комплексное исследование цифровой грамотности:  
– выявление критериев цифровой грамотности;  
– диагностика цифровой грамотности у учащейся молодежи (школы, ссузы, вузы региона);  
– разработка прикладной методологии и системы мероприятий по формированию цифровой грамотности у молодежи Челябинской области.

### ПУБЛИКАЦИИ

66 научных статей

2 патента

21 научный доклад на конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

7 статей в WoS

57 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Выявление ключевых проблем молодежи, в том числе представителей от национальных меньшинств, в цифровой среде (региональный масштаб).
- Концептуализация цифровой грамотности (междисциплинарное исследование).
- Разработка программы (результатирующей труды экспертов региона) по формированию цифровой грамотности молодежи Челябинской области.
- Разработка электронной платформы «Цифровая антропология», объединяющей экспертов из Челябинской области, других регионов страны и зарубежных специалистов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Публикация результатов комплексного исследования цифровой грамотности (региональный масштаб) будет производиться в ряде индексируемых российских и зарубежных изданий.
- Организация конференции по цифровой грамотности с привлечением специалистов в соответствующей сфере и педагогов из города и области с последующей публикацией ее результатов.

- Организация межвузовской коллаборации под эгидой региональных вузов с целью эффективного внедрения мер цифровой грамотности в образовательный процесс.
- Разработка и внедрение технологий формирования цифровой грамотности у учащихся школ, ссузов и вузов Челябинской области.
- Издание монографических исследований, результирующих исследование цифровой грамотности по отдельным аспектам (философско-социальный, философско-антропологический, социологический, прикладной).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Приложение #Цифроваяаскетика в удобном мобильном формате: [https://apps.rustore.ru/app/com.ne\\_lopatin.Digital\\_print](https://apps.rustore.ru/app/com.ne_lopatin.Digital_print). Приложение нацелено на формирование цифровых навыков вне угрозы цифровой зависимости у обучающейся молодежи.
- Формирование электронной площадки, объединяющей экспертов по цифровой грамотности:
  - сайт <https://digitalanthropology.ru/>,
  - ВКонтакте <https://vk.com/digitalanthropology>,
  - Телеграм <https://t.me/digitalanthropology>.



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

1. Организованы и проведены научные мероприятия по тематике гранта:

1.1. Региональная научно-практическая конференция «Профилактика деструктивных практик в цифровой среде и меры повышения цифровой грамотности обучающихся: презентация результатов исследований и формирование экспертного сообщества в области социально-гуманитарных наук в регионе» (28.02.2023 г.).

1.2. Теоретическая конференция для исследователей в сфере социально-гуманитарных дисциплин «Кино в цифровую эпоху», проведенная совместно с кафедрой философии и методологии науки Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, группой Магнетит и Администрацией Саткинского муниципального района (05-07.07.2023 г.).

1.3. Круглый стол «Ценностные практики и дискурсы в праве» в рамках XV Международной научной конференции «Теоретическая и прикладная этика: традиции и перспективы – 2023. Разумность. Практичность. Человечность» (СПбГУ, 16-18.11.2023 г.).

1.4. Соорганизация VIII Международной научно-практической конференции «MEDIAОбразование. Цифровая среда: между позитивом и деструкцией» (21-23.11.2023 г.).

1.5. Соорганизация образовательного форума «Травля – это не норма 3.0» в рамках реализации регионального плана Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации на территории Челябинской области (19.10.2023 г.).

1.6. Соорганизация I Всероссийского образовательного форума с международным участием «MEDIAОбразование. Я профессионал: медиамастерская» (24.11.2023).

1.7. Секция «Гуманитарные основания природосберегающей деятельности» в рамках Всероссийской конференции «Современные материалы и методы решения экологических проблем постиндустриальной агломерации» (ЮУрГУ, 14.12.2023 г.).

2. Члены команды приняли участие в более 15 научных мероприятиях, среди которых всероссийские и международные конференции и форумы.

3. Монографии:

3.1. Цифровая грамотность обучающейся молодежи Челябинской области: социологический анализ / Е.И. Салганова, С.С. Бредихин, Н.А. Гафнер [и др.] ;

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Институт медиа и социально-гуманитарных наук, Кафедра социологии, Государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования «Челябинский институт развития профессионального образования», Научно-исследовательский центр мониторинга и профилактики деструктивных проявлений в образовательной среде. – Челябинск : ИЦ «Павлин», 2023. – 163 с. – ISBN 978587901993.

3.2. Пеннер Р.В. Картография цифрового: опыты философского понимания / Р.В. Пеннер. – Челябинск : Библиотека А. Миллера, 2023. – 246 с. – ISBN 978-5-93162-0000-0.

4. Учебно-методические разработки:

4.1. Цифровая аскетика : учебно-методическое пособие / А.Н. Гулеватая, Э.М. Валева, Е.Г. Миляева [и др.]. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – 77 с.

4.2. Цифровая аскетика : учебное пособие для практических занятий / Е.В. Гредновская, А.Н. Гулеватая, Е.Г. Миляева [и др.]. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – 123 с. – ISBN 978-5-696-00000-0.

4.3. Экология бытия человека: учебное пособие / Отв. ред. Соломко Д.В., Гредновская Е.В. // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Южно-Уральский государственный университет, Институт медиа и социально-гуманитарных наук, Кафедра «Философия». – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – 150 с. – ISBN 978-5-696-00000-0.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Научно-исследовательский центр мониторинга и профилактики деструктивных проявлений в образовательной среде Челябинского института развития профессионального образования
- ☑ Научно-образовательный центр «Цифра» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского
- ☑ Кафедра философии Челябинского государственного университета
- ☑ Кафедра философии и культурологии Челябинского государственного института культуры
- ☑ Кафедра философии и методологии науки Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- ☑ Администрация Саткинского муниципального района
- ☑ ТоммиГан – Агентство эффективной интернет-рекламы

# ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ И «УДАРОПРОЧНОСТИ» ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА МОНОПРОФИЛЬНЫХ РЕГИОНОВ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ: ДИАГНОСТИКА И МЕХАНИЗМ ПЕРЕФОРМАТИРОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ ПОЛИТИКИ

Руководитель проекта – доктор экономических наук, профессор И.В. Данилова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Решение фундаментальной научной проблемы адаптации экономики и промышленного сектора монопрофильных регионов в условиях внешних ограничений, повышение восстановительного потенциала и активизации отраслевых и пространственных факторов ударопрочности в интересах трансформации структурной политики и выбора оптимального трека развития.

### ПУБЛИКАЦИИ

7 научных статей

3 научных доклада на международных конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus/WoS

1 статья в журнале из перечня RSCI

2 статьи в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Разработать теоретическую модель функционирования промышленного сектора монопрофильных регионов в условиях внешних ограничений, определить факторы «ударопрочности», классифицировать индустриальный потенциал и региональные детерминанты, выделить структурные преимущества, способствующие стабилизации экономики.
- Провести диагностику каналов воздействия внешнеэкономических ограничений на промышленный сектор монопрофильных регионов, оценить потенциал восстановления краткосрочной и долгосрочной динамики региональной экономики.
- Разработать методику стресс-тестирования «ударопрочности» и адаптационных способностей регионального отраслевого пространства, разработать тепловую карту территориальных локаций уязвимости развития.
- Обосновать модель трансформации индустриального пространства и сценарии доступных стратегий развития региональной экономики; сформировать типовые механизмы структурной политики по преобразованию регионального отраслевого пространства.
- Разработать алгоритм стабилизационного отбора «эффективных» сценариев структурной политики, сформировать информационные карты изменений регионального

индустриального пространства в условиях внешних ограничений с учетом индикаторов изменений промышленного сектора и внутриотраслевой и межтерриториальной связанности.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Теоретическая модель функционирования промышленного сектора монопрофильных регионов с учетом неоднородности зон уязвимости и факторов стабилизации, разнообразия резилиентности индустрии на отраслевые санкции; региональные профили в разрезе структурных преимуществ регионов, повышающих ударопрочность индустрии региона в целом.
- Алгоритм стресс-тестирования «ударопрочности» регионального отраслевого пространства с учетом внешнеэкономических ограничений, уникальности пространственных и производственных характеристик регионов на основе применения методов машинного обучения; прогноз динамики развития регионов в условиях текущих шоковых событий.
- Тепловая картограмма промышленного сектора монопрофильных регионов на основе индикаторов кратко- и долгосрочной резилиентности к внешним ограничениям; интерактивная картосхема вероятностного прогноза ударопрочности субъектов федерации.

