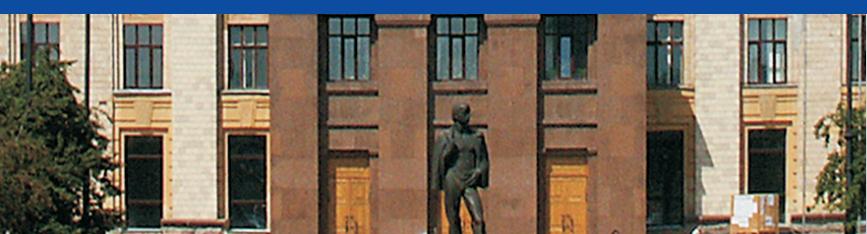


Южно-Уральский  
государственный  
университет

Национальный  
исследовательский  
университет



# НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ЮУрГУ - 2020



г. Челябинск



Южно-Уральский государственный  
Университет

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

# **НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ЮУрГУ - 2020**

Альманах

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2021

УДК 378 + 001  
ББК Ч448.47 + Ч25  
Н347

**Редакционная коллегия:**

д.т.н., профессор, ректор А.Л. Шестаков (председатель);  
д.х.н., профессор, советник при ректорате Г.П. Вяткин;  
д.т.н., профессор, проректор по учебной работе А.А. Радионов;  
д.т.н., доцент, проректор по научной работе А.В. Коржов.

*Одобрено*

*Советом Южно-Уральского государственного университета*

**Научные разработки ЮУрГУ - 2020:** альманах. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021.–96 с.

**ISBN 978-5-696-05184-0**

Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет – авторитетный научно-образовательный центр, обладающий глубоким интеллектуальным потенциалом, признанный в российском академическом сообществе. В 2015 году ЮУрГУ (НИУ) вошел в программу повышения конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров – Проект 5-100, что, в свою очередь, 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 2020 году в ходе выполнения работ по проектам, осуществлявшимся в рамках Постановления Правительства РФ № 218, Федеральной целевой программы, государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований, а также при финансировании Российской научным фондом и Российской фондом фундаментальных исследований.

УДК 378 + 001  
ББК Ч448.47 + Ч25

**ISBN 978-5-696-05184-0**

© Издательский центр ЮУрГУ, 2021

# УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Прошедший год был знаменателен для научной жизни Южно-Уральского государственного университета, несмотря на все трудности, связанные с пандемией. Союз традиций, опыта и инновационной активности позволяет оперативно отвечать на вызовы времени. Научный потенциал университета продолжает расти. Об этом свидетельствуют гранты, высокая публикационная активность, патентование научных разработок. Университет традиционно оказывает поддержку заслуженным и молодым ученым, организует актуальную повестку международного сотрудничества, способствует созданию коллaborаций.

В условиях пандемии ЮУрГУ не только продолжил работу в штатном режиме с применением технологий дистанционного обучения, но и добился значимых результатов в научно-образовательной деятельности. Наши позиции улучшаются в авторитетных национальных и зарубежных рейтингах. Южно-Уральский государственный университет вошел сразу в три предметных рейтинга по версии THE: Engineering & Technology (инженерные науки и технологии), Physical Sciences (физические науки) и THE Computer Science (компьютерные науки).

В рамках конкурсного отбора Министерства науки и высшего образования РФ получил господдержку Уральский межрегиональный научно-образовательный центр мирового уровня «Передовые производственные технологии и материалы» (УМНОЦ). Для его создания были объединены ресурсы трех регионов (Свердловской, Челябинской и Курганской областей). Соответствующее соглашение было подписано губернаторами.

В работе НОЦ будут принимать участие ведущие университеты региона – УрФУ, ЮУрГУ, Курганский государственный университет, а также институты Академии наук, ряд других вузов и более 90 промышленных предприятий.

Ключевой целью УМНОЦ является лидерство России в создании передовых производственных технологий и материалов по направлениям: перспективные аэрокосмические комплексы, инновационные транспортные системы, ресурсосберегающая и безуглеродная энергетика, экологичные технологии производства продукции и утилизация отходов. Всего портфель НОЦа насчитывает 42 проекта, из которых четыре отнесены к прорывным.

С 21 по 25 сентября прошлого года в онлайн-режиме на базе Южно-Уральского государственного университета прошел Пятый форум молодых ученых стран БРИКС, ставший одним из ключевых мероприятий российского председательства в БРИКС в 2020 году.

В течение пяти дней 105 участников форума презентовали свои научные проекты на интерактивной платформе, разработанной Министерством науки и высшего образования РФ совместно с ЮУрГУ и Правительством Челябинской области. Делегаты из Бразилии, России, Индии, Китая и Южной Африки обсудили вопросы развития совместной инновационной и научной деятельности, а также создания коллабораций между университетами стран «пятерки». Тема форума была определена как «Партнерство молодых ученых и инноваторов стран БРИКС в интересах научного прогресса и инновационного роста». Программа форума состояла из трех параллельных сессий по тематическим направлениям: экология, материаловедение и искусственный интеллект.

В коллаборации с ведущими зарубежными учеными из Австралии, Великобритании, Германии, Индии, Канады, Мексики, США, Франции, ЮАР в вузе успешно функционируют 12 международных научных лабораторий. По результатам их работы опубликовано и проиндексировано в БД Scopus и Web of Science 213 статей (69 в 2020 году), в том числе 103 статьи в Q1 и Q2 (32 в 2020 году).

Заметно растет количество публикаций в международных научных изданиях с высоким рейтингом цитирования. В 2,5 раза по сравнению с 2016 годом возросло количество публикаций в журналах, индексируемых аналитическими базами данных (1584 публикации в БД Scopus и 930 – в БД WoS). При этом в 2020 году по сравнению с 2019 годом возросла доля публикаций в журналах Топ 10% (с 6,2 % до 10,9 %) и в журналах Топ 25% (Q1) (с 20,0% до 29,6%). Суммарно за пять лет (2016–2020 гг.) статьи университета были процитированы 14 400 раз согласно международной единой базе данных Scopus. Таким образом, средний показатель цитируемости на 1 НПР по статьям Scopus составляет 10,3.

Среди значимых публикаций научно-педагогических работников университета следует выделить статью Necessary and Sufficient

Polynomial Constraints on Compatible Triplets of Essential Matrices, которая была опубликована в декабре 2020 года издательством Springer в журнале International Journal of Computer Vision (SNIP = 4,559, Топ-1). Автор статьи – доцент кафедры математического анализа и методов преподавания математики, к.ф.-м.н. Евгений Владимирович Мартюшев. Также стоит отметить высокорейтинговую статью A parallel approach to discords discovery in massive time series data сотрудников кафедры системного программирования Кумара Сэчина и Михаила Леонидовича Цымблера в издании Computers, Materials and Continua (SNIP = 4,801).

**Ректор Южно-Уральского государственного университета,  
вице-президент Российской Союза ректоров,  
председатель Совета ректоров вузов УФО,  
д.т.н., профессор**



Среди других достижений в издательской деятельности ЮУрГУ можно отметить вхождение двух международных научных журналов университета – Supercomputing Frontiers and Innovations и Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software – в Топ-50 базы данных Scopus по SNIP (1,017 и 0,833 соответственно).

В 2020 году по результатам открытого конкурса в электронной форме между ЮУрГУ и Министерством дорожного хозяйства и транспорта Челябинской области заключен контракт на выполнение научных исследований по разработке и актуализации документов транспортного планирования на территории Челябинской агломерации. В настоящее время научно-исследовательская работа завершена. По результатам выполнения проекта разработаны ключевые мероприятия по модернизации транспортной сети.

При поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в 2020 году реализован проект «Проведение подготовки научно-педагогических работников и работников организаций-работодателей к реализации современных программ непрерывного образования» в рамках национального проекта «Образование». Разработано 7 программ повышения квалификации и проведено дистанционное обучение научно-педагогических работников и работников организаций-работодателей. Объем всех программ составил 72 часа, обучение прошли 1300 слушателей.

В Южно-Уральском государственном университете достигнуты значительные результаты в области цифровой индустрии. Активно развиваются исследования с применением суперкомпьютерного моделирования, искусственного интеллекта и Big Data.

В начале учебного года Лаборатория суперкомпьютерного моделирования ЮУрГУ запустила первый на Урале нейрокомпьютер. Комплекс «Нейрокомпьютер» – это специализированная многопроцессорная система для создания искусственных нейронных сетей. Его комплектация сейчас позволяет удвоить мощности для более глубоких исследований, чтобы быстро обучать нейронные сети для решения сложных задач.

Научная деятельность – сложный, ответственный, кропотливый труд. И одновременно – это мощная движущая сила, направленная на процветание государства. Сегодня перед учеными ЮУрГУ стоят важнейшие задачи, решение которых приведет к преобразованиям нашей жизни, будет способствовать экономическому развитию региона и России. Нам нельзя останавливаться на достигнутом, необходимо постоянное движение вперед. Только так мы сможем сохранить и приумножить научную конкурентоспособность.

Благодарю за преданность науке, сохранение исследовательских традиций, инициативность и высокое стремление к истине, уважаемые коллеги! Пусть каждый день приносит удовлетворение от результатов работы! Пусть ваши гипотезы находят подтверждение, а результаты исследований служат на благо региона и страны! Желаю вам смелых идей, интересных проектов, ярких открытий и новых научных побед!

**А.Л. Шестаков**

# ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

## Работа с индустриальными партнерами

В 2020 году университетом успешно реализованы проекты, выполняемые в рамках федеральных целевых программ (постановление Правительства РФ от 3 октября 2015 года № 1060):

- совместный проект университета с индустриальными партнерами ООО «МИАН» и ООО «Ремонто-механический завод „Нихард-Сервис“» по разработке комплекса технологических решений по получению новых металлических материалов, изготовлению из них емкостей для хранения радиационных отходов, с совершенствованием методики их остеклования. Общий объем инвестиций в 2019–2020 гг. составляет 60 млн руб., в т.ч. объем финансирования в 2020 г. – 30 млн руб.;

- совместный проект университета с индустриальным партнером ООО «Русская приборостроительная корпорация „Системы управления“» по разработке интегрированной самонастраивающейся системы управления сложным технологическим комплексом производства, передачи и потребления тепловой энергии и воды на основе BIM- и BEM- технологий с применением предiktivного анализа данных беспроводных сенсоров и интеллектуальных микропроцессорных устройств. Общий объем инвестиций в 2018–2020 гг. составляет 75 млн руб., в т.ч. объем финансирования в 2020 г. – 25 млн руб.

Продолжена реализация комплексных проектов, выполняемых в рамках постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218:

- совместный проект университета с индустриальным партнером ООО «Уральский инжиниринговый центр» по созданию высокотехнологичного производства гидроприводов с гидростатическими направляющими широкой номенклатуры с низким сопротивлением перемещению подвижных частей и повышенным ресурсом для стендового испытательного оборудования. Общий объем инвестиций в НИОКР в 2019–2021 гг. составляет 112,7 млн руб., в т.ч. объем финансирования в 2020 г. – 65,3 млн руб.;

- совместный проект университета с ООО «Производственная компания «Ходовые системы» по разработке бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения. Общий объем инвестиций в НИОКР, возмеща-емых субсидией в 2018–2020 гг., составляет 130 млн рублей, в т. ч. объем финансирования в 2020 году – 50 млн руб.

Одним из ключевых индустриальных партнеров университета является Магнитогорский металлургический комбинат. По заказу ПАО «ММК» ЮУрГУ разрабатывает систему интеллектуального анализа и прогнозирования трендов развития повреждений оборудования линии проката ЛПЦ-11 на базе информации датчиков диагностики состояния технологического оборудования и параметров технологического процесса. Система позволит снизить внеплановые просты стана 200 холодной прокатки без учета отказов при сервисном обслуживании. Ожидаемый экономический среднегодовой эффект без учета потерь на брак – 40 млн рублей.

Университет принимает участие в развитии Челябинской области, сотрудники университета в колаборации с учеными из Высшей школы экономики и Иркутского национального исследовательского технического университета выполнили научно-исследовательскую работу по разработке и актуализации документов транспортного планирования на территории Челябинской агломерации при поддержке Министерства дорожного хозяйства и транспорта Челябинской области общим объемом 39 млн руб.

Всего в 2020 году реализовано более 500 проектов в рамках хоздоговорных отношений между университетом и сторонними заказчиками.

## Государственное задание на выполнение фундаментальных научных исследований

Министерством науки и высшего образования РФ в 2020 году поддержано 4 новых проекта в рамках выполнения государственного задания:

- математические основы, модели и алгоритмы цифровой индустрии;



- на пути к новым гибридным материалам: цифровое моделирование структуры и свойств от атомно-молекулярного уровня до наночастиц;

- фундаментальные основы разработки цифровых двойников процессов аддитивных технологий, высокоскоростной механической обработки и обработки металлов давлением прокатки;

- изучение региона в контексте глобально-исторических связей с помощью методов цифровой гуманитаристики (на примере Челябинска и Челябинской области).

Научными коллективами проектов проведена серьезная работа в рамках своих направлений, издано более 40 статей в БД Web of Science и Scopus, подано более 15 заявлок на получение патента, доля молодых исследователей, вовлеченных в реализацию проектов, составляет более 50%. Общий объем финансирования в 2020 году составил 51,7 млн руб.

В 2020 году при поддержке Минобрнауки России и Правительства Челябинской области Южно-Уральский государственный университет успешно реализовал организационно-техническое сопровождение Форума молодых ученых стран БРИКС в рамках долгосрочного сотрудничества стран-участниц межгосударственного объединения БРИКС в области науки, технологий и инноваций.

## Грантовая поддержка

Ежегодно сотрудники университета реализуют проекты при поддержке РНФ и РФФИ. В 2020 году выполнялись работы по 47 научным проектам по различным областям наук, в том числе начата реализация двух новых крупных проектов РНФ, 11 проектов РФФИ, а также поддержано 11 проектов РФФИ\_аспиранты.

Российским фондом фундаментальных исследований поддержано два проекта университета, направленных на



изучение коронавирусной инфекции, а также на решение проблем, связанных с глобальной пандемией COVID-19. Проект «Перепрофилирование лекарств и проверка перспективных соединений против основной протеазы и РНК-зависимой РНК-полимеразы SARS-CoV2», получивший поддержку в размере 10 млн руб. по результатам конкурсного отбора РФФИ БРИКС\_COVID-19, будет реализовываться в 2021–2022 гг. совместно с индийскими и бразильскими партнерами. Проект «Иммуноопосредованные механизмы SARS-CoV-2 инфекции: новые направления и новые вызовы», получивший поддержку в размере 8 млн руб. по результатам конкурсного отбора РФФИ «Китай\_т», будет реализовываться в 2021–2022 гг. совместно с зарубежными коллегами из Китая.

В конце 2020 г. в Челябинской области прошел научный конкурс Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). Основной задачей конкурса стало формирование научных групп в среде актуальных и приоритетных направлений технологий и науки, а также помочь в реализации наиболее успешных и перспективных проектов. Победители конкурса получают организационно-финансовую поддержку фонда. Одним из важнейших условий конкурса является реализация исследований, актуальных для Челябинской области.

Всего на конкурс от образовательных и научных организаций области было заявлено 245 проектов, из которых 118 представил Южно-Уральский государственный университет. Из всех проектов, заявленных университетом, 55 получили поддержку фонда и возможность реализации. Наибольшее количество победивших проектов университета относится к области инженерии, физики и математики, также есть проекты-победители в области искусственного интеллекта.

#### Публикационная активность

В 2020 году опубликовано в БД Scopus 1 584 статьи, наблюдается положительная тенденция по снижению доли публикаций в трудах конференций с 54 % в 2016 г. до 29 % в 2020 г. Существенно растет объем цитирований и составляет 14 400 цитат за 5 лет и 8 665 цитат без учета самоцитирований; доля самоцитирования в статьях снижается с 53 % в 2016 г. до 39 % в 2020 г. Возросло количество статей в высокорейтинговых изданиях. В Топ-10 – 150 (59 в 2019 г.), в Топ-25 – 408 (190 в 2019 г.), в Топ-50 – 838 статей (456 в 2019 г.). Ученые университета расширяют географию и список журналов, где публикуют свои труды: количество уникальных журналов, входящих в Топ-25 по SNIP, в 2019 г. – 96, а в 2020 г. – 202. Увеличивается количество колабораций при написании статей, процент международных колабораций составил 57 % в 2020 г., при 25 % в 2018 г., что соответствует уровню ведущих вузов страны.

В базе данных Web of Science также наблюдается существенный рост публикаций более чем на 50 %, в том числе и в высокорейтинговых изданиях. В Q1 количество статей в 2020 году составило 273, в Q2 235, при 118 и 132 в 2019 году соответственно.

#### Демонстрация достижений науки

В декабре 2020 года университет принял участие в ежегодной национальной выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2020», которая

состоялась в центральном выставочном комплексе «Экспоцентр» в Москве. «ВУЗПРОМЭКСПО» – масштабная и представительская площадка для демонстрации достижений российской науки и построения эффективных коммуникаций между научно-образовательным сообществом, государством и бизнесом. ЮУрГУ представил ряд экспонатов, разработанных совместно с индустриальными партнерами по таким направлениям, как цифровая индустрия, материаловедение и экология: бесступенчатый дифференциальный механизм поворота со следящей системой управления для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения; гидропривод, предназначенный для обеспечения многоцикловых нагрузок на объект испытания, не имеющий аналогов в нашей стране; экспериментальный образец интегрированной самонастраивающейся системы управления сложным технологическим комплексом производства, передачи и потребления тепловой энергии и воды; программно-аппаратный прототип комплекса «Экномонитор». Отдельного внимания заслуживает проект по созданию биоразлагаемого материала для упаковки пищевых продуктов и одноразовой посуды, который объединил сразу два приоритетных для вуза научных направления: материаловедение и экологию. Все представленные на выставке экспонаты получили высокую оценку академического сообщества и представителей промышленного сектора.

Выставка «ВУЗПРОМЭКСПО-2020» позволила научной команде ЮУрГУ оценить результаты сотрудничества российских вузов и индустриальных промышленных партнеров, встретиться с единомышленниками и наметить новые направления сотрудничества. Высокая концентрация новых технологических решений, обмен знаниями, опытом и идеями в междисциплинарном и межотраслевом промышленном пространстве стали для участников выставки импульсом к дальнейшему интенсивному развитию партнерства науки и бизнеса.



## Научные достижения ЮУрГУ

### Инновации малых предприятий

Малые инновационные предприятия ЮУрГУ решают широкий круг задач для развития экономики региона и страны в целом. Их основная цель – вывод продукции и технологий на инновационный рынок, реализация своей продукции и услуг. Работа подразделений инновационной инфраструктуры ЮУрГУ позволяет воплощать инновационные решения ученых вуза в коммерческие продукты. Большая часть малых инновационных предприятий университета связана с инновациями в областях компьютерных технологий, образования, машиностроения, металлургии, возобновляемой энергетики и автоматизации, экологии, геоинформационных технологий и даже медицинской техники.

В 2020 г. малое инновационное предприятие ЮУрГУ ООО «СтендАп Инновации» реализовало НИОКР в рамках программы Фонда содействия инновациям (Развитие-СОПР) с бюджетным финансированием 10 млн руб. В результате выполненной работы произведен успешный запуск 8-метрового «Умного скалодрома» при поддержке Института спорта, туризма и сервиса ЮУрГУ, а также разработаны и зарегистрированы 5 модулей программ ЭВМ.

В этом же году МИП разработало и довело до коммерческой реализации новый инновационный продукт «Умное зеркало „ArtikMe“». Программная среда данного продукта прошла государственную регистрацию.

В 2020 г. представитель НИЛ технической самодиагностики и самоконтроля приборов и систем Владимир Синицын одержал победу в программе СТАРТ в рамках конкурса «Цифровые технологии» с проектом «Разработка интеллектуальной системы технической диагностики исполнительных механизмов непосредственно с вращающихся валов машин и механизмов».

МИП ЮУрГУ ООО «УралГИС» в 2020 г. внедрило интерактивную геоинформационную систему «Агромониторинг земель сельскохозяйственного назначения (ЗСН)», а также завершило проект по цифровизации земель сельскохозяйственного назначения.

МИП ЮУрГУ ООО НПП «Политех-Автоматика» завершило выполнение проектов в рамках лидирующего исследовательского центра «Цифровая индустрия» по двум направлениям. Также в этот период выполнялись работы по разработке автоматизированных систем цифровых двойников турбоагрегатов и цифровых двойников котлоагрегатов [АСЦД-ПК] ЦЭС ПАО «ММК».

Наблюдательным советом университета одобрено создание совместного малого инновационного предприятия ООО «АйтАй», учредителями станут ЮУрГУ, ПАО «ММК» и ООО «Конструкторское бюро цифровых систем». Деятельность МИП будет фокусироваться на разработке новых методов беспроводной передачи промышленных данных и производстве IoT устройств.

### Университетская точка кипения

Точка кипения – это пространство коллективной работы, созданное для проведения образовательных и проектных мероприятий. Здесь студенты, сотрудники и представители реального сектора экономики встречаются в комфортной обстановке, обсуждают проекты и совместно воплощают их в жизнь.

Основная цель создания Точки кипения в ЮУрГУ – активизация инновационной деятельности студентов университета. Здесь концентрируется инновационный потенциал вуза, самые смелые и амбициозные проекты студентов сотрудники ТК помогают структурировать и довести до реально работающих стартапов.

В 2020 году в университетской Точке кипения было организовано и проведено более 150 мероприятий, в том числе 148 зарегистрированных на платформе Leader-ID. В мероприятиях приняли участие более 2700 человек, из них более 1200 – студенты. Тематика мероприятий разнообразна: инновации – 36,7%; наука и исследования – 36,2%; образование – 15,4%; предпринимательство – 9,5%; стратегическое управление – 2,2%. В течение 2020 года на базе университетской Точки кипения реализовывалось восемь проектов. Среди них: «Умное управление ТоИР» (Программные системы управления техническим обслуживанием и ремонтом). В проекте планируется достичь уменьшения количества простоеов оборудования с (ЧПУ), связанных с поломками. В качестве адресатов разработки рассматриваются машиностроительные предприятия Челябинской области. Второй проект – «Цифровой информационный комплекс сопровождения оперативного персонала при проведении осмотров и выполнении оперативных переключений с высоковольтными ячейками КРУ [комплектных распределительных устройств]». Адресован энергетическим компаниям. Проект направлен на обеспечение безопасности при проведении осмотров и выполнении оперативных переключений с высоковольтными ячейками.

Третий проект – система управления «Умный Куб» на базе программно-аппаратной платформы Arduino, представляющий собой беспроводную систему управления «Умным домом» с



расширенными функциональными возможностями. Также среди студенческих проектов – старт-ап «SMART-ШУМ» для жилищно-коммунальных хозяйств и агентств недвижимости, Система мониторинга и контроля состояния датчиков давления, комната самостоятельной медицинской помощи в университете, «Агрегатор киберспортивных событий», электронный портал «Активный Гражданин» (г. Челябинск).

Кроме того, в течение 2020 года на площадке Точки кипения регулярно проводились лекции по введению в специальность для всех направлений обучения в университете. К «Технологическому конкурсу ЮУрГУ» впервые на постоянной основе активно привлекались магистранты и аспиранты. Также был сделан акцент на привлечении в инновационную и проектную деятельность большего числа студентов технических специальностей.

### Новые возможности лабораторий и центров

ЮУрГУ создает условия для развития существующих на его базе лабораторий. Так, к новому учебному году Лаборатория квантовой обработки информации и квантовых вычислений Южно-Уральского государственного университета получила новое оборудование для проведения исследований в области квантовой физики. Команда ученых Института естественных и точных наук ЮУрГУ развивает технологии, которые лягут в основу оптического квантового компьютера. До недавнего времени специалисты могли проводить лишь теоретические исследования, но после закупки нового оборудования перед ними открылись дополнительные возможности для проверки своих теоретических заключений на практике.

Коллективная площадка для технического творчества

троники и компьютерных наук Южно-Уральского государственного университета в результате совместной работы с компанией-разработчиком Napoleon IT. Она является одним из российских лидеров в области Data Science, машинного обучения, компьютерного зрения, высоконагруженных систем и мобильной разработки. Именно сотрудники Napoleon IT будут координировать работы, выполняемые в образовательном центре. НОЦ станет площадкой для научных исследований студентов и аспирантов и отработки ими практических навыков в IT-сфере.

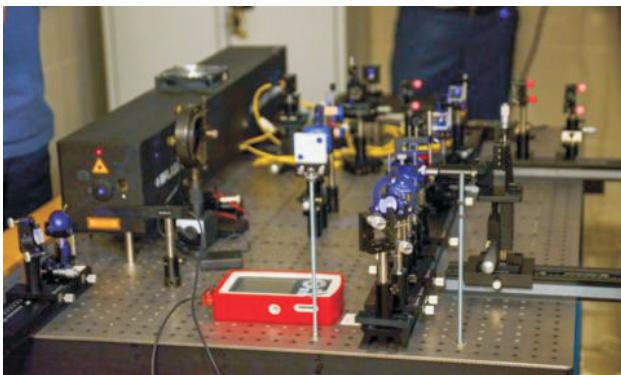
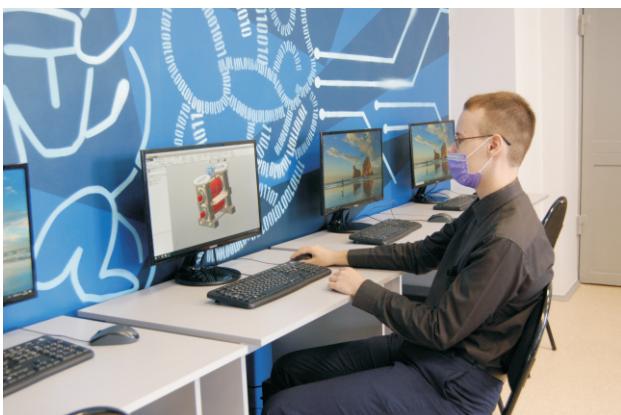
#### Умный город

ЮУрГУ продолжает успешное сотрудничество с администрацией г. Челябинска по проекту «Умный город». В течение 2020 года университет принял участие в комплексе мероприятий (проектно-аналитических сессиях, форумах, работе CityLab, заседаниях экспертного совета проекта «Умный город»), конечная цель которых – формирование принципиально новой цифровой стратегии развития «Умного города» – Челябинска.

Так в феврале 2020 на площадке ЮУрГУ состоялось обсуждение проекта Smart City на базе CityLab, созданной на основе лаборатории деловых игр и активных методов обучения им. Б.Н. Христенко совместно, администрацией г. Челябинска, Челябинской городской Думой и ЮУрГУ. Сотрудники вуза выступили с докладами по направлениям проекта «Умный город» (система управления «Умным городом», роль геоинформационных технологий и специфики градостроительства в «Умном городе», «Умное ЖКХ», «Умный городской транспорт», здравостроительство, экология, культура и искусство в «Умном городе», общая схема устройства системы управления «Умным городом» и принципы работы CityLab на площадке ЮУрГУ). В финале обсуждения ректор Александр Шестаков подчеркнул, что перед вузом стоит задача – подготовить общий проект технического задания для продвижения «Умного города – Челябинска».

В октябре 2020 года на онлайн-платформе Zoom состоялась проектно-аналитическая сессия «Стратегия развития. Челябинск 2035». Методология «Умный город». В онлайн-конференции были задействованы более 400 человек, в том числе сотрудники университета. По результатам сессии сформулированы основные показатели развития города, по которым Челябинск будет оцениваться пулом экспертов мирового уровня с перспективой вхождения в рейтинги «Умных городов мира».

В декабре 2020 года состоялась молодежная студенческая проектно-аналитическая сессия «Мировой опыт достижения целевых показателей по стратегическим направлениям. Проекты Умного города Челябинска, обеспечивающие достижение целевых показателей по направлениям». Предложения студентов будут использованы при составлении официального документа Стратегии развития «Умного города – Челябинска 2030».



появилась в Южно-Уральском государственном университете с открытием Лаборатории компьютерного моделирования и 3D-прототипирования. Она оснащена технологическим оборудованием с числовым программным управлением и компьютерами со специальным программным обеспечением. Лаборатория уникальна тем, что здесь есть возможности для реализации не только технических, но и творческих проектов.

В Южно-Уральском государственном университете достигнуты значительные результаты в области цифровой индустрии. Активно развиваются исследования с применением суперкомпьютерного моделирования, искусственного интеллекта и Big Data. В начале учебного года Лаборатория суперкомпьютерного моделирования ЮУрГУ запустила первый на Урале нейрокомпьютер.

Комплекс «Нейрокомпьютер» – это специализированная многопроцессорная система для создания искусственных нейронных сетей. Его комплектация сейчас позволяет удвоить мощности для более глубоких исследований, чтобы быстро обучать нейронные сети решению сложных задач.

С целью проведения фундаментальных исследований и развития прикладных проектов в области новых функциональных и конструкционных материалов в Южно-Уральском государственном университете создан НИИ «Перспективные материалы и ресурсосберегающие технологии». Организационно новая структура включила в себя НОЦ «Нанотехнологии» в качестве центра коллективного пользования, НОЦ «Металлургия», а также ряд научных лабораторий. Научными партнерами стали СПбГУ, ИОХ РАН, ИНХ СО РАН, ИОФХ РАН, Сеченовский университет (Москва). В целях информационной поддержки было создано Региональное отделение Русского химического общества имени Д.И. Менделеева.

Научно-образовательный центр машинного обучения и мобильной разработки открыт на базе Высшей школы элек-



# РАЗРАБОТКА БЕССТУПЕНЧАТОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА СО СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВНЕДОРОЖНЫХ И ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Руководитель проекта – кандидат технических наук Р.А. Закиров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и создание высокотехнологичного производства бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления (далее — БДМПсССУ) для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения.

## ПУБЛИКАЦИИ

10 научных статей

4 заявки на патент

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus/  
WoS

6 статей в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Проведение исследований в области основных направлений развития и совершенствования конструкций механизмов поворота и систем управления гусеничных дорожно-строительных машин.
- ➲ Проведение комплекса расчетно-теоретических исследований БДМПсССУ для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения.
- ➲ Разработка и выпуск технической документации на бесступенчатый дифференциальный механизм поворота со следящей системой управления с литерой «О1».
- ➲ Проведение комплекса исследовательских, предварительных и приемочных испытаний опытных образцов БДМПсССУ для отработки конструкторских решений.
- ➲ Изготовление макетов и опытных образцов БДМПсССУ для проведения комплекса испытаний.
- ➲ Организация высокотехнологичного производства бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Создание новых потребительских свойств дорожно-строительных машин, а именно:

- повышение производительности за счет увеличения скорости выполнения операций и улучшения управляемости на криволинейных участках траектории при выполнении технологического цикла;
- повышение эффективности использования за счет улучшения эргономических показателей, снижения утомляемости оператора и уровня требований к его квалификации;
- следящая система управления криволинейным движением с обратной связью по углу и скорости поворота, создающая предпосылки в дальнейшем для полной автоматизации процесса управления движением машины.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Тенденции развития рынка промышленных тракторов связаны с повышением производительности и удобства эксплуатации машин.

Одним из способов повышения

производительности и удобства эксплуатации является улучшение маневренности машин и легкости управления и безопасности процесса маневрирования. Поэтому внедрение БДМПсССУ как составной части трансмиссии оказывается приемлемым вариантом как для производителей – не требуется полная перестройка производства, так и для потребителя – при незначительном увеличении цены трактора существенно улучшаются его маневренность и соответственно производительность. БДМПсССУ может быть встроен и адаптирован в бульдозеры и гусеничные трактора различных классов тяги с гидромеханической трансмиссией.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 Г.

В первом полугодии 2020 года проведены предварительные испытания опытных образцов (2 шт.) БДМПсССУ. По результатам предварительных испытаний

были сформированы замечания и рекомендации по проведению корректировки технической документации, в том числе программной документации и доработке опытных образцов в составе машин. По результатам корректировки и повторной проверки сформирован комплект технической документации на БДМПсССУ, которому присвоена литеру «О».

По результатам корректировки технической документации проведена доработка опытных образцов (2 шт.) БДМПсССУ и машин (2 шт.) для приемочных испытаний опытных образцов БДМПсССУ.

Для проведения приемочных испытаний была разработана программа и методики приемочных испытаний опытных образцов БДМПсССУ. Проект завершился успешным проведением приёмочных испытаний и присвоением технической документации на разработанный механизм литеры «О1».

С 2021 года разработанный ЮУрГУ механизм будет серийно выпускаться на предприятии ООО ПК «Ходовые системы».

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

ООО ПК «Ходовые системы».



Рис. 1. Опытный образец бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления



Рис. 2. Машина для проведения приемочных испытаний опытного образца БДМПсССУ с установленным опытным образцом БДМПсССУ



Рис. 3. Опытный образец бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления установленный в машину для проведения испытаний



Рис. 4. Проведение приемочных (полевых) испытаний опытных образцов бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления

# СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОПРИВОДОВ С ГИДРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ ШИРОКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ С НИЗКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ И ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ ДЛЯ СТЕНДОВОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание в кооперации с ООО «Уральский инжиниринговый центр» высокотехнологичного производства комплектующих гидроприводов с гидростатическими направляющими, используемых для проведения эксплуатационных испытаний установок различного рода, в т.ч. в ресурсодобывающей, военной, космической отраслях, с целью повышения эффективности их функционирования и сокращения затрат на планово-восстановительный ремонт. Разрабатываемый ЮУрГУ и планируемый к внедрению в производство ООО «Уральский инжиниринговый центр» гидропривод с гидростатическими направляющими не имеет аналогов в Российской Федерации.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

2 заявки на патент

1 патент на полезную модель

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Проведение опытно-конструкторских, научно-исследовательских работ по разработке уникальных компонентов гидроприводов с гидростатическими направляющими (ГП с ГСН).
- ➋ Проведение опытно-конструкторских, научно-исследовательских работ по созданию уникального оборудования и технологии нанесения твердохромового покрытия на внутренние поверхности ответственных деталей ГП с ГСН.
- ➌ Проведение проектных, строительных работ по возведению полноценного машиностроительного цеха для создания производства ГП с ГСН.
- ➍ Проведение работ по режимно-инструментальному и конструкторско-технологическому оснащению создаваемого высокотехнологичного производства ГП с ГСН.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В ходе выполнения комплексного проекта должны быть созданы:

- гидропривод с гидростатическими направляющими широкой номенклатуры с низким сопротивлением перемещению подвижных частей и повышенным ресурсом для использования в составе стендового испытательного оборудования;
- технология производства ГП с ГСН;
- технология нанесения твердохромового покрытия на внутренние поверхности ГП с ГСН;

– высокотехнологичное производство компонентов ГП с ГСН с низким сопротивлением перемещению подвижных частей и повышенным ресурсом.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

ГП с ГСН будет использоваться для изготовления специальных установок, работающих с применением гидроприводов и обеспечивающих нагрузку на объект (до  $10^8$  циклов) во время проведения эксплуатационных испытаний сложных машин, агрегатов, конструкций и деталей, эксплуатирующихся в нефте-, газодобывающей и космической отраслях, авиа-, двигателе- и ракетостроении.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

### Разработаны:

- эскизный проект, технический проект ГП с ГСН;
- конструкторская документация на опытные образцы ГП с ГСН.

### Разработаны и изготовлены:

- макет крышки с ГСН;
- стенд для проведения исследовательских испытаний макета крышки с ГСН;
- стенд для проведения предварительных испытаний опытных образцов ГП с ГСН;



- установка для нанесения твердохромовых покрытий на внутренние поверхности компонентов ГП с ГСН;
- образцы с твердохромовым покрытием на внутренних поверхностях компонентов ГП с ГСН;
- установка ТВЧ для термообработки компонентов ГП с ГСН.

Разработаны программы и методики:

- исследовательских испытаний макета крышки с ГСН;
- исследовательских испытаний образцов с твердохромовым покрытием на внутренних поверхностях компонентов ГП с ГСН;
- предварительных испытаний опытных образцов ГП с ГСН.

Разработаны технологии:

- нанесения твердохромовых покрытий на внутренние поверхности компонентов ГП с ГСН;

- изготовления компонентов ГП с ГСН;
- сборки ГП с ГСН.

Проведены:

- исследовательские испытания макета крышки с ГСН;
- исследовательские испытания образцов с твердохромовым покрытием на внутренних поверхностях компонентов ГП с ГСН.

