Российская Академия Наук

ОТЧЕТ
О РАБОТЕ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН
ПО МАТЕРИАЛАМ И НАНОМАТЕРИАЛАМ

2024 год

Научный совет РАН по наноматериалам организован при Президиуме РАН постановлением Президиума РАН № 97 от 9 апреля 2002 г.

Постановлением президиума РАН от 26 января 2016 г. № 18 «Научный совет РАН по наноматериалам» переименован в «Научный совет РАН по материалам и наноматериалам», утверждено Положение о Совете и его измененный состав

Постановлением президиума РАН № 58 от 10 апреля 2019 г. утверждено Положение о Научном совете РАН по материалам и наноматериалам и состав Совета.

Научный совет РАН по материалам и наноматериалам в новом составе был утвержден постановлением Президиума РАН № 34 от 15 февраля 2024 г.

Состав Научного совета РАН по материалам и наноматериалам

Бюро Совета

Алдошин С.М.	-	академик РАН, председатель
Каблов Е.Н.	-	академик РАН, заместитель председателя
Карпов М.И.	-	член-корреспондент РАН, заместитель председателя
Цивадзе А.Ю.	-	академик РАН, заместитель председателя
Бадамшина Э.Р.	-	доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, ученый секретарь (по согласованию)
Алымов М.И.	-	член-корреспондент РАН
Бражкин В.В.	-	академик РАН
Гветадзе Р.Ш.	-	член-корреспондент РАН
Дуб А.В.	-	доктор технических наук, Акционерное общество «Наука и инновации» Госкорпорации «Росатом» (по согласованию)
Леонтьев Л.И.	-	академик РАН
Ляхов Н.З.	-	академик РАН

Члены Совета

Бакулева Н.П.	-	кандидат химических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России (по согласованию)
Бойнович Л.Б	-	академик РАН

Бузник В.М.	-	академик РАН
Буланов А.Д.	-	член-корреспондент РАН
Валиев Р.З.	-	доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» (по согласованию)
Волова Т.Г.	-	доктор биологических наук, федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт биофизики (по согласованию)
Гмошинский И.В.	-	доктор биологических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии» (по согласованию)
Гудилин Е.А.		член-корреспондент РАН
Дорохов А.С.		академик РАН
Жданеев О.В.		доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России (по согласованию)
Иванов Виктор В.	-	член-корреспондент РАН
Иванов В.К.	-	член-корреспондент РАН
Иванов В.П.	-	кандидат технических наук, некоммерческая организация «Российский Союз предприятий и организаций химического комплекса» (Российский Союз химиков) (по согласованию)
Колобов Ю.Р.	-	доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (по согласованию)
Краснянский М.Н.	-	доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (по согласованию)
Куличихин В.Г.	-	член-корреспондент РАН
Лысак В.И.	-	академик РАН

Люлин С.В.	-	член-корреспондент РАН
Максимов А.Л.	-	член-корреспондент РАН
Мелихов И.В.	-	член-корреспондент РАН
Мерзликин А.М.	-	доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (по согласованию)
Мулюков Р.Р.	-	член-корреспондент РАН
Нелюб В.А.	-	доктор технических наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (по согласованию)
Оганов А.Р.	-	доктор физико-математических наук, Сколковский института науки и технологий (по согласованию)
Озерин А.Н.	-	член-корреспондент РАН
Пономаренко С.А.	-	член-корреспондент РАН
Разумов В.Ф.	-	член-корреспондент РАН
Санин В.Н.	-	доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук (по согласованию)
Солдатов А.В.		доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» (по согласованию)
Ткачев А.Г.	-	доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (по согласованию)
Федин В.П.	-	член-корреспондент РАН
Федюшкин И.Л.	-	академик РАН
Хаширова С.Ю.	-	доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный

		университет им. Х.М. Бербекова» (по согласованию)
Чвалун С.Н.	-	член-корреспондент РАН
Шайтан К.В.	-	доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (по согласованию)
Шевченко В.Я.	-	академик РАН
Шикин А.М.		доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (по согласованию)
Якобовский М.В.	-	член-корреспондент РАН
Ярославцев А.Б.	-	академик РАН

Работа Научного совета РАН по материалам и наноматериалам в 2024 г.

В 2024 г. было проведено одно заседание Бюро и три заседания Научного совета РАН по материалам и наноматериалам (далее – Совета).

4 апреля 2024 г. состоялось расширенное заседание Бюро Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам, посвященное материалам и изделиям для травматологии и ортопедии со следующей повесткой:

1. Вступительное слово председателя Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президента РАН, академика Сергея Михайловича Алдошина.
2. Сообщение о состоянии дел с материалами в травматологии и ортопедии Назаренко Антона Герасимовича, профессора РАН, директора НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, главного внештатного специалиста травматолога-ортопеда Минздрава России.
3. «Перспективные суперконструкционные полимерные материалы для реконструктивной хирургии ». Д.х.н Светлана Юрьевна Хаширова, и.о. проректора по НИР Кабардино -Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, профессор, директор Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ
4. «Новые материалы и технологии для получения изделий медицинского назначения». Д.х.н Меньшутина Наталья Васильевна , заведующая кафедрой химического и фармацевтического инжиниринга РХТУ им. Д.И. Менделеева.
5. «Материалы и технологии для биопечати и роботизированной хирургии ». Сенатов Фёдор Святославович , к.ф.-м.н., директор Института биомедицинской инженерии.
6. «Получение, обработка и испытания титановых сплавов для медицины ». Шереметьев Вадим Алексеевич , заведующий лабораторией «Сплавы с памятью формы» МИСИС.