- ➔ Механизм проблемно-ориентированного управления для отбора сценарных подходов монопрофильных регионов, включающий диагностику работоспособности каналов, приводящих к дестабилизации, ограничение динамики развития, идентификацию регионов с высокой восприимчивостью к шокам и их «проблемных зон», оценку накопленных резервов структурной адаптации, пул активных стратегических и оперативных инструментов структурной политики.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

закljučаются в применении на федеральном и региональном уровне разработанной методики стресстестирования ударопрочности, профилей адаптационных характеристик промышленного сектора монопрофильных регионов, тепловой карты уязвимостей, информационной карты изменений отраслевого пространства, практикоориентированных сценариев структурной политики

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Разработана теоретическая модель функционирования промышленного сектора монопрофильного региона в условиях внешних ограничений с учетом

динамики базовой отрасли и кросс-корреляции с перспективными специализациями с разным потенциалом амортизации к санкциям в отношении индустрии; сформированы профили отраслевых отраслей (модели трейсеров) с учетом кратко- и долгосрочной реакции на шоки; выявлены типы резилиентности функционирования промышленного сектора в условиях внешней дестабилизирующей нагрузки на экономику.

- ☑ Разработан методический подход к стресстестированию «ударопрочности» с учетом производственных и пространственных факторов, выявлены факторы, увеличивающие стабильность экономики индустриальных регионов.
- ☑ Разработана тепловая картограмма (2007–2021 гг.) и комплекс индикаторов резилиентности реакции промышленного сектора монопрофильных регионов, выделены территориальные локации с низкой резилиентностью к внешним ограничениям, разработана интерактивная карта уязвимости регионов на текущие события 2022–2023 гг., определены вероятности «ударопрочного» развития индустриальных регионов.
- ☑ Разработана теоретическая модель трансформации регионального индустриального пространства, включая маркеры структурных изменений, преимущества и фундаментальные резервы прочности; обоснован сценарий развития монопрофильного региона (Челябинской области), совокупность индикативных пространственно-производственных целей и индикаторов «ударопрочной» реакции экономики региона на ограничения, аналогичные ситуации 2022–2023 гг.

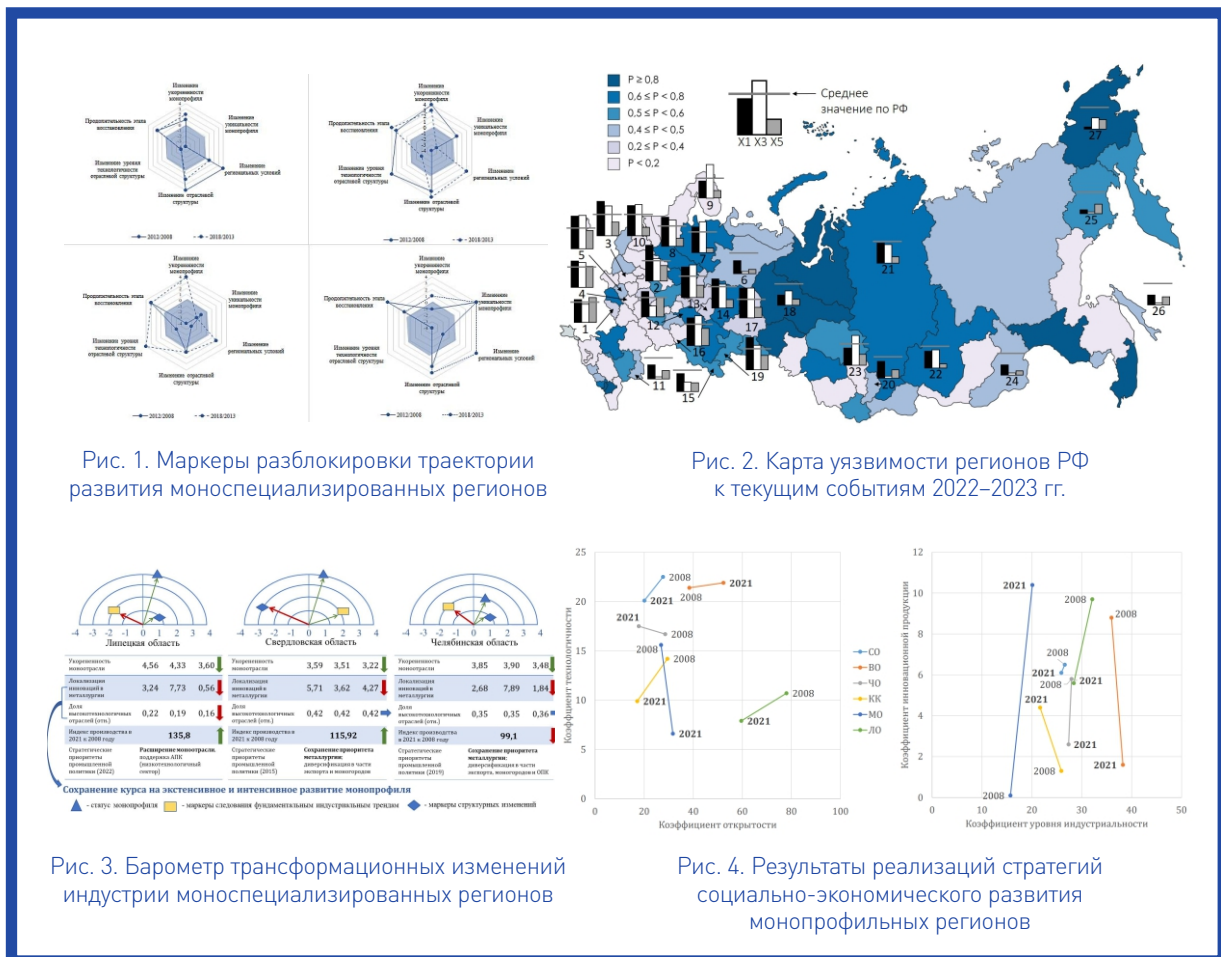


Рис. 1. Маркеры разблокировки траектории развития монспециализированных регионов

Рис. 2. Карта уязвимости регионов РФ к текущим событиям 2022–2023 гг.

Рис. 3. Барометр трансформационных изменений индустрии монспециализированных регионов

Рис. 4. Результаты реализации стратегий социально-экономического развития монопрофильных регионов

# ПРИХОЖАНЕ ЗЛАТОУСТОВСКОГО КОСТЕЛА И ИХ РОЛЬ В СОЦИАЛЬНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОРНОЗАВОДСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА В КОНЦЕ XIX – НАЧАЛЕ XX ВВ.

Руководитель проекта – доктор исторических наук, профессор А.Н. Андреев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект нацелен на системное решение вопроса о социальном и национальном облике католического населения Златоуста и Златоустовского горного округа в конце XIX – начале XX столетий, оценку роли прихожан златоустовской католической церкви в социальной модернизации Южного Урала.

## ПУБЛИКАЦИИ

5 научных статей

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Web of Science

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Анализ метрических книг златоустовского костела (книг записей о крещениях, венчаниях и погребениях с 1899 по 1916 г.). Выявление персонального состава католического прихода в Златоусте.
- Определение национального, сословного и социопрофессионального состава златоустовских католиков.
- Выявление и анализ родственных и духовно-родственных отношений златоустовских католиков, круга их общения и профессионального взаимодействия через практику кумовства.
- Исследование сложившихся в Златоусте и Златоустовском горном округе межконфессиональных связей в форме крестного родства и браков с представителями других конфессий.
- Воссоздание коллективного социального портрета католиков, проживавших в горнозаводской зоне Южного Урала на рубеже XIX–XX веков.
- Подготовка единого (сводного) словаря лиц, упоминаемых в метрических книгах римско-католической церкви Златоуста в конце XIX – начале XX столетия.
- Оценка роли златоустовских католиков в социальной и технологической модернизации южно-уральского региона.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Создание «объемной» модели иностранного социума горнозаводской зоны Южного Урала в конце XIX – начале XX вв. Уточнение социопрофессионального состава «европейской» диаспоры Златоуста. Получение четкой картины участия златоустовских католиков в процессах хозяйственной и социальной модернизации Южного Урала рубежа XIX – XX вв. Формирование и публикация базы данных златоустовских католиков с массой новых сведений об их жизни и деятельности.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты могут быть использованы при оказании образовательных услуг студентам, обучающимся по направлениям «История» и «Теология», путем внедрения в образовательный процесс. Созданные в рамках проекта информационные ресурсы способны стать основным источником информации при оказании услуг генеалогического характера. Выводы могут быть учтены при решении современных проблем межнационального и межконфессионального взаимодействия в России и на Южном Урале, востребованы в университетской и музейной выставочной и просветительно-воспитательной деятельности.