Реализована часть плана организации производства и плана технического вооружения производства. Возводится цех по производству ГП с ГСН.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

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

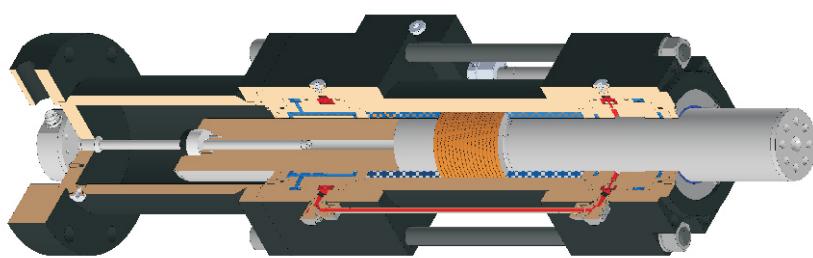


Рис. 1. Модель гидропривода с гидростатическими направляющими (ГП с ГСН)



Рис. 2. Установка для нанесения твердохромовых покрытий на внутренние поверхности компонентов ГП с ГСН

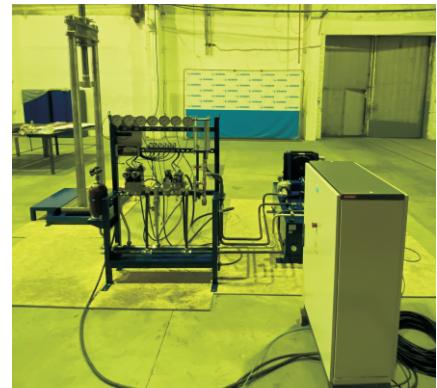


Рис. 3. Стенд для проведения предварительных испытаний ГП с ГСН



Рис. 4. Возводимый цех по производству ГП с ГСН

# РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПРОИЗВОДСТВА, ПЕРЕДАЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ВОДЫ НА ОСНОВЕ ВИМ И ВЕМ ТЕХНОЛОГИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ

**Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор А.Л. Карташев**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка комплекса научно-технических решений, направленных на создание новой интегрированной самонастраивающейся системы управления сложным технологическим комплексом производства, передачи и потребления тепловой энергии и воды на основе ВИМ и ВЕМ технологий с применением предиктивного анализа данных беспроводных сенсоров и интеллектуальных микропроцессорных устройств (далее – Системы)

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

2 доклада на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Получение значимых научных результатов в области интеллектуального анализа данных, параллельных вычислений и прогнозирования. Получение значимых научных результатов в области комплексного управления тепло- и водоснабжением потребителей и оптимизации работы источников теплоснабжения.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Проведены обоснование и выбор направления исследований, в том числе аналитический обзор современных результатов исследований по тематике проекта, патентные исследования по тематике проекта; проведены проектные исследования режимов работы систем тепло- и водоснабжения и методов комплексного управления ими; разработаны соответствующие имитационные модели. Проведены теоретические исследования алгоритмов управления тепло- и водоснабжением на основе прогнозирования потребления энергоресурсов, проведены исследования проектно-конструкторских и программных решений экспериментального образца Системы и его отдельных элементов, а также интеллектуальной сенсорной сети обладают научной новизной.

документация на экспериментальные образцы компонентов Системы, разработаны программы и методики испытаний, проведены исследовательские испытания компонентов Системы. Проведены экспериментальные исследования образца Системы.

Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов, разработаны предложения и рекомендации по реализации результатов проекта.

Полученные результаты представляют собой научно-техническую продукцию, которая может быть использована в области разработки интеллектуальных систем управления сложным технологическим комплексом производства, передачи и потребления энергетических ресурсов.

Разработанные алгоритмы, результаты вычислительных экспериментов с применением имитационной модели теплоэнергетических процессов, результаты исследования проектно-конструкторских и программных решений экспериментального образца Системы и его отдельных элементов, а также интеллектуальной сенсорной сети обладают научной новизной.

Полученные результаты полностью соответствуют требованиям к выполняемому проекту.

Сопоставление полученных результатов с результатами аналогичных работ показывает их соответствие мировому уровню.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Полученные результаты могут применяться в отраслях промышленности (в том числе сфере жилищно-коммунального хозяйства), связанных с технологиями производства, передачи и потребления тепловой энергии и воды.
- Полученные результаты позволяют разрабатывать комплексные интеллектуальные системы тепло- и водоснабжения на основе беспроводных технологий с использованием большого массива данных, в том числе системы прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций на энергетических сетях.



Рис. 1. Автоматизированная имитационная установка для полунатурного моделирования теплогидравлических режимов в инженерных системах объектов ЖКХ и режимов работы отопительного оборудования совместно с модулем исследований технических характеристик полевого сенсорного оборудования

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

- Результаты исследований позволяют внедрять инновационные методы прогнозного управления инженерными коммуникациями для поддержки принятия решений в коммунальном хозяйстве на основе сбора и обработки данных в режиме реального времени, в транспортной среде беспроводных сенсорных сетей.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- ООО «Русская приборостроительная корпорация «Системы управления» (г. Челябинск).



Рис. 2. Экспериментальные образцы автономных интеллектуальных сенсоров давления и температуры



Рис. 3. Экспериментальный образец шлюза

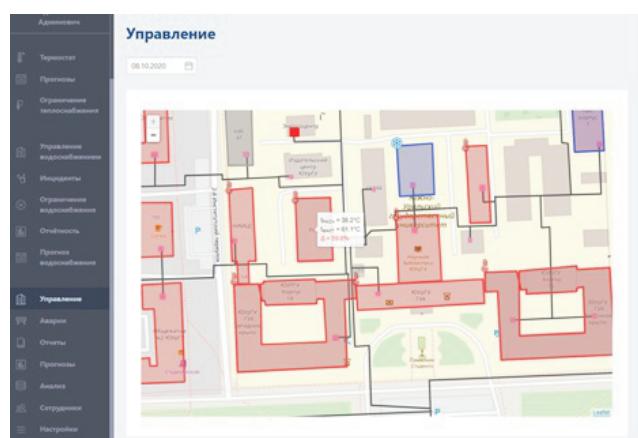


Рис. 4. Схема тепловой сети натурного полигона ЮУрГУ

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТRENДОВ РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ЛИНИИ ПРОКАТА ЛПЦ-11 НА БАЗЕ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Научный руководитель проекта – доктор технических наук, профессор А.Л. Шестаков,  
Технический руководитель проекта – кандидат технических наук Р.А. Закиров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Минимизация потерь производства в результате применения разработанного в рамках НИОКР интеллектуального анализа накопленных данных показаний датчиков, установленных на оборудовании стана холодной прокатки 2000, и прогнозирование остаточного ресурса оборудования на базе разработанной математической модели.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Снижение внеплановых простоев стана 2000 холодной прокатки без учета отказов при сервисном обслуживании. Ожидаемый экономический эффект: среднегодовой эффект без учета потерь на брак 40 млн рублей.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

После сбора достаточной статистики отказов интеллектуальный модуль прогноза остаточного ресурса позволит снизить среднегодовые внеплановые простои стана 2000 холодной прокатки без учета отказов при сервисном обслуживании на 10 %

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

Проведены комплексные расчётно-экспериментальные исследования текущего состояния оборудования прокатного стана 2000. Выявлены причины отказов. Даны рекомендации по проведению ремонтов,

модернизации оборудования и дооснащения датчиками.

Развернута современная реляционная база данных показаний более 5000 датчиков прокатного стана с возможностью хранения временных рядов.

Разработаны следующие модули интеллектуального прогноза остаточного ресурса:

- статистическая модель прогноза остаточного ресурса роликов изгиба-растяжной машины с применением нового энергетического критерия накопления повреждений;
- математическая модель оценки остаточного ресурса шарниров механизма шагающей балки на основе классической теории износа, дополненной учетом статистических характеристик отказов оборудования;
- алгоритмы прогноза ресурса натяжной станции на базе установленных лазерных датчиков профиля роликов и беспроводных интеллектуальных датчиков вибрации;
- математическая модель остаточного ресурса плит системы осевой сдвижки валков прокатного стана на основе экспериментально полученных данных, теории накопления усталостных повреждений и статистической информации разрушений плит.

Модули прогноза остаточного ресурса оборудования внедрены в АСУ ТП прокатного стана. В существующий интерфейс HMI оператора стана выведены индексы технического состояния оборудования.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

ПАО «ММК».

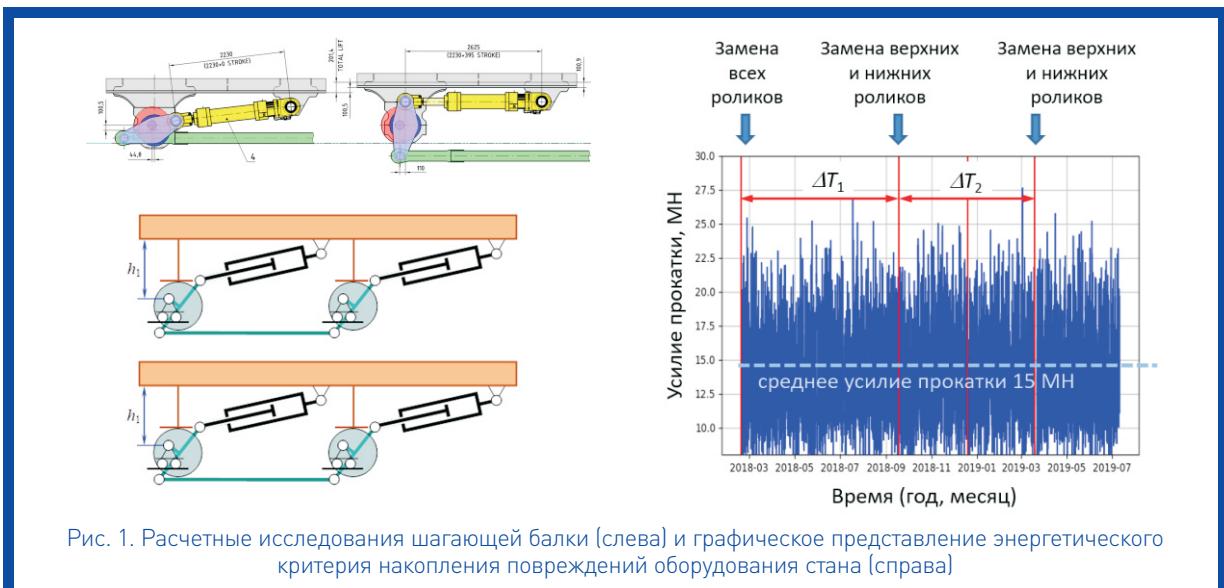


Рис. 1. Расчетные исследования шагающей балки [слева] и графическое представление энергетического критерия накопления повреждений оборудования стана [справа]



# РАЗРАБОТКА ДОКУМЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЧЕЛЯБИНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ В СОСТАВЕ: ЧЕЛЯБИНСКОГО И КОПЕЙСКОГО ГОРОДСКИХ ОКРУГОВ, ЕМАНЖЕЛИНСКОГО, ЕТКУЛЬСКОГО, СОСНОВСКОГО, КОРКИНСКОГО И КРАСНОАРМЕЙСКОГО МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНОВ

Проект выполнен в кооперации ЮУрГУ, НИУ ВШЭ и ИРНИТУ

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обеспечение приоритетного развития общественно-го транспорта в Челябинской агломерации при разработке документов транспортного планирования.

Достижение установленной цели позволит:

- сократить время поездки на общественном транспорте;
- сократить время ожидания на остановочных пунктах;
- повысить комфорт поездки на общественном транспорте;
- осуществлять бесплатную и удобную пересадку;
- повысить охват маршрутной сети.

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Разработка следующих документов:

- ⦿ социальный стандарт транспортного обслуживания населения;
- ⦿ программа комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ);
- ⦿ комплексная схема обслуживания населения общественным транспортом (КСОТ);
- ⦿ комплексная схема организации дорожного движения (КСОДД).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Реализация мероприятий по развитию транспортной инфраструктуры, совершенствованию работы общественного транспорта и организации дорожного движения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- ⦿ Разработаны документы транспортного планирования Челябинской агломерации на основе оценки мероприятий в созданной транспортной макромодели.
- ⦿ Для Челябинской агломерации разработана перспективная маршрутная сеть, которая позволяет сократить среднее время поездки за счёт повышения территориальной

доступности остановочных пунктов и повышения прямолинейности маршрутов.

- Впервые с помощью разработанной мультимодальной транспортной модели был объективно оценён потенциальный пассажиропоток Челябинского метрополитена и сделан вывод об утрате актуальности метрополитена.

## ТРАНСПОРТНАЯ МОДЕЛЬ

- Разработан и внедрен интеллектуальный подсчет транспортных потоков с помощью нейросетевых алгоритмов.
- Использованы биллинговые данные (Big Data) для определения подвижности населения.
- Использованы данные по пространственному распределению населения, включая данные Уралэнергосбыта.
- Проведено натурное обследование транспортных и пассажирских потоков.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ООО «Интерсвязь» (Челябинск).
- ООО «Центр транспортных технологий» (малое инновационное предприятие Иркутского национального исследовательского технического университета).
- АО «МТС».
- Высшая школа экономики (Москва).

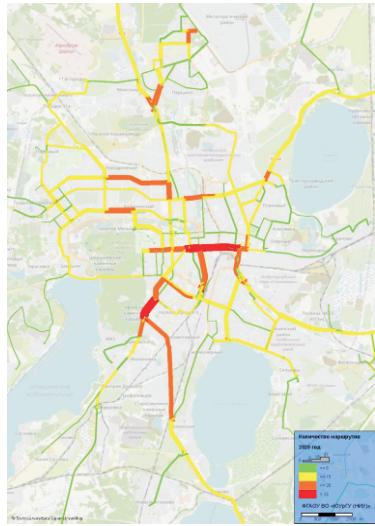


Рис.1. Количество маршрутов

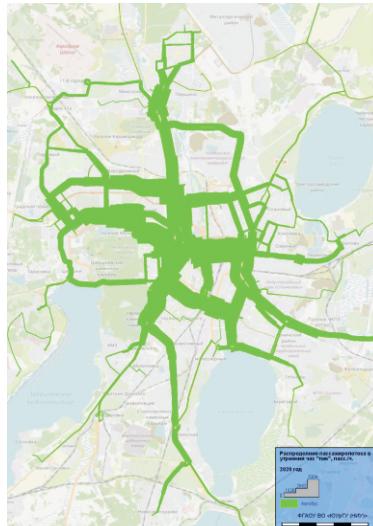


Рис.2. Утренний пассажиропоток.  
Автобус

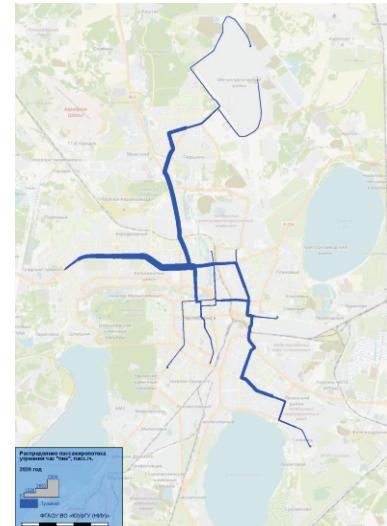


Рис.3. Утренний пассажиропоток.  
Трамвай



Рис.4. Утренний пассажиропоток.  
Троллейбус

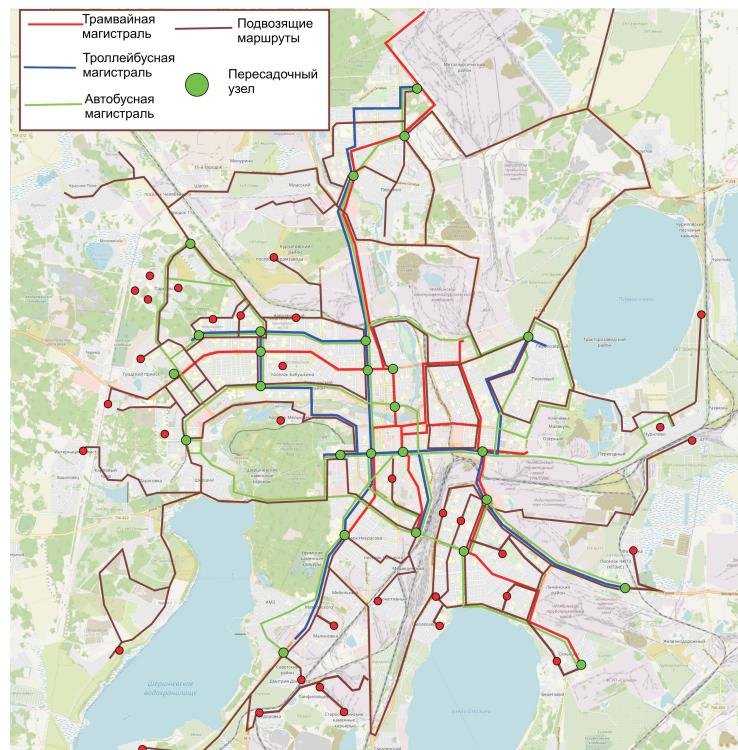


Рис.5. Перспективная маршрутная сеть

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ ИНДУСТРИИ

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор А.Л. Шестаков,  
 Руководитель проекта – доктор физико-математических наук, профессор  
 Л.Б. Соколинский,  
 Руководители научных групп – доктор биологических наук, доцент В.В. Эрлих,  
 доктор физико-математических наук, профессор Г.А. Свиридов,  
 кандидат химических наук, доцент Т.Г. Крупнова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и исследование комплекса моделей, методов и алгоритмов, основанных на синтезе современных суперкомпьютерных и нейросетевых технологий, для решения широкого спектра теоретических и практических задач современной цифровой индустрии.

## ПУБЛИКАЦИИ

20 научных статей

25 научных докладов

8 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

15 статей в Scopus/  
WoS

5 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➁ Разработка аналитических и численных методов исследования задач восстановления динамически искаженных сигналов на основе корректно поставленных задач с использованием методов теории оптимального управления для дескрипторных систем.
- ➂ Построение математической модели фасеточного зрения.
- ➃ Разработка масштабируемого апекс-метода и параллельного алгоритма для построения множества прецедентов для обучения искусственной нейронной сети, способной решать большие задачи линейной оптимизации.
- ➄ Разработка новых масштабируемых моделей, методов и алгоритмов интеллектуального анализа больших временных рядов.
- ➅ Разработка моделей, методов и алгоритмов управления ресурсами вычислительных систем, реализующих концепцию туманных вычислений, предназначенных для моделирования индустриальных процессов как «цифровых двойников».
- ➆ Разработка эффективных алгоритмов построения маршрутов в плоских графах, удовлетворяющих введенным ограничениям.
- ➇ Исследование математической модели теплообмена для полого шара, состоящего из композиционных материалов.
- ➈ Разработка современных методов экологического мониторинга, обладающих прогностическими свойствами.
- ➉ Создание фундаментальных теоретических основ для создания интеллектуальных систем управления

тренировочным процессом человека.

- ➊ Разработка подхода к обучению нейросети для классификации сетевого трафика с малой обучающей выборкой.
- ➋ Исследование зависимости между функциональной связностью мозга и неверbalным интеллектом методами машинного обучения.
- ➌ Разработка нейросетевой модели для классификации дефектов сварных швов труб.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➊ Интеллектуальная система автоматического распознавания, классификации и фиксации аномальных шумов агрегатов и механизмов металлургических предприятий.
- ➋ Интеллектуальная система предотвращения атак на индустриальные сенсорные сети.
- ➌ Интеллектуальная система предупреждения аварийных ситуаций в результате усталости оператора, управляющего сложными технологическими процессами на металлургических и машиностроительных заводах.
- ➍ Математическая модель облачной вычислительной системы, использующей концепцию туманных вычислений для предоставления ресурсов.
- ➎ Нейросетевые модели управления фасеточным зрением.
- ➏ Параллельные алгоритмы интеллектуального анализа сверхбольших сенсорных данных на платформе вычислительного кластера с многоядерными ускорителями.
- ➐ Методология автоматизированной разметки исходных аудиовизуальных

- данных, обеспечивающая дообучение по мере накопления информации.
- ➲ Теоремы о разрешимости задачи оптимального управления решениями уравнений соболевского типа в пространствах случайных процессов при различных условиях.
  - ➲ Программный комплекс численного решения задачи оптимального динамического измерения с учетом случайных воздействий.
  - ➲ Программный комплекс для моделирования загрязнения атмосферного воздуха в режиме реального времени.
  - ➲ Устройство умного контроля и дозирования физической нагрузки, встраиваемое в спортивный тренажер.
  - ➲ Интеллектуальная система выбора индивидуальной траектории обучения на базе многослойной нейросети.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 Г.

- Решена задача оптимального измерения, когда измерение искажено инерционностью измерительного устройства, резонансами в его цепях или его деградацией. Разработан алгоритм построения полезной части наблюдения, искаженного «белым шумом». Доказана теорема о существовании оптимального динамического измерения для модели второго порядка. Для задачи оптимального измерения для полулинейной дескрипторной системы доказана теорема существования точного решения и предложен численный метод решения на основе декомпозиции.
- Разработана математическая модель бинокулярного фасеточного зрения. Разработан алгоритм генерации обучающей выборки для искусственной нейронной сети на основе модели двумерного фасеточного зрения.

- Разработан масштабируемый апекс-метод и параллельный алгоритм на его основе для построения множества прецедентов для обучения искусственной нейронной сети, способной решать задачи линейной оптимизации.
- Разработан параллельный алгоритм поиска аномалий в больших временных рядах на платформе вычислительного кластера с многоядерными ускорителями. Разработан параллельный алгоритм поиска лейтмотивов временного ряда для графического процессора.
- Предложен и реализован подход обработки данных в туманных вычислительных средах с сохранением состояния.
- Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для решения задачи построения маршрута движения режущего инструмента с учетом ограничений на выбор точки врезки, отсутствия пересечений резов и требований к отсутствию дополнительных разрезаний для отрезанной от листа части.
- Разработан оптимальный алгоритм численного решения обратной граничной задачи теплообмена полого шара, состоящего из композиционных материалов.
- Разработана и реализована модель SUSUPLUME для расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Разработано цифровое устройство очистки атмосферного воздуха «Умное дерево».
- Разработано устройство контроля положения центра давления человека в положении стоя и сидя. Разработано устройство контроля ЭКГ, интегрируемое в тренажеры для мониторинга частоты сердечных сокращений в режиме реального времени.
- Разработана нейронная сеть, распознающая и классифицирующая дефекты сварных швов труб.
- Разработана нейросетевая модель, анализирующая сетевой трафик для предотвращения DDoS-атак.
- Разработана нейросетевая модель, предсказывающая невербальный интеллект на основе данных функциональной связности мозга.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

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



Рис. 1. Работа модели SUSUPLUME в комплексе «Экомонитор»

# РАЗРАБОТКА СВЕРХМАСШТАБИРУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и исследование комплекса сверхмасштабируемых моделей, методов и алгоритмов для решения задач оптимизации производственных процессов, основанных на синтезе современных суперкомпьютерных и нейросетевых технологий.

## ПУБЛИКАЦИИ

8 научных статей

6 докладов на научных конференциях

1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в WoS

5 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Разработать n-мерную модель визуального представления задачи линейного программирования.
- ➋ Разработать метод генерации обучающей выборки для разработки нейросетевой модели, позволяющей решать многомерные задачи линейного программирования.
- ➌ Разработать нейронную сеть, способную решать сверхбольшие задачи оптимизации производственных процессов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Будет разработан принципиально новый метод решения задач линейной оптимизации, использующий нейросетевую модель прямого распространения. На основе предложенного метода будет разработан и реализован масштабируемый параллельный алгоритм для решения сверхбольших задач линейного программирования, сочетающий в себе суперкомпьютерные и нейросетевые технологии. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что впервые будет показана применимость глубоких нейронных сетей прямого распространения для решения задач линейной оптимизации.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Прикладная значимость результатов исследования заключается в том, что будет разработан и реализован новый параллельный алгоритм, который будет применим к сверхбольшим задачам оптимизации индустриальных процессов, не поддающимся решению симплекс-методом. Разработанный параллельный алгоритм должен показать высокую масштабируемость и более быструю сходимость на сверхбольших задачах линейного программирования (ЛП) по сравнению с алгоритмами, основанными на методе внутренних точек.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Разработана математическая модель нейросетевого метода решения задачи ЛП.
- Разработан и реализован в виде параллельной программы метод генерации случайных невырожденных задач ЛП произвольной размерности.

- Разработан и реализован в виде параллельной программы оригинальный апекс-метод, позволяющий найти начальную допустимую точку и построить путь от этой точки до точки, являющейся решением задачи ЛП. Указанный метод может быть использован для построения обучающей выборки для нейронной сети.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

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

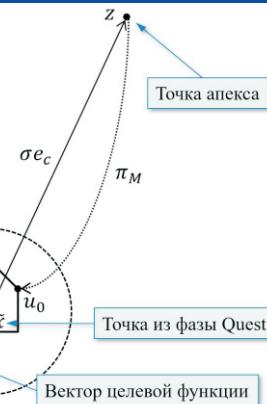


Рис. 1. Вычисление начального приближения

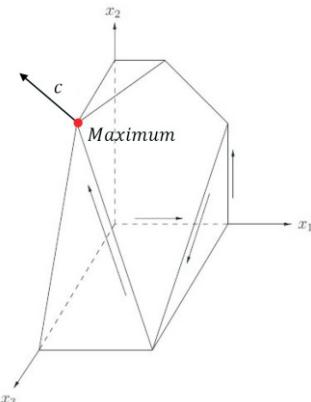


Рис. 2. Графическое представление задачи линейного программирования

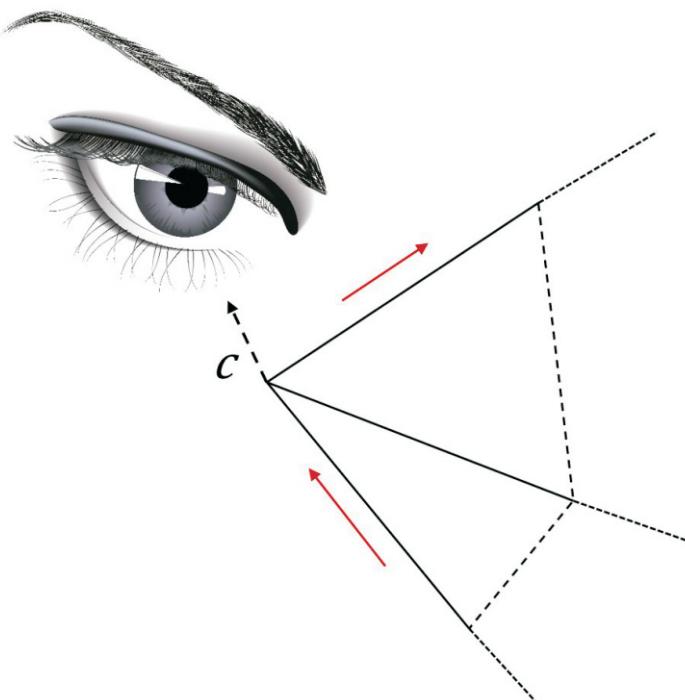


Рис. 3. Искусственный интеллект находит максимум целевой функции

# РАЗРАБОТКА ВЫСОКОМАСШТАБИРУЕМЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА СВЕРХБОЛЬШИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРАХ С МНОГОЯДЕРНЫМИ УСКОРИТЕЛЯМИ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка высокомасштабируемых методов и алгоритмов интеллектуального анализа сверхбольших временных рядов на вычислительных кластерах с многоядерными ускорителями.

## ПУБЛИКАЦИИ

5 научных статей

3 доклада на научных международных конференциях

1 свидетельство Роспатента о госрегистрации программы для ЭВМ

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/  
WoS

3 статьи в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Разработать и исследовать методы и параллельные алгоритмы интеллектуального анализа распределенных временных рядов, обеспечивающие высокую масштабируемость на суперкомпьютерных кластерах с вычислительными узлами на базе многоядерных ускорителей.
- ➋ Разработать и исследовать методы хранения и параллельные алгоритмы интеллектуального анализа временных рядов в реляционной СУБД с открытым кодом.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- ➌ Разработка новых параллельных алгоритмов интеллектуального анализа временных рядов для кластерных вычислительных систем с узлами на базе многоядерных ускорителей.
- ➍ Проведение вычислительных экспериментов с разработанными методами и алгоритмами на реальных и синтетических данных. Подготовка публикаций в рецензируемых научных изданиях.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработанные алгоритмы могут использоваться для анализа больших

временных рядов в широком спектре предметных областей, связанных с умным управлением: предиктивное обслуживание сложных механизмов и машин, персональная медицина, энергоэффективное ЖКХ и др.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Разработан новый параллельный алгоритм поиска аномалий в больших временных рядах на платформе вычислительного кластера с многоядерными ускорителями. Вычислительные эксперименты с реальными и синтетическими временными рядами, проведенные на суперкомпьютерном кластере «Торнадо ЮУрГУ», показали высокую масштабируемость разработанного алгоритма и его более высокую производительность по сравнению с аналогами.
- Разработан новый параллельный алгоритм поиска лейтмотивов временного ряда для графического процессора. Вычислительные эксперименты с реальными и синтетическими временными рядами показали высокую масштабируемость разработанного алгоритма и его более высокую производительность по сравнению с аналогами.

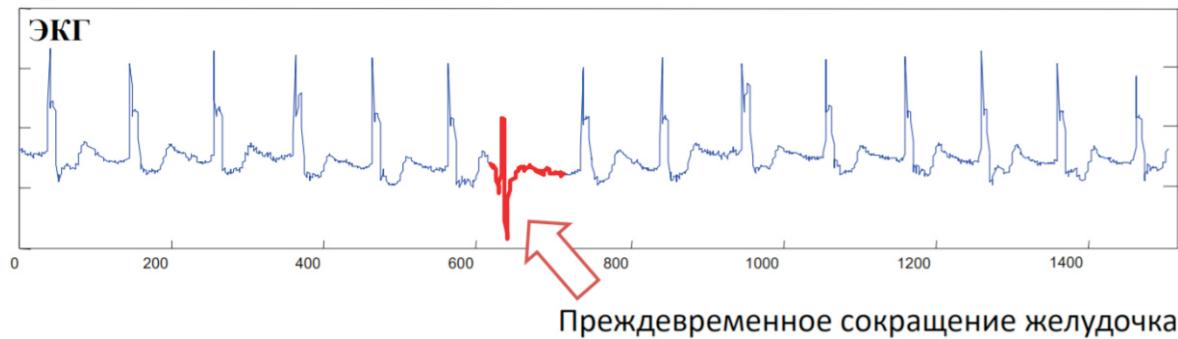


Рис. 1. Аномалия временного ряда в электрокардиограмме

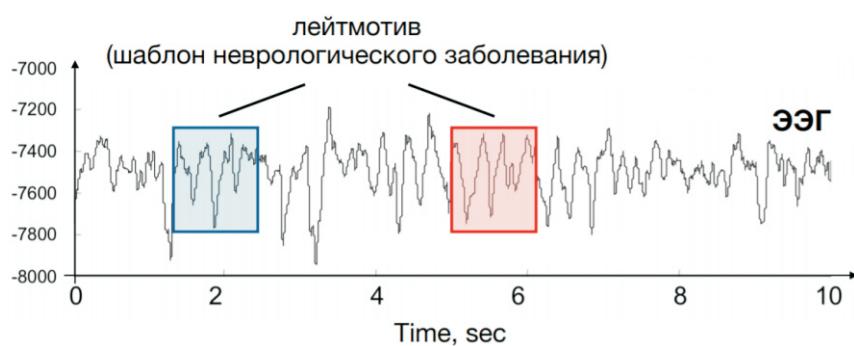


Рис. 2. Лейтмотив временного ряда в электроэнцефалограмме

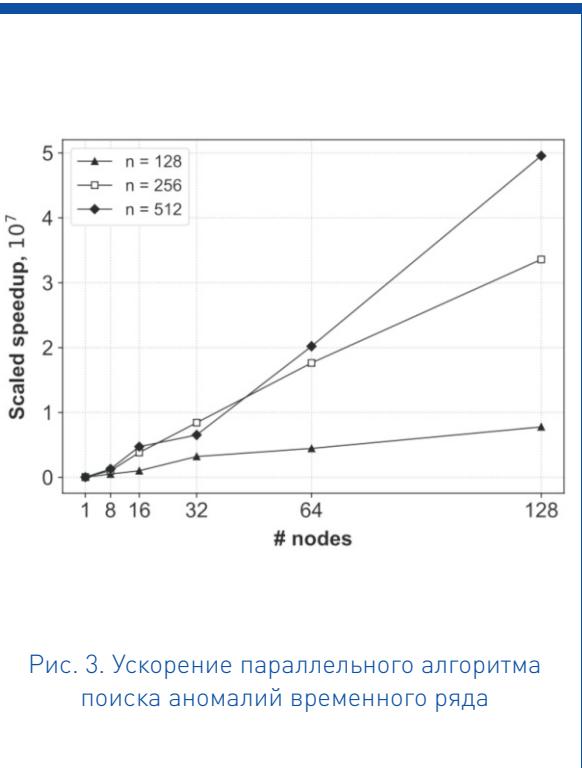


Рис. 3. Ускорение параллельного алгоритма поиска аномалий временного ряда

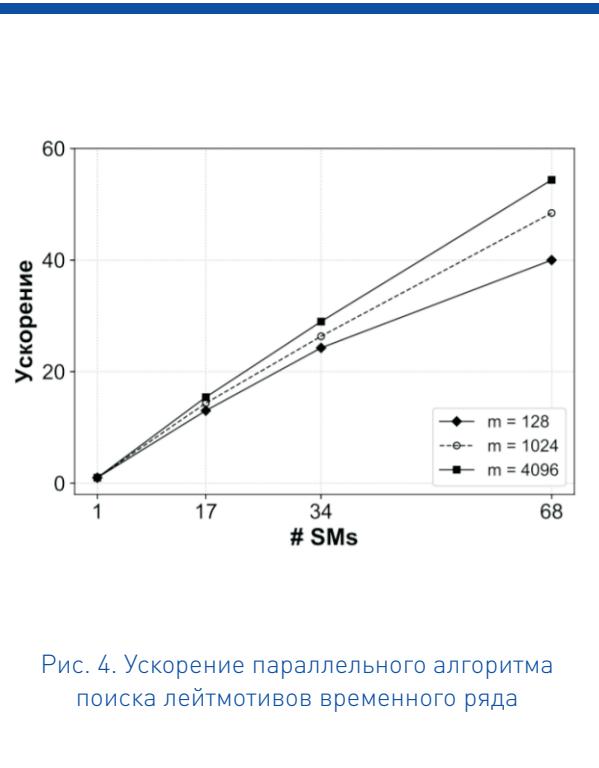


Рис. 4. Ускорение параллельного алгоритма поиска лейтмотивов временного ряда

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ИСПОЛНЕНИИ ПОТОКОВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Руководитель проекта – кандидат физико-математических наук Г.И. Радченко

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка модели облачной платформы для выполнения цифровых двойников для моделирования индустриальных процессов в виде потоков работ.

## ПУБЛИКАЦИИ

16 научных статей

10 докладов на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

12 статей в Scopus/  
WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Разработать модель проблемно-ориентированной облачной вычислительной системы, поддерживающей выполнение «цифровых двойников», основанной на модели Container-as-a-Service (CaaS).
- ➋ Разработать методы и алгоритмы управления ресурсами облачной системы, на основе разработанной модели.
- ➌ Разработать алгоритм планирования выполнения потоков работ, который учитывает вычислительные характеристики и неопределенности задач моделирования индустриальных процессов и систем.
- ➍ Реализовать прототип системы планирования вычислительных ресурсов для проблемно-ориентированной облачной системы для поддержки «цифровых двойников», которая применяет предложенные методы и алгоритмы.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- ➊ Разработанные методы, алгоритмы и архитектуры управления контейнеризированными вычислительными ресурсами позволят разработать платформу для организации облачных и туманных вычислительных сред для поддержки «цифровых двойников».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Проведен анализ существующих решений, методов и алгоритмов в области облачных сред, обеспечивающих поддержку концепции «Индустрии 4.0».
- Разработана модель «цифрового двойника» индустриального технологического процесса.
- Разработана модель облачной вычислительной системы, использующей модель Container-as-a-Service.
- Реализован эмулятор исполнения «цифрового двойника» в рамках контейнеризированной вычислительной среды.
- Разработаны методы управления ресурсами контейнеризованной облачной вычислительной среды, для выполнения «цифровых двойников».
- Созданы новые методы обеспечения безопасности для облачного хранилища данных «цифровых двойников».
- Проведены испытания методов управления ресурсами для оценки их эффективности при исполнении «цифровых двойников».
- Разработана архитектура системы управления контейнеризированными вычислительными ресурсами,

обеспечивающая поддержку концепции «цифровых двойников»

контейнеризированными вычислительными ресурсами

- Реализован экспериментальный образец системы управления контейнеризированными вычислительными ресурсами
- Проведены испытания разработанного экспериментального образца системы управления

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Научный центр города Энсенада (Мексика).