На заседании присутствовали:

Члены Бюро:

Алдошин Сергей Михайлович, вице-президент РАН, академик РАН, председатель
Карпов Михаил Иванович, член-корр. РАН, заместитель председателя
Цивадзе Аслан Юсупович, академик РАН, заместитель председателя
Бадамшина Эльмира Рашатовна, д.х.н., ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ученый секретарь
Алымов Михаил Иванович, член-корр. РАН
Бражкин Вадим Васильевич, академик РАН
Гветадзе Рамаз Шалвович, член-корр. РАН
Дуб Алексей Владимирович, д.т.н., АО «Наука и инновации» ГК «Росатом»
Леонтьев Леопольд Игоревич, академик РАН
Ляхов Николай Захарович, академик РАН

Члены Совета:

Бакулева Наталия Петровна, к.х.н., НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии России
Колобов Юрий Романович, д.ф.-м.н., ФИЦ ПХФ и МХ РАН
Хаширова Светлана Юрьевна, д.х.н., КГБУ им. Х.М. Бербекова
Чвалун Сергей Николаевич, член-корр. РАН

Участники заседания:

Назаренко Антон Герасимович, профессор РАН, директор НМИЦ ТО им . Н.Н. Приорова, главный внештатный специалист травматолог-ортопед Минздрава России.
Меньшутина Наталья Васильевна , заведующая кафедрой химического и фармацевтического инжиниринга РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Гаврюшенко Николай Свиридович, главный научный сотрудник Лаборатории испытаний и разработки медицинских изделий и материалов НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова.

Тетюхин Дмитрий Владиславович, директор ООО «Конмет».

Сенатов Фёдор Святославович, директор Института биомедицинской инженерии МИСИС.

Шереметьев Вадим Алексеевич, заведующий лабораторией сплавов с памятью формы МИСИС.

Сафаров Руслан Рафиг оглы, директор Департамента научно-технической политики РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Ветрилэ Марчел Степанович, заместитель директора по научной работе НМИЦ ТО им. Н.Н.Приорова.

Подгорный Игорь Вячеславович, АО «ЦИТО».

Устюгов Андрей Юрьевич, к.м.н., доцент кафедры онкологии, гематологии и лучевой терапии РНИМУ им. Н.И. Пирогова

На открытии заседания председатель Научного совета РАН академик **Сергей Михайлович Алдошин** напомнил присутствующим, что на заседаниях Совета с целью проведения экспертного анализа состояния научно-инновационной деятельности в области разработки и создания материалов и наноматериалов в РФ, заслушиваются и обсуждаются обзорные доклады ведущих ученых, содоклады и выступления участников заседаний с детальным обсуждением научно-технических проблем, анализом инновационного потенциала в рассматриваемой области, научно-производственной деятельности, существующих трудностей и возможных путей их преодоления.

На основании докладов, представленных видными учеными и специалистами, составляются аналитические записки, в том числе в виде расширенных решений Совета, которые направляются в Правительство, Минпромторг, Министерство инвестиций и инноваций МО, Министерство науки и образования, и ряд других профильных ведомств.

Совет регулярно обсуждает животрепещущие вопросы в области материаловедения. Так, в прошлом году был проведен ряд заседаний совместно с Отделением медицинских наук по рассмотрению вопросов материалов для медицины, в том числе для челюстно-лицевой хирургии. Сегодняшнее заседание посвящено материалам и изделиям для травматологии и ортопедии.

Директор НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, профессор РАН, **Назаренко Антон Герасимович** начал свое сообщение с разъяснения, что сегодня представляет собой травматология и ортопедия для понимания того, насколько тема новых материалов сегодня актуальна. В настоящее время в этой области трудится 16 000 человек, ежегодно выполняется около полутора миллионов хирургических вмешательств. Травматология и ортопедия – это самое имплантоемкое хирургическое направление.

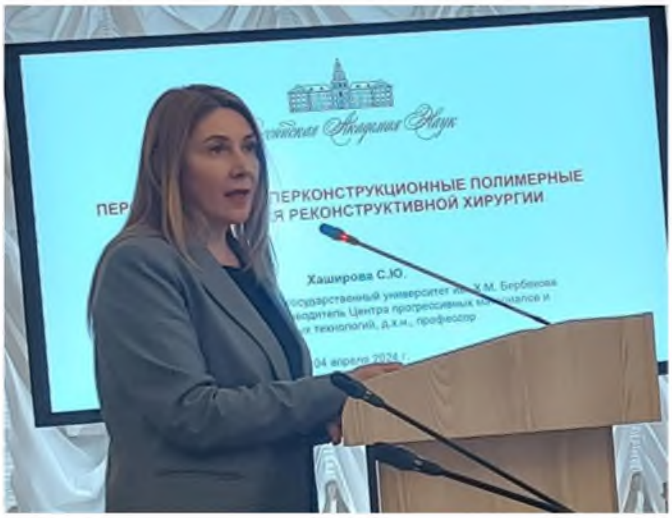
А.Г. Назаренко отметил, что большинство операций сопровождается инсталляцией в организм человека какого-то устройства, которое решает разнообразные задачи. Постоянно мониторятся мировые тренды и известно, что в травматологии и ортопедии на ближайшие несколько лет приоритетны следующие направления: аддитивные технологии, роботизированные технологии, технологии регенеративный медицины и клеточные технологии, далее технологии искусственного интеллекта для решения задач травматологии и ортопедии и новые материалы. Работы ведутся по каждому из этих направлений.

Глобальные проблемы связаны с тем, что в последние десятилетия все технологии (мы говорим о пластинах, протезах), в том числе и технологии, которые используются в хирургии позвоночника, спинном мозге, использовали импланты зарубежного производства. Импортозамещение, конечно, происходит, но темпы могли бы быть более быстрыми, и при этом особую важность приобретает разработка новых материалов для полноценной конкуренции с имплантами из других стран. Ещё год назад медики не знали, что разрабатывают материаловеды, а они (материаловеды) не знали, что нужно медикам. Сейчас дистанция сокращается.

Медиками и материаловедами обсуждаются также, помимо материалов, и возможности наших роботизированных систем. Следует отметить, что в последнее время в мире ежегодно устанавливают около 1000 роботизированных систем, которые используются в протезировании крупных суставов. На сегодняшний момент речь идёт о двух: первый - тазобедренный, второй - коленный суставы. Роботизированные технологии для вертебрологии (наука о позвоночнике) тоже существуют. И эти проблемы также требуют своего решения путем совместных усилий специалистов из разных областей.

Хаширова Светлана Юрьевна, и.о. проректора по НИР Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, профессор, директор Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ в своем докладе (Приложение 1) отметила, что в настоящее время современными материалами для реконструктивной хирургии, в первую очередь, являются полимерные композиционные материалы.