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- Исследование межконфессиональных отношений, сложившихся на рубеже XIX–XX вв. при участии златоустовских католиков, позволило сделать вывод о том, что на ментальном уровне католичество и лютеранство в Златоусте осознавались как традиционные вероисповедания, определяющие социокультурный облик города.
- В составе златоустовского католического прихода выявлены разнообразные профессиональные структуры и многочисленные семейно-клановые группы, включающие в себя лиц близких профессий или работников одной отрасли. Выяснено, что, обладая необходимыми знаниями и трудовыми навыками, а зачастую и редкими профессиональными компетенциями, специалисты-католики были широко задействованы в горно-металлургической отрасли и на предприятиях железнодорожного транспорта.

- Установлено, что местные католики внесли существенный вклад в технологическую модернизацию южно-уральской металлургии, решая самые разные задачи – от внедрения доменных печей (В.М. Мирецкий, С.Л. Жуковский, И.Д. Поразинский) до применения передовых технологий художественной обработки металла (Ч.В. Панцержинский).
- Произведена реконструкция католического сегмента на рынке труда так называемых «социальных профессий» в Златоусте и Златоустовском уезде. Выяснено, что наибольший вклад католики внесли в работу медицинских учреждений (особенно ветеринарной медицины) и судебно-правоохранительных органов.
- Воссоздан коллективный социальный портрет католика златоустовской горнопромышленной территории в конце XIX и начале XX вв. Златоустовский католик чаще всего был представлен поляком или немцем, образованным выходцем из помещичьего и дворянского сословий, городским жителем, прямо или опосредованно вовлеченным в промышленный сектор экономики.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Центральный государственный исторический архив г. Санкт-Петербурга.

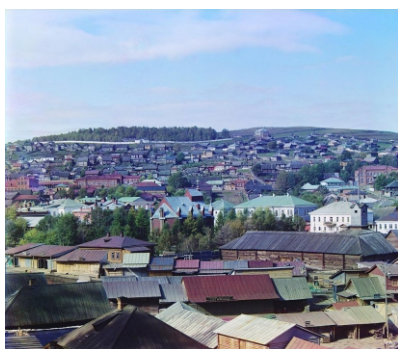


Рис. 1. Панорама города Златоуста с видом на римско-католическую церковь. Фотография С.М. Прокудина-Горского. 1910 г.



Рис. 2. Чеслав Валерианович Панцержинский (1854–1908). В 1883–1891 гг. был управляющим Кусинским заводом, многое сделал для усовершенствования технологии местного художественного литья.

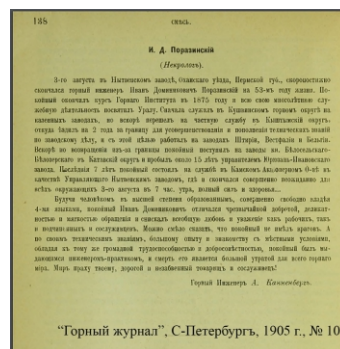


Рис. 3. Некролог инженеру Ивану Доминиковичу Поразинскому в «Горном журнале».



Рис. 4. Эдуард Альбертович Шлипер с женой. Знаменитый врач горных заводов Южного Урала, католик Э.А. Шлипер, происходил из семьи златоустовских немцев-оружейников.



Рис. 5. Станция Златоуст, в окрестностях которой проживало много католиков. Фотография С.М. Прокудина-Горского. 1910 г.

# АРХИТЕКТУРА СОЦИУМА И ДУХОВНАЯ КУЛЬТУРА КОЧЕВНИКОВ ЮЖНОГО УРАЛА В РАННЕМ ЖЕЛЕЗНОМ ВЕКЕ

Руководитель проекта – доктор исторических наук А.Д. Таиров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Комплексная реконструкция вертикальной, гендерно-возрастной, семейно-родственной, профессиональной структур ранних кочевников Южного Урала в системе с элементами духовной культуры; анализ погребальных памятников с целью выделения маркеров вертикального статуса; возрастной, гендерной, профессиональной принадлежности погребенных, с последующим выделением обрядовых групп.

## ПУБЛИКАЦИИ

21 научная статья

12 научных докладов на международных и всероссийских конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

6 статей в Scopus

10 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Анализ погребальных памятников с целью выделения маркеров вертикального статуса; возрастной, гендерной, профессиональной принадлежности погребенных, с последующим выделением обрядовых групп.
- Работа с опубликованными и архивными источниками. Комплексная характеристика памятников ранних кочевников Южного Урала.
- Создание баз данных, ориентированных на систематизацию и хранение информации, связанной с социальными характеристиками погребенных.
- Проведение анализа погребальных памятников, в том числе определение маркеров вертикального статуса, гендерной принадлежности, возраста, профессиональной аффилиации, выявление погребений ритуальных специалистов.
- Сравнение археологических данных по ранним кочевникам Южного Урала с этнографическими данными по культуре кочевых в недавних прошлых народах Центральной Евразии (башкиры, казахи, калмыки).
- Синтез полученной информации и создание стройной концепции социальной структуры, включая реконструкцию элементов духовной сферы.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Выявление обрядовых групп (по возрасту, гендеру, вертикальному статусу, профессиональной принадлежности погребенных) в могильниках раннего железного века Южного Урала на основе создания и анализа базы данных «Могильники раннего железного века на территории Южного Урала», содержащей сведения о локализации и структуре погребальных сооружений, составе и/или композиции сопроводительных артефактов, палеоантропологические данные.
- Интерпретация социального содержания каждой обрядовой группы (группы с различным вертикальным статусом, гендерные группы, возрастные группы, ритуальные специалисты, воины) и взаимоотношений между ними.
- Социальная характеристика обществ раннего железного века Южного Урала в сочетании с элементами реконструкции духовной культуры.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Реализация проекта имеет большое значение для популяризации и визуализации знаний по истории родного края;

результаты могут использоваться для подготовки учебных курсов для студентов и школьников, организации музейных экспозиций и выставок, публичных лекций и исторических парков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Созданы четыре базы данных, ориентированные на систематизацию и хранение информации, связанной с гендерно-возрастными и профессиональными характеристиками погребенных.
- ☑ Проведено структурно-аналитическое исследование основных элементов погребального обряда населения раннего железного века степной зоны Южного Урала. Выявлены и охарактеризованы обрядовые

группы по возрасту, гендеру, вертикальному статусу, профессиональной принадлежности погребенных.

- ☑ Дана интерпретация социального содержания каждой обрядовой группы (группы с различным вертикальным статусом, гендерные группы, возрастные группы, ритуальные специалисты) и взаимоотношений между ними.
- ☑ Получены дополнительные данные об этнокультурных контактах населения Южного Зауралья в I тысячелетии до н.э. на основе анализа предметов материальной культуры.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск
- ☑ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
- ☑ Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения РАН, г. Миасс, Челябинская область



Рис. 1. Уздечные бляшки бронзовые. 1 – случайная находка в урочище Карпино; 2 – курганная группа у с. Подгорное



Рис. 2. Кичигинская жрица (IV в. до н.э.) Реконструкция К. Алтынбекова

# КАЗАКИ ЧЕЛЯБИНСКА ВО ВТОРОЙ ЧЕТВЕРТИ XVIII – ПЕРВОЙ ЧЕТВЕРТИ XX в.: ФОРМИРОВАНИЕ, ПОВСЕДНЕВНАЯ И ОБЩЕСТВЕННАЯ ЖИЗНЬ

Руководитель проекта – доктор исторических наук, доцент **Е.В. Волков**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Реконструкция процесса формирования и трансформации казачьего населения Челябинска, его социально-демографических характеристик и хозяйственных занятий, участия в общественно-политической деятельности во второй четверти XVIII – первой четверти XX столетия

### ПУБЛИКАЦИИ

14 научных статей

10 научных докладов на конференциях

### ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus/WoS

10 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Изучить особенности формирования казачьего населения Челябинской крепости в XVIII в. в процессе русской колонизации Южного Урала.
- Дать социальные характеристики казачьего населения Челябинска в конце XVIII – XIX веке в сравнении с другими городскими сословными группами.
- Реконструировать разные аспекты повседневной жизни казачьего населения в дореволюционном Челябинске и Челябинской станице.
- Показать общественно-политическую деятельность казаков в Челябинске и округе в период революции и Гражданской войны.
- Охарактеризовать разные стратегии адаптации казаков Челябинска и округи в условиях политики советской власти в отношении казачества в период Гражданской войны.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- Сформулировать основные теоретические подходы исследования.
- Проанализировать историографические тенденции по истории оренбургского казачества.
- Выявить корпус наиболее репрезентативных письменных источников по тематике и проблематике исследования.