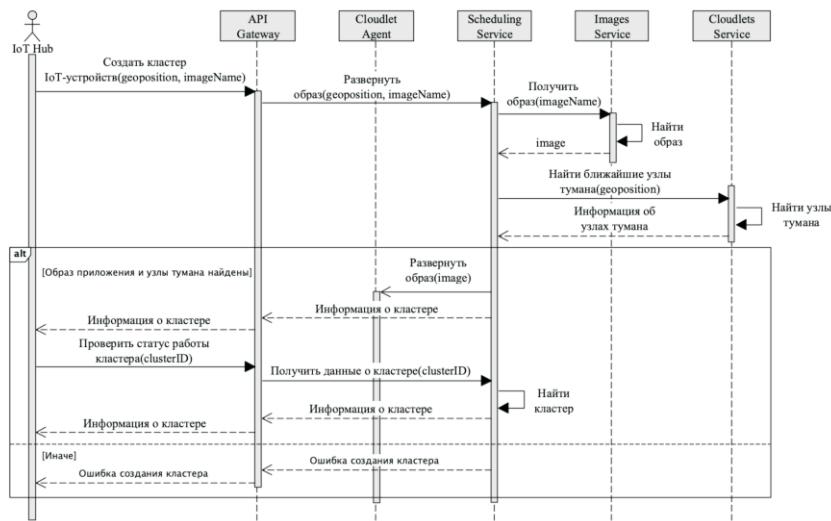


Рис.1. Диаграмма последовательности создания кластера IoT-устройств



Рис.2. Диаграмма вариантов использования туманной вычислительной системы FogCore

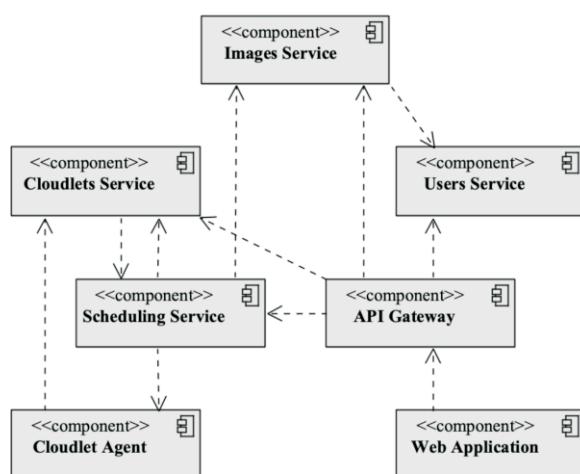


Рис.3. Диаграмма компонентов системы FogCore

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТНОГО И ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДВЕСА ДЛЯ МОДЕЛЬНОГО РЯДА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МИКРОТУРБИННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Руководитель проекта – аспирант Н.И. Неустроев,  
Научный руководитель – доктор технических наук, профессор С.А. Ганджа

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка комбинированного магнитного и газодинамического подвеса.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus

1 статья в РИНЦ

1 статья в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Электромагнитный расчет магнитного подвеса.
- ➋ Механический расчет магнитного подвеса.
- ➌ Создание 3D-модели магнитного подвеса.
- ➍ Оформление эскизной конструкторской документации магнитного подвеса.
- ➎ Расчет газовой динамики газодинамического подвеса.
- ➏ Механический расчет газодинамического подвеса.
- ➐ Создание 3D-модели газодинамического подвеса.
- ➑ Оформление эскизной конструкторской документации газодинамического подвеса.
- ➒ Изготовление макетного образца комбинированного магнитного и газодинамического подвеса.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- ➊ Повышение надежности высокоскоростных генераторов с частотой вращения свыше 70 000 об/мин.
- ➋ Исключение необходимости в обслуживании генераторной части микрогазотурбинной установки.
- ➌ Увеличение ресурса высокоскоростных генераторов.

- ➊ Повышение коэффициента полезного действия микрогазотурбинных установок.
- ➋ Снижение уровня шума и вибрации создаваемых высокоскоростными генераторами.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Автономные электростанции на базе высокоскоростных газовых турбин широко применяются в России и за рубежом. Лидером в этой отрасли является компания Capstone, США. Высокие удельные показатели этих установок достигаются за счет сверхскоростей вращения самой газовой турбины и безредукторного генератора. В настоящее время в системе используются газодинамические подшипники, принцип работы которых основан на всплытии вала ротора в тонком воздушном слое. Но этот эффект проявляется только при больших скоростях вращения, до которых ротор необходимо разогнать. При низких скоростях происходит сухое трение металла о металл, что резко снижает надежность опоры и выводит ее из строя при длительном пуске. В данной работе предлагается на низких скоростях применить магнитный подвес. Во время пуска вращающийся ротор подвешивается в воздухе с помощью магнитной левитации. После достижения сверхкритических скоростей функцию подвеса принимает на себя

газодинамический подшипник, который реализует все свои преимущества в плане жесткости и бесконтактности. В этой системе предлагается разработать активный управляемый магнитный подшипник. Это разрешает противоречие бесконтактной опоры, которая не будет иметь сухого трения на низких скоростях и на запредельных скоростях. Для силовой установки нового поколения предлагается использовать уникальный торцевой генератор с осевым магнитным потоком, что позволит компактно разместить сам генератор и комбинированные газодинамические и магнитные опоры. Такое сочетание принципов газовой динамики и магнитной левитации является инновационным решением для бесконтактных опор, которое позволит увеличить ресурс силовых установок и расширить диапазон мощностей энергоустановок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 Г.

- Рассмотрен пассивный магнитный подвес в качестве опоры для высокоскоростного генератора микрогазотурбинной установки.

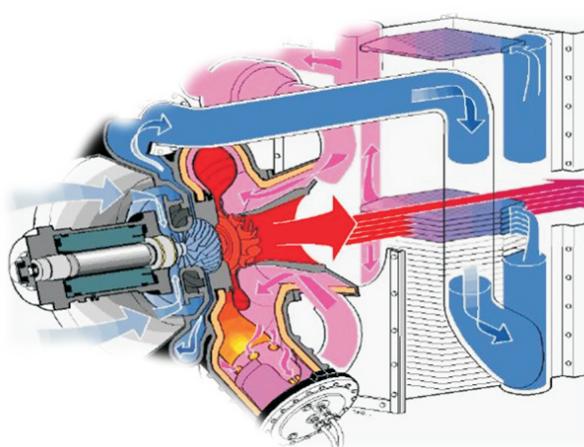


Рис. 1. Микрогазотурбинная установка

- Проведены электромагнитные и механические расчеты в Ansys Electronic Desktop пассивного магнитного подвеса. Результаты проработки представлены на конференции "Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Practice".
- Проведено моделирование в Solidworks аксиального генератора на постоянных магнитах для применения в его составе комбинированного магнитного и газодинамического подвеса. Результаты представлены на конференции International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing.
- Выполнены электромагнитный и механический расчет в Ansys Electronic Desktop и Ansys Structural активного магнитного подвеса.
- Проведено трехмерное твердотельное моделирование в Solidworks активного магнитного подвеса.
- Проведен анализ работы системы управления активным подвесом с подключением схемотехнического аппарата Ansys Simplorer.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

Department of Electrical Engineering, LUT School of Energy Systems, Lappeenranta, Finland.

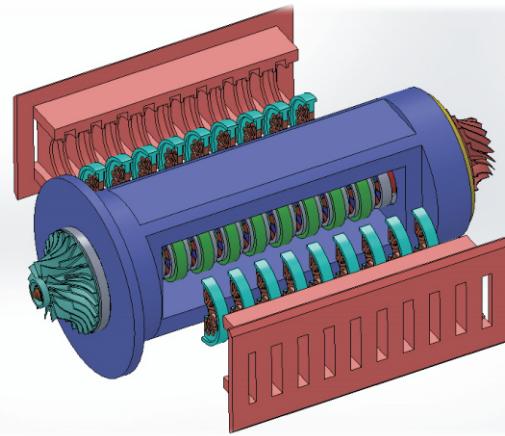


Рис. 2. Модель аксиального генератора на постоянных магнитах

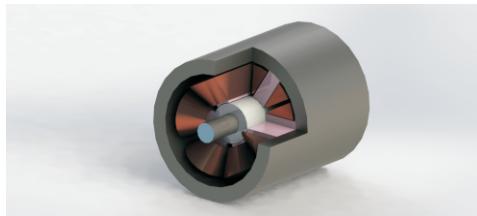


Рис. 3. Модель активного магнитного подвеса

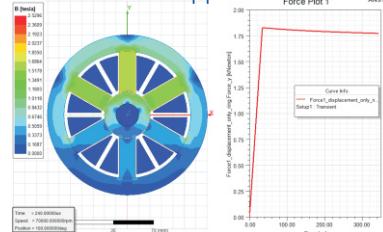


Рис. 4. Электромагнитный расчет активного магнитного подвеса

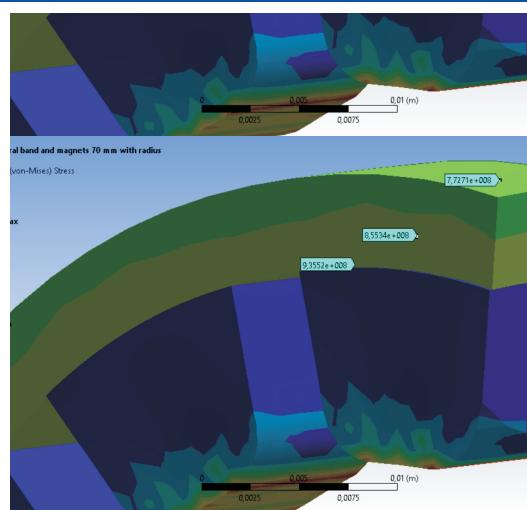


Рис. 5. Результаты механического расчета бандажа генератора

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ СОБОЛЕВСКОГО ТИПА ВТОРОГО ПОРЯДКА

Руководитель проекта – аспирант А.В. Лут,  
Научный руководитель – доктор физико-математических наук,  
профессор А.А. Замышляева

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение обратных задач для математических моделей на основе уравнений соболевского типа второго порядка.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

1 доклад на научной международной конференции

1 свидетельство о регистрации программы

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/  
WoS

1 статья в РИНЦ

2 статьи в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Проведение аналитического исследования обратной задачи для математической модели Буссинеска – Лява на отрезке, в области и на графике.
- ➋ Разработка алгоритма для численного исследования обратной задачи.
- ➌ Реализация алгоритма в виде программ в среде Maple.
- ➍ Проведение различных вычислительных экспериментов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- ➊ Достаточные условия для существования решения поставленной обратной задачи, сформулированные в виде теоремы.
- ➋ Алгоритмы для нахождения численного решения обратной задачи для математической модели Буссинеска – Лява.
- ➌ Программы в среде Maple, реализующие разработанные алгоритмы.
- ➍ Результаты проведения вычислительных экспериментов в программе и их интерпретация.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты работы могут быть применены специалистами в области математической физики и математического моделирования для возможного восстановления внешней нагрузки на конструкцию.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ- СКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Проведено аналитическое исследование обратной задачи для уравнения соболевского типа второго порядка в случае полиномиальной А-ограниченности операторного пучка В. Исследуемая обратная задача подразумевает собой нахождение не только неизвестной функции состояния  $v(x,t)$ , но и функционального коэффициента в уравнении  $q(t)$ . Случай возможной

вырожденности оператора А при второй производной по времени исследуется впервые. Именно в этом случае невозможно применить классические результаты. Применяя методы теории относительно полиномиально ограниченных пучков, разработанной для прямых задач, исходная задача была редуцирована с помощью теоремы о расщеплении к эквивалентной системе двух задач – регулярной и сингулярной, сумма решений которых даст решение исходной задачи.

- В ходе исследования регулярной задачи получены достаточные условия и доказана теорема о существовании единственного решения. При доказательстве был использован метод последовательных приближений при решении интегрального уравнения для определения функции  $q(t)$ .
- Для решения сингулярной задачи применены результаты, полученные ранее для прямой задачи. Таким образом, получены достаточные условия для существования и единственности решения сингулярной задачи, причем решение получено в явном виде. Объединив результаты исследования регулярной и сингулярной задач, была доказана теорема об однозначной разрешимости исходной обратной задачи для уравнения соболевского типа второго порядка в случае полиномиальной А-ограниченности пучка операторов В.
- Следующим шагом было проведено аналитическое исследование обратной задачи для математической модели Буссинеска – Лява. Данная математическая модель описывает продольные колебания (функция  $v(x,t)$ ) в тонком упругом стержне с учетом внешней нагрузки (функция  $q(t)$ ), а известные коэффициенты уравнения характеризуют свойства материала, из которого сделан стержень или конструкция, и связывают между собой такие показатели, как модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность материала и радиус инерции относительно центра тяжести. Данная модель была

редуцирована к уравнению соболевского типа второго порядка. В качестве результата были получены достаточные условия для существования единственного решения обратной задачи для математической модели Буссинеска – Лява с интегральным условием переопределения.

- Далее были проведены численные исследования математической модели Буссинеска – Лява, которая состояла из полного неоднородного уравнения второго порядка, условия Коши, граничного условия Дирихле и интегрального условия переопределения. В начале исследования был разработан алгоритм численного метода, состоящий из 39 шагов. Далее на его основе спроектирована соответствующая схема алгоритма, учитывающая все особенности разработанного метода. Затем потребовалось реализовать данный алгоритм в виде программы для ЭВМ, для этого была выбрана среда Maple, которая имеет встроенные возможности для выполнения всех необходимых математических вычислений. Реализация прошла успешно, и в итоге была зарегистрирована одна программа для моделирования продольных колебаний в тонком упругом стержне с возможностью восстановления внешней нагрузки на стержень. С помощью программы было проведено большое количество вычислительных экспериментов как для тестирования, так и для получения практических результатов. Часть полученных результатов этих экспериментов была уже опубликована.
- На данный момент ведутся исследования уравнений соболевского типа высокого порядка как в случае полного уравнения, так и неполного. Кроме этого, также рассматривается случай для модели, переходящей с отрезка на граф (в данном случае конструкция будет состоять из нескольких тонких упругих соединенных между собой стержней) и на прямоугольник. Для этих моделей также будут изучаться условия однозначной разрешимости и возможность проведения вычислительных экспериментов.

# ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕД, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОТОКОВУЮ ОБРАБОТКУ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Руководитель проекта – аспирант Алаасам Амир Басим Абдуламир,  
Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Г.И. Радченко

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка подхода микропотоков работ для организации потоковой обработки данных в рамках туманной вычислительной инфраструктуры для цифровых двойников

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 доклад на международной конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

30

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Проанализировать концепции и принципы потоковой обработки данных, требуемые для реализации цифровых двойников.
- ➋ Разработать модель микропотоков работ для поддержки реализации цифровых двойников в облачных и туманных вычислительных средах.
- ➌ Разработать методы и алгоритмы организации микропотоков работ и реализовать их в виде прототипа платформы для поддержки обработки данных в туманных вычислительных средах для организации цифровых двойников.
- ➍ Провести тестирование разработанной платформы микропотоков работ на примере реальных цифровых двойников.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- ➊ Систематизация концепций и принципов потоковой обработки данных, требуемых для реализации цифровых двойников.
- ➋ Модель микропотоков работ для поддержки реализации цифровых двойников в облачных и туманных вычислительных средах.
- ➌ Методы и алгоритмы организации микропотоков работ.
- ➍ Прототип платформы для поддержки обработки данных в туманных вычислительных средах для организации цифровых двойников на основе концепции микропотоков работ.

- ➊ Подготовка публикаций в рецензируемых научных журналах.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- ➊ Разработанные методы, алгоритмы и архитектуры управления контейнеризированными вычислительными ресурсами позволят разработать платформу для организации облачных и туманных вычислительных сред для поддержки цифровых двойников.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Проведен анализ существующих решений и методов, поддерживающих реализацию цифрового двойника в туманных вычислениях
- Проведено аналитическое исследование виртуализационной инфраструктуры «с сохранением состояния» и «без сохранения состояния», необходимых для реализации цифрового двойника
- Спроектировано, реализовано и протестировано решение для проблемы живой миграции

- контейнеров при потоковой обработке данных посредством Kafka Stream DSL
- Спроектировано, реализовано и протестировано решение распределения вычислений в виде набора микропотоков работ в туманной вычислительной среде

- Разработан поточный репликатор на основе микропотокового подхода для организации синхронизации географически разделенных кластеров Kafka

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Научный центр города Энсенада (Мексика).

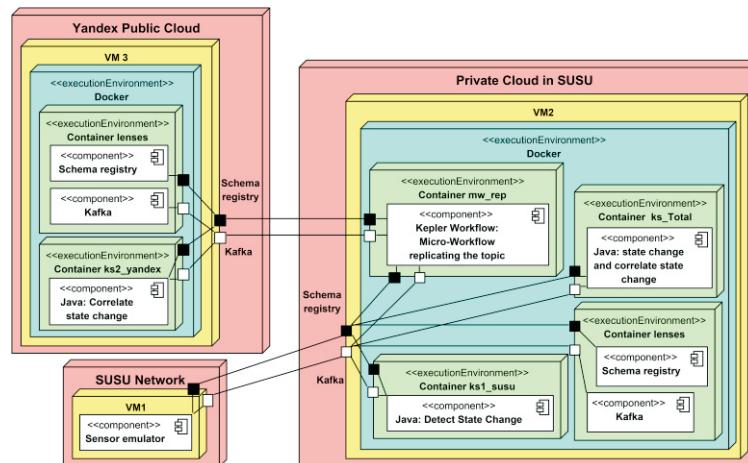


Рис.1. Диаграмма развертывания компонентов эксперимента по распределению вычислительной нагрузки между ресурсами частного и публичного облака

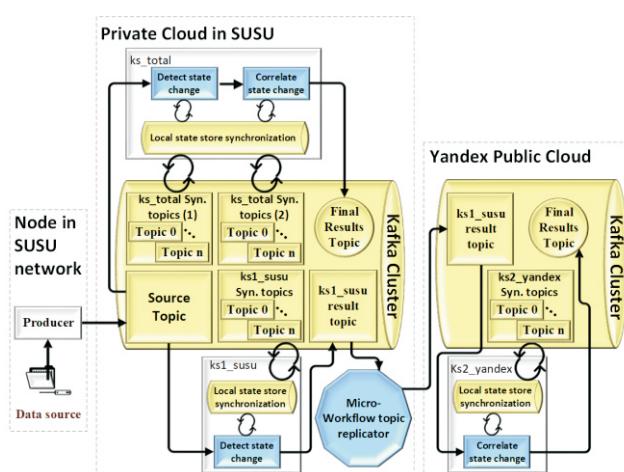


Рис.2. Схема проведения эксперимента по распределению вычислительной нагрузки между ресурсами частного и публичного облака

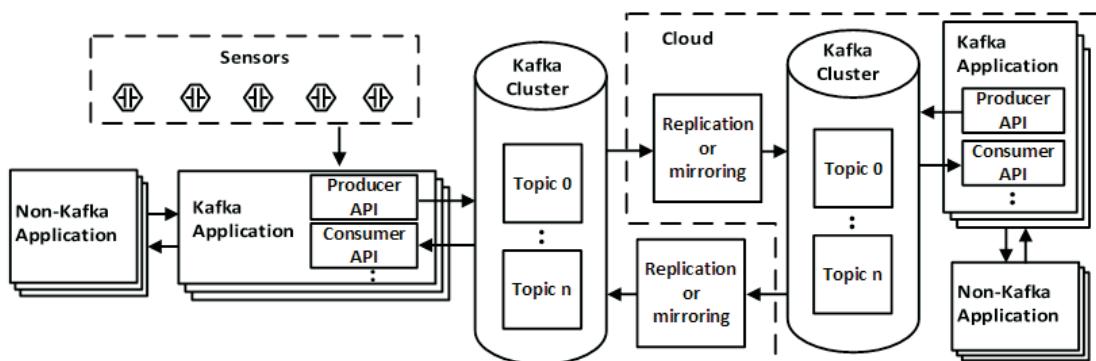


Рис.3. Общая архитектура распределенной вычислительной среды на базе платформы Apache Kafka

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В АСПЕКТЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГА ПРЕДПРИЯТИЙ МАЛОГО БИЗНЕСА

Руководитель проекта - аспирант А.Е. Коваленко,  
Научный руководитель - доктор экономических наук Ю.Г. Кузменко

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Формирование теоретических и методических основ разработки и внедрения технологий интернет-маркетинга в деятельности предприятий малого бизнеса на основе изучения свойств информационного потока интернет-маркетинга.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

1 диссертация

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus/  
WoS

3 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- Основной задачей проекта является адаптация инструментария интернет-маркетинга к деятельности предприятий малого бизнеса, что позволяет описать результаты ведения интернет-маркетинговой деятельности в показателях оценки экономического эффекта и снизить общий уровень неопределенности интернет-маркетинговой деятельности для представителей предприятий малого бизнеса.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Определение технологической сущности интернет-маркетинга с позиции процессов, которые воздействуют на информационный поток интернет-маркетинга и формируются различными инструментами и методами интернет-маркетинга.
- Выделение классификации технологий интернет-маркетинга, определяющей функциональные особенности технологий интернет-маркетинга в структуре технологий маркетинга.
- Разработка системы показателей оценки эффективности технологий интернет-маркетинга и предложение нового вида конверсионной эффективности, которая характеризует процесс перехода коммуникативных эффектов от интернет-маркетинговой деятельности предприятий малого бизнеса в экономические.

- Формирование методического подхода к разработке технологий интернет-маркетинга, который позволяет воздействовать на движение единиц целевой аудитории в сети Интернет и определять разрывы – участки информационного потока интернет-маркетинга, снижающие экономический эффект от разрабатываемой технологии интернет-маркетинга для предприятий малого бизнеса.
- Разработка алгоритма внедрения технологий интернет-маркетинга, позволяющего интерпретировать результаты маркетинговой деятельности в системе показателей оценки экономического эффекта от технологии интернет-маркетинга.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Основная область практического использования результатов проекта – это развитие и маркетинговая поддержка предприятий малого и микробизнеса. Результаты реализации проекта имеют прикладной и учебный характер.

Результаты исследования могут использоваться предприятиями малого и микробизнеса различных сфер деятельности в процессе разработки, внедрения и повышения эффективности использования технологий интернет-маркетинга для комплексного продвижения своих товаров и услуг.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможностях их использования региональными и муниципальными органами власти и управления в качестве научно-методической основы при формировании региональных и муниципальных программ продвижения элементов цифровой экономики и развития малого предпринимательства.

Материалы проекта могут применяться в образовательном процессе учреждений высшего образования при разработке учебных курсов основных образовательных программ бакалавриата и магистратуры «Менеджмент (профиль – маркетинг)» и «Реклама и связи с общественностью», а также при разработке программ повышения квалификации руководителей предприятий малого бизнеса.

Предлагаемый в рамках проекта комплекс расчетно-теоретических исследований может быть formalизован в виде программного продукта – веб-сервиса для аудита интернет-маркетинговой деятельности предприятий малого бизнеса. Назначение программного продукта – анализ типичных ошибок при интернет-маркетинговом продвижении предприятия малого бизнеса и формирование рекомендаций по их устранению.

В рамках текущего этапа исследований на основе использования общенаучных методов исследования (системного анализа, синтеза, анализа литературы и др.) дополнены существующие подходы по вопросу содержания и структуры технологий маркетинга, выделен новый вид технологий интернет-маркетинга и разработана их классификация. На основе применения методов математического моделирования, специальных методов маркетинга и интернет-маркетинга развиты представления о специфике оценки эффективности интернет-маркетинга, сформирован теоретический подход, ориентированный на исследование интернет-маркетинга как особого вида информационного потока. Проведено эмпирическое исследование влияния интернет-маркетинга на деятельность предприятий малого бизнеса, подтвердившее перспективность изучения интернет-маркетинговой деятельности предприятий малого бизнеса с позиции взаимодействующих информационных потоков.

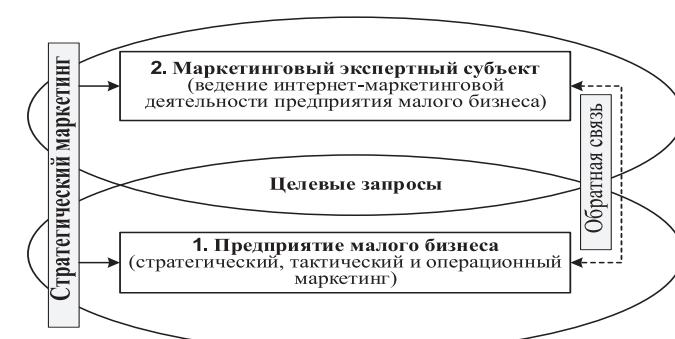


Рис.1. Взаимодействие маркетингового экспертного субъекта и предприятия малого бизнеса в процессе принятия маркетинговых решений

- точка взаимодействия зон ответственности маркетингового экспертного субъекта и предприятия малого бизнеса

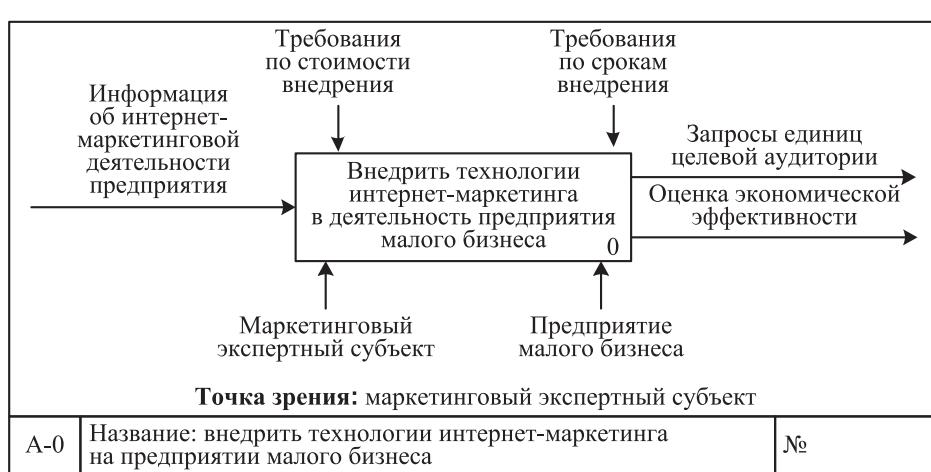


Рис.2. Укрупненная структурно-функциональная модель внедрения технологий интернет-маркетинга в деятельности предприятий малого бизнеса

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

# РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОЛУЧЕНИЮ НОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗ НИХ ЕМКОСТЕЙ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ОТХОДОВ С СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ИХ ОСТЕКЛОВАНИЯ

**Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор И.В. Чуманов**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Разработка технологии создания современных металлических материалов, способных работать более длительное время в условиях радиационного облучения, а также снижение экологической нагрузки на природу внедрением энергосберегающей экологически безопасной технологии производства товаров.

**ПУБЛИКАЦИИ**

**14** научных статей

**3** патента

**4** доклада на международных конференциях

**ИНДЕКСИРОВАНИЕ**

**1** статья в WoS

**8** статей в Scopus

**5** статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Проведение термодинамического моделирования, позволяющего прогнозировать стабильность вводимых дисперсных частиц в металле, стабильность структурных компонентов дисперсно-упрочненного металла в процессе его длительной эксплуатации, стабильность состава и структуры матричного материала в условиях его выплавки совместно с радионуклидами и в процессе его эксплуатации.
- ➋ Проведение термодинамического моделирования, позволяющего прогнозировать коррозию незащищённого матричного материала в водной среде, коррозию дисперсно-упрочненного металла, находящегося в контакте с матричным материалом в процессе заливки ёмкостей расплавом матричного материала.
- ➌ Разработка химических составов марок сталей, которые будут наиболее успешно сопротивляться радиационному излучению.
- ➍ Разработка метода производства дисперсно-упрочненных металлов, содержащих частицы карбида вольфрама, карбида бора или оксида иттрия, получаемых введением дисперсных частиц в кристаллизующийся расплав, обеспечивающего управление распределением вводимых частиц.
- ➎ Создание компьютерной модели распределения дисперсных частиц по сечению цилиндрических дисперсно-упрочненных металлических материалов, разработанной с целью определения степени распре-

деления частиц в зависимости от различных факторов и технологических параметров.

- ➏ Разработка эскизной конструкторской документации для различного оборудования, используемого в ходе выполнения ПНИЭР.
- ➐ Предложения и рекомендации по реализации (коммерциализации) результатов ПНИЭР, вовлечению их в хозяйственный оборот, рекомендации по подготовке к внедрению новых экспериментальных материалов в действующее производство.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➊ Научные результаты термодинамического моделирования, позволяющие прогнозировать стабильность вводимых дисперсных частиц в металле, стабильность структурных компонентов дисперсно-упрочненного металла в процессе его длительной эксплуатации, стабильность состава и структуры матричного материала в условиях его выплавки совместно с радионуклидами и в процессе его эксплуатации.
- ➋ Научные результаты термодинамического моделирования, позволяющие прогнозировать коррозию незащищённого матричного материала в водной среде, коррозию дисперсно-упрочненного металла, находящегося в контакте с матричным материалом в процессе заливки ёмкостей расплавом матричного материала.

- ➲ Химические составы марок стали, которые будут наиболее успешно сопротивляться радиационному излучению.
- ➲ Методы производства дисперсно-упрочненных металлов, содержащих частицы карбида вольфрама, карбида бора или оксида иттрия, получаемых введением дисперсных частиц в кристаллизующийся расплав, обеспечивающие управление распределением вводимых частиц.
- ➲ Компьютерная модель распределения дисперсных частиц по сечению цилиндрических дисперсно-упрочненных металлических материалов, разработанная с целью определения степени распределения частиц в зависимости от различных факторов и технологических параметров.
- ➲ Машина центробежного литья горизонтального типа, обеспечивающая возможность корректировки оборотов и одновременного получения минимум 2 цилиндрических слитков одинакового или разного размера; машина центробежного литья вертикального типа, обеспечивающая возможность получения глуходонного цилиндрического слитка; установка для изучения смачивания материалов.
- ➲ Технологический регламент получения металлических емкостей для транспортировки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), обеспечивающий повышенный срок службы и экономически целесообразной по сравнению с существующими способами.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Полученные данные позволяют вкупе предложить технологии создания современных металлических материалов, способных работать более длительное время в условиях радиационного облучения, а также снизить экологическую нагрузку на природу внедрением энергосберегающей экологически безопасной технологии производства товаров. Разработанные регламенты, технологические инструкции, программы и методики испытаний, эскизная конструкторская документация может использоваться в смежных отраслях промышленности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

- Изготовление образцов силикатных матричных материалов.
- Исследования образцов силикатных матричных материалов согласно разработанной лабораторной инструкции.



Рис. 1. Внешний вид заготовки, полученной на машине центробежного литья вертикального типа, а – вид сбоку, б – вид снизу

- Изготовление установки для исследования смачиваемости материалов.
- Изучение смачиваемости вводимых частиц трех типов: карбид вольфрама, карбид бора, оксид иттрия.
- Разработка технологических инструкций по получению дисперсно-упрочненных металлических материалов на машинах центробежного литья горизонтального и вертикального типов по скорректированному режиму.
- Сопоставление результатов компьютерного моделирования и распределения дисперсных частиц по сечению получаемых цилиндрических дисперсно-упрочненных металлических материалов и проведение корректировки компьютерной модели.
- Получение дисперсно-упрочненных металлических материалов с лазерной наплавкой различных составов.
- Работы по выявлению зависимостей и закономерностей механических свойств, стойкости, структур от параметров проведенных экспериментов, а также сопоставление результатов исследования стойкости дисперсно-упрочненных металлических материалов, выплавленных и обработанных (термически и термомеханически) в результате реализации проекта с существующими на данный момент на рынке материалами.
- Разработка лабораторного технологического регламента по изготовлению контейнера для перевозки ОЯТ.
- Модернизация машин центробежного литья горизонтального и вертикального типа согласно скорректированной эскизно-конструкторской документации.
- Разработка режимов обработки экспериментальных материалов резанием, включающих определение технологических ограничений и требований к обработанной поверхности, относительную оценку обрабатываемости исследовательских и экспериментальных образцов дисперсно-упрочненных металлических материалов.
- Проведение исследования дисперсно-упрочненных металлических материалов на изучение стойкости к радиационному излучению в специализированной лаборатории.
- Формирование предложений и рекомендаций по реализации (коммерциализации) результатов ПНИЭР, вовлечению их в хозяйственный оборот, рекомендации по подготовке к внедрению новых экспериментальных материалов в действующее производство.
- Получение экспериментальных образцов дисперсно-упрочненных металлических материалов с разливкой во вращающуюся форму и введением дисперсных частиц при разливке на центробежно-литых машинах горизонтального и вертикального типов.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ООО «МИАН»
- ООО «Ремонтно-механический завод «НИХАРД-СЕРВИС»»



Рис. 2. Внешний вид изготовленной машины центробежного литья вертикального типа

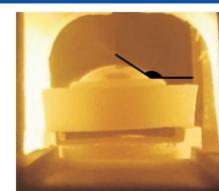


Рис. 3. Измерение угла смачиваемости пары материалов (WCr – сталь 12Х18Н10Т)

# НА ПУТИ К НОВЫМ ГИБРИДНЫМ МАТЕРИАЛАМ: ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОТ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО УРОВНЯ ДО НАНОЧАСТИЦ

**Руководитель проекта – доктор химических наук, доцент Е.В. Барташевич,  
Руководители научных групп – кандидат технических наук М.В. Мишнев,  
кандидат химических наук В.А. Потёмкин,  
доктор химических наук О.А. Ракитин**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Моделирование и разработка новых гибридных материалов на уровне от атомно-молекулярного до наночастиц.

## ПУБЛИКАЦИИ

18 научных статей

6 докладов на международных конференциях

1 доклад на всероссийской конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

15 статей в Scopus/  
WoS

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

На данном этапе проекта ставились задачи разработки либо усовершенствования ряда компьютерных методов для анализа и прогноза биологической активности и физико-химических свойств вещества, а также моделирования и исследования деформативных свойств при повышенных температурах термопрессивных связующих горячего отверждения, стеклопластиков на основе этих связующих и свойств цементных композитов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➲ Синтез, анализ и прогноз биологической активности новых антигрибковых и антибактериальных агентов в ряду соединений 1,2,3-тиаселеназольных и 1,2,3-дитиазольных гетероциклов.
- ➲ Разработка высокопрогностических моделей для оценки ADMET свойств молекул (Absorption, Distribution, Metabolism, Excretion, Toxicity); исследования комплексов HIV-1 протеазы и её ингибиторов, противоопухолевых средств – ингибиторов EGFR; прогноз и проверка гепатопротекторных свойств экстракта *Oroxylum indicum*.
- ➲ Методология построения молекулярно-динамической модели эпоксидной смолы, подготовленной к моделированию процесса отверждения.

- ➲ Построение и проверка моделей для исследования деформативных свойств цементных композитов с учетом их мезоструктурного уровня строения.
- ➲ Получение новых данных о деформативных свойствах при термическом старении полимерных термопрессивных связующих горячего отверждения, в том числе модифицированных минеральными микро- и наноразмерными добавками. Оценка влияния изменения деформативных характеристик связующих на свойства композитных материалов и конструкций на их основе.
- ➲ Разработка специализированного программного обеспечения: 1) для визуализации и анализа периодических расчетов в рамках DFT; 2) для минимизации энергии молекул на основе метода Нелдера–Мида; 3) для расчета электронных свойств больших молекулярных систем в рамках on-line расчетов на сайте [chemosophia.com](http://chemosophia.com).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Было показано, что 4,5,6-трихлорцикlopента [d][1,2,3]тиаселеназол может быть применен против золотистого стафилококка; 1,2,3-тиаселеназолы представляют собой новый класс потенциальных соединений для лечения мультирезистентных госпитальных инфекций.

Предложенная методология моделирования наночастиц оксида титана обеспечит быстрые и эффективные прогнозы влияния их строения на фотovoltaические свойства материалов.