На рынке полимерных имплантов с каждым годом увеличивается доля весьма перспективного и хорошо известного нашим хирургам полимера – полиэфиркетона, действительно, обладающего прекрасными свойствами для применения в медицине. К ним относятся химическая инертность, рентгенопрозрачность, модуль их упругости близок к таковому кортикальной кости, высокая устойчивость к стерилизации, биосовместимость, большая прочность и работоспособность при незначительной усталостности, длительная и функциональная пригодность реконструируемого органа, наличие отечественных технологий получения. Например, по сравнению с другими материалами для имплантов он выдерживает большие циклические нагрузки, может выдержать до 3000 циклов автоклавирования.



Основной недостаток полиэфиркетона – это отсутствие на рынке отечественного аналога и очень высокая цена. По приведенным в докладе примерам использования этого полимера в ортопедии видно, что практически для всех частей человеческого организма любая отрасль или направление реконструктивной хирургии может использовать импланты из полиферкитона. Цитируется мнение, в основном стоматологов, о плохой приживаемости этих имплантов, но для этого используются различные методы модификации, что улучшает совместимость полиэфиркетона с различными тканями и в стоматологии. Большим преимуществом полиэфиркетона является возможность изготавливать из него изделия методами 3D печати. С.Ю Хаширова привела различные примеры изготовления изделий в Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий, а также результаты проведенных там исследований структуры и свойств полимеров, включая биохимические и физико-механические, показавшие их близость к свойствам человеческой кости.

Далее она еще раз отметила проблемы, с которыми приходится сталкиваться, имеющиеся перспективы и возможности.

Проблемы:

- ✓ Высокая зависимость от импортных материалов и изделий;
- ✓ затруднительная сертификация материалов;
- ✓ нет стандартизированной методики испытаний материалов для применения в качестве имплантатов, в том числе долгосрочной;
- ✓ отсутствие отечественного производства медицинских полимеров

Перспективы и возможности:

- ✓ Развитие малотоннажной химии полимеров медицинского назначения
- ✓ Имеются отечественные технологии получения ПЭЭК и других суперконструкционных полимеров и технологии их переработки, в том числе 3D печати

В заключение своего выступления С.Ю. Хаширова сделала краткие выводы:

- ✓ Суперконструкционные полимеры демонстрируют большой потенциал в области биомедицины вследствие низкой токсичности, биосовместимости и других позитивных эффектов, однако они еще далеки от своего пикового использования в медицинских устройствах и имплантатах
- ✓ До сих пор трудно определить, какой материал на основе СП лучше всего подходит для различных биомедицинских целей
- ✓ Необходимы дополнительные исследования, чтобы установить прямую связь между химической структурой, условиями получения и переработки полимера в изделия и его биосовместимостью
- ✓ Новые горизонты перспективных приложений суперконструкционных полимеров в медицине возможно открыть за счет модификации поверхности и создания композитов,
- ✓ Идеальных имплантатов нет, но наиболее перспективны суперконструкционные полимеры!

В своем сообщении «Новые материалы и технологии для получения изделий медицинского назначения» (Приложение 2) **Меньшутина Наталья Васильевна**, заведующая кафедрой химического и фармацевтического инжиниринга РХТУ им. Д.И. Менделеева отметила, что она представляет все технологии, которые были в РХТУ, те материалы, которые есть.

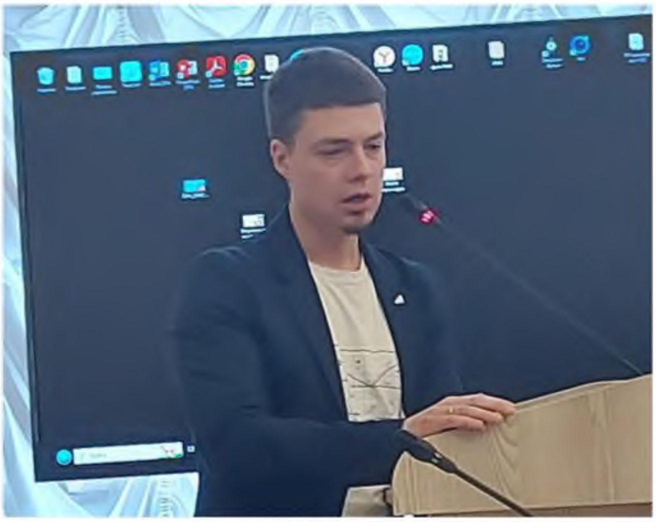
Но одна из проблем – это понимание того, что нужно медикам. Технологи, материаловеды готовы к общению, чтобы определить, что они могут сделать, а что нет. У нас в руках сверхкритические технологии, новые для химической промышленности, потому что это фактически четвёртое состояние материала. В РХТУ это направление хорошо развито: есть различные реакторы, в которых можно сделать, в том числе, аэрогели, состоящие на 99% из пор. Мы можем делать пористый материал, в котором могут потом прорастать клетки, что уже доказано, из различных биосовместимых материалов: полисахаридов, полилактидов и т.д. Отсюда следует широкий спектр пористых материалов: различные томпонирующие материалы, губчатые повязки. Что-то у нас выведено на рынок и есть патенты, в частности, на гемостатики, нужные во время операции, идет работа над такими материалами по заказу Российского научного центра хирургии им. Б.В. Петровского и стоматологических институтов. К разработкам РХТУ относятся и аэрогели для косметики и питания. Кроме того сверхкритические технологии можно использовать для мягкой стерилизации, которая не изменяет состав полимера, возможно получение нано- и микрочастиц и различных волокон. Развиваются в университете и аддитивные технологии, исследователи нашли свою нишу – гелиевую печать с последующей сушкой для получения пористых материалов, есть опыт получения различных биодеградируемых матриц и микросфер для культивирования клеток, тема, интересующая также ЦИТО.

В заключение Н.В. Меньшутина отметила, что *проблемным для исследователей является вопрос интеллектуальной собственности.*

Директор Института биомедицинской инженерии **Сенатов Федор Святославович**, свой доклад (Приложение 3) начал с информации о том, что Институт, созданный на базе МИСИС, работает по нетрадиционному для МИСИС формату. В Институте биомедицинской инженерии ключевым управляющим органом является совет Консорциума. Консорциум «Инженирия здоровья» состоит из внешних организаций, в том числе, партнёров университета, медицинских организаций, производственных площадок, которые формируют запрос на медицинские изделия. В настоящее время в Консорциум входит 14 организаций. Консорциум заседает раз в полгода, и каждые полгода корректируется тот перечень медицинских изделий, которые должны разрабатываться, не упуская фундаментальную науку, но направляя ее именно в продуктовом направлении.