- Показать процесс формирования и социальной трансформации казачьего населения Челябинска в XVIII – начале XX в.
- Показать роль казаков Челябинска в период Пугачевского восстания.
- Проанализировать общественно-политическую позицию основной части казачьего населения Челябинска и Челябинской станицы в революционный период (февраль 1917 г. – январь 1918 г.).
- Представить основные стратегии адаптации казачьего населения Челябинска и близлежащих поселков к новой общественной и социальной ситуации, связанной с установлением советской власти на завершающем этапе Гражданской войны.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В научных исследованиях по истории оренбургского казачества; в преподавании курсов по истории Южного Урала; в области Public History (документальное кино, музейные экспозиции, научно-популярная литература); для развития исторического туризма на Южном Урале.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- Апробированы основные теоретические подходы исследования на основе концепций фронтальной



модернизации (И.В. Побережников) и социальных изменений (П. Штомпка).

- ✓ Проанализированы историографические тенденции по истории оренбургского казачества, начиная со второй половины XIX столетия до настоящего времени.
- ✓ Выявлен корпус основных наиболее репрезентативных письменных источников и свидетельств религиозной культуры по тематике и проблематике исследования.
- ✓ Показаны процессы формирования казачьего населения Челябинска в XVIII в., связанные с русской колонизацией Южного Урала и миграционными потоками крестьянского населения.
- ✓ Проанализированы причины прихода поселенцев-крестьян в Челябинскую крепость.
- ✓ Выявлена «малая родина» первопоселенцев и маршруты их миграции на Южный Урал.
- ✓ Дана общая характеристика религиозности первопоселенцев Челябинской крепости.
- ✓ Проанализированы причины постройки казаками первой церкви Челябинской крепости и мотивации номинации храма.
- ✓ Реконструирован быт казаков Исетской провинции, административным центром которой являлся Челябинск.
- ✓ Показана роль казаков Челябинска в период Пугачевского восстания в контексте разных историографических трактовок о степени участия оренбургского казачества в антиправительственной борьбе в данное время.
- ✓ Описаны социальные группы, семейный состав, материальное благосостояние, хозяйственные занятия, даны другие социальные характеристики казаков-горожан в конце XVIII века по данным городских обывательских книг Челябинска.

- ✓ Представлены социальные группы, семейный состав, материальное благосостояние, хозяйственные занятия и другие социальные характеристики казаков-горожан в первой половине XIX века по данным городских обывательских книг Челябинска и другим документам.
- ✓ Охарактеризованы социальные изменения в среде казаков – жителей Челябинска на рубеже XIX–XX вв. в контексте модернизационных процессов в России.
- ✓ Раскрыты особенности политической позиции казаков в период Великой российской революции (1917 г. – начало 1918 г.), когда Челябинск и поселки Челябинской станицы стали одним из важных центров общественно-политической борьбы в территориальных рамках Оренбургского казачьего войска.
- ✓ Представлены сведения о выстраивании сотрудничества части лидеров казачьего населения Челябинска и Челябинской станицы с новой большевистской властью в указанный период.
- ✓ Обозначены основные стратегии адаптации казачьего населения Челябинска и близлежащих поселков к новой общественной и социальной ситуации, связанной с политикой советской власти в отношении казачества в период Гражданской войны.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ✓ Ассоциация антропологов и этнологов России
- ✓ Центр истории и культуры казачества (ЦИКК) Российской государственной библиотеки



Рис. 1. Оренбургские казаки. Сентябрь 1914 года



Рис. 2. Соборная площадь в Челябинске. Почтовая открытка начала XX века



Рис. 3. Челябинск. Николаевский поселок при станции. Почтовая открытка начала XX века

# КРУПНЫЕ ХОЗДОГОВОРНЫЕ РАБОТЫ

Заказчик	Научный руководитель	Наименование работы
ООО «УДМЗ»	Рождественский Ю.В.	Разработка эскизной и рабочей конструкторской документации поршня для дизельных двигателей размерности 18,5/21,5 с цилиндровой мощностью 240 кВт и изготовление экспериментальных и опытных образцов такого поршня
ОАО «ВТИ»	Школин С.Б.	Разработка технического проекта, а также участие в приемсдаточных испытаниях опытно-промышленного образца инновационной высокоэффективной водовоздушной эжекторной установки для вакуумной системы энергоблока Кармановской ГРЭС
ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК»	Бондарь В.Н.	Разработка рекомендаций по устранению дефектов серийных двигателей производства ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК», выявляемых в процессе гарантийной наработки
ООО «Институт Легких Материалов и Технологий»	Закиров Р.А.	Исследование деформационного поведения экспериментального алюминиевого сплава 1581 в условиях горячей деформации
ПАО «ММК»	Закиров Р.А.	Разработка проектно-конструкторской документации на нагревательную печь № 1 стана 2350 ПТЛ ПАО «ММК»
ООО «КЗ «Ростсельмаш»	Закиров Р.А.	Проектирование и разработка КД «Мосты ведущие управляемые погрузчика телескопического с/х РСМ 7-40»
ООО «КЗ «Ростсельмаш»	Закиров Р.А.	Проектирование и разработка КД «Мосты фронтального погрузчика»
ООО «Компас Плюс»	Замышляева А.А.	Разработка методики адаптивного обучения по IT-дисциплинам в рамках электронных курсов
АО «Челябинский цинковый завод»	Жеребцов Д.А.	Изготовление стандартных образцов цинк-алюминий-магниевых сплавов
ООО «РнД МГТУ»	Хасанов А.Р.	Проектирование системы вибродиагностики на стане 170 СЦ с применением технологий IIoT
ООО «ИТМ»	Закиров Р.А.	Разработка вакуумного подметально-уборочного оборудования для аэродромной машины на автомобильном шасси с функциями продувки аэродромного полотна и сбора противообледенительных реагентов
ООО «Климатэлектро»	Хасанов А.Р.	Выполнение пусконаладочных работ для внедрения системы: «ПТК удаленного мониторинга режимов работы насосных станций и распределительных сетей оборотного и технического водоснабжения с функциями предиктивного анализа состояния оборудования на основе беспроводных технологий»
ПАО «ММК»	Барбасова Т.А.	Создание системы масс-дискретного контроля и цифровой оптимизации процессов управления дозированием железорудного сырья с целью стабилизации рудной нагрузки и шлакового режима доменной печи № 9
ПАО «ММК»	Хасанов А.Р.	Техническая поддержка программного обеспечения автоматизированной системы управления энергоэффективностью [АСУ-Э] ЦЭС, включая программное обеспечение системы автоматического регулирования режимов паровых котлов [САР-ПК] ЦЭС по критерию минимума потребления природного газа
ООО «УриЦ»	Ардашев Д.В.	Разработка комплекта конструкторской документации на изготовление опытного образца датчика положения поршень-штока следящего гидропривода
ООО «Торговый дом Технохим Групп»	Попов А.Е.	Комплексные лабораторные исследования и стендовые испытания моторного масла
Союз строительных компаний Урала и Сибири	Дзюба М.А.	Исследование электропотребления многоквартирных жилых домов с целью обоснования удельных показателей и поправочного коэффициента для расчета электрических нагрузок жилых зданий с электрическими плитами в Челябинской области
АО «НПО Андроидная техника»	Закиров Р.А.	Комплект электронно-цифровых копий конструкторской документации
ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК»	Бондарь В.Н.	Проведение работ по повышению технического уровня, качества изготовления двигателей
ООО «Уралспецмаш»	Самодурова М.Н.	Разработка технологии промышленного производства графитовых лопаток на вакуумный пластинчато-вакуумный насос
ООО «Компас Плюс»	Замышляева А.А.	Разработка методики адаптивного обучения по IT-дисциплинам в рамках электронных курсов
ООО «УриЦ»	Ардашев Д.В.	Изготовление испытательного стенда и опытного образца датчика положения поршень-штока следящего гидропривода с блоком обработки сигнала
ООО Завод «СТИ ППУ»	Авдин В.В.	Формирование опытных образцов неизоцианатных полиуретанов на основе компонентов из отечественного сырья
ПАО «ММК»	Закиров Р.А.	Разработка проектно-конструкторской документации