Разработан и исследован состав радиозащитной многокомпонентной строительной смеси, предложен способ формирования двухслойных покрытий, в которых базовый слой – экранирующий, а покровный – поглощающий. На практике использование данной модели позволяет осуществить подбор компонентов и технологических приемов для повышения упругих характеристик бетонов на 20 % и выше.

Полученные результаты исследований деформативных свойств позволяют достичь расширения области применения стеклопластиковых оболочечных строительных конструкций, таких как дымовые трубы и газоходы, опоры линий электропередачи, а также снизить их себестоимость на 20...30 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 Г.

В ходе первого года выполнения проекта были синтезированы новые соединения 1,2,3-тиаселеназольных и 1,2,3-дитиазольных гетероциклов, среди которых были успешно идентифицированы соединения с широкой активностью и ограниченной токсичностью. Показано, что обработка 1,2,3-дитиазолов при температурах около 100 °C давала соответствующие 1,2,3-тиаселеназолы с умеренными или хорошими выходами в тщательно подобранных условиях реакции.

Исследованы комплексы HIV-1 протеазы дикого типа и её ингибиторов с экспериментально определенными структурами и константами ингибирования. Предложен простой и легкий в выполнении анализ, который оказался успешным в распознавании остатков, точечные мутации которых могутdezактивировать фермент. Для ингибиторов EGFR – противоопухолевых средств найдены взаимосвязи биологической активности с электронными характеристиками комплексов. Предложена структура нового перспективного противоопухолевого средства,

аналога куркумина, активного в отношении домена EP300 НАТ. Предсказаны гепатопротекторные свойства экстракта *Oroxylum indicum*, при этом экспериментально экстрагированы фитокомпоненты с данным биологическим эффектом.

Предложен подход и выполнено моделирование наночастиц оксида титана и рассмотрено влияние их строения на фотовoltaические свойства солнечных батарей. Разработана новая методология моделирования структуры эпоксидной смолы, которая позволяет последовательно вводить сшивки и уравновешивать моделируемую систему после каждого цикла их внедрения.

Для моделирования деформативных свойств термопрерывистых наполненных и ненаполненных полимеров предложена слоевая модель, учитывающая доменную структуру отверженного полимера, адсорбционный характер связей между доменами и корреляцию с энтропией. Проведены экспериментально-теоретические исследования термостойкости и механических свойств в зависимости от температуры эпоксидного связующего горячего отверждения на ангидридовом отвердителе. Показано, что наполнение связующего микромрамором существенно повышает жесткостные характеристики стеклопластика на его основе и может быть эффективным при применении в конструкциях промышленных дымовых труб.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, Россия
- Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова РАН, Россия
- University of Central Florida, Orlando, USA
- University of Limerick, Limerick, Ireland
- Delhi University, Delhi, India
- Sam Higginbottom University of Agriculture, Technology and Sciences, Allahabad, India
- South African National Bioinformatics Institute, Cape Town, South Africa

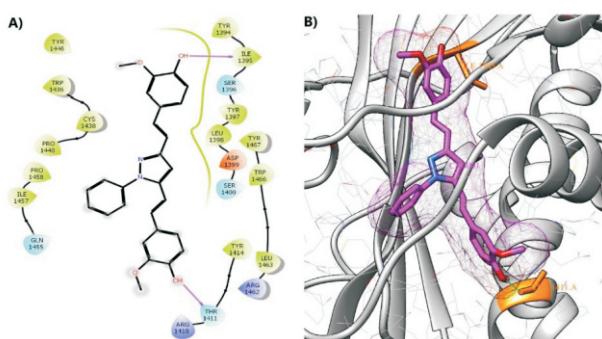


Рис. 1. Моделирование взаимодействий CNB001 – EP300 НАТ и расположения CNB001 на активном сайте домена НАТ EP300

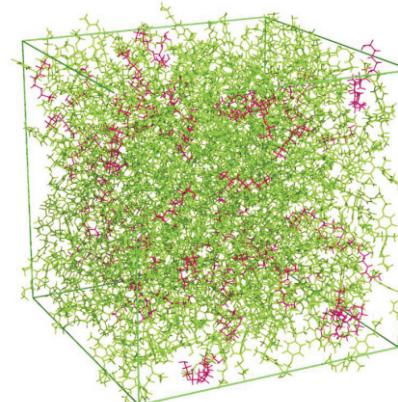


Рис. 2. Моделируемая ячейка жидкой эпоксидной смолы с молекулами отвердителя. Зеленым цветом обозначены моно- и олигомеры диглицидилового эфира абисфенола А, лиловым – молекулы триэтилентетрамин

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРОЦЕССОВ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ ПРОКАТКИ

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор М.Н. Самодурова,  
Руководители научных групп – доктор технических наук, профессор А.С. Карандаев,  
кандидат технических наук Л.В. Шипулин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретическое и экспериментальное изучение физических и химических процессов, протекающих в ходе формирования покрытий на основе высоконтропийных сплавов, формируемым с использованием методов аддитивных технологий, процессов обработки материалов давлением и высокоскоростной абразивной обработки. Создание на основе полученных результатов цифровых двойников исследуемых процессов.

## ПУБЛИКАЦИИ

15 научных статей

9 научных докладов

2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

9 статей в Scopus/  
WoS

6 статей в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Теоретическое и экспериментальное изучение процессов образования высоконтропийных фаз в условиях реализации ряда аддитивных технологий. Определение состава, формы и размера частиц порошков, обеспечивающих формирование высоконтропийных фаз в условиях реализации аддитивных технологий.
- ➲ Определение технологических параметров, обеспечивающих формирование высоконтропийных фаз в условиях реализации аддитивных технологий, которые бы характеризовались высоким уровнем адгезии к металлу подложки. Изучение структуры и свойств (прочности сцепления с подложкой, механических характеристик, стойкости к коррозии в электролитах и газовой коррозии, жаропрочности) покрытий на основе высоконтропийных фаз.
- ➲ Разработка цифровых двойников процессов нанесения и высокоскоростной абразивной обработки покрытий и изделий, учитывающих основные внешние и внутренние физические взаимосвязи этих процессов.
- ➲ Обоснование научных положений и методологического подхода к разработке цифровых двойников энергосиловых процессов обработки металлов давлением прокаткой. Разработка цифровых двойников формоизменения раскатов на основе усовершенствованных методов расчета давлений по осевым направлениям в очаге деформации.

- ➲ Развитие теоретических положений многосвязных систем автоматического регулирования процессов обработки металлов прокаткой. Разработка способов и алгоритмов управления мехатронными системами агрегатов обработки металлов давлением прокаткой на основе цифровых двойников. Разработка цифровых двойников технологического оборудования, межатронных комплексов, обеспечивающих повышение качества металлопроката при реализации современных технологий обработки металлов давлением прокаткой.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➲ Новые образцы покрытий на основе высоконтропийных металлических сплавов, а также высоконтропийных неметаллических фаз, полученные методами лазерной наплавки и детонационного напыления.
- ➲ Новые методики получения композиционных покрытий на основе высоконтропийных сплавов с неметаллическими включениями, модифицирующими свойства поверхности покрытия. Вспомогательное программное обеспечение для реализации методик получения покрытий. Новые базы модельных параметров, позволяющих реализовывать адекватное экспериментальным данным моделирование. Новые результаты моделирования исследуемых процессов.
- ➲ Новая технология проектирования технологических процессов обработки изделий машиностроения,

опирающаяся на использование наукоемкого программного обеспечения, что расширит рамки использования современного интеллектуального оборудования.

- ➲ Методики предиктивного анализа состояния производственного оборудования в условиях эксплуатации на основе стохастических и физико-статистических моделей и обработки телеметрической информации, представленной в виде временных рядов. Новые результаты разработки цифровых двойников и методов отображения состояния компонентов диагностируемого объекта на их основе. В частности, цифровые двойники технологического оборудования мехатронных комплексов, способы и системы управления системами агрегатов обработки металлов давлением прокаткой на основе цифровых двойников.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Научная работа направлена на развитие методов создания цифровых двойников технологических процессов обработки современных металлических материалов (одной из групп которых являются высокоэнтропийные сплавы) посредством современных технологических процессов (к которым относятся и аддитивные технологии, и высокоскоростная абразивная обработка, и обработка давлением). Применительно к комплексу решаемых задач наиболее информативным является применение двойников-экземпляров (Digital Twin Instance), которые содержат информацию о составе оборудования, конструктивном исполнении, комплектующих элементах и материалах, а также информацию, поступающую от информационно-измерительных устройств в on-line режиме. Это предопределяет необходимость разработки научных подходов, методологической базы и систем диагностического мониторинга на качественно новой основе примене-

ния цифровых технологий. Наконец, актуальной является задача разработки методологии технологического проектирования операций, которая бы учитывала технологические возможности современного оборудования. Основой такой методологии должен стать математический аппарат теории оптимизации технологических процессов, который использует целый комплекс имитационных моделей, позволяющих с высокой точностью прогнозировать параметры протекания технологического процесса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

- Получены новые образцы покрытий на основе высокоэнтропийных металлических сплавов, а также высокоэнтропийных неметаллических фаз, полученные методами лазерной наплавки и детонационного напыления.
- Разработаны новые методики получения композиционных покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов с неметаллическими включениями, модифицирующими свойства поверхности покрытия. Разработано вспомогательное программное обеспечение для реализации методик получения покрытий.
- Начаты работы по созданию новой технологии проектирования технологических процессов обработки изделий машиностроения, опирающейся на использование наукоемкого программного обеспечения, что расширит рамки использования современного интеллектуального оборудования.
- Разработаны методики предиктивного анализа состояния производственного оборудования в условиях эксплуатации на основе стохастических и физико-статистических моделей и обработки телеметрической информации, представленной в виде временных рядов.



Рис. 1. Робот-манипулятор KUKA KR-120



Рис. 2. Детонационный комплекс CCDS2000

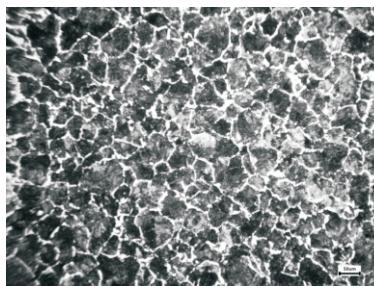


Рис. 3. Микроструктура заготовки из стали марки 40ХН (x100)

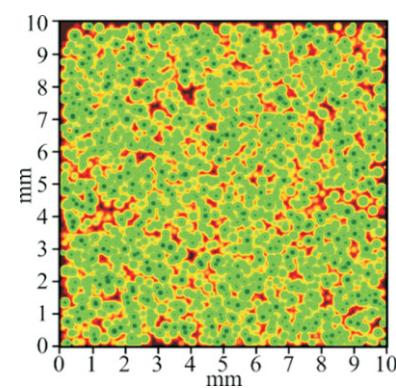


Рис. 4. Поверхность инструмента различной зернистости F30

# РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ, А ТАКЖЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Руководитель проекта – доктор технических наук, профессор М.Н. Самодурова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретическое и экспериментальное изучение физических и химических процессов, протекающих в процессе формирования покрытий на основе высоконентропийных сплавов, формируемым с использованием методов лазерной наплавки, холодного газодинамического напыления и детонационного напыления, а также исследование свойств образующихся покрытий и того, какказываются на этих свойствах параметры процессов образования покрытий.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

3 научных доклада на международных конференциях

1 научный доклад на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus/  
WoS

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Теоретическое и экспериментальное изучение кинетики и термодинамики процессов образования высоконентропийных фаз в условиях реализации аддитивных технологий.
  - ➲ Определение состава, формы и размера частиц порошков, обеспечивающих формирование высоконентропийных фаз в условиях реализации аддитивных технологий.
  - ➲ Определение технологических параметров, обеспечивающих получение высоконентропийных фаз в условиях реализации аддитивных технологий, которые бы характеризовались высоким уровнем адгезии к покрываемому металлу.
  - ➲ Изучение структуры и свойств (прочности сцепления с подложкой, механических характеристик, стойкостью к коррозии в электроли- тах и газовой коррозии, жаропрочностью) покрытий на основе высоконентропийных фаз.
  - ➲ Поставленные перед проектом задачи являются комплексными, поскольку их выполнение предполагает необходимость соединения для их решения усилий специалистов в различных отраслях науки и инженерии.
- ## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА
- ➲ Новые образцы покрытий на основе высоконентропийных металлических сплавов, а также высоконентропий-
  - ных неметаллических фаз (последние будут изучаться на третьем этапе исследования), полученные методами лазерной наплавки, детонационного напыления и холодного газодинамического напыления.
  - ➲ Новые методики получения покрытий на основе высоконентропийных сплавов, полученные методами лазерной наплавки, детонационного напыления и холодного газодинамического напыления из порошков различного состава, включая низконентропийные металлические порошки (чистых металлов или сплавов двух-трёх компонентов). Вспомогательное программное обеспечение для реализации методик получения покрытий.
  - ➲ Новые методики получения композиционных покрытий на основе высоконентропийных сплавов с неметаллическими включениями, модифицирующими свойства поверхности покрытия. Вспомогательное программное обеспечение для реализации методик получения покрытий.
  - ➲ Термодинамические и кинетические модели процессов образования высоконентропийных 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 получен-

ных 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

Возможность практического использования запланированных результатов проекта в экономике связана с тем, что успешная реализация проекта создаст научную базу для разработки и внедрения на территории Российской Федерации новых, опережающих мировой уровень технологии нанесения конструкционных покрытий с уникальным сочетанием полезных характеристик, которые могут найти применение в авиастроении и космической промышленности, в химическом и нефтегазовом машиностроении, в атомной промышленности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 Г.

Результат 1 года:

Методом лазерной направки получены новые образцы однофазных в своей основе покрытий высоконентропийных металлических сплавов. Методом лазерной направки получены новые образцы композиционных покрытий на основе высоконентропийных металлических сплавов с включениями карбидов и оксидов. Методами детонационного напыления и холодного газодинамического напыления получены композиционные покрытия из смеси низконентропийных порошков, валовый состав которых соответствует составу высоконентропийных сплавов и которые могут быть преобразованы в покрытия из высоконентропийных сплавов в результате различного рода воздей-

ствий (таких как длительная термообработка, лазерная обработка поверхности и т. п.).

В экспериментах использованы порошки Co-30Cr-2.4C-1.1Si и Ni-11Cr-2.9Fe-3.9Si-2.3B [производства Hoganas Co], а также Co-28Cr-4.5W и Fe-16Cr-2Ni [все в мас.%] [производство Castolin Eutectic Co], а также порошок чистой меди и др.

При подборе составов порошковых смесей, с которыми проводилась работа (как в ходе работ по использованию лазерной наплавки, так и в работах, которые выполнялись на установках ХГН и детонационного напыления) по термодинамическому моделированию фазовых равновесий, которые должны реализоваться (при условии достижения термодинамического равновесия) в конкретных исследуемых системах [т. е. с заданным составом].

- Разработаны новые методики получения покрытий (включая композиционные) на основе высоконентропийных сплавов, полученные методами лазерной наплавки, детонационного напыления и холодного газодинамического напыления из порошков различного состава, включая низконентропийные металлические порошки (чистых металлов или сплавов двух-трёх компонентов). Разработано вспомогательное программное обеспечение для реализации методик получения покрытий.
- Разработаны модели процессов образования высоконентропийных фаз в условиях нанесения покрытий и возможной эксплуатации. Моделирование включало в себя подбор моделей, которые использовались для описания энергии Гиббса твёрдых металлических растворов (высоконентропийных металлических фаз), подбор необходимых для моделирования термодинамических характеристик компонентов исследуемых систем. Разработанные модели были реализованы в программном комплексе FactSage 7.3. Моделирование позволило оценить принципиальную возможность формирования высоконентропийных металлических твёрдых растворов в системах заданного состава. Для последующих экспериментальных работ отбирались составы, в которых при условии достижения термодинамического равновесия может формироваться высоконентропийная металлическая фаза.
- Получены результаты исследования состава и микроструктуры образцов полученных покрытий, их механических и трибологических характеристик, адгезии к подложке.

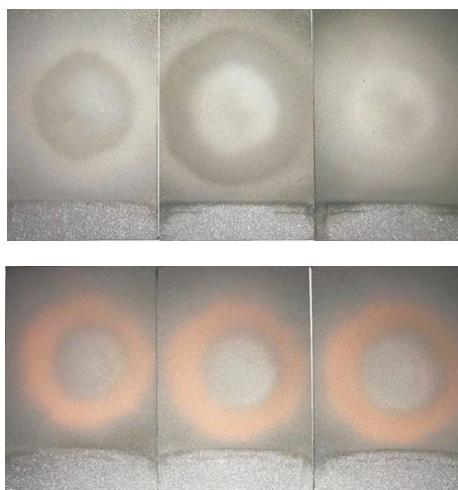


Рис. 1. Образцы детонационных покрытий

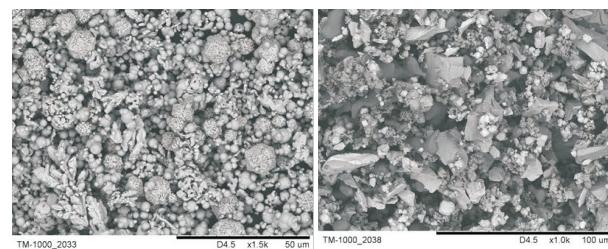


Рис. 2. Морфология порошковых смесей

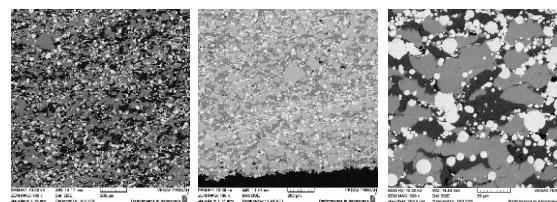


Рис. 3. Изображения поперечных шлифов высоконентропийного композита, полученного путем ХГН

# РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УПРАВЛЯЕМОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗ НИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОВЕНТИЛЯТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Данный проект направлен на решение проблемы повышения доли волокнистых полимерных композитных материалов в конструкции современных отечественных турбореактивных двухконтурных двигателей.

## ПУБЛИКАЦИИ

8 научных статей

1 доклад на международной конференции

1 доклад на всероссийской конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus

4 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Разработка композитов с заданной степенью механической нелинейности и обладающих повышенной стойкостью к ударному воздействию.
- ➋ Разработка новых методов расчета толстостенных конструкций из композитных материалов, позволяющих учитывать межслойные сдвиги и расслоения.
- ➌ Разработка методик расчетной оценки усталостной прочности композитных изделий сложной формы.
- ➍ Разработка методических основ расчетной оценки прочности и жесткости крупногабаритных изделий из волокнистых композитов при ударном воздействии.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➊ Новые технологии изготовления высоконелинейных композитных материалов методами гибридизации и инжиниринга тканевых слоев.
- ➋ Новые результаты экспериментальных исследований стандартных и нелинейных композитных материалов при статическом, циклическом и ударном нагружениях.
- ➌ Новые численно эффективные подходы к оценке статической прочности толстостенных многослой-

ных композитных материалов, работающих в условиях сложного напряженного состояния, методики определения параметров численных моделей.

- ➍ Новый термомеханический подход к оценке циклической прочности композитных конструкций сложной формы.
- ➎ Новые расчетные модели и методы для оценки механического поведения крупногабаритных изделий из полимерных композитных материалов, работающих в условиях ударного нагружения.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработанные материалы и методы расчета конструкций из них позволят существенно ускорить разработку новых перспективных отечественных турбовентиляторных двигателей и повысить их конкурентоспособность на мировом рынке за счет повышения весовой эффективности композитных элементов в составе двигателя, снижения количества натурных и полнатурных испытаний для доводки конструкции за счет переноса центра тяжести в область проверочных расчетов. Кроме того, полученные в ходе выполнения проекта технологические и расчетные решения могут применяться при расчетах и проектировании ответственных композитных элементов и конструкций в авиационной и кораблестроительной отраслях.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 Г.

- Предложен новый подход к проектированию гибридных композитов, основанный на создании материалов без протяженного участка упрочнения после площадки псевдотекучести, который позволяет снизить эффективный коэффициент концентрации на 25–30 %.
- Выполнен анализ статической прочности конструктивно-подобного элемента «хвостовик рабочей лопатки вентилятора из ПКМ» с применением трехмерного критерия Дэниела, учитывающего влияние трансверсальных нагрузок на межслойную прочность композита.
- Экспериментальные исследования влияния полимерных микровуалей на упругие и прочностные характеристики углепластика показали, что предел прочности

при межслойном сдвиге снизился на ~25 %, а межслойный модуль сдвига – на ~35 %. В то же время было зафиксировано существенное увеличение разрушающих деформаций – на ~40 %. Данный эффект может быть использован при создании гибридных композитов с увеличенной стойкостью к расслоениям при разрушении жесткого компонента.

- Экспериментально установлено, что коэффициент теплоотдачи при циклическом изгибе нелинейно зависит от скорости колебаний (амплитуды и частоты колебаний) и изменяется от 13 до 49  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  для скоростей обтекания от 0 до 1,1 м/с соответственно.
- На основании результатов малоцикловых испытаний композитных образцов с фиксацией одностороннего накопления деформаций и явлений акустической эмиссии была предложена трехэлементная модель, учитывающая влияние ползучести на кинетику циклического деформирования и процесс накопления рассеянных микроповреждений.
- Выполнены расчеты деформирования и разрушения конструктивно-подобного элемента «защитный кожух вентилятора» в случае отрыва рабочей лопатки вентилятора из ПКМ. Показана эффективность дополнительного армирования углепластика слоями органита.

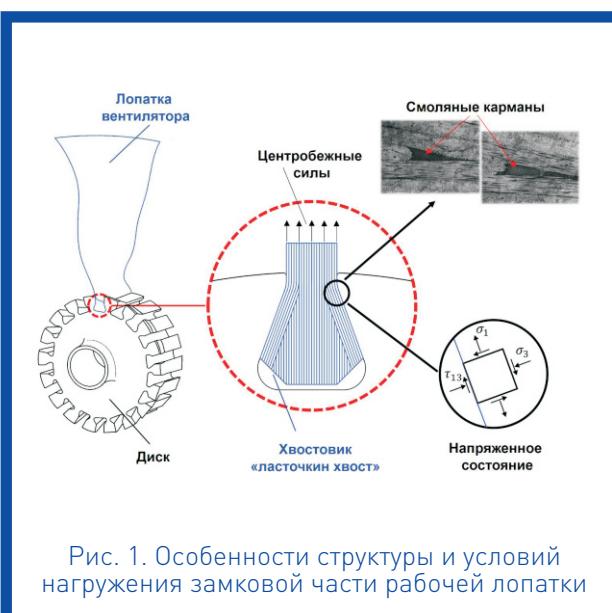


Рис. 1. Особенности структуры и условий нагружения замковой части рабочей лопатки

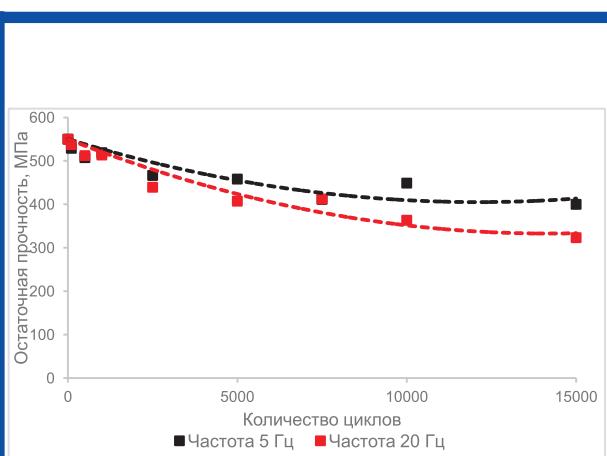


Рис. 2. Сравнение зависимостей остаточной изгибной прочности образцов от количества циклов для амплитуды 7 мм

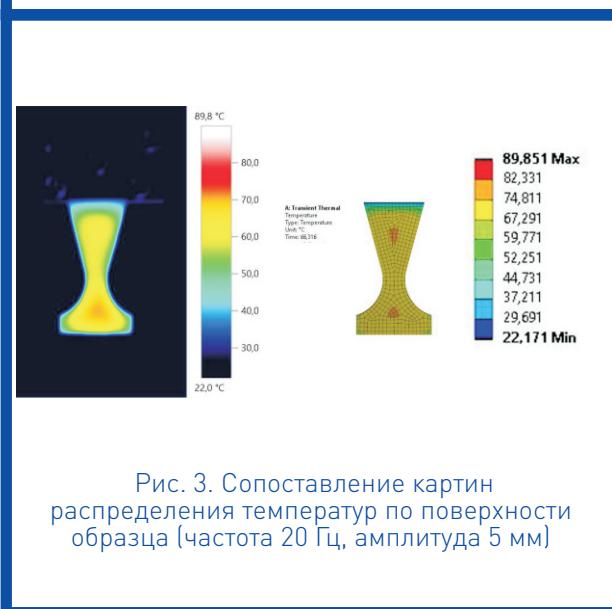


Рис. 3. Сопоставление картин распределения температур по поверхности образца (частота 20 Гц, амплитуда 5 мм)



Рис. 4. Образец во время испытаний на циклический изгиб с установленными сенсорами акустической эмиссии (1 и 2)

# СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ОКСИДНЫХ ФАЗ СО СТРУКТУРОЙ МАГНЕТОПЛЮМБИТА

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследовать возможность создания высокоеントропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

1 доклад на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в Scopus/  
WoS

3 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Получение образцов нового класса высокоеントропийных оксидных фаз – высокоеントропийных фаз со структурой магнетоплюмбита.
- ➲ Исследование состава и структуры, а также свойств полученных образцов.
- ➲ Анализ полученных экспериментальных данных с целью формулирования общих закономерностей образования высокоеントропийных фаз со структурой магнетоплюмбита, которые будут включать в себя и критерии стабильности фаз такого рода. Предполагается изучить возможность образования таких растворов в сложных оксидных системах со структурой магнетоплюмбита, провести исследование структуры и свойств таких систем.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➲ Образцы (включая монокристаллы размером до 10 мм) высокоеントропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита. Данные о температурных и концентрационных диапазонах стабильности фаз такого рода.
- ➲ Методики синтеза высокоеントропийных 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 замещённых 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 2020 Г.

Главным результатом, полученным в процессе исследований второго этапа, является получение монофазных образцов нового класса материалов – высоконанопартикулярных 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 высоконанопартикулярную 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 65 экспериментальных образцов различного состава. Получены и проанализированы новые данные об их структуре и составе.
- Наиболее интересные результаты получены при исследовании систем:  
 $\text{BaFe}_6(\text{AlTiCrGaInCu})_6\text{O}19$ ;  
 $(\text{BaSrCaLa})(\text{FeTiAlMnCoInGaCr})_{12}\text{O}19$ ;  
 $\text{BaFe}_6(\text{TiCoGaInCr})_6\text{O}19$ .
- В ходе проведённых работ были получены и исследованы образцы этих систем различного количественного состава.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Университет г. Штутгарт (Германия).

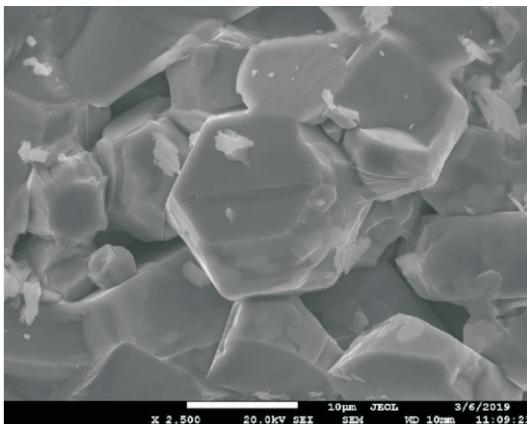


Рис. 1. Микроструктура образца  $\text{Ba}(\text{Fe}5.83\text{Al}1.19\text{Ti}1.08\text{Cr}1.12\text{Cu}0.78\text{Ga}1.03\text{In}0.97)\text{O}19$

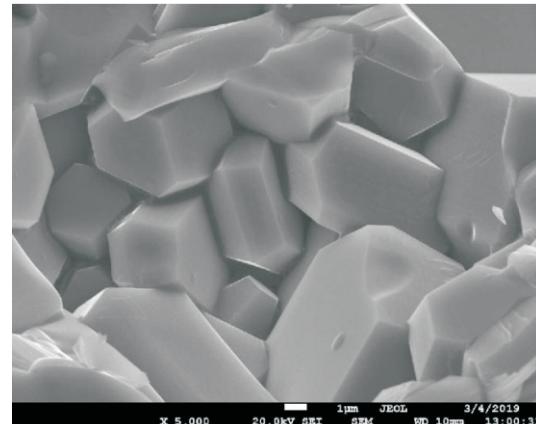


Рис. 2. Микроструктура образца  $(\text{Ba}0.35\text{Sr}0.25\text{Ca}0.09\text{La}0.28)(\text{Fe}8.94\text{Ti}0.52\text{Al}0.49\text{Mn}0.41\text{Co}0.30\text{In}0.43\text{Ga}0.49\text{Cr}0.46)\text{O}19$

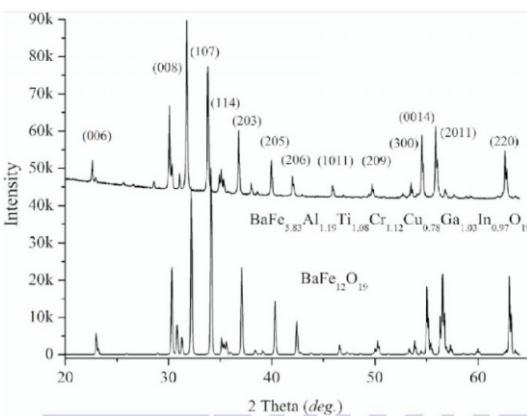


Рис. 3. Результаты РФА образца  $\text{Ba}(\text{Fe}5.83\text{Al}1.19\text{Ti}1.08\text{Cr}1.12\text{Cu}0.78\text{Ga}1.03\text{In}0.97)\text{O}19$  в сравнении с РФА чистого  $\text{BaFe}12\text{O}19$

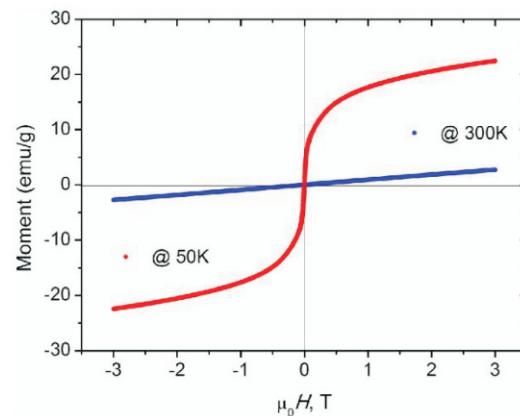


Рис. 4. Петля магнитного гистерезиса для образца  $\text{Ba}(\text{Fe}5.83\text{Al}1.19\text{Ti}1.08\text{Cr}1.12\text{Cu}0.78\text{Ga}1.03\text{In}0.97)\text{O}19$  при температурах 50К (красная линия) и 300К (синяя линия)



# СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ФАЗ СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВСКИТА

Руководитель проекта – кандидат физико-математических наук С.А. Гудкова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение и исследование структуры и свойств образцов высоконентропийных фаз со структурой перовскита на основе многокомпонентных систем, для которых характерен изовалентный и гетеровалентный изоморфизм.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

2 доклада на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/  
WoS

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Получение образцов нового класса высоконентропийных оксидных фаз – высоконентропийных фаз со структурой перовскита для систем, которые ранее не становились объектом исследования с позиций создания высоконентропийных фаз.
- ➋ Исследование состава и структуры, а также свойств полученных образцов.
- ➌ Анализ полученных экспериментальных данных с целью формулирования общих закономерностей образования высоконентропийных фаз со структурой перовскита, которые будут включать в себя и критерии стабильности фаз такого рода.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

В целом по итогам исследования будут получены:

- ➊ образцы высоконентропийных оксидных фаз со структурой перовскита. Данные о температурных и концентрационных диапазонах стабильности фаз такого рода;

➋ методики синтеза высоконентропийных оксидных фаз со структурой перовскита. Данные о стабильных режимах их получения, включая составы исходных смесей компонентов, обеспечивающих получение высоконентропийных фаз, а также температурно-временные режимы процесса;

➌ термодинамическая модель высоконентропийных оксидных фаз со структурой перовскита с набором модельных параметров, позволяющих описывать зависимость термодинамических функций таких фаз от их состава и температуры. Результаты моделирования процессов образования высоконентропийных оксидных фаз со структурой перовскита;

➍ данные о структуре и составе образцов, полученные методами рентгеноструктурного анализа с помощью растровой и просвечивающей электронной микроскопии, а также методами рентгеновской абсорбционной спектроскопии;

➎ закономерности образования высоконентропийных фаз со структурой перовскита, которые будут включать в себя и критерии стабильности фаз такого рода, в том числе для систем, подрешётки которых образованы атомами с разной валентностью;

➏ данные о магнитных и электрических характеристиках полученных образцов. Результаты анализа зависимости магнитных и электрических характеристик от кристаллической структуры и состава образцов;

- рекомендации по использованию кристаллических структур, полученных в процессе исследования, для изготовления компонентов электронной техники;

По результатам проведённых работ будут подготовлены публикации (включая как минимум 9 публикаций в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus/Web of Science) и сделаны доклады на научных конференциях международного уровня.

Научная значимость результатов, которые планируется получить, определяется тем, что планируемые к получению результаты исследования существенно превосходят имеющийся мировой уровень знания о предмете исследования. Впервые в мире планируется получить высокоэнтропийные кристаллические оксидные структуры, образованные гетеровалентными атомами, образующими одну подрешётку. Впервые в мире планируется получить высокоэнтропийные кристаллические перовскитоподобные структуры, состав которых позволяет рассчитывать на проявление ими в значительной степени сегнетоэлектрических (ферроэлектрических) свойств. Также будут получены и исследованы высокоэнтропийные перовскитоподобные фазы, обладающие смешанной кислород-ионной и электронной проводимостью.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Исследование позволит получить результаты, которые, безусловно, будут востребованы в ходе прикладных исследований, направленных на создание материалов для деталей и устройств электроники.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Все исследования, запланированные к выполнению на первом этапе работ, были успешно выполнены. В ряде направлений (в частности, в направлении развития методики термодинами-

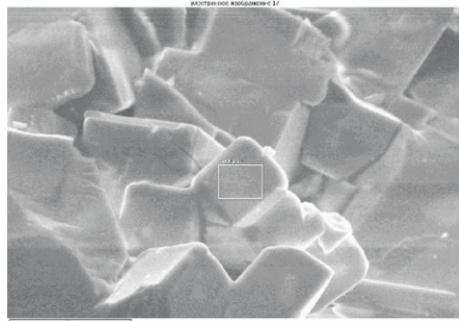


Рис. 1. Пример кристаллов, обнаруживаемых в образце состава  $(\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Pb})\text{TiO}_3$ , синтезированном при температуре 1400°С

ческого моделирования исследуемых систем, а также в части проведения предварительных экспериментов по подбору условий для твердофазного синтеза) удалось продвинуться дальше, чем было запланировано.

- Главным результатом, полученным в процессе исследований первого этапа, является демонстрация возможности получения нового класса материалов – высокоэнтропийных перовскитов, составы которых ранее не были представлены в литературе, в системах, в которых ранее высокоэнтропийные перовскиты не синтезировали.
- В общей сложности в процессе экспериментальных работ разными методиками получены и исследованы 110 экспериментальных образцов различного состава. Получены и проанализированы новые данные о структуре и фазовом составе полученных образцов.
- Основное внимание было уделено химическому и структурному анализу многокомпонентной (высокоэнтропийной) твёрдорастворной кристаллической фазы со структурой перовскита.
- Результаты РФА сопоставляли со справочными данными о наиболее близких фазах. Как правило, высокоэнтропийная фаза со структурой перовскита в изученных образцах загрязнена другими оксидными фазами, что говорит о необходимости проведения дальнейших работ по совершенствованию состава шихты, подбору температурных и временных параметров процесса твердофазного синтеза с целью получения монофазных образцов. Это станет частью работ на следующих этапах выполнения НИР.
- Проведённые к настоящему времени эксперименты позволили сделать выводы о необходимых направлениях корректировки исходных составов образцов в части исключения компонентов, которые не участвуют в образовании высокоэнтропийной фазы со структурой перовскита. Определён круг элементов, которые склонны образовывать высокоэнтропийную структуру с кристаллической решёткой типа перовскита.
- Начаты работы по изучению электрофизических характеристик полученных высокоэнтропийных фаз. Показано, что температурная стабильность диэлектрических свойств высокоэнтропийного перовскита существенно выше, чем у его низкоэнтропийных аналогов. Таким образом, полученный материал благодаря своим электродинамическим параметрам может быть использован при конструировании электрических приборов.