В качестве текущих продуктовых направлений (медицинских изделий) можно отметить следующие:

- «Тканевой пистолет» для расширенных повреждений кожи и мягких тканей.
- Роботический биопринтер для in situ печати на человеке.
- Биорезорбируемые винты и пластины для челюстно-лицевой хирургии и ортопедии.
- Индивидуализированный имплантат хряща.
- Межпозвонковые кейджи и ортопедические имплантаты (Ti-Nb-Zr и ПЭЭК).
- Нейроимплантаты и нейроинтерфейсы.



Далее Ф.С. Сенатов привел примеры некоторых направлений продуктовой линейки, разрабатываемых в Консорциуме, возглавляемом академиком В.П. Чехониным. Одно из их – это направление магниевых сплавов, которые активно обсуждается с коллегами из ЦИТО, МГМСУ, с производственными площадками. Это та область, где как раз быстро удалось дойти до этапа, уже близкого к получению регистрационных удостоверений. И это хороший пример, когда в России есть сырье и есть производственные площадки, которые могут выплавлять заготовки, для того чтобы из них делать изделия индивидуализированные либо серийные.

Что касается полимеров, о проблемах в этой области С.Ю. Хаширова уже доложила, действительно, проблема существенна. Кроме полиэфирэфиркетона, это и медицинский сверхмолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), которого сейчас нет на территории России. Есть отдельные центры на базе Екатеринбургской площадки, где смогли установить реактор и делают в небольшом количестве, но он пока нигде не использовался, было проведено только тестирование для ортопедического направления. Однако он может быть использован не только в области эндопротезирования суставов, но и в области костной пластики, комбинируя СВМПЭ с титаном, который может уже сейчас производиться коллегами.

Проблемы, связанные с материалами, контактируют с проблемами фармацевтических препаратов. Консорциум совместно с Центром им. Н.Ф. Гамалеи активно работает над направлением факторов роста (белковые молекулы, регулирующие деление и выживание клеток) –эритропоэтин (эритропоэтин - это фактор роста, который стимулирует продукцию красных кровяных телец), BMP-2 (костный морфогенический белок), получаемый в Центре Гамалеи и активно проявляющий себя на животных. Но применять его к человеку невозможно, его надо зарегистрировать как фармпрепарат, а это чрезвычайно долго и дорого. Докладчик еще раз подчеркнул о необходимости разработки отечественных факторов роста – направление, находящееся на границе медицины, материаловедения и химии, и для достижения цели необходима совместная работа химиков, материаловедов и генных инженеров**.**

Существует также, отметил Ф.С. Сенатов, проблема БМКП (культивированные клетки человека для применения в регенеративной медицине), связанная с изготовлением патчей на спинной мозг, который должен быть носителем клеточного продукта. К сожалению, в России положительного опыта регистрации БМКП – единицы. Это компании Инжинериум, коллеги из Сербского продвигаются в области регистрации клеточного продукта, но опыта, чтобы его дальше масштабировать по России – нет, что связано, возможно, со 180 ФЗ, который корректировался и с 01.04.24 должны быть положительные изменения, но, тем не менее, – это глобальная проблема, с которой сталкиваются очень многие.

Что касается области биопечати, роботизированной хирургии, наш Институт, отметил докладчик, использует положительный опыт пионеров российской биопечати частной компании «3D Printing Solutions», опираясь при этом на мнение коллег из медицинских организаций.

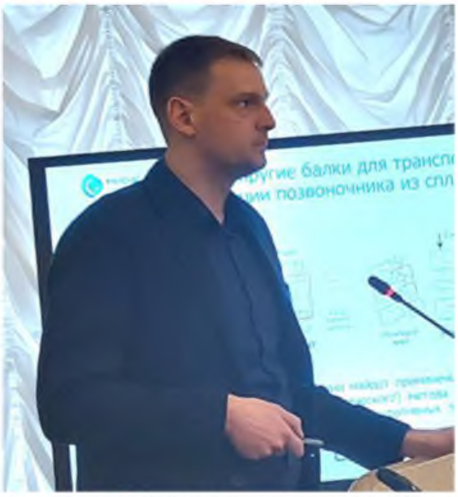
Ф.С. Сенатов привел примеры разработанного программно-аппаратного комплекса для оказания медицинской помощи при обширных ранениях, который может использоваться при различных травмах, ожогах и т.д. В комплекс входит тканевый пистолет, снабженный системой подачи с одновременной сшивкой гидрогелевого компонента, который может быть носителем лекарственных препаратов. Но регистрации такого устройства, которое даже не контактируют с телом пациента, требуется 4 500 000 руб. Университет МИСИС не может это регистрировать на себя, Институт биомедицинской инженерии не является площадкой выпуска. В России площадок, где можно это делать не так много, и обычно это не очень крупные компании. Для них непосильно тратить такие средства, кроме того регистрация занимает длительное время. При этом сейчас тканевый пистолет использовался на базе военного госпиталя Бурденко для закрытия обширных ранений от 15 см в диаметре. В прошлом он году передавался для использования под Авдеевку, но проблемы с регистрацией остались открытыми.

Что касается роботизированной помощи, пока она использована для защиты мягкотканых дефектов. Причем ни одного примера регистрации в России такого робота нет, а в мире нет ни одного примера регистрации именно биопечати, т.е. нет аналогов, что мешает регистрации, единственный близкий аналог – робот Да Винчи, который делает обратную операцию: не добавляет клетки вместе с гелем, а отрезает.

Докладчик далее привел пример печати ушной раковины, изготовленной в НМИЦ оториноларингологии ФМБА России. Ухо печаталось из полимерных материалов, гидрогелей и клеток пациента. И здесь видятся сразу несколько проблем. Проблема регистрации принтеров, проблема клеточных технологий использования БМКП и проблема малотоннажной химии, поскольку в данном случае использовались полиуретаны, но в России нет медицинских полиуретанов, полилактидов.