Заказчик	Научный руководитель	Наименование работы
АО «Соединительные отводы трубопроводов»	Иванов М.А.	Исследование технологии гибки отводов, изготовленных из термомеханически упрочненной стали класса прочности К60
ООО «Интеллект-Ресурс»	Сурина-Марышева Е.Ф.	Разработка технологии оперативного и текущего контроля за функциональным и психологическим состоянием спортсменов в детско-юношеском спорте
ПАО «Сибур Холдинг»	Попов А.Е.	Моторно-стендовые сравнительные испытания образцов бензина с добавлением различных октанповышающих присадок
ООО «КЗ «Ростсельмаш»	Закиров Р.А.	Опытно-конструкторские работы по теме: «Мосты экскаватора-погрузчика РСМ 9-20»
ПАО «ММК»	Шепелёв В.Д.	Оказание услуг по цифровому мониторингу количества и концентрации выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в режиме реального времени на основе программы для ЭВМ «Интеллектуальная система мониторинга количества выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в режиме реального времени»
АО «АЗ УРАЛ»	Закиров Р.А.	Разработка и освоение в производстве раздаточных коробок перспективного технического уровня с возможностью дополнительного отбора мощности для полноприводных автомобилей и колесной техники отечественного производства в рамках реализации направления по импортозамещению компонентной базы
ООО «УДМЗ»	Попов А.Е.	Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов газопоршневого двигателя типа ЧН18.5/21.5
ООО «УриЦ»	Ардашев Д.В.	Проектирование технологии и конструкторско-технологического оснащения участка производства датчиков положения поршень-штока следящего гидропривода
ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG»	Гамов П.А.	Исследование процесса твердофазного восстановления хромового сырья Кемпирсай метансодержащими газами
ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»	Сарафанов А.Е.	Исследование и разработка технологии роликового волочения проволоки из титанового сплава Ti <sub>6</sub> Al <sub>4</sub> V (Grade 5)
АО «НИИ МАШ»	Фёдоров В.Б.	Исследование и разработка методики профилирования охлаждаемого центрального тела совместно с некруглым критическим сечением камеры сгорания для повышения эффективности работы многокамерной двигательной установки
ООО «Специализированный застройщик "Новая Девелопмент»	Мишнев М.В.	Разработка системы быстровозводимых домов
ООО Завод «СТИ ППУ»	Авдин В.В.	Новые изоцианатные химически стойкие (включая коррозионностойкие) покрытия для металлических и неметаллических поверхностей
ООО «Горнолыжный курорт «Солнечная долина»	Максимова Т.В.	Анализ и оценка пассажиропотока в Солнечную долину (г. Миасс) и перспектив его роста в течение 10 лет с учетом динамики и социально-экономического развития региона
ПАО «ММК»	Хасанов А.Р.	Разработка системы наполнения горна на доменной печи № 6 с целью улучшения отработки жидких продуктов плавки
ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»	Тараненко П.А.	Разработка модели напряженно-деформированного состояния снегоболотохода «Бурлак»
ПАО «УЗТМ»	Бондарь В.Н.	Исследовательские испытания дизельного двигателя с турбонаддувом
ООО «УриЦ»	Ардашев Д.В.	Исследование и научное обоснование архитектуры, возможных решений программных модулей, а также алгоритмизации программных процедур обеспечения сетевого режима эксплуатации электрогидравлического усилителя мощности в программном комплексе для управления, настройки и диагностики следящего гидропривода с гидростатическими направляющими
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	Самодурова М.Н.	Комплекс исследований по использованию лазерной наплавки для получения образцов TRIP-сталей
ООО «КЗ «Ростсельмаш»	Закиров Р.А.	Прочностной расчет несущих и рабочих металлоконструкций экскаватора-погрузчика РСМ 8-10
ПАО «ММК»	Закиров Р.А.	Разработка проектно-конструкторской документации для установки автоматической системы смазки паровой машины и объединения в одну станцию существующие маслостанции стана 4500 ПТЛ ПАО «ММК»
ООО «НТЦ-Конар»	Самодурова М.Н.	Разработка и совершенствование конструкций технологической оснастки для реализации интенсивной пластической деформации высокоэнтропийных сплавов

# АКСЕЛЕРАЦИОННАЯ ПРОГРАММА ЮУрГУ 2023

Руководитель проекта – проректор по образовательной деятельности **М.В. Потапова**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель акселерационной программы «Акселератор ЮУрГУ» – сформировать пул технологических стартап проектов Челябинской области для обеспечения суверенитета Российской Федерации за счет комплексной поддержки студенческих команд при участии вузов, высокотехнологичных компаний региона, бизнес-экспертов, институтов развития и потенциальных инвесторов.

## ПУБЛИКАЦИИ

**1** свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Вовлечение студентов, аспирантов, преподавателей и других участников в технологическое предпринимательство и поддержка инициатив по созданию стартапов;
- Формирование предпринимательского сообщества на базе ЮУрГУ;
- Развитие компетенций ЮУрГУ и региональных вузов-участников программы в сфере предпринимательства, организации и проведении акселерационных программ;
- Создание и развитие стартап-проектов, разработка новых и доработка существующих технологических решений и бизнес-моделей, формирование инновационных продуктов и услуг, обеспечивающих рост технологической независимости и качества жизни населения как базиса обеспечения суверенитета Российской Федерации.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Реализация программы позволила получить следующие результаты:

- проведено 52 мероприятия;
- вовлечено 1080 человека;
- создано 75 стартап-проектов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

При реализации акселерационной программы «Акселератор ЮУрГУ» в

2023 году был получен ряд значимых результатов.

На Демо-дне акселерационной программы, где были представлен 21 лучший проект при участии промышленных партнеров, институтов развития, венчурных фондов, технологических предпринимателей и других представителей государства и бизнеса, были определены 5 лучших проектов, получивших инвестиции от промышленных партнеров акселерационной программы.

Первое место занял проект «Переработка пыли электродугового переплава». Проект посвящен решению проблемы утилизации и переработки отходов металлургического производства, одним из которых является пыль ДСП. Предложенное решение позволит в перспективе сократить отвалы металлургических комбинатов и тем самым улучшить экологическую ситуацию в городах пребывания подобных предприятий.

Второе место занял проект Autotune Pro. Участники разработали мобильное приложение для автоматического подбора параметров дозирования инсулина для людей с сахарным диабетом 1-го типа. Разработанное командой приложение поможет повысить качество жизни людей, нуждающихся в постоянном мониторинге глюкозы и корректировке доз инсулина.

Третье место занял проект «Умная система зонального контроля естественного проветривания в промышленных теплицах ДЕКА». Участники команды предлагают осуществлять естественное проветривание по зонам: вместо трансмиссионных валов и двигателей большой мощности будет смонтирован на базе реечного редуктора небольшой по мощности двигатель с датчиками, позволяющими открыть фрамугу теплицы при определенных параметрах. Управление зональной системой планируется осуществлять как с операторского пульта, так и на месте – с помощью мобильного ПО.



Четвертое место занял проект «Комплекс автономной системы посадки БПЛА». Разработка позволяет сократить потери БПЛА при их автоматической посадке благодаря достигнутым показателям точности (не менее 3 см) и радиусом действия устройства не менее 10 м.

Пятое место – проект «Игра по повышению финансовой грамотности с собственными механиками «Финансия»», которая имитирует реальную модель происходящих экономических процессов и действия в данных ситуациях экономических субъектов.

Эксперты фонда «Сколково» г. Москва предложили 3 проектам сформировать и подать заявки на резидентство фонда, а именно проекту «Переработка пыли электродугового переплава», проекту Autotune Pro (автоматический подбор параметров дозирования инсулина для людей с сахарным диабетом 1-го типа) и проекту «Умная система зонального контроля естественного проветривания в промышленных теплицах ДЕКА». Участники проектов получают консультации по подготовке и подаче заявки в компании-партнере IT-Park-74 – региональном представителе Фонда Сколково в г. Челябинск;

Студенческими командами велась работа по разработке проектов от технологических партнеров. В финал акселератора вышли проекты от таких индустриальных партнеров вуза, как АО «КОНАР» (проект разработки стенда для испытаний трубопроводной арматуры на огнестойкость) и ООО InSmart (проект разработки конструктора мобильного приложения для интеграции устройство на базе IoT). Компании удовлетворены результатом и готовы к финансированию проектов. Также для управления информатизации ЮУрГУ в рамках акселерационной программы был разработан чат-бот для приемной комиссии (проект Abitsusu, который в настоящее время находится на этапе тестирования и будет использован при организации приемной кампании вуза уже летом 2024 года.