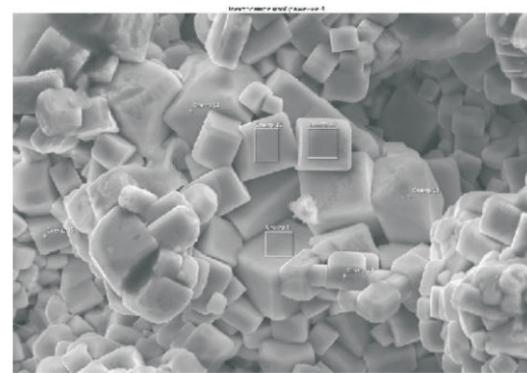


Рис. 2. Примеры кристаллов, обнаруживаемых в образце состава  $(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{La}, \text{Na}, \text{K})\text{TiO}_3$ , синтезированном при температуре 1400°С

# РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫМИ УДАРНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Управление дефектностью при эксплуатации авиационных конструкций из ПКМ.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

6 докладов на научных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

5 статей в Scopus

1 статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Выявление дефектов оптическим бесконтактным методом (разработка нового индикаторного покрытия и расчётно-экспериментальная оценка его чувствительности к локальным воздействиям).
- ➲ Определение размеров и глубины залегания дефектов типа расслоения термоэмиссионным методом (расчётно-экспериментальная оценка точности и чувствительности).
- ➲ Оценка прочности и устойчивости панелей при случайном локальном воздействии в процессе эксплуатации (аналитические и численные методы, нацеленные на изучение процесса образования и развития дефектов во время штатного нагружения монолитных и сэндвич-панелей с обшивками из ПКМ).
- ➲ Оценка остаточной прочности и устойчивости панелей при наличии дефекта (аналитические и численные методы, нацеленные на изучение процесса развития дефектов во время последующего штатного нагружения элемента конструкции).
- ➲ Расчётно-экспериментальные исследования технологии локального трехмерного армирования с использованием иглопробивной технологии (фелтинг) 2D-тканей для управления трансверсально-сдвиговой прочностью (направления Z, ZX и ZY при различной плотности фелтинга) и дефектностью с сохранением весовой эффективности конструкции в плоскости XY.

➲ Разработка методики оптимального проектирования 3D-композитов для обеспечения высокой весовой эффективности в эксплуатации и бездефектности при случайных локальных ударных воздействиях на авиационные конструкции из ПКМ (предполагается проведение фелтинга необходимой плотности типовых 2D-тканевых преформ в потенциально опасных для случайного локального ударного воздействия местах; плотность фелтинга должна обеспечить повышение трансверсально-сдвиговой прочности композита до определенного расчётом уровня по пп.4 и 5, чтобы исключить образование дефектов типа расслоения при ограничениях на энергию ударного воздействия). В значительной степени эта технология может решить проблему импортозамещения в авиастроении, заменив непрерывно армированные трехмерные преформы, в частности французского производства.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➲ Теоретические и экспериментальные основы обеспечения высокой чувствительности и долговечности индикаторного полимерного покрытия для определения места случайного локального ударного воздействия на монолитные и сэндвич-панели из ПКМ с учётом условий эксплуатации: термоциклирование, абразивный износ, царапины и др.
- ➲ Техофизические свойства ПКМ для характеризации дефектов, полученных при локальном ударе, методом термоэмиссии.

- ➲ Экспериментальные данные, характеризующие дефекты в слоистых ПКМ, возникающие при квазистатических, низко- и высокоскоростных локальных воздействиях в условиях одинаковых энергий.
- ➲ Экспериментальные данные по связи количества и длины вытянутых в Z-направлении нитей от плотности ударов в процессе фелтинга сухих углеродных, стеклянных и арамидных преформ, выполненных из типовых тканей плоского плетения. В этой части будет получена основа для прогнозирования трансверсально-сдвиговых свойств в рамках идеи управления дефектностью данного проекта. Здесь будет использована пятигольная фелтинговая машина, позволяющая обеспечить плотность ударов от 20 до 200 ед./кв.см в зависимости от скорости движения преформы. Увеличение количества вытянутых нитей и плотности ударов способствует повышению трансверсальных характеристик (в плоскостях ZX и ZY) и одновременному снижению механических свойств в плоскости XY. Исследование будет направлено на поиск возможности минимального снижения прочности и жесткости ПКМ в плоскости XY и максимального повышения трансверсально-сдвиговых свойств.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Определение места случайного локального ударного воздействия на композитные конструкции.
- Оценка размера и глубины залегания дефекта типа расслоения в слоистых композитах самолётов после случайного удара.
- Определение снижения прочности композитного элемента конструкции при наличии дефекта, образовавшегося после локального удара.
- Новый трёхмерно-армированный композит и технология его производства (фелтинг), не имеющий повреждений типа расслоений после нормированного ударного воздействия.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

### Экспериментальная часть:

- Разработаны два типа тонких индикаторных покрытия (из эпоксидного композита с полыми стеклянными микросферами (СП) и самоклеящийся термопласт со светоотражающими микропризмами (СВП)), обладающие высокой чувствительностью к локальным воздействиям, изменяющие интенсивность отражения света в зонах повреждения (рис.1).
  - Определен полный комплект теплофизических свойств ортотропных тканевых стекло- и углепластиков (тензор коэффициентов теплопроводности и теплоёмкость), что позволит прогнозировать параметры теплового воздействия (мощность и время наблюдения) на дефектную область для надёжного обнаружения размера и глубины залегания дефекта.
  - Проведено экспериментальное исследование поведения слоистых пластин из полимерного композитного материала (ПКМ) – стеклопластика СТЭФ – без индикаторного покрытия и с двумя типами индикаторных покрытий при локальном квазистатическом контактном воздействии и низкоскоростном ударе сферическим индентором с энергиями до 25 Дж. Показано, что в случае низкоскоростных локальных ударных воздействий индикаторное покрытие снижает поврежденность стеклопластика СТЭФ, т. е. выступает в качестве подкрепляющего (защитного) слоя.
  - Проведено экспериментальное исследование остаточной прочности СТЭФ при наличии ударного повреждения. Слабозаметные повреждения способны снижать остаточную прочность СТЭФ при изгибе до 30 %, а жесткость – на 10 %.
  - Разработана и изготовлена установка для программируемого 3D-армирования: фелтинга одной иглой пакета из сухих тканей с заданной плотностью ударов по заданной траектории. Эксперименты показали высокую эффективность фелтинга: повышение трещиностойкости на межслойный отрыв и сдвиг на 50 % по сравнению с исходным тканевым композитом при плотности 50–90 ударов на кв.см.
- Расчётная часть:
- Разработана численная модель элементарной ячейки покрытия типа СП. Проведенные численные эксперименты показали, что СП в расчетах можно заменить изотропным упругопластическим материалом. Разработана численная модель для определения размера пятна контакта на индикаторном покрытии СП или СВП при локальном низкоскоростном ударе.
  - Разработана численная модель определения остаточной прочности композита при наличии в нем ударного повреждения. Зона контакта была смоделирована зоной с пониженной жесткостью. Размеры контактной зоны были рассчитаны по предложенной численной модели определения размеров пятна контакта.
  - Предложена новая модель упругопластического деформирования и разрушения тканевого слоистого полимерного композита с дефектом типа отверстия или острого надреза. Численные расчёты показали высокую точность прогнозирования остаточной прочности. Эта модель будет использована для прогноза ударных повреждений в слоистых пластинах на упругом или жестком основании.

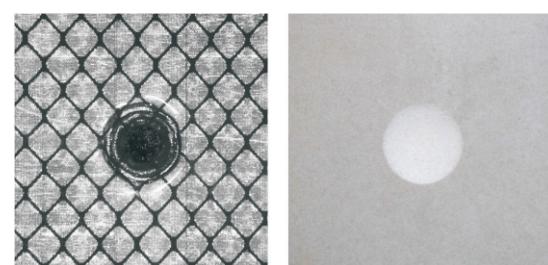


Рис. 1. Следы локального воздействия на новых ударочувствительных покрытиях: СВП и СП, соответственно. от частоты переменного тока

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА И РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫРАЩИВАНИЯ ИЗ РАСПЛАВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ГЕКСАФЕРРИТА БАРИЯ, ДОПИРОВАННЫХ ДВУМЯ ЭЛЕМЕНТАМИ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Детальное исследование механизмов и результатов выращивания из расплавов монокристаллов гексаферрита бария, допированных (легированных) двумя элементами, а также исследование фазовых равновесий и превращений, реализующихся в процессе образования кристаллов из оксидного расплава.

## ПУБЛИКАЦИИ

3

научные  
статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1

статья  
в Scopus

2

статья  
в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Проведение теоретических и экспериментальных работ по подбору условий (состава флюса, из которого выращивается кристалл, и температурного режима) процесса выращивания крупных монокристаллов гексаферрита бария, в котором часть атомов железа и бария замещена двумя другими элементами.
- ➋ Выращивание монокристаллов гексаферрита бария М-типа с различной (включая достаточно высокую) степенью замещения атомов железа и бария атомами других элементов.
- ➌ Определение состава синтезированных кристаллов с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного и дифракционных методов анализа (рентгеновская и нейтронная дифракция) и мёссбауэровской спектроскопии. Особое внимание будет уделено кристаллографическим позициям, в которых будет происходить замещение атомов железа, а также тому, как оказывается замещение железа и бария в исследуемых ферритах на структуру и параметры их кристаллической решетки.
- ➍ Анализ полученных экспериментальных результатов с целью изучения механизмов замещения атомов железа атомами других элементов в гексаферритных кристаллических структурах (в частности механизмов, благодаря которым при гетеровалентном замещении соблюдается

электронейтральность) и влияния замещения на кристаллическую структуру гексаферритов.

- ➎ Изучение магнитных и микроволновых свойств монокристаллов замещённых гексаферритов. Сопоставление полученных данных с данными кристаллографического исследования.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➏ Кристаллические образцы (размером до 10 мм) гексаферрита бария, в которых часть атомов железа и бария замещена другими элементами. В качестве заместителей железа будут использованы алюминий, марганец, титан и кобальт. В качестве заместителей бария будут использоваться калий и лантан. В каждом образце будут задействованы два заместителя.
- ➐ Рациональные, опирающиеся на понимание картины фазовых равновесий в сложных гетерогенных системах «многокомпонентный расплав – кристалл», методики выращивания из оксидного расплава монокристаллов гексаферрита с изовалентным и гетеровалентным замещением железа и бария двумя различными заместителями. Данные о стабильных режимах получения данных кристаллических структур, включающие составы расплавов, обеспечивающие получение кристаллов, режим корректировки составов в ходе длительного выращивания кристаллов, а также температурные режимы процесса.



- ➲ Данные о структуре и составе монокристаллических образцов, полученные методами рентгеноструктурного анализа с помощью растровой и просвечивающей электронной микроскопии, а также методами мёссбауэрской спектроскопии и рентгеновской абсорбционной спектроскопии. Данные об электронной структуре, полученные методом РФЭС.
- ➲ 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.
- ➲ По результатам проведённых работ будут подготовлены публикации и сделаны доклады на научных конференциях международного уровня.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- ☒ Возможный инновационный потенциал ожидаемых фундаментальных результатов проекта связан прежде всего с тем, что благодаря сочетанию высоких магнитных свойств и низкой электропроводности ферриты широко применяются в технике высоких частот (более 100 кГц). Ферриты используют в качестве магнитных материалов в радиотехнике, электронике, автоматике, вычислительной технике (ферритовые поглотители электромагнитных волн, антенны, сердечники, элементы памяти, постоянные магниты и т. д.). Получение гексаферритных кристаллических структур с глубокой степенью замещения атомов железа другими атомами расширит список материалов, которые могут применяться таким образом. Велика вероятность того, что среди полученных структур будут найдены материалы с оптимальным сочетанием свойств для тех или иных приложений.
- ☒ Получение твердых растворов с гексаферритной структурой и возможностью глубокого замещения атомов железа как минимум откроет путь к плавной

подстройке свойств (включая ферроэлектрические, магнитные, пьезоэлектрические и пр.) полученного материала (за счёт коррекции состава) к требованиям изготовителей электронных устройств.

- Результаты, которые планируется получить, будут представлять интерес как для фундаментальной науки, так и в качестве основы прикладных исследований, направленных на создание новых материалов для СВЧ- и КВЧ- электроники, совершенствование структуры таких материалов, а также разработку технологий их производства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Впервые различными методами получены кристаллические образцы ферритов бария M-типа  $\text{BaFe}(12-x-y)\text{MnxAl}_y\text{O}_{19}$ ,  $\text{BaFe}(12-x-y)\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$  и  $\text{BaFe}(12-x-y)\text{MnxTi}_y\text{O}_{19}$  с различной степенью замещения железа двумя элементами. Монокристаллические структуры такого состава до сих пор не были получены и их свойства не были изучены, несмотря на большое количество работ в направлении получения замещённых гексаферритов.
- Получены новые уникальные экспериментальные данные о кристаллической структуре синтезированных образцов.
- Получена и проанализирована новая информация о влиянии состава и условий синтеза экспериментальных образцов на особенности их кристаллической структуры.
- Получены новые экспериментальные данные о магнитных и микроволновых характеристиках полученных кристаллических структур. Получение новых данных о физических характеристиках таких кристаллических фаз помимо возможного прикладного значения, очевидно, является получением нового знания. Предусмотренный работой теоретический анализ связи электрофизических и магнитных характеристик с особенностями структуры исследуемых кристаллических веществ позволяет на новом материале подтвердить справедливость принятых закономерностей, используемых для объяснения взаимосвязи структуры и свойств, для описания замещённых гексаферритов.

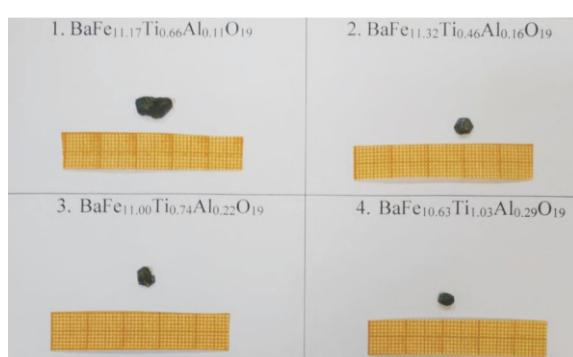


Рис. 1. Примеры кристаллов системы  $\text{BaFe}(12-x-y)\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$ , полученных методом спонтанной кристаллизации

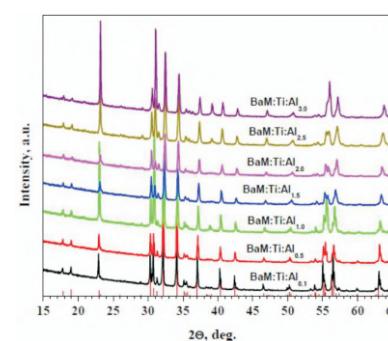


Рис. 2. Результаты РФА ряда микрокристаллических образцов системы  $\text{BaFe}(12-x-y)\text{Al}_x\text{Ti}_y\text{O}_{19}$

# ПОВЕРХНОСТНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ДЕФЕКТЫ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Руководитель проекта – доктор химических наук В.В. Авдин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Точечное осаждение молекул  $TiO_2$  на поверхности наночастиц анатаза и, в перспективе, иных оксидных фаз как новый подход в формировании функциональных дефектов поверхности нанокристаллических оксидов.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 патент

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus/  
WoS

1 статья в журнале из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Синтез стабильных в широком диапазоне температур водорастворимых комплексов на основе титана.
- ➋ Изучение температурного диапазона стабильности водорастворимых комплексов, в котором комплексы титана сохраняют основные структурные и стехиометрические характеристики.
- ➌ Формирование методики хемосорбции водорастворимых комплексов титана в установленных диапазонах стабильности на модельных частицах высококристаллического нанодисперсного анатаза.
- ➍ Отработка метода прокаливания сорбентов на воздухе при низких (ниже 300 °C) для сохранения основных фундаментальных фазовых и морфологических параметров оксида титана.
- ➎ Изучение физических, сорбционных и фотокатализитических свойств образцов с молекулярно-осаждённым  $TiO_2$  для изучения роли и типа осаждённых оксититановых фрагментов.
- ➏ Распространение мономолекулярного допирования на иные оксидные системы для формирования новой методики молекулярного гетеродопирования поверхности полупроводниковых материалов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➊ По итогам успешного выполнения проекта будет предложена новая методика модификации поверхности наночастиц оксидных материалов в относительно мягких условиях с применением нетоксичных и недорогих реагентов. Простота исполнения и аппаратная доступность сделает данную методику приемлемой для широкого круга исследователей в области материаловедения.
- ➋ Впервые будут получены данные о хемосорбции водорастворимых комплексов титана на поверхности его оксида. Будут изучены температурные пределы устойчивости молекулярных комплексов в водных растворах. Будут рассчитаны базовые константы сорбции: константа, свободная энергия, энタルпия и энтропия и определены температуры перехода физисорбции комплексов титана к хемосорбции на поверхности оксида титана.
- ➌ Впервые будет изучено термическое разложение хемосорбированной органики на поверхности оксида титана на воздухе в щадящем режиме с сохранением фундаментальных параметров нанокристаллического оксида титана: размера частиц, фазового состава и площади поверхности.
- ➍ Впервые будет показана принципиальная возможность контролируемого осаждения

молекулярных фрагментов оксидной фазы как в одноядерном, так и в полиядерном исполнении, как замедленного процесса роста кристаллической фазы, ранее постулированного как гипотетического.

- ⦿ Впервые будет показана возможность функционализации свойств нанокристаллического оксидного материала за счет новых молекулярных новообразований на поверхности без внесения гетероэлементов или примесей.
- ⦿ В перспективе, контролируемое осаждение молекулярных дефектов даст возможность применения их на других оксидных фазах как новый способ внедрения поверхностных функциональных центров.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Сорбционные характеристики и фотокатализ – основные направления применения новых материалов, разрабатываемых в проекте. Материалы будут применяться в технологиях безреагентной (фотокаталитической) очистки воды от трудноокисляемых органических загрязнений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 Г.

- Исследована контролируемая хемосорбция стабильного водорасторимого водостойкого

комплекса титана на нанокристаллическом анатазе. Контролируемая хемосорбция комплекса титана с последующим прокаливанием на воздухе изучалась как метод фазового приращения. Наночастицы оксида оказались устойчивыми к условиям выгорания органической фазы и сохранили кристалличность и удельную поверхность. Обнаружено, что такой подход, помимо контролируемого фазового роста, обеспечивает частичное, вплоть до половины, дегидроксилирование поверхности. С учётом большого количества литературных и собственных данных по исследованию гидроксильных групп на поверхности  $TiO_2$  можно утверждать, что такой подход к модификации поверхности найдёт применение в фотокатализе и адсорбции.

- Получены ранее не описанные моноядерные комплексы титана с лимонной и миндальной кислотами. Рассмотрена их сорбция к родственной фазе – нанокристаллическому оксиду титана. Сравнение физико-химических параметров сорбции органических комплексов титана показало, что абсолютные значения энергии Гиббса сорбции комплексов являются довольно низкими. Установлено, что самым высоким сродством обладает комплекс с лимонной кислотой, а наличие ароматической компоненты в органической кислоте почти вдвое увеличивает предельную концентрацию комплекса на поверхности сорбента.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Институт органической химии РАН.

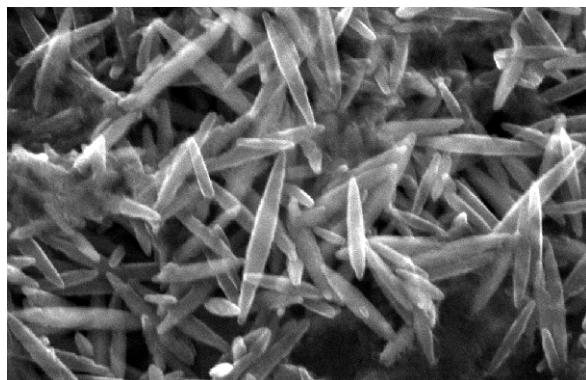
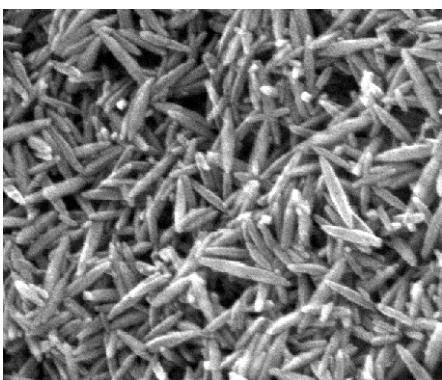
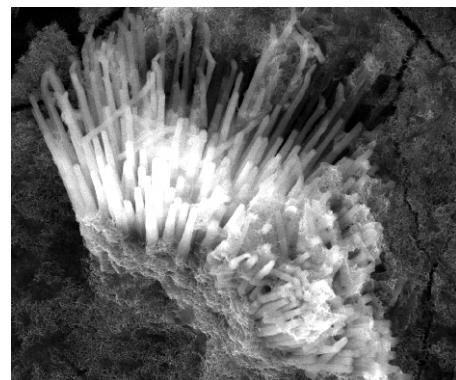
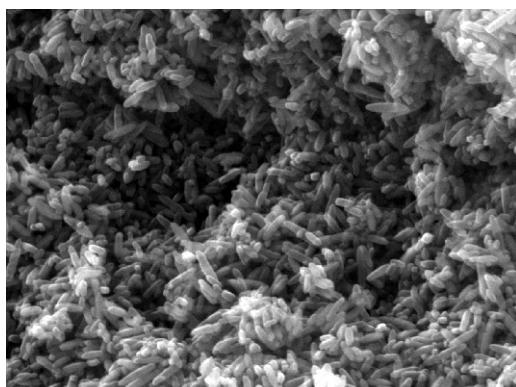


Рис. 1–4. Разная морфология графитоподобного нитрида углерода ( $g\text{-}C_3N_4$ )

# ПРИРОДА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КРИСТАЛЛОВ С ВЫРАЖЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ ГАЛОГЕННЫХ СВЯЗЕЙ: УРОВЕНЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать подходы и сформировать методологию прогноза механических свойств молекулярных кристаллов с опорой на моделирование полиморфных структур, в которых роль структурообразующих взаимодействий играют галогенные и водородные связи с выраженной электростатической компонентой.

## ПУБЛИКАЦИИ

**3** научные статьи

**2** доклада на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

**2** статьи в Scopus/  
WoS

**1** статья в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Оценка анизотропии и особенностей пространственного распределения упругих модулей полиморфных модификаций кристаллических структур, для которых известны проявления различающихся механических свойств.
- ➋ Выявление направлений минимальной и максимальной сжимаемости кристаллов и установление взаимосвязей с типом и силой структурообразующих нековалентных связей.
- ➌ Разработка электронных дескрипторов, характеризующих механические свойства молекулярных кристаллов, и исследование закономерности поведения функции квантового электронного давления для известных примеров гибких и хрупких кристаллических структур.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➊ Методология прогноза механических свойств молекулярных кристаллов, в которых роль структурообразующих взаимодействий играют преимущественно галогенные связи.
- ➋ Алгоритмы и процедуры сопоставления направлений минимальной и максимальной сжимаемости молекулярных кристаллов.
- ➌ Критерии теоретической оценки и прогноза механического поведения

кристаллов: хрупкости–гибкости, твердости–мягкости.

- ➍ Количественные дескрипторы механических свойств молекулярных кристаллов на основе функции квантового электронного давления.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Прогноз механического поведения новых кристаллов, получаемых только из кристаллографических данных; разработка механохромных органических материалов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Установлено, что при расчёте галогенсодержащих кристаллов требуется корректировка DFT-функционалов в сторону уменьшения доли обменного вклада Хартри–Фока, что важно для корректного моделирования ширины запрещённой зоны под давлением и фазовых переходов в проводящее состояние.
- Объяснены изменения спектральных характеристик кристалла диодобутенил-бис-тиохинолиния трийодида под давлением; найдено, что между 2 и 4 ГПа происходит существенное изменение интенсивности деформа-

ционного колебания водородно-связанного фрагмента и сдвиг в сторону больших волновых чисел, а также происходит расщепление полос, соответствующих деформационным колебаниям I-C=C-I фрагмента.

- С помощью функции квантового электронного давления охарактеризован структурный мотив в кристаллах  $C_6\text{Hal}_6$ , где  $\text{Hal} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ , состоящий из трёх объединенных в общий цикл галогенных связей, называемый  $\text{Hal}_3$ -синтоном. Минимальную линейную сжимаемость формирует плоскость этого синтона. Его жесткость возрастает в ряду  $\text{Cl} < \text{Br} < \text{I}$ .
- Установлено, что пространственная неоднородность функции квантового электронного давления в молекулярных кристаллах отражает их различную подверженность внешнему стрессу. Сокраще-

ние галогенной связи под давлением сопровождается ростом квантового вклада во внутреннюю энергию, что компенсирует создавшееся напряжение.

- Предложенный алгоритм исследования поведения кристаллов трёх полиморфных форм 4-бромфенил-4-бромбензоата в условиях возрастающей одноосной деформации кристалла позволил определить причины их разного механического поведения: эластичность, пластичность и хрупкость трех разных полиморфных модификаций.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (Москва, Россия)
- Университет Центральной Флориды (Орландо, США).

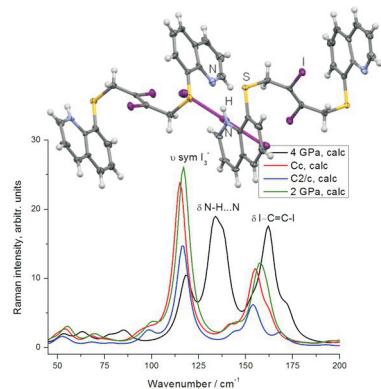


Рис. 1. Сравнение расчетных спектральных характеристик диодобутенил-бис-тиохинолиния трийодида

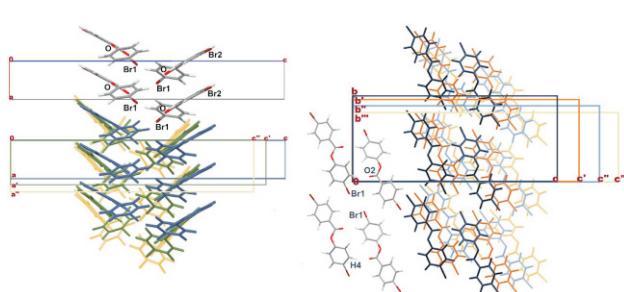


Рис. 2. Изменения в кристаллической структуре полиморфа 4-бромфенил-4-бромбензоата при растягивающих деформациях

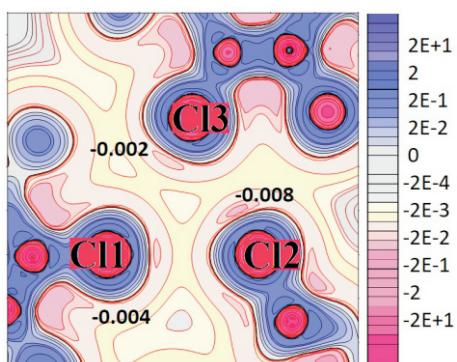


Рис. 3. Распределение квантового электронного давления в плоскости  $\text{Cl}_3$ -синтонов

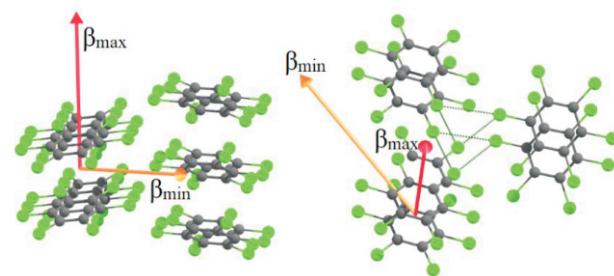


Рис. 4. Направления максимальной и минимальной линейной сжимаемости в кристаллах  $C_6\text{Hal}_6$

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАННЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Реализация комплексного подхода к созданию новых функциональных материалов, включающего в себя: моделирование электромагнитных свойств новых материалов, изготовление, исследование структуры и свойств (электрических, магнитных и механических) разрабатываемых материалов.

## ПУБЛИКАЦИИ

5 научных статей

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

5 статей в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Моделирование и получение образцов нового класса функциональных материалов, сочетающих в себе ряд свойств – необходимые электромагнитные параметры, механические свойства в заданном диапазоне частот.
- ➋ Исследование состава и структуры, а также свойств полученных образцов.
- ➌ Проведение экспериментальных исследований.
- ➍ Анализ полученных экспериментальных данных с целью формулирования общих закономерностей.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Результатами работ первого этапа станут образцы материалов с различными добавками титана, корунда, гексаферрита (не менее 10), новые данные об их структуре и составе. Результаты измерения электродинамических параметров (коэффициент отражения, диэлектрическая и магнитная проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь) материалов в диапазоне частот. Также результатом исследований станут результаты теоретического анализа полученных экспериментальных данных и литера-

турных данных, полезных с точки зрения задач исследования. Главным научным результатом этой части работ станут выводы о необходимых направлениях корректировки исходных составов образцов, влияющие на параметры материала.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результатом исследований станут результаты теоретического анализа полученных экспериментальных данных, а также литературных данных полезных с точки зрения задач исследования. Главным научным результатом этой части работ станут выводы о необходимых направлениях корректировки исходных составов образцов, влияющие на параметры материала.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ- СКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Доработана математическая модель отражения электромагнитных волн от границы раздела двух сред с учетом дисперсии диэлектрической и магнитной проницаемости.
- На основе исследованных материалов и измеренных параметров была рассчита-

на оптимальная толщина слоя покрытия, обеспечивающая минимальное значение коэффициента отражения. Получены экспериментальные образцы покрытий.

Измерены коэффициенты отражения полученных покрытий в диапазонах частот от 2 до 18 ГГц и 32–50 ГГц.

- Проведен анализ полученных экспериментальных результатов.
- Представлены результаты работы на международных конференциях.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

ООО «Планар»

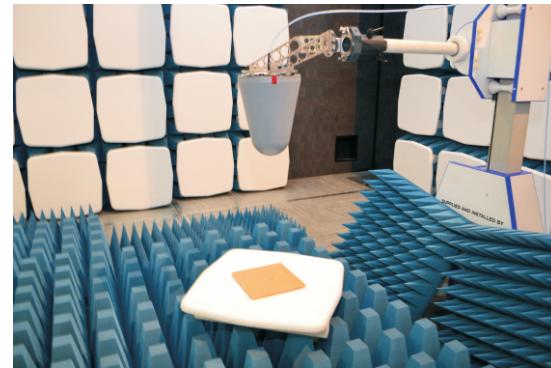
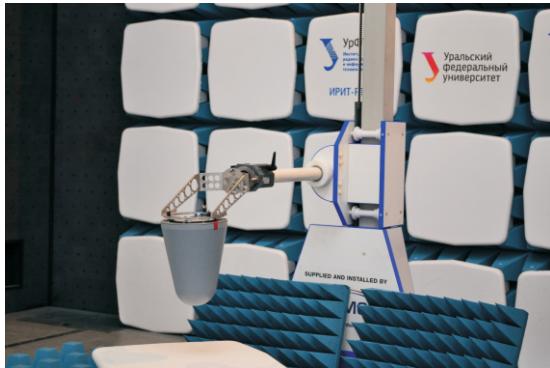


Рис. 1–2. Измерение коэффициента отражения от изготовленных образцов в безэховой камере



Рис. 3. Образцы изготовленных материалов

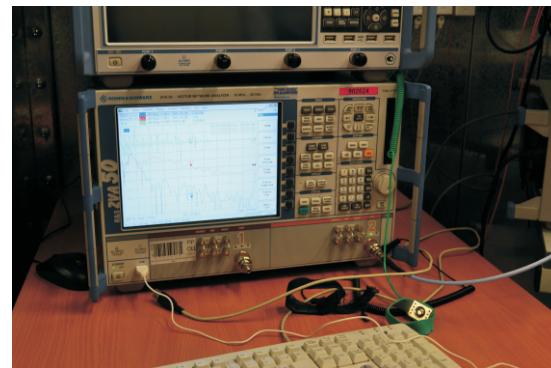


Рис. 4. Оборудование измерительного стенда

# РАЗРАБОТКА НОВЫХ ГИБРИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ СТРУКТУР С ПОВЫШЕННОЙ ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Руководитель проекта – кандидат технических наук О.А. Кудрявцев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка новых высокоеффективных гибридных композитных материалов на основе арамидных волокон, которые будут обладать повышенной, по сравнению с обычными волокнистыми композитами, способностью поглощать энергию высокоскоростного удара при незначительно отличающихся от исходных поверхностных плотностях.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

2 доклада на международных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Создание новых композитов на основе полимерной матрицы и различных высокопрочных волокон для защитных структур.
- ➋ Выработка практических рекомендаций по проектированию и изготовлению высокоеффективных гибридных композитов с повышенной противоударной стойкостью, отличающихся комбинацией слоев на основе термопластичной и термореактивной матриц, применением металлических прослоек.
- ➌ Разработка расчетных моделей и методов для анализа механического поведения гибридных композитных материалов различной структуры при баллистическом ударе.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➊ Новые высокоеффективные гибридные композиты на основе полимерной матрицы и различных высокопрочных волокон для защитных структур, практические рекомендации по их проектированию и изготовлению.
- ➋ Практические рекомендации по проектированию и изготовлению высокоеффективных гибридных композитов с повышенной противоударной стойкостью, отличающимися комбинацией слоев на основе термопластичной и термореактивной матриц, применением металлических прослоек.

дарной стойкостью, отличающихся комбинацией слоев на основе термопластичной и термореактивной матриц, применением металлических прослоек.

- ➌ Новые расчетные модели и методы для анализа механического поведения гибридных композитных материалов различной структуры при баллистическом ударе.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты работ по проекту могут быть использованы при создании нового поколения отечественных бронежилетов высших классов защиты и легкой бронированной техники, в авиастроении, при проектировании защитных кожухов для турбовентиляторных авиадвигателей, ракетостроении. Проект будет способствовать развитию российских компетенций в области создания и проектирования композитных конструкций и продвижению их на мировом уровне.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Разработанные и верифицированные модели деформирования и разрушения композитов с термопластичной матри-

цей на основе арамидных тканей, угле- и органопластика на основе эпоксидного связующего, титанового сплава и карбидокремниевой керамики были использованы для численной оценки эффективности различных вариантов керамокомпозитных структур с гибридными подложками. По результатам расчетов установлено, что использование подложки «органопластик+термопластичный композит» обеспечивает снижение массы всей керамокомпозитной структуры на 15 % по сравнению с вариантом, в

котором используется только гомогенный органопластик, и снижает подвижность керамического лицевого слоя. Негативным аспектом использования комбинированной подложки стало возрастание запрерградной выпучины.

- Использование в составе гибридной подложки керамокомпозитной структуры углепластика или титанового сплава оказалось неоправданным, и в обоих случаях поверхностная плотность подложки была в среднем на 20 % больше, чем в случае использования комбинации «органопластик+термопластичный композит».