Подводя итог своему выступлению, Ф.С. Сенатов еще раз отметил проблему отсутствия ряда отечественных материалов, проблему затрудненной регистрации материалов и изделий, а также проблему с наличием вопросов по принадлежности интеллектуальной собственности. Для разрешения этих проблем, хотя бы части из них, необходимы совместные усилия медиков, химиков, материаловедов и инженеров. Двигаться надо совместными усилиями, но вот что самое главное. Хотел вас посвятить.

Заведующий лабораторией «Сплавы с памятью формы» МИСИС **Шереметьев Вадим Алексеевич** в своем докладе (Приложение 4) «Получение, обработка и испытания титановых сплавов для медицины» отметил, что основными промышленныит партнёрами коллектива являются компании ООО «КОНМЕТ» и ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ».



Основные направления деятельности это металловедение сплавов с памятью формы, и 90% этих сплавов медицинского назначения. В последнее время развивается направление, связанное со сплавами с памятью формы титан-цирконий-ниобий медицинского назначения. Эти сплавы состоят только из биосовместимых компонентов, относятся к группе низкомодульных, проявляющих эффект памяти формы и сверхупругости, являются заменой нитрида титана, который также получил широкое распространение в медицине благодаря своей биосовместимости. Кроме того, эти сплавы обладают низкой магнитные восприимчивостью, за счёт чего снижается количество проблем при МРТ обследованиях в послеоперационный период, что также является преимуществам этих сплавов. С 2017 года нами разработаны технологии получения длинномерных прутковых полуфабрикатов и изготовлены балки для систем фиксации позвоночника, часть аддитивных технологий испытана на базе нашего индустриального партнёра. Пройден путь от поиска места изготовления порошка, адаптации химического состава, разработки режимов селективного лазерного плавления. Сейчас мы знаем, как готовить новый сплав, для того чтобы его можно было применять для изготовления непосредственно изделий. Кроме того нами развивается направление получения пористых низкомодульных материалов, модификации поверхности материалов, изготовленных методом селективного лазерного плавления с целью удаления частиц порошка и повышения антибактериальной активности при сохранении биосовместимости.

В заключение доклада В.А. Шереметьев сформулировал, с его точки зрения, основную проблему – большой провал в области компаний-производителей полуфабрикатов (касается и готовых полуфабрикатов и порошка). Другими словами, даже если ученые сделали новый материал, интересный врачам, востребованный производителем имплантатов, учёные сами должны найти производственную площадку, которая бы взяла этот материал и сделала бы нужный полуфабрикат. Как правило, это частные компании, которые сразу начинают считать, какие будут объемы и сколько это стоит. Малые объемы, в силу небольшого рынка таких изделий им неинтересны, и они отвергают возможность взять на себя ответственность по изготовлению. И здесь необходима, по-видимому, помощь государства.

В обсуждении представленных докладов выступил **Подгорный Игорь Вячеславович** из АО «ЦИТО». Он отметил необходимость, с одной стороны, отвечать на вопрос, что актуально на сегодняшний день, с другой стороны, нельзя игнорировать ситуации, которые будут актуальны в ближайшие годы. Речь идет о проблеме инфекции, проблема костной суставной инфекции, которая чаще всего наблюдается при эндопротезировании. В настоящее время увеличилось количество молодых прооперированных, которым устанавливают различного рода системы, больные будут в течение длительного времени манифестироваться (*медицинский термин: проявление выраженной, типичной болезненной симптоматики*). В связи с этим остро встает вопрос разработки средств доставки препаратов, в частности, антибактериальных, средств доставки, наделённых определёнными свойствами, это важно учитывать и медикам и материаловедам.

Бюро Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам, обсудив выступления членов Совета и приглашенных, вынесло следующее решение:

1. Считать заслушанные доклады, посвященные исследованиям в области материалов материалам и изделиям для травматологии и ортопедии, в целом, актуальными и перспективными.
2. Дополнить составленную Аналитическую записку, в которой представлена краткая информация о современном состоянии и проблемах в области

материалов и изделий, в основном, для хирургии органов головы и шеи, для трансплантологии, информацией, доложенной на заседании Бюро.
3. Завершить на данном этапе цикл заседаний, посвященных материалам и изделиям для медицины.

4. Подготовить и провести следующее заседание Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам, посвятив его итогам выполнения в 2023 г. дорожной карты развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ».

***

В соответствии с решением Бюро Совета **16 мая 2024 г.** прошло заседание, посвященное итогам выполнения в 2023 г. дорожной карты (ДК) развития высокотехнологичного направления (ВТН) «Технологии новых материалов и веществ» со следующей повесткой:

1. Алдошин Сергей Михайлович, академик РАН, вице-президент РАН, председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам. Шевченко Андрей Борисович, директор по технологическому развитию ГК по атомной энергии «РОСАТОМ». Вступительное слово.
2. Дуб Алексей Владимирович, профессор, научный руководитель ПН НТР «Материалы и технологии» Госкорпорации «Росатом», руководитель Комитета Экспертного совета ДК ВТН «Технологии новых материалов и веществ».
   Доклад: Результаты выполнения Дорожной карты развития ВТН «Технологии новых материалов и веществ» в 2023 году.
3. Кривцов Дмитрий Иванович, директор по исследованиям и разработкам АО «ЮМАТЕКС»
   Доклад: Результаты реализации НИОКР Дивизиона «Перспективные материалы и технологии» (АО «ЮМАТЕКС») ГК «Росатом» за 2023 год
4. Жедаев Александр Алексеевич, руководитель направления АО «Наука и инновации» ГК «Росатом».
   Доклад: Результаты научно-технологического развития аддитивных технологий в Госкорпорации «Росатом» в рамках ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ».
5. Рязанцев Антон Эдуардович, председатель индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам. Татунашвили Леван Вахтангович, директор по технологическому взаимодействию участников НТИ Центра НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества», МГТУ им. Н.Э. Баумана.
   Доклад: Поднаправление № 4 «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ».
6. Обсуждение и дискуссия.