Команда с проектом Autotune Pro получила свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023685555 от 28.11.2023 и в ближайшей перспективе начнется этап масштабирования проекта.

Из 75 проектов, прошедших акселерацию, более 25 уже имеют прототип или MVP, 2 осуществили первые продажи своей готовой продукции (проект Malex Pro – разработка инновационного оснащения для внедорожников, проект AutoTunePro – проект автоматического подбора параметров дозировки инсулина для людей с сахарным диабетом 1-го типа).

Участники финала активно готовятся к подаче заявок на грантовую программу «Студенческий стартап» от Фонда содействия инновациям, где можно выиграть 1 млн на развитие своего проекта.

Участники студенческих команд выпускных курсов будут защищать свои выпускные квалификационные работы в формате «Стартап как диплом». Реализация акселерационной программы существенно увеличила вовлеченность студентов в тематику технологического предпринимательства, увеличив количество заявок на данный конкурс по сравнению с прошлым годом в 2 раза.

Два года реализации акселерационных программ в рамках федерального проекта ПУТП значительно расширили границы взаимодействия вуза с индустриальными партнерами. Предприятия региона все чаще становятся партнерами вуза в целом и акселерационной программы в частности. Уже сегодня собрано более 30 заявок на разработку инноваций в рамках реализации акселераторов ЮУрГУ в 2024 году.

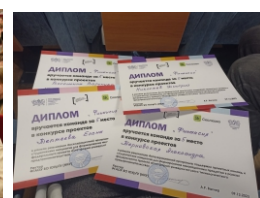
Таким образом, проведенная акселерационная программа поддержки студенческих команд положительно повлияла на мотивацию участников к созданию и реализации собственных проектов. Свыше 900 человек получили консультационную поддержку экспертов программы, что повысит количество успешных технологических предпринимателей в регионе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

За 10 недель программы проведено 52 мероприятия различной направленности. Проведена организационная, трекерская, лекторская и экспертная работа с 1080 участниками региона, создано более 80 студенческих команд и успешно завершено 75 проектов. Все участники программы получили опыт в области предпринимательства, создания собственного стартапа, проведения оценки рыночной привлекательности бизнеса, разработки MVP и вывода инновационного продукта на рынок, развили навыки коммуникаций и работы в команде, познакомились с представителями региональной экосистемы.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ФГБОУ ВО ЮУрГУ Минздрава России
- ☑ ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
- ☑ Уральский филиал Финансового университета ЧОУВО МИДиС
- ☑ Фонд «Сколково», г. Москва
- ☑ ООО «Технопарк ИТ», г. Челябинск
- ☑ ПАО АСКО
- ☑ ООО Конар, г. Челябинск
- ☑ ОАО Челябинский механический завод, г. Челябинск
- ☑ ООО «Экосити», г. Челябинск
- ☑ ООО «ТРИДИВИ», г. Челябинск
- ☑ Группа компаний InSmart, г. Челябинск
- ☑ ООО «СтендАп Инновации», г. Челябинск
- ☑ ООО «Мир электромобилей», г. Москва
- ☑ ООО «Курсир», г. Челябинск
- ☑ ООО «Нейротехноджи», г. Москва



# ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКАЯ ТОЧКА КИПЕНИЯ

В 2022 г. выигран грант на реализацию на базе университетской «Точки кипения» «Предпринимательской Точки кипения», реализуемой в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства», который будет реализован в период с 2022 по 2024 гг.

Руководитель проекта – заместитель директора ЦКР  
Университетская «Точка кипения» Е.В. Бунова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Организация центра предпринимательской экосистемы Челябинского региона, объединяющей студентов, сотрудников вузов и партнеров для развития технологического предпринимательства, привлечения инвестирования в лучшие технологические стартапы и инновационного развития региона.

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- Популяризация предпринимательства и развитие профессиональных компетенций в области предпринимательства у студентов, аспирантов, преподавателей и других участников ПТК.
- Поддержка и развитие студенческих инициатив по разработке проектов и созданию стартапов.
- Обеспечение пространства для коммуникации и взаимодействия между студентами и представителями бизнес-сообщества, а также привлечения инвестирования в лучшие технологические стартапы.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Реализация программы с 2022 по 2023 гг. позволила получить следующие результаты:

- По итогам работы в 2022 г. – вовлечено 2100 уникальных участников в 190 мероприятиях.
- По итогам работы в 2023 г. – вовлечено 2480 уникальных участников в 270 мероприятиях

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Создание центра экосистемы, объединяющей студентов, сотрудников и партнеров вуза для активизации предпринимательской деятельности в

вузе и развития прорывных технологий в рамках инновационного развития страны. Создание ПТК на базе существующей УТК ЮУрГУ позволит активизировать технологическое предпринимательство не только в вузах Челябинской области, но и на Южном Урале в целом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2023 г.

- ☑ Проведено 271 очное и онлайн-мероприятие, которые посетило 2483 человека. Проведены мероприятия по таким рынкам НТИ, как: AeroNet, AutoNet, TechNet, NealthNet, а также по сквозным технологиям – технологии хранения и анализа больших данных. В рамках реализации программы:
  - привлечено 15 организаций-партнеров;
  - зарегистрировано в системе НТИ 7 экспертов.
- ☑ В СМИ размещено 36 информационных сообщений об основных результатах реализации программы. В 2022 г. выигран грант на реализацию на базе университетской «Точки кипения» «Предпринимательской Точки кипения», реализуемой в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства».
- ☑ Проведенные мероприятия ПТК были сгруппированы по трем блокам: первый блок – это популяризация и обучение предпринимательству, второй блок – это поиск идей и анализ технологий и третий блок – это проработка технологий разработки MVP продукта. Реализация мероприятий вышеперечисленных блоков позволяет вовлечь студентов в технологическое предпринимательство.

университетская «Точка кипения» ЮУрГУ регулярно проводит обучение по формированию заявок для участия в конкурсе «УМНИК», «Студенческий стартап» (Фонд содействия инновациям).

- ☑ Проведены 5 кейс-чемпионатов с компаниями-партнерами: ООО «Флексайтс» (призовой фонд 100 т. р.), ООО «Сатил» (призовой фонд 75 т. р.), ООО «Сатил-ИТ» (призовой фонд 150 т.р.), ООО «Инпромавтоматика» (призовой фонд 50 т. р.). В рамках кейс-чемпионатов студенты решают актуальные для предприятий-партнеров профессиональные задачи, повышая свой уровень подготовки.
- ☑ Большое внимание в деятельности университетской «Точки кипения» уделяется взаимодействию с бизнесом и государственными органами власти. Выстраиваются кооперационные связи, формируются проекты, связывающие возможности университетской науки и крупных индустриальных партнеров.

16 мая в университетской «Точке кипения», одновременно с 60 предпринимательскими «Точками кипения» по всей стране, прошел фестиваль технологического предпринимательства «Технокод». В 2023 году проведен V технологический конкурс проектов,

идей и научно-исследовательских работ студентов. Участники конкурса представили свои идеи для стартапа, а также реализованные с участием преподавателей-консультантов и использованием оборудования FabLab проекты. Призеры конкурса получили возможность продвижения своего проекта в «Банке инноваций ЮУрГУ» для нахождения потенциальных инвесторов.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☑ ООО «Мой бизнес», г. Челябинск
- ☑ ООО «ТРИДИВИ», г. Челябинск
- ☑ ООО «Курсир», г. Челябинск
- ☑ ООО «Нейротехноджи», г. Москва
- ☑ ООО «Проаналитикс», г. Челябинск
- ☑ ООО «Мир электромобилей», г. Москва
- ☑ ООО Infinity Solutions, г. Челябинск
- ☑ ООО «Технопарк ИТ», г. Челябинск
- ☑ ООО «Флексайтс», г. Челябинск
- ☑ ООО «Аспро», г. Челябинск
- ☑ ООО «САТИЛ», г. Челябинск
- ☑ ЧелГУ, МИДИС, Уральский филиал Финансового университета при президенте РФ, Челябинский филиал РАНХИГС, ЮУрГУ, МГТУ им. Г.И. Носова