## Эксперимент



## Расчет

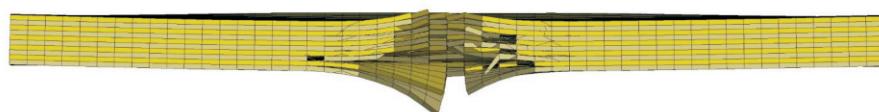


Рис. 1. Поперечное сечение образца органопластика после взаимодействия с имитатором осколка на скоростях 520–540 м/с

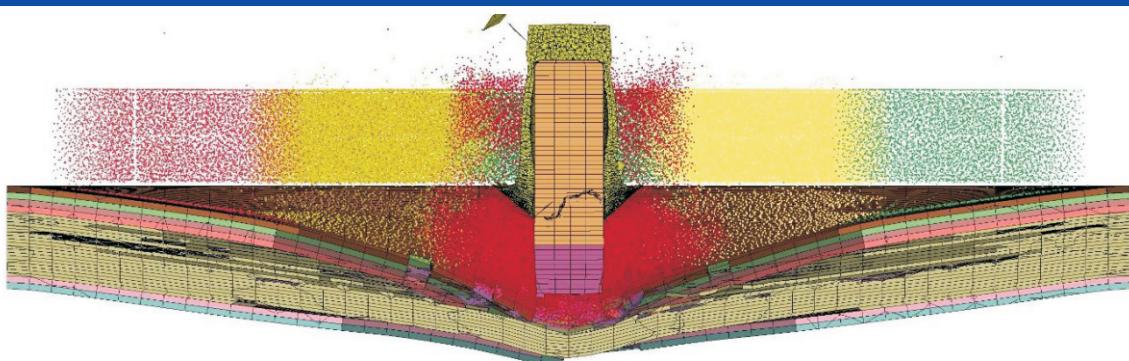


Рис. 2. Повреждение тыльной стороны керамокомпозитной структуры подложкой «органопластик (4 экв. слоя)-термопластичный композит (18 экв. слоев)-органопластик (2 экв. слоя)»



Рис. 3. Образец керамокомпозитной структуры для проверочных испытаний

# ГРАДИЕНТНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ АТОМОВ ЖЕЛЕЗА В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ ГЕКСАФЕРРИТОВ М-ТИПА

Руководитель проекта – кандидат физико-математических наук В.Е. Живулин

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное и теоретическое исследование эффекта образования кристаллических структур на основе гексаферритов со структурой магнетоплюмбита с градиентным замещением атомов железа.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

1 доклад на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/  
WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Анализ результатов проведённых ранее экспериментов, сопровождавшихся формированием градиентных замещённых кристаллических структур на основе гексаферритов.
- ➲ Экспериментальное изучение процесса образования градиентных замещённых кристаллических структур. Получение информации о том, как изменение состава раствора и температуры процесса влияет на изменение степени замещения атомов железа.
- ➲ Разработка термодинамических моделей, позволяющих описывать процесс образования замещённых кристаллических структур на основе гексаферритов. Разработка и проверка гипотез о локализации атомов-заместителей в структуре гексаферритов.
- ➲ Изучение влияния градиентной структуры на электрические и магнитные свойства кристаллов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➲ Образцы (включая монокристаллы размером до 10 мм) фаз со структурой магнетоплюмбита с градиентным замещением атомов железа в их структуре. Новые воспроизводимые методики получения кристаллических фаз со структурой магнетоплюм-

бита с градиентным замещением. Новые 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.

- ➲ Новая термодинамическая модель кристаллических фаз со структурой магнетоплюмбита с градиентным замещением с набором модельных параметров, позволяющих описывать зависимость термодинамических функций таких фаз от их состава и температуры. Результаты моделирования неравновесной кристаллизации с образованием кристаллических фаз со структурой магнетоплюмбита с градиентным замещением атомов железа.
- ➲ Новые данные о структуре и составе образцов, полученные методами рентгеноструктурного анализа с помощью растровой и просвечивающей электронной микроскопии, а также методами рентгеновской абсорбционной спектроскопии.
- ➲ Новые 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.

По результатам проведённых работ будут подготовлены публикации [3 публикации в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus/Web of Science] и сделаны доклады на научных конференциях международного уровня.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

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 2020 г.

Все экспериментальные и теоретические исследования, запланированные к выполнению на первом этапе работ, были успешно выполнены. В ряде направлений (в частности, в направлении исследования влияния содержания элемента-заместителя в растворе, из которого растёт кристалл) удалось продвинуться дальше, чем было запланировано.

Главным результатом, полученным в процессе исследований первого этапа, является доказательство возможности получения монокристаллов со структурой гексаферритов с градиентным распределением элементов-заместителей железа.

В процессе экспериментальных работ получены и исследованы экспериментальные образцы такого рода материалов.

В процессе исследования:

- Проанализированы результаты проведённых ранее (как нашим коллективом, так и описанных в литературе) экспериментов, сопровождавшихся формированием градиентных замещённых кристаллических структур на основе гексаферритов. Сопоставление собственных и литературных

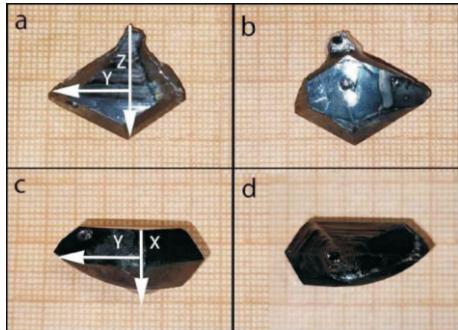


Рис. 1. Кристалл  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  с градиентом замещения, выращенный методом Чохральского

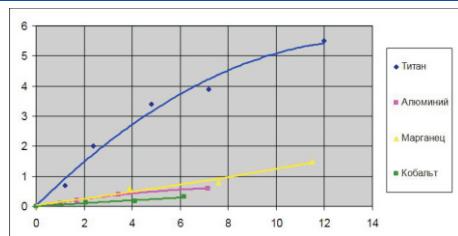


Рис. 3. Зависимость  $x$  [в формуле  $\text{BaFe}_{12-x}\text{M}_x\text{O}_{19}$ ] от массовой доли  $M$  в расплаве при выращивании кристаллов методом спонтанной кристаллизации

данных позволило уточнить, какого рода экспериментам с какими системами нам следует уделить большее внимание в процессе нашего экспериментального исследования.

- Выполнено экспериментальное изучение процесса образования градиентных замещённых кристаллических структур в системах  $\text{Me}[\text{Fe}, \text{Ti}]_{12019}$ ,  $\text{Me}[\text{Fe}, \text{Al}]_{12019}$ ,  $\text{Me}[\text{Fe}, \text{Mn}]_{12019}$ , где  $\text{Me} - \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Pb}$ .
- Выполнено экспериментальное исследование структуры и состава полученных образцов, включая получение данных об изменении глубины замещения атомов железа вдоль направлений в кристаллах.

Такого рода исследование позволило сделать выводы о том, как изменение состава питающего раствора и температуры процесса влияет на изменение глубины замещения атомов железа, а главное – показать для всех трёх исследованных систем возможность выращивания кристаллических структур с заметным градиентом заместителя.

- Выполнены работы по подбору термодинамической модели для описания твёрдых растворов замещения в гексаферритной структуре. Наличие экспериментальных данных (как литературных, так и собственных) позволило выполнить термодинамическое описание таких растворов, включающее подбор ряда модельных параметров для конкретных исследованных систем.
- Выполнено термодинамическое моделирование (посредством моделей неравновесной кристаллизации) процесса образования градиентных замещённых гексаферритных фаз из сложного оксидного расплава.
- Выполнено исследование электрофизических (микроволновых) и магнитных характеристик полученных образцов монокристаллов с градиентным замещением.
- Получены данные об электрофизических (микроволновых) и магнитных характеристиках образцов монокристаллов с градиентным замещением.

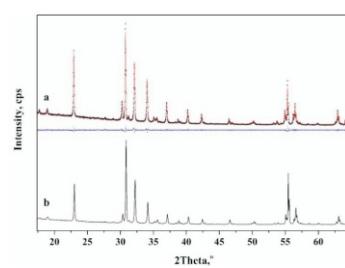


Рис. 2. РГА порошка из кристалла  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  с градиентом замещения [a], выращенный методом Чохральского, в сравнении с чистым гексаферритом бария [b]

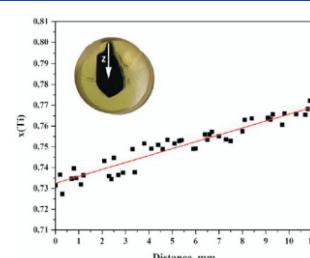


Рис. 4. Зависимость степени замещения  $x$  [Ti] вдоль оси вытягивания кристалла  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  (начиная с места, где находилась затравка кристалла)

# ДИАЦЕТИЛЕНОВЫЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ КАРКАСЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ МЕТАЛЛ/УГЛЕРОД

Руководитель проекта – аспирант М.А. Полозов,  
Научный руководитель – доктор химических наук Д.А. Жеребцов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создать металлоорганический каркас с полностью углеродным скелетом путем фотополимеризации молекул с диацетиленовыми группами (рис. 3). Такое строение каркаса обеспечит возможность получить при его термолизе нанокомпозит металл/углерод или даже новые формы углерода.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

1 рукопись в журнал Топ-10

3 доклада на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus/  
WoS

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

- Освоить синтез линкерных молекул с диацетиленовыми группами.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Особенность исследований состоит в том, что мы не просто хотим создать 2–3 новых типа ковалентных органических или металлоорганических каркасов, а сделать их полностью углеродными по составу не только строительных блоков, но и мостиков между ними. Это позволит выйти на принципиально новый материал: после создания органических каркасов с полностью углеродными связями мы планируем путем нагревания до 1000 °C без доступа воздуха превратить ее в новую углеродную кристаллическую структуру. Другими словами, открыть новый класс кристаллических форм углерода. Этого еще не было сделано в мире, и мы будем первыми.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Регулируя размер пор каркасов, ученые смогут создавать более эффективные адсорбенты для очистки воды и воздуха, а также фильтры, препятствующие проникновению вредных веществ в наши жилища и в наш организм. Каркасы могут быть использованы при создании сенсорных материалов, чувствительных к примесям в воздухе.

Особенностью всех известных ковалентных каркасов является то, что в них углеродные строительные блоки связаны мостиками из атомов кислорода или азота (рис. 2).

Как и любой органический синтез, создание новой молекулы всегда представляет определенную сложность. Необходимо подобрать условия для проведения химических реакций – растворители, температуру, катализаторы. Каждый ковалентный органический каркас является новым органическим соединением, и в большинстве случаев химики для каждой такой новой структуры синтезируют новые строительные блоки. Сам по себе такой блок является новой молекулой. Чтобы ее получить, нужно пройти процесс многостадийного синтеза.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ- СКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

К настоящему времени результат заключается в синтезе 5-иодметилсалицилата, необходимого промежуточного соединения для получения линкерных молекул (рис. 3). Кроме того, решены структуры нескольких родственных ароматических соединений, исследованы процессы термолиза ряда карбоксилатов.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

Начатые работы с органическими каркасами проводятся на международном уровне в сотрудничестве с учеными из Германии, Индии, а также учеными из Новосибирского университета.



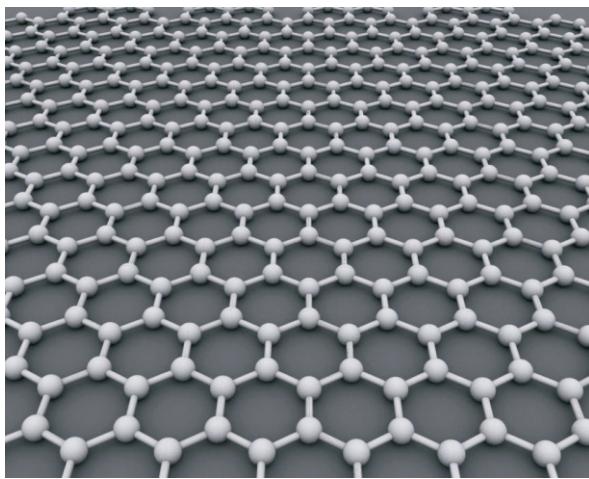


Рис. 1. Структура графена

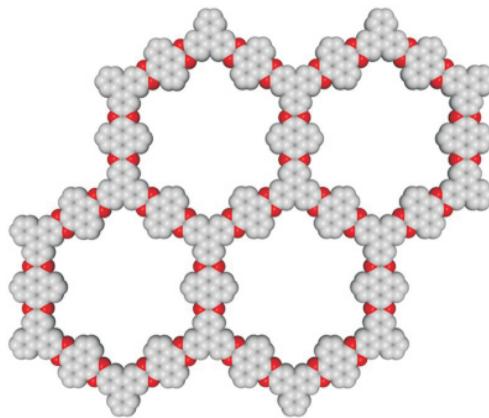


Рис. 2. Пример структуры ковалентного органического каркаса  
[Guo, J. et al. Conjugated organic framework with threedimensionally ordered stable structure and delocalized p clouds. Nat. Commun. 4:2736 doi: 10.1038/ncomms3736 (2013).]

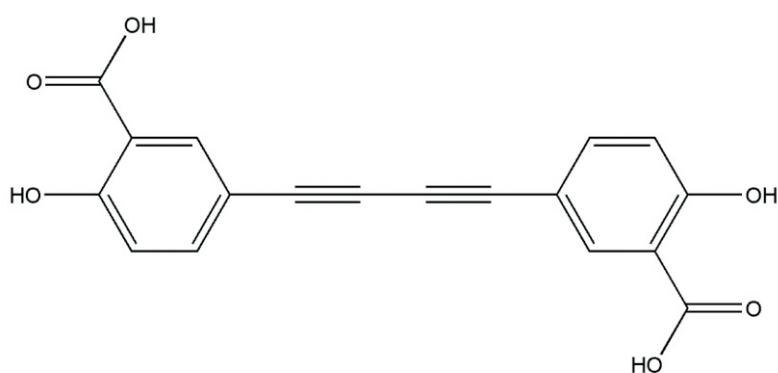


Рис. 3. Один из запланированных к синтезу  
в ЮУрГУ ключевых блоков для построения каркасов

# СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ СУРЬМАОРГАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ С ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИМИ ФЕНОЛАМИ И КАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

Руководитель проекта – аспирант А.Н. Ефремов,  
Научный руководитель – доктор химических наук, профессор О.К. Шарутина

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Синтез новых арильных производных сурьмы с галогенсодержащими карбоновыми кислотами и фенолами, выявление их структурных особенностей, а также исследование фотокаталитических свойств полученных соединений на примере разложения органических красителей.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus/  
WoS

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Синтезировать соединения сурьмы(IV) с различными арильными заместителями, в том числе с использованием галогенизолов.
- ➲ Изучить реакции окислительного присоединения триарилсурьмы с галогенсодержащими фенолами и карбоновыми кислотами в различных условиях.
- ➲ Синтезировать галогенсодержащие ароксиды и карбоксилаты тетраарилсурьмы дефенилированием пентаарилсурьмы.
- ➲ Идентифицировать продукты реакции [т. пл., ИК-спектроскопия, ЯМР-спектроскопия].
- ➲ Установить структуры продуктов реакции методом рентгеноструктурного анализа и выявить закономерности и особенности их строения.
- ➲ Исследовать фотокаталитические свойства синтезированных соединений на примере разложения органических красителей и выявить связь фотокаталитической активности с природой заместителей при атомах сурьмы.

- ➲ Будет установлена возможность использования синтезированных соединений в реакциях окислительного присоединения с галогенсодержащими карбоновыми кислотами и фенолами. Все вновь синтезированные соединения
- ➲ Будут идентифицированы, молекулярные и кристаллические структуры будут определены методом рентгеноструктурного анализа.
- ➲ Будут синтезированы пентаарильные соединения сурьмы и их производные, установлены их структуры.
- ➲ Будут изучены фотокаталитические свойства синтезированных соединений сурьмы(V) на примере фотодеструкции органических красителей и установлена связь активности фотокатализаторов от строения и природы заместителей при атоме сурьмы.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Вновь синтезированные соединения будут идентифицированы и структурно охарактеризованы, на основании полученных результатов будут сделаны выводы о факторах, влияющих на строение продуктов реакций и их структурные особенности, а также роль атомов галогенов в формировании пространственной структуры кристаллов. Установленные особенности молекулярных и кристаллических структур соединений углублят теоретические представления о природе химической

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➲ По отработанным методикам будет синтезирован ряд базовых новых триарильных соединений сурьмы;

связи и межмолекулярных взаимодействиях, расширят многообразие структур международного Кембриджского банка структурных данных [CCDC].

Изучение фотокаталитических свойств сурьма-органических соединений существенно расширит границы их применения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

Синтезирован ряд производных триарилсурьмы, содержащих остатки галогенсодержащих фенолов и карбоновых кислот. Установлена структура полученных соединений методом ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа и определены особенности их строения.

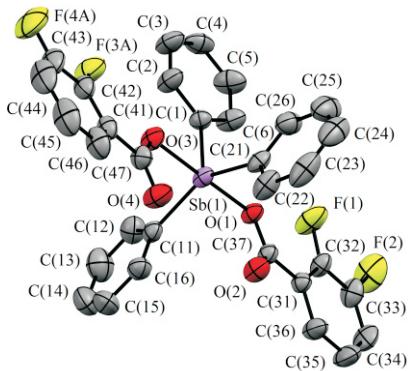


Рис. 1. Строение бис[2,3-дифторбензоата] трифенилсурьмы

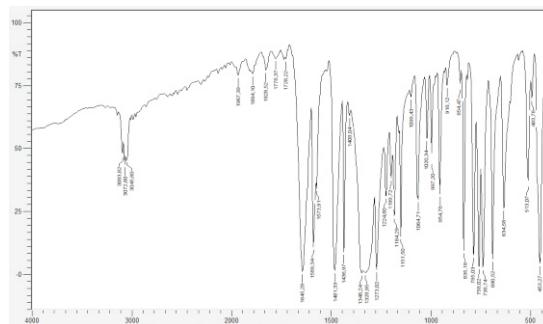


Рис. 3. ИК-спектр бис[2,3-дифторбензоата] трифенилсурьмы

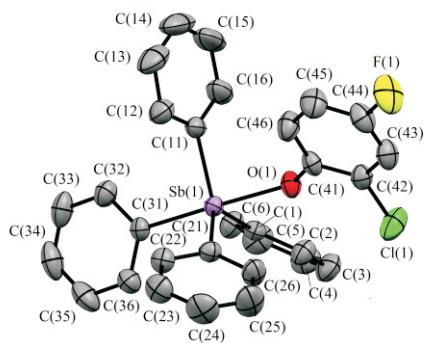


Рис. 2. Строение 2-хлор-4-фторфеноксида тетрафенилсурьмы

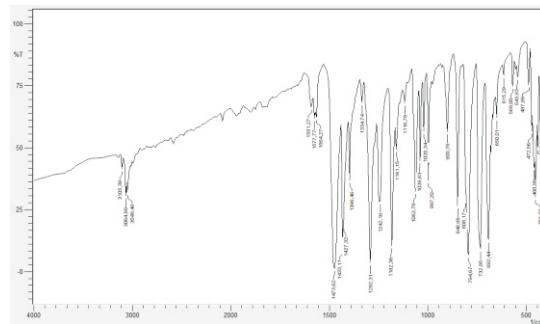


Рис. 4. ИК-спектр 2-хлор-4-фторфеноксида тетрафенилсурьмы



# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛО- МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ПЛАВЛЕНИИ МЕТАЛЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДЖОУЛЕВА ТЕПЛА НА ПОСТОЯННОМ ИСТОЧНИКЕ ТОКА В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Руководитель проекта – аспирант Д.В. Сергеев,  
Научный руководитель – доктор технических наук, профессор И.В. Чуманов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение воздействия возникающих электромагнитных сил в электрошлаковом процессе на постоянном токе в поле действия центробежных сил на процессы плавления, кристаллизации металла и выявление параметров, позволяющих повысить эффективность тепломассопереноса расплава жидкого металла.

## ПУБЛИКАЦИИ

2

научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2

статьи в Scopus

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ❖ Установить характер выделения и распределения мощности джоулевых источников тепла при использовании постоянного источника тока применительно к электрошлаковому процессу (ЭШП).
- ❖ Оценить электромагнитные силы, определяющие ход электрошлакового процесса и разработать методику расчета пондеромоторных сил с учетом конкретных технологических параметров.
- ❖ Рассчитать центробежную силу, достаточную для стабилизации ванны жидкого расплава при влиянии электромагнитных сил.
- ❖ Рассчитать оптимальную траекторию движения капли жидкого расплава.
- ❖ Построить математическую модель для выявления лимитирующих параметров проведения хода процесса ЭШП.
- ❖ Проведение анализ с целью определения оптимальной радиальной скорости течения капли для обеспечения максимальной рафинирующей способности процесса электрошлакового переплава на постоянном токе.
- ❖ Провести опытный электрошлаковый переплав на постоянном токе со стабилизацией металлической ванны путем воздействия центробежными силами на массо-обмен жидкого металла.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Создание математической модели поведения электромагнитных сил, течений и тепломассообмена в токонесущем расплаве при ЭШП на постоянном токе под влиянием центробежных сил.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение воздействия постоянного тока и центробежных сил при электрошлаковом переплаве расходуемых электродов на процессы плавления, транспортировки, кристаллизации металла и выявление параметров позволит компенсировать негативные факторы, вызываемые влиянием постоянного тока, тем самым существенно снизить энергозатраты на проведения процесса ЭШП.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ- СКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Проведена оценка электромагнитных сил постоянного тока, действующих на жидкий металл и определяющих ход электрошлакового процесса;



- Составлены физико-математическая и компьютерная модели.
- Установлен характер протекания процесса электрошлакового переплава на постоянном токе.
- Рассчитан оптимальный показатель внешней силы, необходимый для стабилизации ванны жидкого металла.

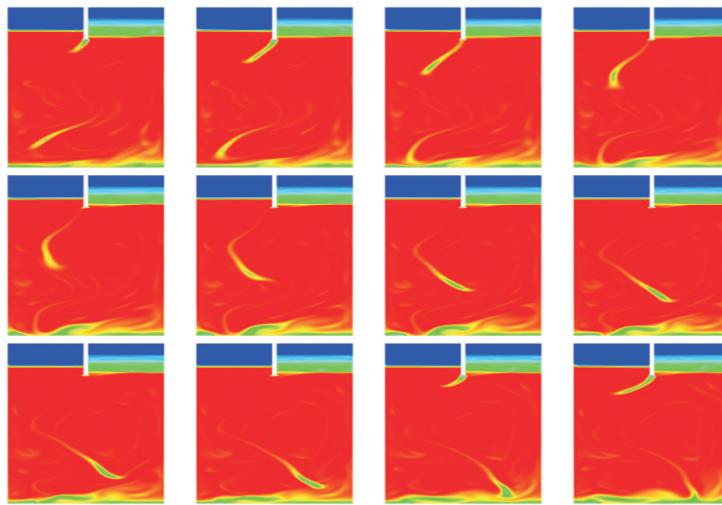


Рис. 1. Моделирование траектории движения капли жидкого металла

# КОРРЕЛЯЦИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В МОНОКРИСТАЛЛАХ И КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ ГЕКСАФЕРРИТОВ М-ТИПА С ГЕТЕРОВАЛЕНТНЫМ ДИАМАГНИТНЫМ ЗАМЕЩЕНИЕМ

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

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проведение систематических исследований особенностей кристаллической структуры и магнитных характеристик полученных разными методами образцов гексаферритов с гетеровалентным диамагнитным замещением для установления корреляции между уровнем концентрационного замещения, зарядовым упорядочением и спиновым состоянием ионов железа в  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ).

## ПУБЛИКАЦИИ

3

научные статьи

3

статьи в Scopus/  
WoS

68

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Разработка стабильных методик выращивания монокристаллов и синтеза керамических образцов  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ).
- ➋ Разработка термодинамической модели образования  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  в результате кристаллизации сложного расплава, а также в ходе твердофазного синтеза.
- ➌ Проведение исследований особенностей кристаллической (методом дифракции рентгеновского излучения) и магнитной (методом Мессбауэровской спектроскопии) структуры образцов монокристаллов и керамических образцов  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ).
- ➍ Проведение исследований влияния термобарических воздействий в процессе синтеза образцов  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ) на особенности их кристаллической структуры.
- ➎ Проведение исследований магнитных характеристик образцов монокристаллов и керамических образцов  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ) в широком диапазоне температур и внешних магнитных полей.
- ➏ Проведение исследований электрических характеристик образцов монокристаллов и керамических образцов  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ).

- ➐ Формирование феноменологической модели, объясняющей корреляцию уровня концентрационного замещения гетеровалентными ионами  $\text{Ti}^{4+}$  и особенностей кристаллической структуры, зарядового упорядочения и спинового состояния ионов железа в образцах монокристаллов и керамических образцах  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ).

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Получены монокристаллические и керамические образцы  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ) и проведены комплексные исследования особенностей их кристаллической и магнитной структуры для понимания влияния уровня концентрационного замещения на зарядовое упорядочение и спиновое состояние ионов железа в структуре замещенных гексаферритов М-типа.

Все эти работы и их результаты будут обладать научной новизной (это позволяет нам утверждать знакомство с литературой, посвящённой исследуемым системам).

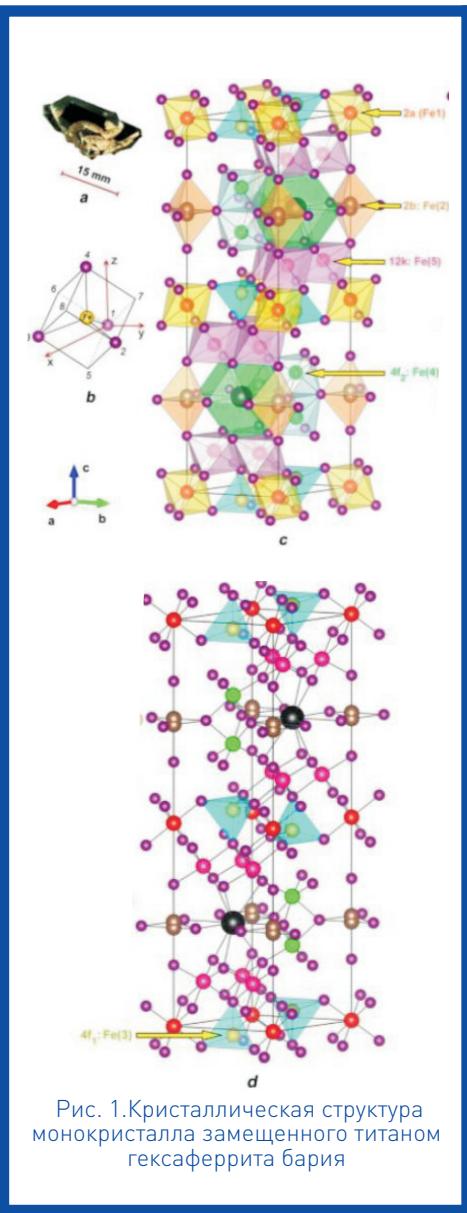
При этом научные результаты, которые планируется получить в ходе проекта, выйдут за пределы исследования конкретной исследуемой системы, поскольку выводы, которые предполагается сделать по итогам анализа полученных данных, будут относиться к более широкому классу систем.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Результаты, которые планируется получить, будут чрезвычайно полезны для предсказания возможностей управления составом целого класса перспективных функциональных материалов. Это дает основание утверждать, что результаты работы будут востребованы специалистами, работающими в этой области, в ходе прикладных исследований, направленных на создание материалов для деталей и устройств электроники, в т. ч. СВЧ-диапазона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

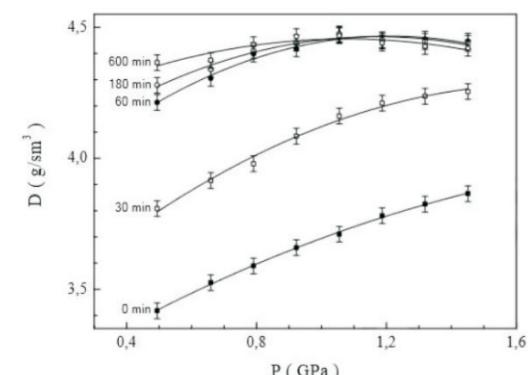
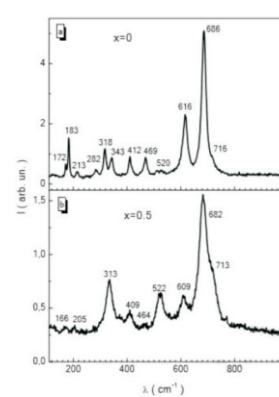
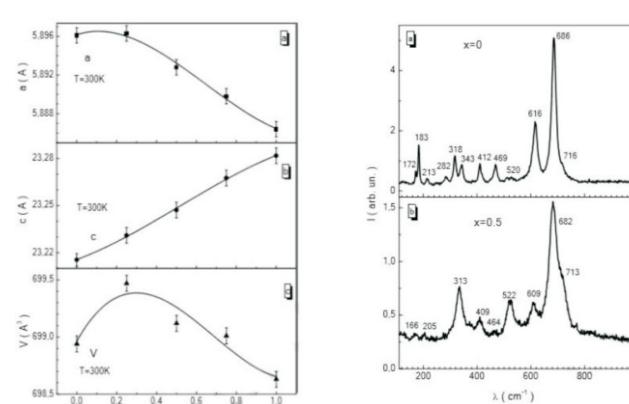
- Впервые с целью проведения сравнительного исследования получены образцы  $\text{BaFe}_{3+12-2x}\text{Fe}_{2+x}\text{Ti}_{4+x}\text{O}_{19}$  (где  $0 \leq x \leq 1,5$ ) как в форме



- монокристаллов, так и в форме керамики, полученной методом твердофазного синтеза;
- Получены новые уникальные экспериментальные данные о кристаллической структуре синтезированных образцов.
- Получена и проанализирована информация о влиянии условий синтеза экспериментальных образцов на особенности их кристаллической структуры.
- Проведена критическая оценка имеющихся данных о кристаллической структуре замещенных гексаферритов и о связи этой структуры с магнитными характеристиками такого рода кристаллов.
- Проведена существенная часть работ по подбору адекватной экспериментальным данным термодинамической модели твердого раствора для описания замещенных гексаферритов.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- State Scientific and Production Association "Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus" (JISSSP NASB).



## ЭКОЛОГИЯ

# ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ОБЪЕДИНЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ (ДВОЙНАЯ ЗУБЧАТОСТЬ) БЕЗРЕДУКТОРНЫХ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СФЕРИЧЕСКИХ ПОЗИЦИОННЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ С МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ (С ПЕРСПЕКТИВОЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЗИЦИОННО-СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ ДРУГИХ КЛАССОВ)

**Руководитель проекта – аспирант А.Ю. Сологубов,  
Научный руководитель – доктор технических наук, профессор И.М. Кирпичникова**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Решение фундаментальной научной проблемы, связанной с необходимостью создания и развития теории разработки энергоэффективных следяще-позиционных экстремальных систем управления угловой ориентации солнечных батарей на базе сферических параллельных манипуляторов, предназначенных для обеспечения работы в области низких скоростей, в условиях воздействия окружающей среды с высокими адаптивными возможностями.

**ПУБЛИКАЦИИ**

**13** научных статей

**11** научных докладов

**1** патент

**ИНДЕКСИРОВАНИЕ**

**4** статьи в Scopus

**2** статьи в журналах из перечня ВАК

**ЗАДАЧИ ПРОЕКТА**

- ➁ Разработать методы расчёта тахограмм и нагрузочных диаграмм электроприводов, осуществляющих слежения по заданным траекториям.
- ➂ Исследовать экспериментальную обратную методику расчёта электродвигателей.
- ➃ Применить один из алгоритмов глобальной оптимизации с целью получения оптимальной конфигурации механизма (с минимальным энергопотреблением и материалоёмкостью, с максимальной точностью и жёсткостью).
- ➄ На основе этих параметров разработать математические и конечно-элементные модели механизма и электрической машины.
- ➅ Исследовать эффективность предложенных методов с помощью имитационного моделирования.

**ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА**

- ➆ Новые требования к безредукторным вентильно-индукторным электроприводами сферических позиционных манипуляторов.
- ➇ Методы синтеза параметров сферического позиционного манипулятора, вентильно-индукторного электропривода и показателей качества работы адаптивно-интеллектуальной системы управления на основе решения ряда обратных задач.
- ➈ Структуры комбинированного адаптивно-интеллектуального управления системами слежения за Солнцем. Математический бэкграунд для исследования таких систем.

- ➉ Замкнутые математические и конечно-элементные модели 3-х координатных безредукторных электроприводов сферических параллельных манипуляторов с адаптивно-интеллектуальной системой управления, описывающие протекание процессов в системе в условиях низкой скорости работы координатных электроприводов.
- ➊ Результаты математического и имитационного моделирования разработанных алгоритмов должны подтвердить гипотезу о наличии синергетического эффекта.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Научно-техническая продукция. Структурный и параметрический синтез мало-, средне- и крупногабаритных телескопов, строительство и совершенствование крупных солнечных электростанций с большим количеством систем слежения за Солнцем.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.**

- ➌ Разработан способ анализа суточных и годовых данных об угловом положении Солнца (для любого географического местоположения). Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665999 от 27.11.2019 «Программа формирования двухпараметрических временных сеток для

- вычисления солнечной позиции и угловых данных расчёта».
- Исследованы кинематические и динамические особенности электроприводов сферического позиционного параллельного манипулятора с нагрузкой в виде солнечной панели путём решения задач обратной кинематики и динамики. Разработана программа кинематического и динамического анализа электроприводов, а также конструкционных характеристик платформы параллельной кинематики. Решение задач обратной кинематики и динамики определяет структуру динамической модели опорно-поворотного механизма как трёхмассовой системы с переменными моментами инерции и жёсткостями, определяемыми матрицей взаимодействий подвижных звеньев.
  - Сформулирована новая проблема рационального выбора конструктивных параметров как опорно-поворотного механизма, так и приводных вентильно-индукторных электродвигателей (далее ВИД) и оценки влияния этих параметров на последующие процессы преобразования электрической энергии в механическую. Разработан вариант программы поиска оптимальных параметров опорно-поворотного механизма и приводного двигателя.
  - Разработана наиболее общая на данный момент структура математической модели приводного ВИД, позволяющая представить преобразование электрической энергии в механическую как мультиагентное взаимодействие фаз двигателя на нелинейном пространстве состояний, определяемое через матрицу индуктивностей, профили которых рассчитаны на основе конечно-элементного анализа спроектированного ВИД. Разработан алгоритм импульсно-фазового управления ВИД на основе комбинации непрерывных S-функций и их аффинных преобразований, реализующая одиночную, парную и комбинированную коммутацию фаз.
  - Самый важный результат за I этап (октябрь 2019 года – август 2020 года) состоит в следующем. Построена новая структура простейшей двухконтурной адаптивно-интеллектуальной системы управления для многопараметрического поиска максимума мощности солнечной панели с целью наиболее качественного поддержания гомеостаза системы (под гомеостазом здесь подразумевается надёжная стабилизация в точке максимума оптимизируемого параметра). Такая система содержит внутренний контур адаптации, преобразующий сложный нелинейный объект в квазилинейный с желаемой передаточной функцией. Работа данного контура реализуется на основе динамического матричного нелинейного регулятора с адаптивными параметрами, подстройка которых осуществляется по простейшему методу обратного распространения ошибки. Такой подход позволяет упростить анализ системы и использовать классическую структуру системы поиска экстремума с вспомогательной модуляцией и

дополнительными линейными динамическими звеньями. С целью качественной оценки энергетических потерь в процессе поиска экстремума изучаются способы получить компоненты переходного процесса как решения системы дифференциальных уравнений [по числу регулируемых координат], описывающих движение электропривода в точку максимума оптимизируемого параметра, что является выявленной и нерешённой на данный момент проблемой. Совместно с руководителем был построен способ: слабого решения данной проблемы. А именно, решение строится путём комбинации медленной составляющей, определяемой коммутатором векторных полей, рассчитываемой с помощью теории групп Ли и колебательной составляющей, которая является комбинацией уравнения предельного цикла и решением эквивалентного уравнения Риккати. Впервые при определении решения учитывается наличие в системе линейных звеньев, что вносит в структуру уравнений свёртки. Благодаря предложенному подходу к определению этого решения удалось выявить явную формулу для вычисления действия компонентов решения уравнения на время переходного процесса и амплитуды колебательных составляющих. Кроме того, построена вторая версия системы, изменяющая поисковые сигналы и сохраняющая ту же структуру дифференциальных уравнений.

- Изучаются возможности получения решения системы дифференциальных уравнений движения электропривода в точку экстремума с использованием ряда Ли на основе присоединённого представления. А также качественное исследование нелинейной динамической системы с помощью уравнений Пфаффа. Некоторые результаты по данному направлению докладывались на семинаре. Тем не менее, в рамках проекта исследований, используя различные инструменты применительно к сложному установившемуся движению нелинейных систем, планируется показать существование веских доказательств того, что различные инструменты этой теории представляют собой различные предельные случаи неразработанного пока способа решения дифференциальных уравнений движения в системах поиска экстремума.

Степень новизны полученных результатов: Исследование синергетического эффекта от объединения дискретной структуры (двойная зубчатость) безредукторных вентильно-индукторных электроприводов сферических позиционных параллельных манипуляторов с многопараметрической системой экстремального управления и его влияние на энергоэффективность систем слежения за Солнцем [с перспективой использования в позиционно-следящих системах других классов] все еще остается малоизученной проблемой. Основные результаты, полученные в I этапе являются новыми и актуальными, а новые выявленные проблемы интересны с научной точки зрения.