На открытии заседания председатель Научного совета РАН академик **Сергей Михайлович Алдошин** напомнил присутствующим, что некоторое время назад правительством и крупнейшими государственными корпорациями, в основном Росатомом, подписаны Соглашения о намерениях по развитию высокотехнологичных направлений (ВТН). Результаты работ, проведенных в рамках этих высокотехнологичных направлений, должны пройти сложную процедуру экспертиз. Все результаты будут переданы в экспертную комиссию, созданную курирующим конкретное направление вице-премьером, и в Российскую академию наук, которая проведет экспертизу результатов выполнения «дорожных карт» (ДК) высокотехнологичных направлений через научные советы. Научный совет по материалам и наноматериалам будет отвечать за экспертизу по направлению «Технология новых материалов и веществ», а также по водородной энергетике совместно с Советом по энергетике департамента водородной энергетики и соответствующим Научным советом РАН.

По разработанному положению результаты выполнения ДК за 2023 год должны поступить на экспертизу в РАН после 30 апреля, но их пока нет. К сожалению, экспертизу надо провести в очень сжатые сроки – в течение 20 дней. По-видимому, будут назначены эксперты из членов Совета и не только, чтобы далее на заседании Совета обсудить результаты выполнения «дорожных карт». Сегодня мы рассматриваем направление «Технология новых материалов и веществ», ДК по которой включает четыре направления. Это полимерные и композиционные материалы, аддитивные технологии, редкие и редкоземельные металлы, перспективные материалы и цифровое материаловедение. По сути, на заседании будет доложено общее состояние работ по этим четырем направлениям, как подготовка к проведению экспертизы.

Алексей Владимирович Дуб, профессор, научный руководитель ПН НТР «Материалы и технологии» Госкорпорации «Росатом», руководитель Комитета Экспертного совета ДК ВТН «Технологии новых материалов и веществ» в своем докладе (Приложение 5) в целом очертил содержание ДК по этому направлению. Он также напомнил, что целью заключенного Соглашения является достижение Российской Федерацией позиции *одного из лидеров на глобальных технологических рынках* в ВТН «Технологии новых материалов и веществ». Механизм реализации Соглашения – это разработка и реализация дорожной карты развития этого направления.

Целевыми показателями ДК являются: количество зарегистрированных РИД; объем выручки от реализации продукции/сервисов; доля продуктов (технологий), по которым создан лабораторный образец; доля продуктов (технологий), по которым подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности; доля продуктов (технологий), по которым запущены опытно промышленное производство и сертификация.

Источники финансирования: федеральный бюджет (НИР и ОКР, инфраструктура, поддержка сбыта); региональные бюджеты (развитие инфраструктуры); институты развития (НИОКР, коммерческие проекты); Инвестиционный ресурс Госкорпорации «Росатом» (бизнес проекты).

По ВТН «Технологии новых материалов и веществ» компаниями лидерами являются: ГК «Росатом»; Центр компетенций НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана; Центр компетенций НТИ «Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами» на базе НГУ. Компании участники: организации ГК «Росатом», ООО «ИТЕКМА», НИЦ «Курчатовский институт» ВИАМ, МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, МАИ, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ФГАОУ ВО « СПбПУ », НИТУ « МИСиС », ООО « Эмзиор », МГТУ им. Баумана и др.

Краткое описание направления: разработка и производство современных конструкционных и функциональных материалов, а также изделий на их основе, являющихся основой для передовых технологических решений.

Продуктовая линейка (всего 97 продуктов). По поднаправлению «Полимерные композиционные материалы» – 19, в том числе, ПАН прекурсор , УВ, ПКМ на его основе среднемодульное УВ (5,5 ГПа), аппретирующие составы, эпоксидный биндер, изделия ПКМ для авиакосмической промышленности. По поднаправлению «Аддитивные технологии» – 40, в том числе, трехосевой сканатор с возможностью подключения систем контроля, лазерные источники мощностью 2000 6000 Вт, серийный SLM 3 D принтер (3Д принтер СЛМ с камерой построения 300x300 и дальнейшие модификации, 3Д принтер СЛМ с камерой построения 600x600 и дальнейшие модификации), серийный DMD 3D принтер, комплекс ПО «Виртуальный 3D принтер. 2.0», порошки для 3 D печати из сплавов на основе никеля, кобальта, железа, титана, молибдена и алюминия, 3D принтер сухой аэрозольной печати, 3D принтер по технологии EBAM. По поднаправлению «Редкие и редкоземельные металлы» – 10, в том числе, коллективные концентраты редкоземельных металлов, оксиды редких и редкоземельных металлов, перспективные химические соединения редких и редкоземельных металлов, высокоэнергетические постоянные редкоземельные магниты системы неодим железо бор (Nd Fe B), лигатуры, сплавы с содержанием редких и редкоземельных металлов, автокатализаторы, литиевая продукция. По поднаправлению «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» – 28, в том числе, единая цифровая технологическая платформа инженерного программного обеспечения «Цифровое материаловедение», новые функционально ориентированные 2D и 3D композиты, новые конструкционные термопластичные материалы, керамические стержни сложной геометрии для литья лопаток ГТД, аморфные металлические сплавы.

Далее А.В. Дуб сообщил о статусе реализации ДК в целом за 2020-2023 годы.

Экосреда: открыт Центр аддитивных технологий на базе АО «ОКБМ Африкантов»; создан Центр аддитивных технологий с производственным участком по выпуску 3D принтеров в г. Новоуральск; в Президентском лицее «Сириус» открыт центр компетенций «Сириус. Технологии композитов» и научно-образовательная лаборатория АТ; ассоциацией развития аддитивных технологий проведен V юбилейный Лидер Форум в г.Казань.

Механизмы господдержки: утверждена новая Методика Минприроды России по расчету стартового разового платежа за пользование недрами; разработаны отдельные коды ОКВЭД и ОКПД для аддитивного оборудования; утверждена Стратегия развития аддитивных технологий; подписан ФЗ, допускающий размещение РАО производств РМ в хранилище ПАО ППГХО»; внесены изменения в ПП РФ № 719 от 17.07.2015 в части локализации РЗМ магнитов.

Создание производств: введен в эксплуатацию новый завод по производству ПАН-прекурсорамощностью до 5 000 тонн в год; получена лицензия на освоение литиевого месторождения в России (Колмозерское); введена в эксплуатацию I очередь горно-обогатительного комбината АО «ТуганскийГОК «Ильменит»; введена ОПУ по получению гидроксида лития на площадке АО «АЭХК»; заключено Соглашениео строительстве промышленного комплекса по добыче и производству карбоната лития в Боливии.