Рис. 1. Фестиваль технологического предпринимательства «Технокод»



Рис. 2. Проектные решения БАС



Рис. 3. Призеры V Технологического конкурса



Рис. 4. Возможности эффективного сотрудничества бизнеса и науки обсудили в Южно-уральской торгово-промышленной палате



# СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово ректора А.Р. Вагнера.....	3
Научные достижения ЮУрГУ.....	4

## СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ 1: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

<b>Кулик С.П., Подошведов С.А.</b> Инженерия состояний света для квантовых вычислений и сенсорики.....	8
<b>Закиров Р.А.</b> Создание высокотехнологичного производства унифицированного семейства транспортных средств «Арктический автобус» для организации безопасной перевозки пассажиров и мобильных пунктов социальной сферы в районах Крайнего Севера в условиях низких температур (до минус 50 °С) для обеспечения связанности территорий Арктической зоны Российской Федерации.....	10
<b>Закиров Р.А.</b> Создание высокотехнологичного производства экологически чистых универсальных коммунальных машин малого класса для всесезонного содержания и уборки городских территорий.....	12
<b>Григорьев М.А.</b> Разработка и постановка на высокотехнологическое производство комплектных транзисторных устройств на базе многоуровневых преобразователей частоты широкой номенклатуры с улучшенными энергетическими и надёжностными показателями.....	14
<b>Ардашев Д.В.</b> Создание высокотехнологичного производства электрогидравлических усилителей мощности с электромеханическим преобразователем электродинамического типа с расширенным частотным диапазоном.....	16
<b>Ваулин С.Д.</b> Исследование, разработка и создание демонстраторов технологий одноступенчатой многоразовой ракеты-носителя вертикального взлёта и посадки.....	18
<b>Ардашев Д.В.</b> Разработка отечественного программного комплекса для управления, настройки и диагностики следящего гидропривода с гидростатическими направляющими, в рамках проекта «Разработка и создание производства следящих гидроприводов с гидростатическими направляющими (СГ с ГСН)».....	20
<b>Закиров Р.А.</b> Разработка и освоение в производстве раздаточных коробок перспективного технического уровня для полноприводных автомобилей и колёсной техники отечественного производства в рамках реализации направления по импортозамещению компонентной базы.....	22
<b>Григорьев М.А.</b> Разработка серии импортозамещённых электрических машин (конструкторской документации, технологии производства) для системы верхнего привода на базе синхронных реактивных и асинхронных электродвигателей.....	24
<b>Пешков Р.А.</b> Гибкое интеллектуальное производство компонентов машиностроения для критических технологий Российской промышленности, обеспечивающих технологическую безопасность страны.....	26
<b>Дзюба М.А.</b> Применение современных цифровых инновационных решений интеллектуальных систем диагностики и передачи данных в малогабаритных комплектных распределительных устройствах производства ООО «ЧЗЭО».....	28
<b>Шестаков А.Л.</b> Фундаментальные основы обработки данных для автоматического контроля достоверности показаний средств измерений цифровой индустрии.....	30
<b>Капелюшин Ю.Е.</b> Исследование физико-химических, газодинамических процессов и напряжённо-деформированного состояния двигательных установок с центральным телом для многоразовых ракет-носителей.....	32
<b>Коржов А.В.</b> Выявление взаимосвязей между наличием дефектов в прозрачных объектах из аморфных материалов и их электрофизическими свойствами на основе анализа цифровых изображений объектов .....	34
<b>Осинцев К.В.</b> Методология разработки системы управления аэродинамическим профилем лопасти ветроэнергетической установки и крыла летательного аппарата на основе искусственного интеллекта с самообучающейся нейронной сетью.....	36
<b>Иванов М.А.</b> Разработка системы автоматизированного визуального контроля сварных швов на основе нейросетевых технологий.....	38
<b>Ардашев Д.В.</b> Разработка научных основ нанесения качественного титанохромового покрытия на титановые детали с дискретным изменением времятоковых параметров процесса хромирования.....	40
<b>Вахитов М.Г.</b> Разработка теоретических и экспериментальных основ выявления скрытых повреждений композитных материалов радиоволновым методом.....	42
<b>Цымблер М.Л.</b> Методы, модели и алгоритмы интеллектуального анализа временных рядов на основе интеграции параллельных вычислений и нейросетевых технологий.....	44
<b>Соколинский Л.Б.</b> Развитие методов многомерной линейной оптимизации на основе синтеза суперкомпьютерных технологий и машинного обучения.....	46
<b>Акинцева А.В.</b> Разработка методического и математического обеспечения для создания автоматизированной информационной системы контроля управляющих программ на возможность обеспечения заданной точности и шероховатости обрабатываемой поверхности при изготовлении партии деталей на операциях плоского шлифования с ЧПУ.....	48
<b>Сергеев Ю.С.</b> Разработка аналитических и технологических основ для моделирования размерного вибродиспергирования волокнистых — коллагенсодержащих, растительных и минеральных отходов со сложной структурой с целью реализации воксельного принципа построения из них многокомпонентных композитов при рециклинге.....	50
<b>Шипулин Л.В.</b> Разработка методики проектирования операций высокоскоростной обработки на основе использования цифрового двойника процесса.....	52
<b>Чжао Д.</b> Онлайн мониторинг и оценка срока службы электродов для точечной сварки сверхвысокопрочной стали с алюминиево-кремниевым покрытием.....	54



## СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ 1: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

<b>Ерпалов А.В.</b> Разработка научных основ создания алгоритмического обеспечения цифровых двойников машиностроительных конструкций для мониторинга и прогнозирования остаточной долговечности при воздействии нестационарного случайного нагружения.....	56
<b>Симонов Е.Н.</b> Исследование и разработка алгоритмов реконструкции изображений, основанных на трехмерном преобразовании Радона, в рентгеновской компьютерной томографии с конусным пучком излучения.....	58
<b>Гаврилов К.В.</b> Численное моделирование процессов в гидродинамических трибосопряжениях топливных насосов высокого давления для перспективных форсированных дизельных двигателей.....	60
<b>Коржов А.В.</b> Исследование перенапряжений, возникающих в распределительных кабельных сетях, разработка методов их прогнозирования и способов ограничения для повышения надежности работы электрических сетей.....	62
<b>Воронин С.Г.</b> Исследование способов управления преобразованием энергии в электромеханических системах с постоянными магнитами.....	64
<b>Григорьев М.А.</b> Создание основ теории новых типов электроприводов с улучшенными технико-экономическими, энергетическими и надежностными показателями, и синтез методов проектирования этих систем.....	66
<b>Маклаков А.С.</b> Развитие и исследование новых энергоэффективных методов управления высоковольтными силовыми преобразователями в условиях низкой частоты переключений полупроводниковых модулей.....	68
<b>Маклаков А.С.</b> Развитие и исследование метода управления силовыми преобразователями на основе предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей.....	70

## СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

<b>Сапожников С.Б.</b> Разработка новых материалов с функциями самодиагностики и самовосстановления при различных повреждениях .....	72
<b>Винник Д.А.</b> Физико-химические основы создания и модифицирования новых материалов на металлической основе с оптимизированными характеристиками .....	74
<b>Эрлих В.В.</b> Разработка научно-технологических основ создания новых протезов конечностей из композитных материалов .....	76
<b>Латфулина Ю.С.</b> Разработка и создание новых порошковых композиционных материалов на основе углерода для получения изделий конструкционного назначения для железнодорожной техники нового поколения.....	78
<b>Барташевич Е.В.</b> Тетрельные связи в химических соединениях подгруппы углерода: многомасштабное моделирование структуры и направленная функционализация материалов.....	80
<b>Кантхапажам Р.</b> Ароматические диацетилены как основа для синтеза новых кристаллических форм углерода.....	82
<b>Клыгач Д.С.</b> Исследование электродинамических параметров функциональных материалов в широком диапазоне частот при сверхнизких температурах.....	84
<b>Винник Д.А.</b> Создание и исследование свойств высокоэнтропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита.....	86
<b>Сапожников С.Б.</b> Оценка влияния сложного напряженного состояния на кинетику деформирования и разрушения полимерных композитов с концентраторами напряжений при статическом и циклическом нагружениях.....	88
<b>Остовари М.А.</b> Новые высокоэнтропийные интерметаллические соединения в качестве основы материалов следующего поколения.....	90
<b>Трофимов Е.А.</b> Синтез, изучение структуры и свойств высокоэнтропийных интерметаллидов.....	92
<b>Самойлова О.В.</b> Изучение жаростойкости и коррозионной стойкости высокоэнтропийных сплавов на основе металлов подгруппы железа, допированных благородными или тугоплавкими металлами.....	94
<b>Мишнев М.А.</b> Остаточные напряжения в конструкциях из полимерных композитов при нестационарных термомеханических воздействиях.....	96
<b>Шабурова Н.А.</b> Исследование структуры и свойств полученных аддитивными методами металломатричных композиционных покрытий с включениями неметаллических и интерметаллических высокоэнтропийных соединений.....	98
<b>Шулдяков К.В.</b> Теоретические и экспериментальные исследования механизма обеспечения долговечности цементных композитов для Арктики.....	100
<b>Тараненко П.А.</b> Разработка методов определения объемно-массовых параметров многофазного потока «жидкость–газ».....	102
<b>Мирзоев А.А.</b> Компьютерный дизайн ванадийсодержащих сплавов Fe-V и V-Ti для получения перспективных конструкционных материалов.....	104
<b>Сергеев Д.В.</b> Зависимость фронта кристаллизации металла от электротермических процессов.....	106
<b>Ферейдоннежад Р.</b> Разработка высокоэнтропийных интерметаллидов, обладающих пластичностью при комнатной температуре с помощью молекулярно-динамического моделирования и экспериментальных подходов.....	108

**СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ 3: ЭКОСРЕДА ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

<b>Авдин В.В. , Станкович Д.М.</b> Инновации для очистки воздуха и воды, снижения углеродного следа: наноматериалы и нанокompозиты, фотокаталитические и электрохимические подходы.....	110
<b>Гамов П.А.</b> Комплексная переработка техногенных отходов.....	112
<b>Авдин В.В.</b> Создание импортозамещающего высокотехнологичного производства безизоцианатных полиуретанов (NIPU) широкого спектра применения.....	114
<b>Ковалев Ю.М.</b> Фундаментальные основы безопасных водородных технологий .....	116
<b>Багале У.Д.</b> Разработка концептуальной методологии применения нетепловых технологий дуального типа в синтезе аутентичных биоактивных пищевых ингредиентов биодоступных в составе пищевых систем.....	118
<b>Соломин Е.В.</b> Методология многопараметрической оптимизации опреснительной установки для грунтовых и морских минеральных вод на основе возобновляемых источников энергии.....	120
<b>Крупнова Т.Г.</b> Эколого-геохимические закономерности распределения и идентификация источников потенциально токсичных элементов в составе дорожной пыли, почв, снежного покрова и атмосферных аэрозолей г. Челябинска.....	122
<b>Науменко Н.В.</b> Разработка новых научных подходов к минимизации продовольственных потерь и повышению эффективности использования пищевых ресурсов в системе производства на основе применения физических методов воздействия.....	124
<b>Капелюшин Ю.Е.</b> Исследование процесса прямого восстановления железа из брэксов, изготовленных из пыли ЭДП-методом жесткой экструзии, с последующим получением чугунных мелющих тел.....	126
<b>Зинина О.В.</b> Разработка биоактивных пленочных покрытий пищевых продуктов на основе гидролизатов животных белков и установление их эффективности ингибирования процессов микробиологической и окислительной порчи.....	128
<b>Гамов П.А.</b> Селективное восстановление металлов водородом из ильменит-титаномагнетитовой руды Медведевского месторождения.....	130
<b>Попова Н.В.</b> Исследование метаболической адаптации пробиотических культур микроорганизмов в системе растительных напитков.....	132
<b>Свиридюк Г.А.</b> Исследование одного класса стохастических моделей соболевского типа для рационального природопользования, применимого к водным ресурсам.....	134
<b>Хабарова Д.Ф.</b> Исследование и разработка пневматического запорного устройства для предотвращения выхлопа агрессивных газов.....	136
<b>Леванов И.Г.</b> Развитие теории, реологических моделей и методов исследования нетоксичных противоизносных компонентов для биоразлагаемых смазочных материалов на основе растительных масел и синтетических сложных эфиров.....	138

**НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ**

<b>Сарапульцев А.П.</b> Исследование новых серотонинергических механизмов клеточного стресса при воспалении и функциональных расстройствах различного генеза.....	140
<b>Сарапульцев А.П.</b> Иммуноопосредованные механизмы SARS-CoV-2 инфекции: новые направления и новые вызовы.....	142
<b>Цейликман В.Э.</b> Новые подходы к фармакокоррекции хронического стресса и посттравматических стрессорных расстройств на основе протекторных эффектов ресвератрола.....	144
<b>Калинина И.В.</b> Новые подходы к разработке эффективных биологически активных добавок на основе инкапсуляции биологически активных веществ в дрожжи <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	146
<b>Потороко И.Ю.</b> Бифункциональные эмульсии Пикеринга на основе модифицированных растительных стабилизирующих частиц для пищевых систем нового поколения.....	148
<b>Фаткуллин Р.И.</b> Изучение механизмов и разработка технологии инкапсуляции биологически активных веществ методом комплексной коацервации.....	150
<b>Кумар С.</b> Разработка высокоточных моделей, методов и алгоритмов с использованием многомодальных методов глубокого обучения для ранней диагностики заболеваний легких.....	152
<b>Макаров Г.И.</b> Исследование взаимодействий в тройных комплексах «растущий пептид – рибосомный туннель – антибиотик».....	154
<b>Дмитриева Ю.А.</b> Прогноз эффективности студентов в проектной деятельности: математическое моделирование психологических ресурсов.....	156

**СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

<b>Сибиряков И.В.</b> Исследование воздействия материалов СМИ, социальных медиа по экологии и медиаэффектов на молодежную аудиторию, проживающей на территории региона экологического риска.....	158
<b>Пеннер Р.В.</b> Цифровая антропология: теоретические и прикладные аспекты.....	160
<b>Грязева-Добшинская В.Г.</b> Универсальные факторы массовой креативности: диагностика на основе методов машинного обучения.....	162
<b>Епимахов А.В.</b> Миграции человеческих коллективов и индивидуальная мобильность в рамках мультидисциплинарного анализа археологической информации (бронзовый век Южного Урала).....	164
<b>Пеннер Р.В.</b> Цифровая грамотность: междисциплинарное исследование (региональный аспект).....	166
<b>Данилова И.В.</b> Оценка адаптивности и «ударопрочности» промышленного сектора монопрофильных регионов в условиях внешнеэкономических ограничений: диагностика и механизм переформатирования структурной политики.....	168

## СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

<b>Андреев А.Н.</b> Прихожане Златоустовского костела и их роль в социальной модернизации горнозаводской зоны Южного Урала в конце XIX – начале XX вв.....	170
<b>Таиров А.Д.</b> Архитектура социума и духовная культура кочевников Южного Урала в раннем железном веке.....	172
<b>Волков Е.В.</b> Казаки Челябинска во второй четверти XVIII – первой четверти XX в.: формирование, повседневная и общественная жизнь.....	174

## КРУПНЫЕ ХОЗДОГОВОРНЫЕ РАБОТЫ 2023

Крупные хозяйственные работы.....	176
-----------------------------------	-----

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО

<b>Потапова М.В.</b> Акселерационная программа ЮУрГУ 2023.....	178
<b>Бунова Е. В.</b> Предпринимательская Точка кипения.....	180

Дизайн и верстка издания выполнены  
в Учебно-производственном центре рекламных технологий  
Управление маркетинга, брендинга и стратегических коммуникаций ЮУрГУ  
Руководитель проекта: Павлов К. А.  
Дизайн и верстка: Коротова А. С., Билалова А. Н.  
Редактура и корректура: Уварова С. И., Ибраева В. И.

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

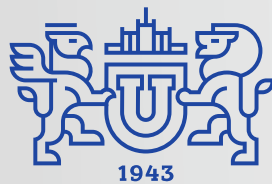
Подписано в печать 31.01.2024. Формат 6084 1/8. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 21,39. Тираж 100 экз. Заказ 37.

Отпечатано в Учебно-производственном центре рекламных технологий  
Управление маркетинга, брендинга и стратегических коммуникаций ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, ул. С. Кривой, 79.





ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



**ЮУрГУ**

454080, г. Челябинск, пр Ленина, 76,  
ауд. 823/главный корпус ЮУрГУ  
тел.: +7 (351) 267-90-61, 272-32-52  
E-mail: uni@susu.ru

**[www.susu.ru](http://www.susu.ru)**