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Филиал «Оренбургский» ПАО «Т Плюс». Орская СЭС им. А. А. Влазнева (Сакмарская).

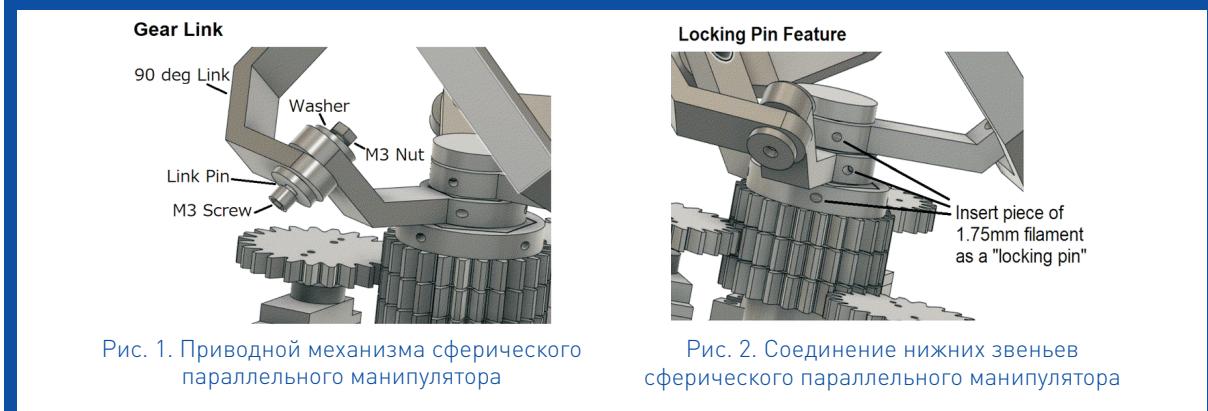


Рис. 1. Приводной механизма сферического параллельного манипулятора

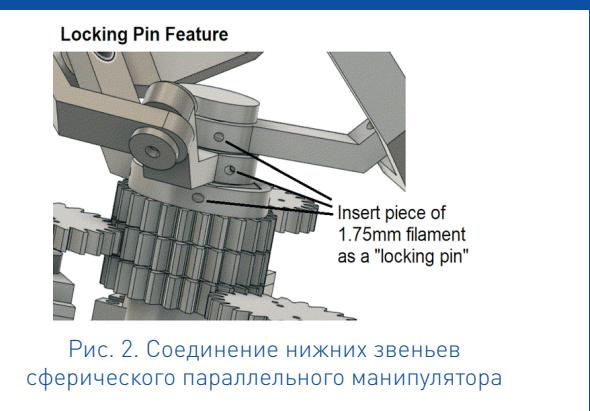


Рис. 2. Соединение нижних звеньев сферического параллельного манипулятора

# ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕНТАФЕНИЛФОСФОРА, ПЕНТААРИЛСУРЬМЫ И ТРИАРИЛСУРЬМЫ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ КАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

Руководитель проекта – аспирант Ю.О. Губанова,  
Научный руководитель – доктор химических наук, профессор О.К. Шарутина

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение взаимодействия пентарилсурьмы, пентафенилфосфора и триарилсурьмы с полифункциональными карбоновыми кислотами, изучение особенностей строения продуктов реакций и фотокатализитической активности. В качестве полифункциональных кислот будут использованы дикарбоновые кислоты, гидроксикислоты, гетероциклические кислоты.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

3 доклада на всероссийских конференциях с международным участием

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в Scopus/  
WoS

2 статьи в журналах перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➲ Проведение реакций пентафенилсурьмы и пентафенилфосфора с полифункциональными карбоновыми кислотами в различных условиях [соотношение реагентов, растворитель, температура].
- ➲ Проведение реакций окислительно-присоединения триарилсурьмы с дигидроксибензойными кислотами при варьировании окислителя, растворителя, соотношения реагентов.
- ➲ Идентификация продуктов реакции [т. пл., ИК-спектроскопия].
- ➲ Установление структуры продуктов реакций методом рентгеноструктурного анализа, выявление особенностей строения и влияющих факторов.
- ➲ Изучение фотокатализитической активности синтезированных соединений на примере фотодеструкции некоторых красителей.
- ➲ Изучение химических превращений сурьмаорганических производных под действием галогенов.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Ожидаемые результаты первого года:

- ➲ будет получен ряд производных сурьмы (V) и фосфора (V) по реакции дефенилирования;

➲ будет получен ряд новых сурьмаорганических производных полифункциональных карбоновых кислот по реакции окислительного присоединения.

Полученные соединения будут идентифицированы и структурно охарактеризованы, на основании полученных результатов будут сделаны выводы о факторах, влияющих на строение продуктов реакций и их структурные особенности. Будет сделан вывод о возможности применения метода окислительного присоединения для полифункциональных карбоновых кислот. Установление особенностей молекулярных и кристаллических структур вновь синтезированных соединений усугубят теоретические представления о природе химической связи и межмолекулярных взаимодействий. Все неизвестные ранее соединения будут занесены в кембриджский банк CCDC и станут доступны мировому сообществу.

Ожидаемые результаты второго года:

- ➲ будут выделены и структурно охарактеризованы продукты реакции производных сурьмы (V) с галогенами, сделан вывод о закономерности протекания таких реакций;
- ➲ будут сделаны выводы о возможности применения соединений сурьмы (V) в качестве фотокатализаторов разложения красителей.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные соединения проявляют фотокатализитическую активность по отношению к красителю метиленовому



синему. Актуальность таких исследований заключается в перспективе решения проблемы загрязнения окружающей среды, вызванной трудноразлагаемыми органическими соединениями. Также имеются литературные данные о биологической активности соединений аналогичного строения, а именно в качестве противомикробных и противоопухолевых препаратов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 Г.

Исследованы особенности протекания реакций пентафенилсурымы с полифункциональными кислотами ([2-(4-карбоксихинолин-2-ил)хинолин-4-карбоновой, 2,6- и 2,5-пиридиндикарбоновой, 3-гидроксибензойной, 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой,

3,5-динитросалициловой] и с производными пиrimидин-4(3Н)-она в различных условиях. Взаимодействием пентафенилfosфора с 2,6-дигидроксибензойной и янтарной кислотами синтезированы карбоксилаты тетрафенилfosфония. Особенности строения продуктов всех реакций установлены методом рентгеноструктурного анализа. Проведены исследования по оценке фотокаталитической активности некоторых соединений по отношению к красителю метиленовому синему. По результатам работы опубликованы 4 статьи в журналах «Вестник ЮрГУ. Серия химия» и «Журнал общей химии».

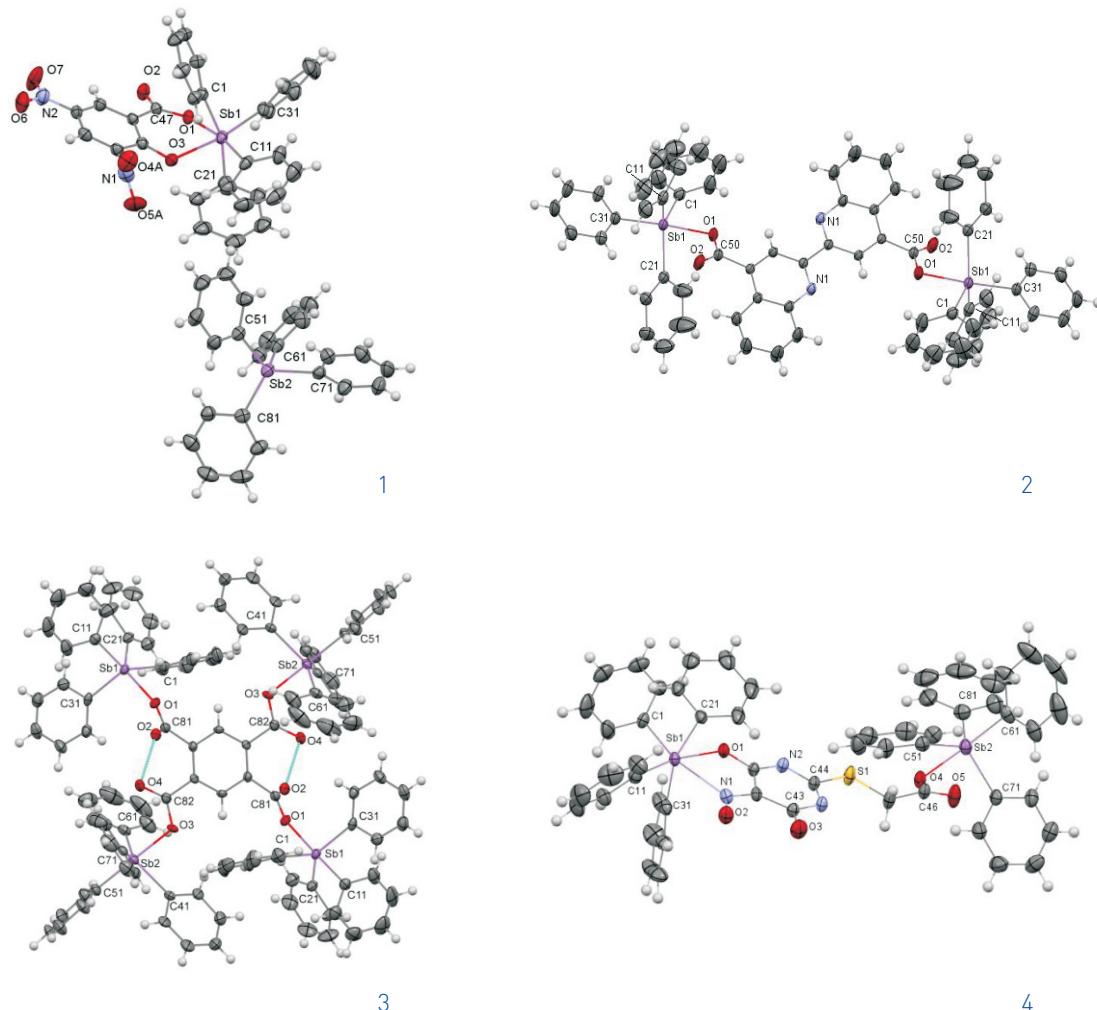


Рис 1–4. Молекулярные структуры синтезированных соединений

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОНФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В БАКТЕРИАЛЬНОЙ РИБОСОМЕ, ВЫЗЫВАЕМЫХ СВЯЗЫВАНИЕМ АНТИБИОТИКОВ И МОДИФИКАЦИЕЙ НУКЛЕОТИДНЫХ ОСТАТКОВ 23S РРНК

Руководитель проекта – кандидат химических наук Г.И. Макаров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Настоящий проект направлен на решение фундаментальной проблемы молекулярной биологии и биохимии – изучение механизма ингибиции антибиотиками синтеза белка на рибосоме.

## ПУБЛИКАЦИИ

1 научная статья

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

Моделирование структур комплексов хлорамфеникола, линезолида и радезолида с рибосомой *E. coli*, находящейся в каноническом A/A,P/P- состоянии, методами докинга и метадинамики. Также задачей проекта является молекулярно-динамическое моделирование рибосомы *E. coli*, несущей 2,8-диметилированный A2503, и поиск конформационных изменений, вызываемых введением в A2503 дополнительной метильной группы.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Структуры комплексов хлорамфеникола, линезолида и радезолида с рибосомой *E. coli*, находящейся в каноническом A/A,P/P- состоянии. Структуры рибосомы *E. coli*, находящейся в каноническом A/A,P/P- состоянии, дикого типа и содержащей 2,8-диметилированный A2503 23S РРНК. Структуры комплексов хлорамфеникола, линезолида и радезолида с диметилированной по A2503 рибосомой *E. coli*. Структурно обоснованный механизм устойчивости бактериальной рибосомы к антибиотикам, вызываемой 2,8-диметилированием A2503.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Изучение взаимодействия клинически значимых антибиотиков с рибосомой и структурных оснований множественной устойчивости, вызываемой модификацией метилтрансферазой Cfr остатка A2503 23S РРНК, позволяют проложить путь к рациональной, структурно обоснованной разработке новых антибактериальных препаратов, что совершенно необходимо, если учитывать возрастающее со временем распространение патогенов, устойчивых к применяемым антибиотикам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Получена структура комплекса рибосомы *E. coli*, содержащей 2,8-диметилированный остаток A2503 23S РРНК, на основе оптимизированных структур рибосомы как в A/A,P/P, так и в P/P,E/E- состояниях. Выявлены воспроизводимые структурные изменения, индуцируемые неконститутивной модификацией A2503. Установлено, что часть из этих изменений происходит в рибосомному туннеле в основаниях РНК,

участвующих в передаче сигнала из рибосомного туннеля в ПТЦ. При этом модификация возвращает их конформацию из P/P,E/E- состояния в A/A,P/P-подобное состояние. На рисунках ниже

под литерой а изображены фрагменты рибосомного туннеля в рибосоме дикого типа, а под литерой б – фрагменты pPHK с 2,8-диметилированным A2503.

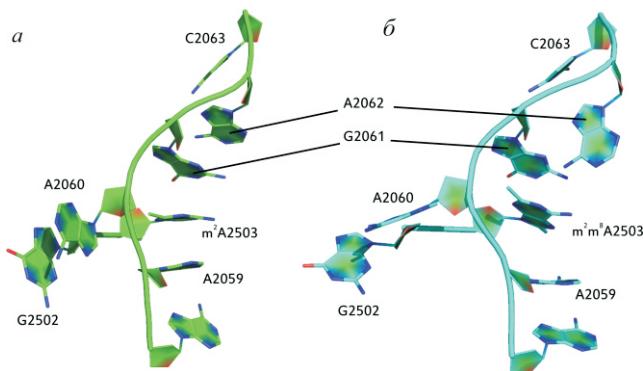


Рис. 1. Воздействие модификации остатка A2503 23S pPHK на конформацию своего ближайшего окружения: разрушение стэкинг-взаимодействий как между остатками G2502 и A2060, так и между G2061 и A2062

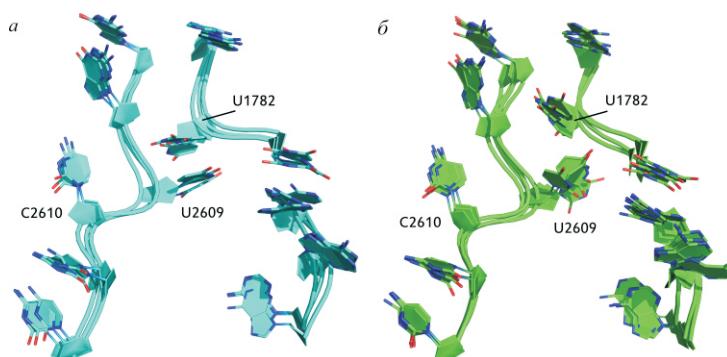


Рис. 2. Воздействие модификации остатка A2503 23S pPHK на конформацию остатков верхней части рибосомного туннеля: разрушение стэкинг-взаимодействий между U1782 и U2609. Показаны самые заселенные кластеры отображенного фрагмента 23S pPHK.

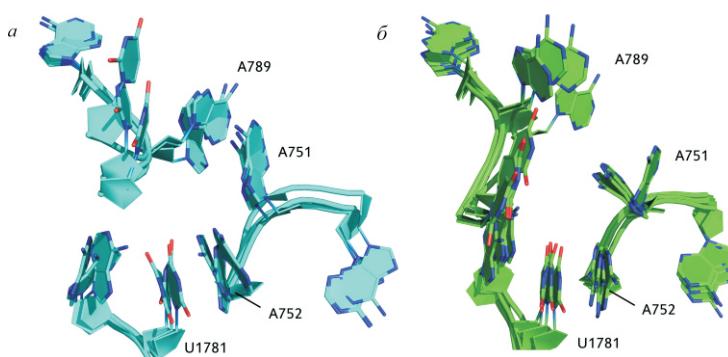


Рис. 3. Воздействие модификации остатка A2503 23S pPHK на конформацию остатков рибосомного туннеля: разрушение стэкинг-взаимодействий между A789 и A751 и стабилизация такого же между U1781 и A752. Показаны самые заселенные кластеры отображенного фрагмента 23S pPHK.

# ИЗУЧЕНИЕ РЕГИОНА В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНО-ИСТОРИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ГУМАНИТАРИСТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЛЯБИНСКА И ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Руководитель проекта – доктор исторических наук, доцент А.В. Епимахов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка модели реконструкции пространственно-исторической локализации региона в контексте глобально-исторических связей различных эпох с помощью методов digital humanities.

## ПУБЛИКАЦИИ

- 9** научных статей
- 6** докладов на конференциях
- 1** кандидатская диссертация

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

- 5** статей в Scopus/WoS
- 4** статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ⇨ Выявление источников и формирование эмпирической базы исследования.
- ⇨ Использование методов цифровой гуманитаристики для анализа массовых источников и уникальных исторических текстов.
- ⇨ Визуализация результатов изучения эмпирической базы исследования.
- ⇨ Формирование интерпретационной модели глобально-исторического значения.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Создание базы данных междисциплинарного характера (исторические источники, литературные произведения, количественные данные и пр.) для анализа вовлеченности в глобально-исторические процессы. Оцифровка текстовых и визуальных источников и их подготовка для анализа методами digital humanities, создания цифровых ресурсов с возможностями использования научным сообществом в перспективных исследованиях.

Формирование интерпретационной модели значения конкретной территории (современные Челябинск и Челябинская область) в глобально-историческом контексте. Формирование методики анализа глобально-

исторических связей периферийных и транзитных пространств (локусов) – модели реконструкции пространственно-исторической локализации региона в контексте глобально-исторических связей различных эпох.

Визуализация полученных результатов пространственно-исторической локализации конкретной территории методами digital humanities и размещение на платформе научно-исследовательского характера и открытого доступа.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработанная интерпретационная и аналитическая модель будет обладать универсальными параметрами для определения значимости периферийных территорий в глобальном контексте в исторической ретроспективе, следовательно, станет важным методологическим инструментом для реализации глобально-исторического подхода. Результаты исследований станут важным материалом для экспертов для формирования актуальной политики по выработке локальной идентичности, брендингу мест, мониторингу процессов трансформации коллективной памяти. Разработанные в результате исследования принципы формирования глобально-локальных баз данных могут стать матрицей для создания цифровых двойников городов и территорий.

3D-модель уникального исторического объекта мировой значимости «Игнатьев-

ская пещера» позволит создать новый инструмент изучения и будет способствовать сохранению памятника. Сайт «Историческая реконструкция Челябинска» (<http://myhist.ru/>) стал площадкой для презентации результатов проекта в публичной сфере.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

Разработаны и обоснованы тематические-хронологические блоки, в рамках которых реконструкция пространственно-исторической локализации региона представляется наиболее эффективной (методический шаг в разработке модели анализа региона с использованием глобально-исторического подхода). Выявлены ключевые для первого этапа термины и концепты, актуальные для методологической разработки каждого блока (шаг формирования общей методологической парадигмы).

Исследованы основные факторы «глобализации» региона в различные эпохи: для древнего периода

(на основании археологических данных) – технологический фактор; для эпохи Средневековья и Нового времени – рационально-бюрократическая традиция «регулярного» государства, находящаяся в динамическом конфликте с локальными интересами; для эпохи «европейской модерности» – социальная модернизация и урбанизация, государственные практики принудительного переселения и стимулирования интеллектуальной и трудовой (этнической) миграции.

Составлены и проанализированы базы данных по социальной истории города, эвакуации.

Проанализированы и выявлены наиболее эффективные методы цифровой истории для изучения пространственно-исторической локализации региона и презентации результатов исследования.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- Объединенный государственный архив Челябинской области.
- Центр историко-культурного наследия г. Челябинска.
- Общественный фонд «Южный Урал».
- Институт истории и археологии УрО РАН.
- Институт географии РАН.



Рис. 1. Стартовая страница сайта  
«Историческая реконструкция Челябинска»

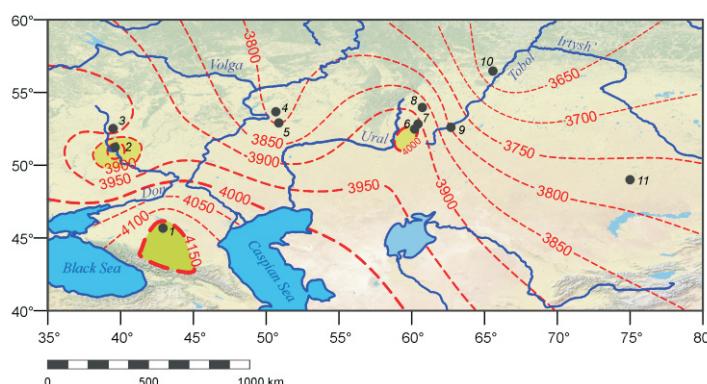


Рис. 2. Динамика распространения колесничного комплекса бронзового века



Рис. 3. Обложка монографии Г.Х. Самигулова



# МИГРАЦИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ В РАМКАХ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНОГО АНАЛИЗА АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (БРОНЗОВЫЙ ВЕК ЮЖНОГО УРАЛА)

Руководитель проекта – доктор исторических наук, доцент А.В. Епимахов

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение роли коллективной миграции и индивидуальной мобильности в формировании социально-экономических структур, протекании социальных и культурных процессов.

## ПУБЛИКАЦИИ

6 научных статей

1 доклад на конференции

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в Scopus/WoS

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ❖ Создание карты соотношений изотопов стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  на территории Южного Урала.
- ❖ Отбор образцов от различных биологических носителей с учетом геологической структуры региона.
- ❖ Создание базы данных изотопных вариаций стронция в археологических материалах, полученных из памятников различных этапов бронзового века Южного Урала.
- ❖ Создание базы данных изотопных вариаций азота, углерода, кислорода в фоновых образцах из различных природных зон и археологических образцах.
- ❖ Соотнесение значений, полученных по фоновым и археологическим образцам.
- ❖ Интерпретация полученных результатов с привлечением актуальных исследований в области сравнительно-типологического анализа погребальных традиций, инвентаря, остеологии, антропологии, генетики и иных дисциплин, связанных с проблемами мобильности и миграций в древних сообществах.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Создание базы данных фоновых и археологических образцов для Южного

Урала в соответствии с геологическим делением, вариативностью местных значений и относительной хронологической позицией памятников археологии. Сопоставление фоновых и археологических значений, интерпретация полученных данных с привлечением всех известных сведений о мобильности и миграции на разных этапах позднего бронзового века. Формирование общей концепции причин, механизмов, масштабов и характера передвижений отдельных людей, больших и малых социальных групп, одомашненных животных, продуктов обмена. Результаты будут представлены в рамках ГИС-технологий.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Создаваемая в рамках проекта карта локальной вариативности изотопов стронция позволит оценить степень мобильности и диагностировать миграции для разных археологических эпох. Выработанная методика создания такого рода ГИС-ресурсов, применения методов геостатистики может быть использована для любых территорий с вариативной геологической структурой. Для разработок в данной области важны также статистически достоверные выводы о репрезентативности разных источников биодоступного стронция.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

Разработана методика пробоотбора фоновых образцов, представления и статистического анализа измеренных значений вариаций соотношения изотопов стронция  $\delta^{87}\text{Sr}/\delta^{86}\text{Sr}$ . Проведен отбор более 300 проб шести типов в 70 локациях, соотнесенных с геологическими структурами. Проведены измерения изотопного состава. На материалах микрорайона древнего рудника Новотемирский проведено тестирование стратегии исследования (выбор оптимального источника фоновых значений), получены конкретные результаты по оценке мобильности группы и реконструирована модель функционирования объекта.

Завершен сбор и анализ имеющейся информации по составу стабильных изотопов  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  в костях человека и животных для Южного Урала в целом. Получены первые данные для четырех новых памятников бронзового века. Обобщения для территории Предуралья сделаны на базе 30

анализов, охватывающих период от конца IV до начала I тыс. до н.э. На протяжении всего бронзового века основой питания оставалась продукция животноводства. Маркеры потребления продуктов водного происхождения обнаружены только для одного памятника. Тем не менее по особенностям питания можно реконструировать разные модели жизнеобеспечения и степени консолидации коллектива. Для ямной культуры Волго-Уралья разброс значений указывает на мобильность, что подтверждает отсутствие достоверных следов стационарного обитания. Для позднего бронзового века, напротив, мы констатируем гомогенность серий для отдельных памятников, даже в случае их длительного функционирования. Это косвенно подтверждает низкую степень мобильности локальной группы.

## 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.
- Университет Питтсбурга.
- Свободный университет Берлина.

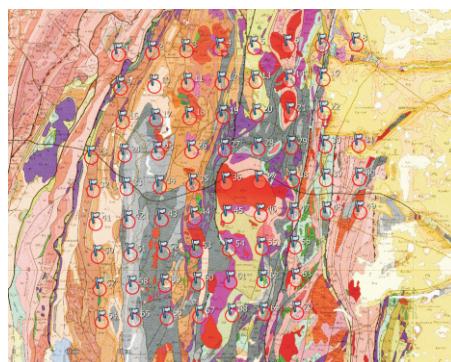


Рис. 1. Геологическая карта Зауралья с точками отбора биогенных образцов для изучения стабильных изотопов стронция

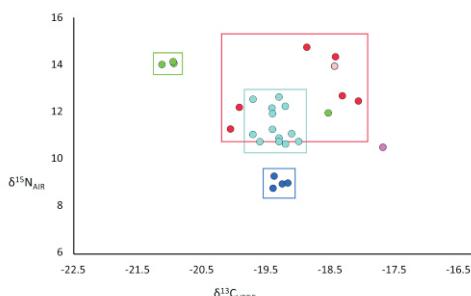


Рис. 3. Диета населения бронзового века  
(по данным стабильных изотопов азота и углерода)



Рис. 2. Наконечник копья  
финала бронзового века

# ГОРОДСКОЙ КИНОТЕАТР СОВЕТСКОЙ ЭПОХИ: ТРАНСФОРМАЦИЯ СОЦИАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА (МОСКВА – ЛЕНИНГРАД – ЧЕЛЯБИНСК)

Руководитель проекта – доктор исторических наук Е.В. Волков

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Реконструировать трансформацию социального пространства городского кинотеатра советской эпохи на примере Москвы, Ленинграда и Челябинска.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

5 научных докладов

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

4 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ⇒ Сформулировать и обосновать теоретико-методологическую концепцию исследования.
- ⇒ Реконструировать трансформацию архитектурно-художественного облика городского кинотеатра в условиях социокультурных трансформаций советского времени.
- ⇒ Исследовать институциональную организацию и механизмы управления кинотеатрами.
- ⇒ Показать проблемы кинопроката и способы их решения, которые обсуждались и осуществлялись.
- ⇒ Изучить содержание и трансформацию репертуара кинотеатров в различные периоды развития советского общества.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ⇒ Систематизация, обобщение и введение в научный оборот нового архивного материала, консолидация разнообразных по происхождению источников.
- ⇒ Публикация научных статей в реферируемых изданиях (в том числе WoS/Scopus, ВАК).
- ⇒ Выступление с докладами на международных и всероссийских научных конференциях с целью апробации промежуточных результатов исследования.

- ⇒ Создание информационной таблицы погодного репертуара челябинских кинотеатров советского периода.
- ⇒ Подготовка рукописи сборника документов и материалов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Полученные результаты и выводы по данному проекту могут быть использованы как для исследований в области культурной истории, истории повседневности, истории архитектуры, так и в учебном процессе в преподавании разных гуманитарных дисциплин.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2020 г.

Результатом систематизации имеющихся материалов стала, во-первых, работа по созданию информационной таблицы погодного репертуара челябинских кинотеатров на основе материалов периодической печати, во-вторых, отбор документов для подготовки предполагаемого сборника документов и материалов по кинотеатрам Москвы, Ленинграда и Челябинска.

По итогам анализа источниковой базы сформулированы промежуточные выводы исследования и впервые представлены:

- теория и методика изучения кинотеатра как социального пространства в историческом исследовании на основе концепции французского философа и социолога Анри Лефевра (1901–1991) о производстве социального пространства в обществе;
- процесс формирования архитектурно-художественного образа советского кинотеатра сквозь призму социокультурного контекста;
- институциональная организация и механизмы управления кинотеатрами в городском пространстве (на примере Москвы и Челябинска);
- проблемы кинопроката и способы их решения в разные периоды советского общества;
- соотношение в работе кинотеатров пропаганды советского образа жизни и развлекательного характера досуга (на примере Челябинска периода Второй мировой войны);
- содержание и трансформация репертуара кинотеатров в зависимости от общественных тенденций.



Рис. 1. Кинотеатр Брест. Москва.  
1974. Соврем. фото

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- Объединенный государственный архив Челябинской области.
- Российский государственный архив литературы и искусства (Москва).
- Центральный государственный архив литературы и искусства (Санкт-Петербург).
- Российская государственная библиотека (Москва).
- Государственная публичная историческая библиотека (Москва).
- Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург).
- Челябинская областная универсальная научная библиотека.



Рис. 2. Кинотеатр им. А.С. Пушкина.  
1937. Челябинск. Соврем. фото



Рис. 3. Кинотеатр Родина. Проект. Арх. В. Гофрат и др. Начало 1950-х гг. Челябинск.

# КУЛЬТУРА И ОБЩЕСТВО РАННИХ КОЧЕВНИКОВ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ (по материалам могильника Кичигино I)

Руководитель проекта – доктор исторических наук А.Д. Таиров

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Комплексная характеристика культуры и общества ранних кочевников Южного Зауралья на основе мультидисциплинарного анализа материалов могильника Кичигино I для реконструкции этнокультурных процессов, протекавших во второй – третьей четверти I тысячелетия до н. э. на просторах степной Евразии и на сопредельных с нею территориях.

## ПУБЛИКАЦИИ

9 научных статей

6 научных докладов

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

6 статей в РИНЦ

1 статья в Scopus

2 статьи в журналах из перечня ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ⦿ Установить абсолютную и относительную хронологию погребений могильника традиционными археологическими и современными естественнонаучными методами.
- ⦿ Провести комплексный анализ погребального инвентаря на основе применения широкого спектра естественнонаучных методов.
- ⦿ Дать комплексную палеоантропологическую характеристику населения, оставившего могильник.
- ⦿ Провести археозоологический анализ костных остатков животных, обнаруженных при исследовании могильника.
- ⦿ Осуществить палеоботанический анализ растительных остатков, обнаруженных в погребениях.
- ⦿ Выполнить палеоклиматический анализ имеющихся образцов, произвести сбор и обработку уже имеющихся данных по палеоклимату Южного Зауралья, Южного Приуралья, Нижнего Поволжья, Западной Сибири и прилегающих территорий.
- ⦿ Реконструировать становление, развитие и трансформацию культуры ранних кочевников Южного Зауралья I тысячелетия до н. э. на основе синтеза данных, полученных в результате анализа материалов могильника археологическими и естественнонаучными методами.

- ⦿ Социальная и гендерно-возрастная характеристика общества ранних кочевников Южного Зауралья по материалам могильника Кичигино I и одновременных ему памятников региона.
- ⦿ Реконструкция взаимодействия ранних кочевников Южного Зауралья с внешним миром на основе синтеза данных, полученных в результате анализа материалов могильника археологическими и естественнонаучными методами.
- ⦿ Реконструкции этнокультурных процессов, протекавших во второй – третьей четверти I тысячелетия до н. э. на просторах степной и лесостепной Евразии и на сопредельных с нею территориях, на основе данных о становлении, развитии и трансформации культуры ранних кочевников Южного Зауралья.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ⦿ Абсолютная и относительная хронология погребений могильника, полученная традиционными археологическими и современными естественнонаучными методами и охватывающая период VII–IV вв. до н. э.
- ⦿ Палеоантропологическая и палеопатологическая характеристики ранних кочевников Южного Зауралья,

оставивших могильник Кичигино I, и их место среди населения Южного Урала I тысячелетия до н. э.

- ➲ Новые данные о природной среде и системе жизнеобеспечения ранних кочевников Южного Зауралья, полученные при анализе материалов могильника Кичигино I современными естественнонаучными методами.
- ➲ Реконструкция отдельных элементов социальной структуры ранних кочевников Южного Зауралья с опорой на материалы памятника Кичигино I, прежде всего в гендерно-возрастном аспекте.
- ➲ Комплексная характеристика основных этапов развития культуры и общества ранних кочевников Южного Зауралья второй – третьей четверти I тысячелетия до н. э. и причин, вызвавших их трансформацию, на основе данных полученных при анализе материалов могильника Кичигино I традиционными археологическими и современными естественнонаучными методами.
- ➲ Характеристика взаимодействия ранних кочевников Южного Зауралья с окружающим миром на основе синтеза данных, полученных в результате анализа материалов могильника Кичигино I археологическими и естественнонаучными методами.
- ➲ Реконструкции этнокультурных процессов, протекавших во второй – третьей четверти I тысячелетия до н. э. на просторах степной и лесостепной Евразии и на сопредельных с нею территориях, на основе данных о становлении, развитии и трансформации культуры ранних кочевников Южного Зауралья.

Прикладное значение проекта заключается в многократной отработке используемых приемов и методов в рамках мультидисциплинарного подхода. Полученные результаты будут использованы в образовательной сфере, музейной и экскурсионно-туристической деятельности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 Г.

- ☒ Получено 8 новых радиоуглеродных дат для погребений некрополя Кичигино I. Определена последовательность сооружения курганов и совершения погребений в них, реконструирован процесс функционирования могильника со второй половины VII в. до н. э. по XI в. н. э.



Рис. 1. Окончания бронзовых псалиев в виде головы ушастого грифона. Могильник Кичигино I (VI–V вв. до н. э.)

- ☒ Осуществлен анализ антропологического материала некрополя, выявлены особенности антропологического облика населения Южного Зауралья VI–IV вв. до н. э. и место его среди населения Степной Евразии.
- ☒ Проведен анализ палеозоологических останков из некрополя, определен видовой состав жертвенных композиций и возраст забоя животных.
- ☒ Выполнен рентгенофлуоресцентный анализ 370 бронзовых наконечников стрел из двух мужских погребений некрополя. Определен состав металла и основные источники его поступления.
- ☒ Проведено исследование серебряных украшений из двух женских погребений некрополя. На основе археологических данных и письменных свидетельств реконструирован процесс изготовления серебряной проволоки и фольги.
- ☒ Осуществлены комплексные почвенно-археологические исследования могильника Кичигино I. Изучено морфологическое строение подкурганных почв и курганных насыпей, а также современной почвы. Выполнена предварительная реконструкция состояния природных условий в два периода раннего железного века – вторая половина VII в. до н. э. и конец V–IV вв. до н. э.
- ☒ Выявлены причины и последствия перехода ранними кочевниками Южного Урала IV в. до н. э. от сетевой политики-экономической стратегии к корпоративной.
- ☒ Проанализированы женские погребения могильника Кичигино I в контексте особенностей погребального обряда ранних кочевников Южного Урала.
- ☒ На основе анализа археологического материала и данных междисциплинарных исследований охарактеризован механизм трансформации общества ранних кочевников Южного Зауралья на рубеже V–IV вв. до н. э., намечены контуры его внешних связей.
- ☒ Создана база данных «Ранние кочевники Южного Урала», предназначенная для хранения и систематизации информации о различных параметрах погребальных сооружений.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ☒ Институт минералогии Уральского отделения РАН
- ☒ Институт криосферы Земли Сибирского отделения РАН
- ☒ Институт географии РАН
- ☒ Институт этнологии и антропологии РАН



Рис. 2. Сосуды и кости животных в коллективном погребении савроматского времени. Могильник Кичигино I (VI–V вв. до н. э.)

# НАУЧНАЯ ДИПЛОМАТИЯ В АРКТИКЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ВНЕШНЕПОЛИТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Руководитель проекта – кандидат философских наук, доцент М.Ю. Гутенев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приращение фундаментального знания по изучаемой научной проблеме, а также институционализация нового исследовательского поля, ориентированного на дальнейшее развитие.

## ПУБЛИКАЦИИ

**13** научных статей

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

**4** статьи в Scopus

**1** статья в WoS

**8** статей в журналах из перечения ВАК

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Предполагается, что представляемый проект будет способствовать получению фундаментальных выводов в области геополитических процессов, протекающих в Арктическом регионе, путем обобщения, анализа и теоретического осмысливания малоизученного материала в обозначенном тематическом поле, а также внесет вклад в концептуализацию теории научной дипломатии. Как известно, научная дипломатия является одним из инструментов внешнеполитического воздействия и формирования международного взаимопонимания. В связи с этим выявление наиболее эффективных моделей и инструментов научной дипломатии будет способствовать укреплению национальной безопасности, заявленному в качестве приоритетного направления науки в РФ.