Исследования и разработки: разработана технология производства сырья нового поколения (ПАН) для получения углеродных волокон различных номиналов; утверждена КНТП ПКМ; разработана и одобрена КНТП АТ; разработано аддитивное SLM-оборудование среднегабаритного класса (полнофункциональный образец (RM310M)); заключено Соглашение на право использования российской технологии прямого извлечения лития из рассолов; выполнен расчет математической модели проточного реактора.

Немного подробнее А.В. Дуб остановился на поднаправлении «Редкие и редкоземельные металлы», поскольку докладчика по этому направлению нет. Он отметил, что ключевыми результатами и мероприятиями на 31.12.2023 года (в разрезе продуктов на основе утвержденной Дорожной карты) являются следующие:

заключенных Соглашений о сооружении комплекса по производству литиевой продукции в Боливии – 1 по плану и фактически,

полученных лицензий на недропользование (Колмозерское литиевое месторождение, ООО «Полярный литий») – 1 по плану и фактически,

консолидированных редкоземельных активов в контур Госкорпорации«Росатом» (ООО «Ловозерский ГОК», ОАО«Соликамский магниевый завод») – 2 по плану и фактически,

объектов завершенных строительством (участок производства металлического лития мощностью 350 тонн) – 1 по плану и фактически, количество полученных опытных образцов разделенных редкоземельных металлов – 8 шт. по плану и фактически.

Завершил свое выступление А.В. Дуб следующими предложениями в проект решения: 1.Дорожная карта «Технологии новых материалов и веществ» соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно технологического развития Российской Федерации.
2. Считать результаты ДК достижимыми в содержательной части.

Директор по исследованиям и разработкам АО «ЮМАТЕКС» **Кривцов Дмитрий Иванович** сообщил (Приложение 6), что ключевыми результатами и мероприятиями на 31.12.2023 года (в разрезе продуктов на основе утвержденной Дорожной карты) являются следующие:

одобренных передовых технологий в рамках КНТП «Новые композиционные материалы» – 40 по плану и фактически,

заключенных грантовых договоров с Минобрнауки РФ на выделение субсидий на разработку технологий в рамках КНТП – 5 по плану и фактически,

утвержденных концепций реализации проекта по созданию производства углеродного волокна на основе российского оборудования мощностью до 500 тонн в год – 1 по плану и фактически,

созданых прототипов проточного реактора формата А6 путем металлической 3d печати – 1 по плану и фактически.

АО «ЮМАТЕКС» участвует в реализации комплексной программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года» (далее – КП «РТТН»).

В 2023 году в рамках КП «РТТН» сотрудниками научно-исследовательского центра АО «ЮМАТЕКС» была выполнена НИОКР по разработке опытной технологии формования ПАН прекурсора для производства среднемодульного углеродного волокна с повышенной прочностью. В рамках выполнения данной работы была разработана опытная технология (мокрого) формования ПАН прекурсора 12К для получения среднемодульного УВ с прочностью не менее 6,0 ГПа и изготовлены опытные образцы УВ с прочностью 6,4-6,6 ГПа и модулем упругости 290-300 ГПа на опытной линии АО «ЮМАТЕКС». В 2025-2026 гг. запланирована постановка среднемодульного (295 ± 10 ГПа) УВ с прочностью 6,0-6,5 ГПа на промышленном производстве ООО «АЛАБУГА-ВОЛОКНО» для его последующего применения в атомной и авиационной отраслях.

Компании АО «Препрег-СКМ» и ООО «ЗУКМ», входящие в Дивизион «Перспективные материалы и технологии», в конце августа 2023 года приступили к реализации научно-исследовательских работ (далее – НИР) в рамках комплексной научно-технической программы «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства», утвержденной 04 июля 2023 года распоряжением Правительства Российской Федерации.

НИР АО «Препрег-СКМ» направлены на разработку следующих технологий:
— технологии получения цианатэфирных олигомеров для производства полимерных связующих с температурой стеклования до 400°С,
— технологии производства суперконструкционных термопластов для их применения в качестве матриц полимерных композиционных материалов (далее – ПКМ),
— технологии производства негорючих термореактивных связующих нового поколения,
— разработке составов и технологий нанесения на ПКМ специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты.

НИР ООО «ЗУКМ» посвящена разработке технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол.

В 2023 году по всем работам были проведены патентные исследования на определение уровня техники и тенденций развития объекта исследований, а также создан научно-технический задел по вышеуказанным технологиям.

Жедаев Александр Алексеевич, руководитель направления АО «Наука и инновации» ГК «Росатом» в своем докладе (Приложение 7) о результатах научно-технологического развития аддитивных технологий в Госкорпорации «Росатом» в рамках ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ» отметил, что по поднаправлению «Аддитивные технологии» ключевыми результатами и мероприятиями на 31.12.2023 года (в разрезе продуктов на основе утвержденной Дорожной карты) являются следующие:

разработанных технологий аддитивного производства сложнопрофильных и крупногабаритных изделий атомной энергетики – 1 по плану и фактически, разработанного и изготовленного оборудования аддитивного производства сложнопрофильныхи крупногабаритных изделий атомной энергетики – 1 по плану и фактически,

разработанных программ и методик испытаний на опытный образец серийной установки DMD – 1 по плану и фактически,

разработанной конструкторской документации с литерой «О1» аддитивного оборудования (технология SLM (среднегабаритный)) – 1 по плану и фактически.

Далее А.А. Жедаев отметил, что в составе поднаправления «Аддитивные технологии» Дорожной карты предусмотрен раздел «Оборудование и программное обеспечение». Шесть из двенадцати проектов НИОКР указанного раздела представляют собой взаимосвязанный комплекс НИОКР, который реализуется в рамках Федерального проекта «Разработка новых материалов и технологий для перспективных энергетических систем», входящий в состав комплексной программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года» (Далее – ФП-4 КП «РТТН»).