Конкретной задачей проекта является выявление специфики и степени эффективности научной дипломатии в Арктике: каналов, механизмов и инструментов научно-культурного трансфера, негосударственных научно-

исследовательских контактов представителей научных элит, научно-исследовательской деятельности за пределами государства, создание научной инфраструктуры, организация международных научных конференций и программ.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➲ Обновление концептуального и терминологического аппарата по обозначенной научной проблеме («научная дипломатия», «дипломатия для науки», «наука для дипломатии», «наука в дипломатии»).
- ➲ Описание каналов трансляции научной дипломатии.
- ➲ Описание медиумов и каналов научной дипломатии в Арктическом регионе.
- ➲ Определение влияния международных исследователей как носителей научной дипломатии на процессы принятия политических решений в Арктике.
- ➲ Создание модели транснациональной сети научной дипломатии в Арктическом регионе.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

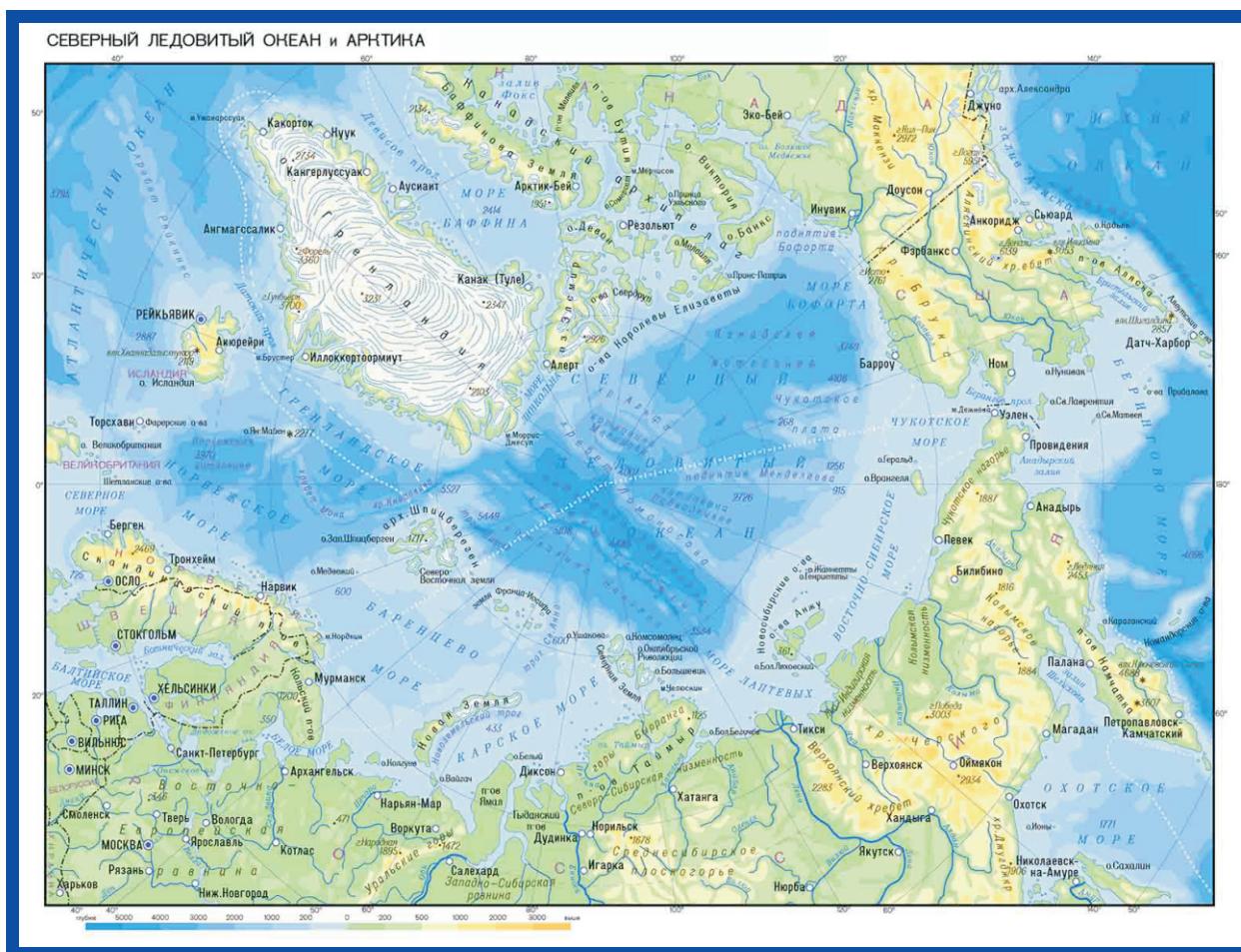
- Создание модели транснациональной сети научной дипломатии в Арктическом регионе.
- Выявление взаимосвязи «независимой» исследовательской деятельностью ученого и национальных интересов государства, которое он представляет.
- Выработка рекомендаций для противодействия попыткам иностранных государств оказывать внешнеполитическое воздействие на Российскую Федерацию посредством инструментов научной дипломатии.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

- Подготовлены и опубликованы статьи: «Научная дипломатия Великобритании в Арктике» (Scopus), "Science diplomacy as a tool for reducing conflict in the Arctic" (Scopus).

## ПАРТНЕР ПРОЕКТА

- Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург).



# ИНОСТРАНЦЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XVIII СТОЛЕТИЯ ПО МЕТРИЧЕСКИМ КНИГАМ ИНОСЛАВНЫХ ПРИХОДОВ

Руководитель проекта – доктор исторических наук, доцент А.Н. Андреев

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Системное решение вопроса о социальном облике иностранного населения Санкт-Петербурга в первые десятилетия существования города, реконструкция иностранного социума во всей полноте его семейных, духовно-родственных и иных взаимосвязей.

## ПУБЛИКАЦИИ

2 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ⌚ Анализ метрических книг инославных приходов Санкт-Петербурга первой половины XVIII в. – римско-католического Св. Екатерины, голландской и французской реформатских церквей, евангелическо-лютеранских общин Св. Петра, Св. Михаила, Св. Екатерины и Св. Анны, английской конгрегации.
- ⌚ Выявление персонального состава членов инославных общин Санкт-Петербурга в первой половине XVIII в. Формирование баз данных по отдельным приходам с учетом основных социальных характеристик прихожан.
- ⌚ Определение национального, конфессионального и социопрофессионального состава петербургских иностранцев, сравнение показателей демографических процессов в разных инославных приходах имперской столицы.
- ⌚ Анализ родственных и духовно-родственных отношений петербургских иностранцев, раскрытие круга их общения и профессионального взаимодействия через практику кумовства.
- ⌚ Выявление межконфессиональных связей в форме крестного родства и браков с представителями других конфессий, проведение статистического учета таких браков.
- ⌚ Воссоздание коллективного социального портрета проживавших в Санкт-Петербурге в первой половине XVIII в. выходцев из стран

Западной и Центральной Европы (по отдельным конфессиям и национальным группам).

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Получение новых данных (персональных, демографических, социальных, религиозно-антропологических) об иностранном социуме Санкт-Петербурга первой половины XVIII столетия. Иностранные население самого «нерусского» города России будет впервые представлено в системе реконструированных социальных взаимоотношений (включая семейные, духовно-родственные, профессиональные связи). Создание и публикация сводного словаря и базы данных петербургских иностранцев первой половины XVIII в. выведет исследования по проблемам «россики» (пребывания и деятельности западноевропейцев в России) на принципиально новый уровень.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Выводы могут быть учтены при решении современных проблем межрелигиозных отношений, использованы в практической

организационной и воспитательной работе, направленной на снижение конфликтного потенциала поликонфессионального российского общества. Базы данных петербургских иностранцев будут востребованы специалистами в области истории общества и государства (российских армии и флота, государственного аппарата, предпринимательства, культуры и искусства), а также генеалогии, демографии, смежных наук.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 Г.

- Выявлен персональный состав лютеранских общин Санкт-Петербурга первой половины XVIII в. На основе алфавитных перечней иностранцев, зафиксированных в регистрационных журналах общин, сформирована база данных, посредством которой введены в научный оборот порядка двух тысяч имен петербуржцев иноземного происхождения.
- Получены и опубликованы уникальные данные о немецких, итальянских, голландских и английских предпринимателях, музыкантах, скульпторах, врачах, офицерах, инженерах и прочих специалистах из разных стран.
- Методами дескриптивной статистики осуществлена первая статистическая реконструкция лютеранского населения Санкт-Петербурга послепетровского времени.



Рис. 1. Евангелическо-лютеранская церковь Св. Петра в Санкт-Петербурге (современный вид)

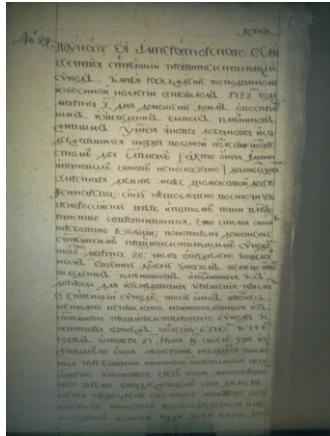


Рис. 2. Указ о пленных шведах 1722 г.

К середине XVIII в. при общей численности петербургских лютеранских общин в 1500–1700 верующих обоего пола, в их составе находились около 1200–1300 лиц немецкой национальности, 150–200 – финской, примерно сто – шведской, несколько десятков человек (не более полусотни) – германизированных поляков и полек.

- Определена география происхождения лютеран, раскрыты межконфессиональные связи с их участием. Установлено, что в структуре немецкого населения Санкт-Петербурга преобладали немцы из Восточной Пруссии, Бранденбургских владений, прусской Померании и Остзейского края.
- Сделан вывод о том, что среди петербургских лютеран доминировали ремесленники рабочих профессий и мелкие служащие, которых к середине XVIII в. могло насчитываться свыше семисот человек (более 60 % лютеран).
- Установлено, что лютеранские общины Санкт-Петербурга развивались не в виде землячеств, а в формате локальных городских сообществ, вбирая в себя людей, происходивших из разных стран и регионов, но живущих и работающих поблизости.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- Российский государственный исторический архив (Санкт-Петербург)
- Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга



Рис. 3. Ассамблеи при Петре I проводились с обязательным участием иноземцев

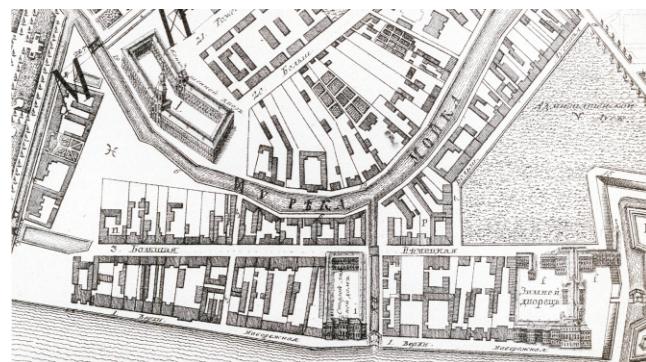


Рис. 4. Немецкая слобода на плане Санкт-Петербурга 1753 года

# МАСТЕРА ФРАНЦУЗСКОЙ СЛОБОДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ИХ РОЛЬ В «ЕВРОПЕИЗАЦИИ» РУССКОГО ИСКУССТВА ПРИ ПЕТРЕ I

Руководитель проекта – кандидат исторических наук Ю.С. Андреева

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проект нацелен на системное решение вопроса о влиянии творчества мастеров Французской слободы Санкт-Петербурга на формирование светского «европеизированного» искусства в России при Петре Великом.

## ПУБЛИКАЦИИ

3 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

3 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Уточнение персонального состава художественного сообщества Французской слободы Васильевского острова в Санкт-Петербурге.
- ➋ Исследование атрибутированных произведений и проектов мастеров Французской слободы (творений скульптора и декоратора Н. Пино, скульптора и архитектора Б.К. Растрелли, архитектора и дизайнера Ж.-Б. Леблона, шпалерных мастеров Ф. Бегагля и Ж. Рошебо, живописцев Л. Каравака и Ф. Пилемана, литеящика Ф.-П. Вассу и др.) на предмет стилевых признаков, новаторских приемов [с точки зрения современного состояния западноевропейского и русского искусства], соотношения светского и религиозного начал.
- ➌ Анализ содержания произведений мастеров Французской слободы, выявление господствующих жанров, преобладающих сюжетов, особенностей раскрытия художественных образов.
- ➍ Создание максимально полной картины участия мастеров Французской слободы в формировании особенной художественной среды «Петровского парадиза».
- ➎ Изучение педагогической работы французских мастеров и сложившихся благодаря их деятельности русско-французских художественных взаимосвязей в эпоху Петра Великого.

➏ Оценка роли мастеров Французской слободы в становлении светского искусства Петровской России – искусства, ориентированного на западноевропейские образцы, уточнение параметров «европеизации» художественной культуры России XVIII в.

➐ Определение характера и границ экспансии французского искусства в России Петровского царствования.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➑ Получение новых научных данных о процессах «европеизации» и секуляризации русского искусства, о влиянии на эти процессы творчества мастеров Французской слободы Санкт-Петербурга. Подлинные произведения будут по-новому осознаны в контексте развития французско-русских отношений, социальной и религиозной жизни авторов.
- ➒ Открытие и изучение неизвестных сторон жизни и творчества ряда мастеров – Б.К. Растрелли, Ф. Пильмана, Н. Пино и др. деятелей искусства, чье творчество имеет непрекращающее общероссийское и мировое культурное значение.
- ➓ Решение принципиально значимого вопроса о характере и границах экспансии французского искусства в России эпохи Петра Великого, особенностях процесса художественной «трансплантации».

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Научная значимость результатов исследования состоит в расширении теоретической и историко-практической базы для изучения процессов «европеизации» русского искусства XVIII в., открытии новых граней взаимодействия России и Западной Европы в сфере творчества и художественных идей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 Г.

- Французская слобода Санкт-Петербурга впервые была исследована как творческая корпорация (совокупность творческих и рабочих команд). Установлено, что целостность историко-культурного наследия слободских мастеров следует из самих художественных особенностей их творчества. Творческий организм французской колонии состоял из художников, работавших в близкой стилистике переходного типа от барокко к рококо, причем множество индивидуальных особенностей в произведениях конкретных мастеров не мешает воспринимать этот организм в качестве однородного.
- Выяснено, что творения мастеров Французской слободы выступали комплексным средством секуляризации русского искусства, привнесения в него просветительских идей и игрового начала, содействовали его переводу на общепринятый в странах Западной Европы язык аллегории и мифа.

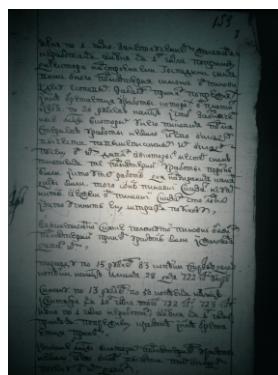


Рис. 1. Документ Канцелярии от строений о работе скульптора и резчика Никола Пино в Петергофе (1723).



Рис. 3. Н. Пино. Эскиз декоративного панно (1718–1719)

Все это позволяет уподобить Французскую слободу целой ветке плодового дерева, привитой Петром I на древо русского искусства с целью изменений его свойств.

- Доказано, что экспансия французского искусства стала прямым следствием формирования и функционирования в Санкт-Петербурге французской художественно-ремесленной колонии. Данная экспансия имела свои границы, более всего выражаясь в галлоцентристской эстетике интерьеров. Установлено, что французы не создали своего собственного архитектурного стиля в России, но творили в рамках такого сложного явления, как «петровское барокко», определяли способы его воплощения, успешно подбирая для него выразительные средства и тем самым способствуя его постепенной эволюции.
- Обнаружено, что экспансия французского искусства была ощутимой также в сфере идей, наполнявших памятники Петровской эпохи конкретным содержанием.
- Выяснено, что преобладающее французское влияние оказалось весьма ограниченным по времени и амплитуде: оно сходит на нет в процессе деградации слободы во второй половине 1720-х годов. Экспансия французского искусства ограничивалась воздействием произведений слободских мастеров и в основном не была подкреплена созданием творческих школ, способных транслировать французские традиции в последующих поколениях русских художников.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- ФГБУК «Государственный Эрмитаж».
- ГМЗ «Петергоф».
- Российский государственный исторический архив (Санкт-Петербург).



Рис. 2. Интерьер дворца Монплезир – яркий образец французского влияния в искусстве России



Рис. 4. Большой каскад в Петергофе

# ДЕТИ И ВОЙНА: ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕТСТВА В РОССИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ВОЙН

**Руководитель проекта – аспирант Е.В. Кравченко,  
Научный руководитель – доктор исторических наук, доцент О.Ю. Никонова**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Реконструкция социального механизма трансформации детства в условиях военных конфликтов на примере российских/советских детей эпохи Первой мировой и Гражданской войн.

## ПУБЛИКАЦИИ

4 научные статьи

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

2 статьи в журналах из перечня ВАК

2 статьи в РИНЦ

## ЗАДАЧА ПРОЕКТА

Изучить и проанализировать специфику военного детства: восприятие детьми военных реалий, влияние государственных/внегосударственных институтов на формирование «образов детства» в условиях разных политических режимов, реконструкция повседневной жизни детей.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

- ➊ Результаты исследования позволят внести вклад в актуальную для исторической науки дискуссию о специфических/универсальных чертах российского/советского детства, встроенности истории детей России в общемировую/европейскую историю, релевантности российского/советского опыта военного детства для реконструкции общемировых/европейских процессов эпохи Первой мировой войны и первой четверти XX века в целом.
- ➋ Теоретическим вкладом настоящего исследования станет создание методологии комплексного анализа трансформации детства в условиях военных конфликтов в исторической ретроспективе.

➌ В результате исследования авторским коллективом планируется публикация серии статей и аналитических докладов по выбранной тематике, а также подготовка выступлений в рамках научных форумов и конференций.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Проект реализует научно-практическую цель – помочь специалистам, изучающим проблемы детства в смежных областях (социология, психология, философия, педагогика, культурология, политология, история и др. направлений), восполнить недостаточность знаний в этой сфере и актуализировать применение теоретических основ в своей практической деятельности.

Благодаря изучению данной темы возможна организация (или корректировка) спецкурсов по истории детства на педагогических или исторических факультетах высших учебных заведений.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 Г.

Во второй половине 2020 г. была проанализирована научная литература отечественных и зарубежных авторов, выделены

основные концепции исследователей в рамках настоящей темы. Изучен теоретический инструментарий, выработана методологическая стратегия исследования. В настоящее время продолжается поиск и изучение архивных материалов.



Рис. 1. Фотография гимназиста-добровольца периода Первой мировой войны.

Рубрика: «Дети-герои»  
(из материалов детских журналов 1915–1916 гг.).



Рис. 2. Фотография 15-летнего казака-героя, участника Первой мировой войны  
(из материалов детских журналов 1915–1916 гг.).



Рис. 3. Фотография девушек-подростков медсестёр «Красного креста». Годы Гражданской войны

# УРАЛЬСКИЙ РЕГИОН В ВОЕННО-ПУБЛИЦИСТИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ ПЕРИОДА ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ (НА МАТЕРИАЛЕ ОЦИФРОВАННЫХ АРХИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ СССР И СТРАН ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ)

Руководитель проекта – доктор филологических наук, доцент О.А. Солопова

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель исследования – выявить закономерности моделирования образа Уральского региона в советском, британском, французском, итальянском, испанском дискурсах в период Великой Отечественной войны.

## ПУБЛИКАЦИИ

23 научные статьи

34 доклада на научных конференциях

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

1 статья в Scopus

5 статей в Web of Science

## ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

- ➊ Разработать понятийно-терминологический аппарат исследования.
- ➋ Описать структуру и дифференциальные особенности военно-публицистического дискурса; разработать методику ретроспективного сопоставительного исследования лингвистических средств, направленных на презентацию Уральского региона в анализируемых военно-публицистических дискурсах.
- ➌ Определить универсальные черты и национально-специфические особенности моделирования образа Уральского региона в анализируемых военно-публицистических дискурсах в период Великой Отечественной войны.;
- ➍ Сопоставить доминантные образы в пяти дискурсах и выявить коррелятивные связи.
- ➎ Внедрить полученные результаты в научный и образовательный процессы ЮУрГУ.

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- ➏ Дифференциация военного, военно-политического и военно-публицистического типов дискурса; разработка понятийно-терминологического аппарата, инструментария и комплексной методики анализа военно-публицистического дискурса.

- ➐ Выявление особенностей военно-публицистического дискурса периода Великой Отечественной войны, дискурсивная и лингвокультурологическая интерпретация на материале оцифрованных архивных документов каждой страны.
- ➑ Компаративное исследование моделирования образа Уральского региона в военно-публицистических дискурсах (на материале пяти языков).
- ➒ Создание факсимильного архива «Уральский регион в период Великой Отечественной войны».
- ➓ Подготовка экспозиции «Уральский регион в отечественном и зарубежном дискурсах периода Великой Отечественной войны».
- ➔ Реализация «регионального» компонента (как тематического, так и собственно лингвистического) в вузовской практике.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Проект напрямую соотносится со стратегическим направлением, обозначенным Президентом Российской Федерации Владимиром Путиным в 2019 году на заседании Российского организационного комитета «Победа» по вопросам сохранения памяти и предотвращения фальсификации истории о Великой Отечественной

войне. Перспективы практического использования состоят в:

- ➊ возможности опубликовать архивные материалы о событиях и фактах Великой Отечественной войны во всей их полноте (фиксация, анализ и интерпретация архивных документов на пяти языках [русский, английский, французский, испанский, итальянский]);
- ➋ разработке уникального информационного ресурса, который предоставляет открытый доступ к неизвестным и неопубликованным ранее материалам об Урале в период Великой Отечественной войны;
- ➌ обновлении музейных экспозиций и проведении специальных выставок;
- ➍ укреплении образовательного компонента по направлению сохранения памяти и предотвращения фальсификации истории о Великой Отечественной войне.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В 2020 г.

За второй год работы систематизированы ключевые характеристики, принципы и структурные параметры военно-публицистического дискурса; установлены дифференциальные черты военно-публицистического и военно-политического типов дискурса; проанализированы особенности моделирования образов Уральского региона в период Великой Отечественной войны на материале

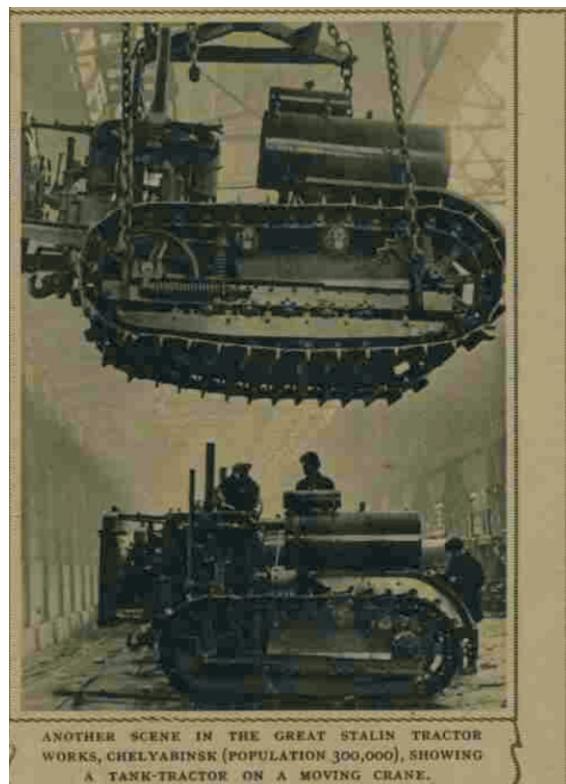
каждого языка (русского, английского, французского, итальянского, испанского); описаны метафорические системы ретроспективного среза, задействованные в репрезентации образа Уральского региона в англоязычном, франкоязычном дискурсах; осуществлена загрузка части контента на электронный ресурс «Уральский регион в отечественных и зарубежных дискурсах периода Великой Отечественной войны». Промежуточные результаты проекта апробированы в 23 опубликованных работах, представлены в 32 докладах на 7 научных конференциях разного уровня (из них – в трех конкурсах, трижды отмечены дипломами I степени). Материалы и промежуточные результаты проекта представлены на двух он-лайн выставках «Урал в годы Великой Отечественной войны» (на сайте ЮУрГУ), на стационарной выставке «Одна на всех Победа!» (на площадке Государственного исторического музея Южного Урала); в Международном конкурсе переводов, посвященном Дню Победы в Великой Отечественной войне.

## ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА

- Государственный исторический музей Южного Урала.

Партнеры интернет-выставки:

- Интернет-порталы Министерства Обороны РФ «Память народа» и «Подвиг народа».
- Сайт Правительства РФ.
- Региональное отделение партии «Единая Россия» в рамках проекта «Историческая память».



**БОЛЬШЕ МЕТАЛЛА – СИЛЬНЕЕ РОДИНА!**

Compared with 1913, the Urals industries have increased immensely. The cities in these regions have grown even more quickly than the new plants. The Urals are paralleled to the busiest days of American industrial development.

10 октября 1941, Yorkshire Evening Post, Ньюкасл, Англия  
Перевод: А.С.: 45.03.08  
«Фундаментальная и прикладная антитанковая», ЛМ-437

Russia's Magic City Of Steel  
Russia's Magic City Of Steel  
As America Starts To See It

По сравнению с 1913 годом промышленность Урала, а на всем Уральском крае, сейчас производит в один час всего жестяного и чугуна, стекла, стали. Три великих центра машиностроения: Тюмень, Тобольск и Нижний Тагил, а в Челябинске находится крупнейший тракторный завод в СССР. Всего за годы войны были построены большие машиностроительные заводы, в том числе и по производству вооружения – заводы для всего производства вооружения – заводы для производства станков.

10 октября 1941, Yorkshire Evening Post, Ньюкасл, Англия  
Перевод: А.С.: 45.03.08  
«Фундаментальная и прикладная антитанковая», ЛМ-437

По сравнению с 1913 годом промышленность в лесах Урала в этом регионе города росли быстрее, чем новые заводы. Даже самые окраинные дали промышленное развитие. Самые новые из новых городов – это Свердловск и Тагиль. В 1926 году в Свердловске было 150000 человек, а в Свердловске с 1926 по 1930 год население выросло до 500000. Челябинск вырос в пять лет с 60000 в 1926 году, до 300000 в 1940 году. Такие города как Челябинск, Свердловск и Тагиль в настоящий момент являются промышленными центрами нового поколения. Челябинский тракторный завод входит в числокупнейших в мире Свердловские машиностроительные заводы, имеющие особое значение для производства вооружения и рабочих инструментов из уральского металла. Гигантский же металлургический заводской союз в Тагиле может сравняться с отдельными атомными заводами мира. Это производящий чугун и сталь в отдаленном районе сибирских «стакенов» доказывает, что Уральские электростанции питаются от местных тощихых ресурсов.

23 октября 1944, The People, Лондон, Англия  
Перевод: Дубровин М.В.: 45.03.03  
«Фундаментальная и прикладная антитанковая», ЛМ-437

Росатом  
Федеральное государственное бюджетное учреждение

Южно-Уральский государственный университет

Национальный исследовательский университет  
имени Ярослава Мудрого

Рис. 1. Экспозиционные планшеты с выставки «Уральский регион в отечественном и зарубежных дискурсах периода Великой Отечественной войны»

# СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово ректора А.Л. Шестакова.....	3
Достижения научно-исследовательской и инновационной деятельности ЮУрГУ.....	4

## ЦИФРОВАЯ ИНДУСТРИЯ

<b>Закиров Р. А.</b> Разработка бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения.....	8
<b>Ардашев Д. В.</b> Создание высокотехнологичного производства гидроприводов с гидростатическими направляющими широкой номенклатуры с низким сопротивлением перемещению подвижных частей и повышенным ресурсом для стендового испытательного оборудования.....	10
<b>Карташев А. Л.</b> Разработка интегрированной самонастраивающейся системы управления сложным технологическим комплексом производства, передачи и потребления тепловой энергии и воды на основе BIM и BEM технологий с применением предиктивного анализа данных беспроводных сенсоров и интеллектуальных микропроцессорных устройств.....	12
<b>Шестаков А. Л. – научный руководитель, Закиров Р. А. – технический руководитель проекта.</b> Разработка системы интеллектуального анализа и прогнозирования трендов развития повреждений оборудования линии проката лпц-11 на базе информации датчиков диагностики состояния технологического оборудования и параметров технологического процесса.....	14
<b>Проект выполнен в кооперации ЮУрГУ, НИУ ВШЭ и ИРНИТУ.</b> Разработка документов транспортного планирования Челябинской агломерации в составе: Челябинского и Копейского городских округов, Еманжелинского, Еткульского, Сосновского, Коркинского и Красноармейского муниципальных районов.....	16
<b>Шестаков А. Л. – научный руководитель, Соколинский Л. Б. – руководитель проекта.</b> Математические основы, модели и алгоритмы цифровой индустрии.....	18
<b>Соколинский Л. Б.</b> Разработка сверхмасштабируемых моделей, методов и алгоритмов для решения нестационарных задач оптимизации на основе синтеза суперкомпьютерных нейросетевых технологий.....	20
<b>Цымблер М. Л.</b> Разработка высокомасштабируемых методов и алгоритмов интеллектуального анализа сверхбольших временных рядов на вычислительных кластерах с многоядерными ускорителями.....	22
<b>Радченко Г. И.</b> Разработка моделей, методов и алгоритмов планирования контейнеризированных вычислительных ресурсов при исполнении потоковых приложений в рамках концепции цифрового предприятия.....	24
<b>Неустроев Н. И.– руководитель проекта, Ганджа С. А. – научный руководитель.</b> Фундаментальные исследования по созданию комбинированного магнитного и газодинамического подвеса для модельного ряда высокоскоростных микротурбинных энергоустановок нового поколения.....	26
<b>Лут А. В. – руководитель проекта, Замышляева А.А. – научный руководитель.</b> Исследование обратных задач для уравнений соболевского типа второго порядка.....	28
<b>Алаасам А. Б. А. – руководитель проекта, Радченко Г. И. – научный руководитель.</b> Технология организации туманных вычислительных сред, обеспечивающих потоковую обработку данных для поддержки цифровых двойников.....	30
<b>Коваленко А. Е. – руководитель проекта, Кузменко Ю. Г. – научный руководитель.</b> Исследование взаимодействия информационных потоков в аспекте формирования технологической сущности интернет-маркетинга предприятий малого бизнеса.....	32

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<b>Чуманов И. В.</b> Разработка комплекса технологических решений по получению новых металлических материалов, изготовление из них емкостей для хранения радиационных отходов с совершенствованием методики их остеклования.....	34
<b>Барташевич Е. В.</b> На пути к новым гибридным материалам: цифровое моделирование структуры и свойств от атомно-молекулярного уровня до наночастиц.....	36
<b>Самодурова М. Н.</b> Фундаментальные основы разработки цифровых двойников процессов аддитивных технологий, высокоскоростной механической обработки и обработки металлов давлением прокатки.....	38
<b>Самодурова М. Н.</b> Разработка научных основ получения покрытий из высокоэнтропийных материалов методами аддитивных технологий и изучение их структуры, а также эксплуатационных характеристик.....	40
<b>Сапожников С. Б.</b> Разработка новых полимерных волокнистых композитных материалов с управляемой нелинейностью механического поведения и методов проектирования из них элементов турбовентиляторных двигателей.....	42
<b>Винник Д. А.</b> Создание и исследование свойств высокоэнтропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита.....	44
<b>Гудкова С. А.</b> Создание и исследование высокоэнтропийных фаз со структурой первовскита.....	46
<b>Сапожников С. Б.</b> Разработка новых методов обнаружения и управления локальными ударными повреждениями авиационных конструкций из ПКМ.....	48
<b>Винник Д. А.</b> Изучение процесса и результатов выращивания из расплава монокристаллов гексаферрита бария, допированных двумя элементами.....	50
<b>Авдин В. В.</b> Поверхностные молекулярные дефекты нанокристаллических оксидных материалов.....	52
<b>Барташевич Е. В.</b> Природа механических свойств молекулярных кристаллов с выраженной ориентацией галогенных связей: уровень моделирования структуры и свойств электронной плотности.....	54
<b>Клыгач Д. С.</b> Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными электромагнитными и механическими свойствами.....	56
<b>Кудрявцев О. А.</b> Разработка новых гибридных полимерных композитных материалов для защитных структур с повышенной энергопоглощающей способностью.....	58

<b>Живулин В. Е.</b> Градиентное замещение атомов железа в кристаллических структурах на основе гексаферритов М-типа.....	60
<b>Полозов М. А. – руководитель проекта, Жеребцов Д. А. – научный руководитель</b> Диацетиленовые металлоорганические каркасы как основа для получения новых форм углерода.....	62
<b>Ефремов А. Н. – руководитель проекта, Шарутина О. К. – научный руководитель.</b> Синтез и изучение особенностей строения сурьмаорганических производных с галогенсодержащими фенолами и карбоновыми кислотами.....	64
<b>Сергеев Д. В. – руководитель проекта, Чуманов И. В. – научный руководитель.</b> Изучение процесса тепломассопереноса при плавлении металла под действием Джоулева тепла на постоянном источнике тока в поле действия центробежных сил.....	66
<b>Винник Д. А.</b> Корреляция особенностей кристаллической структуры и магнитных характеристик в монокристаллах и керамических образцах гексаферритов М-типа с гетеровалентным диамагнитным замещением.....	68

## ЭКОЛОГИЯ

<b>Сологубов А. Ю. – руководитель проекта, Кирпичникова И. М. – научный руководитель.</b> Фундаментальное исследование синергетического эффекта от объединения дискретной структуры (двойная зубчатость) безредукторных вентильно-индукторных электроприводов сферических позиционных параллельных манипуляторов с многопараметрической системой экстремального управления и его влияние на энергоэффективность систем слежения за Солнцем (с перспективой использования в позиционно-следящих системах других классов).....	70
<b>Губанова Ю. О. – руководитель проекта, Шарутина О. К. – научный руководитель.</b> Особенности взаимодействия пентафенилфосфора, пентаарилсурьмы и триарилсурьмы с полифункциональными карбоновыми кислотами.....	72

## НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ

<b>Макаров Г. И.</b> Исследование конформационных изменений в бактериальной рибосоме, вызываемых связыванием антибиотиков и модификацией нуклеотидных остатков 23S рРНК.....	74
--	----

## СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

<b>Епимахов А. В.</b> Изучение региона в контексте глобально-исторических связей с помощью методов цифровой гуманитаристики (на примере Челябинска и Челябинской области).....	76
<b>Епимахов А. В.</b> Миграции человеческих коллективов и индивидуальная мобильность в рамках мультидисциплинарного анализа археологической информации (бронзовый век Южного Урала).....	78
<b>Волков Е. В.</b> Городской кинотеатр советской эпохи: трансформация социального пространства (Москва – Ленинград – Челябинск).....	80
<b>Таиров А. Д.</b> Культура и общество ранних кочевников Южного Зауралья (по материалам могильника Кичигино I).....	82
<b>Гутенев М. Ю.</b> Научная дипломатия в Арктике как инструмент внешнеполитического воздействия.....	84
<b>Андреев А. Н.</b> Иностранцы Санкт-Петербурга в первой половине XVIII столетия по метрическим книгам инославных приходов.....	86
<b>Андреева Ю. С.</b> Мастера Французской слободы Санкт-Петербурга и их роль в «европеизации» русского искусства при Петре I.....	88
<b>Кравченко Е. В. – руководитель проекта, Никонова О. Ю. – научный руководитель.</b> Дети и война: трансформация детства в России в условиях Первой мировой и Гражданской войн.....	90
<b>Солопова О. А.</b> «Уральский регион» в военно-публицистическом дискурсе периода Великой Отечественной войны (на материале оцифрованных архивных документов СССР и стран Западной Европы).....	92

Дизайн и верстка издания выполнены  
в Учебно-производственном центре рекламных технологий  
Управление медиакоммуникаций и мониторинга ЮУрГУ  
Руководитель проекта: Панфилова Г.Н.  
Дизайн и верстка: Коротова А.С.  
Редактура и корректура: Уварова С.И.

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 03.02.2021. Формат 60'84 1/8. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 11,16. Тираж 100 экз. Заказ 9.

Отпечатано в Учебно-производственном центре рекламных технологий  
Управления маркетинга и стратегических коммуникаций ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, ул. С. Кривой, 79.



Южно-Уральский государственный  
Университет



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)