По итогам 2023 г. в рамках ФП-4 КП «РТТН» разработано и испытано семь различных образцов аддитивного оборудования для изготовления изделий с применением металлических порошков, проволоки прутков, а также полимерных композиционных и керамических материалов:

- установка высокотемпературного селективного лазерного плавления (3D-принтер ВТСЛП),
- оборудование для изготовления методом электронно-лучевого селективного плавления (3D-принтер ВТСЭЛП) изделий из тугоплавких металлов (Mo, Nb, W) и сплавов на их основе. Дополнительные результаты проекта для коммерциализации: электронно-лучевая пушка, которая разработана специально для процесса селективного электронно-лучевого плавления и порошки из тугоплавких металлов (Nb, W, Mo) и сплавов на их основе,
- установка аддитивного плазменно-дугового выращивания (АПВ) с послойным упрочнением с применением проволочных материалов,
- установка аддитивного электро-дугового выращивания (АЭВ) с поворотным столом с применением проволочных материалов,
- электронно-лучевая установка наплавки прутков (3D-принтер ЭЛУНП). Дополнительные результаты проекта для коммерциализации: технология получения монокристаллитных дисковых заготовок их тугоплавких сплавов; электронно-лучевая пушка, которая разработана специально для процесса электронно-лучевой наплавки и прутки из тугоплавких металлов (Nb, W, Mo) и сплавов на их основе,

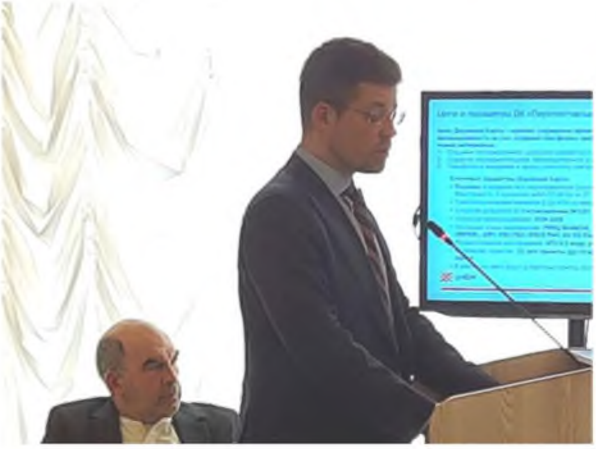
- двухмодульный 3D-принтер для печати керамическими композиционными материалами методами FDM/LDM, SLA и дополнительно паста на основе SiC для 3D-печати методом FDM,

- 3D-принтер для печати полимерными композитами методом FDM и дополнительно дискретно- или непрерывно-армированные (стекловолокно, углеволокно) жгуты для 3D-печати.

Доклад «Поднаправление № 4 «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ»» (Приложение 8) начал **Рязанцев Антон Эдуардович**, председатель индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам. Он отметил, что целью ДК по поднаправлению «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» является кратное сокращение времени разработки и внедрения новых материалов в промышленность за счет создания платформы цифровых инструментов моделирования и разработки новых материалов:
- создание интегрированной цифровой инфраструктуры для разработки материалов:
- создание исследовательской, производственной и испытательной инфраструктуры;
- разработка и внедрение в промышленность «материалов - демонстраторов».

Финансирование консорциумов: НГУ 5,3 млрд. руб., МГТУ 4,1 млрд руб.

Количество проектов: 21 (все проекты достигают минимум 6 УГТ) + 1 проект по созданию проектного офиса.



Ключевыми результатами и мероприятиями на 31.12.2023 года (в разрезе продуктов на основе утвержденной Дорожной карты) являются следующие:

привлечено компаний-лидеров в реализацию Соглашения – 2 по плану и фактически,

актуализирован портфель проектов ДК ВТН, добавлено новых продуктов – 22 по плану и фактически,

подготовлено и утверждено Экспертным советом при Наблюдательном совете АНО «Платформа НТИ» Программ развития Центров НТИ для реализации Соглашения – 2 по плану и фактически,

разработанных новых перспективных материалов – 4 по плану и фактически.

Доклад продолжил **Татунашвили Леван Вахтангович**, директор по технологическому взаимодействию участников НТИ Центра НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества», МГТУ им. Н.Э. Баумана, который отметил, что, несмотря на отсутствие финансирования, работа по проектам, входящим в ДК ВТН по поднаправлению «Перспективные материалы и цифровое материаловедение», идет.

В обсуждении представленных докладов и в дискуссии приняли участие члены Совета: академики С.М. Алдошин, Л.Б. Бойнович, Л.И. Леонтьев, А.Б. Ярославцев, член-корреспонденты РАН М.И. Алымов, М.И. Карпов, В.Г. Куличихин, А.Н. Озерин, С.Н. Чвалун, профессора Э.Р. Бадамшина, Ю.Р. Колобов, С.Ю. Хаширова, приглашенные: Д.В.Иванец, Р.К. Ченгелия.

Заслушав и обсудив выступления докладчиков и комментарии, Научный совет РАН по материалам и наноматериалам, *в компетенцию которого входит экспертиза результатов выполнения «дорожной карты» ВТН «Технология новых материалов и веществ»,* решил:

1. Принять заслушанные результаты выполнения Дорожной карты развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ» в 2023 году в качестве предварительных.
2. Отметить большой вклад ГК «Росатом» в выполнение дорожной карты.
3. С целью формирования экспертного заключения Совета по результатам выполнения Дорожной карты развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ» в 2023 году начать подготовку совместного заседания Научного совета РАН по материалам и наноматериалам под председательством академика С.М. Алдошина и Экспертного комитета по дорожной карте развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ», возглавляемым А.В. Дубом, с выбором ответственных экспертов по четырем направлениям дорожной карты.

***

30 августа 2024 года состоялось расширенное заседания Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам и Экспертного комитета для проведения научно-технической экспертизы результатов реализации соглашений о намерениях между Правительством Российской Федерации и заинтересованными организациями в целях развития высокотехнологичного направления «Технология новых материалов и веществ».

Повестка заседания:

1. Вступительное слово председателя Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президента РАН академика Алдошина Сергея Михайловича.
2. Вступительное слово директора по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» Шевченко Андрея Борисовича.
3. Доклад «Статус выполнения мероприятий за 2023 год по направлению «Полимерные композиционные материалы» ДК ТНМиВ» руководителя службы технической поддержки АО «Препрег-СКМ» Лукиной Анны Ираклиевны и снс Департамента исследований и разработок АО «Препрег-СКМ» Сагомоновой Валерии Андреевны.
4. Доклад «Статус выполнения мероприятий за 2023 год по направлению «Аддитивные технологии» ДК ТНМиВ» директора по управлению научно-техническими программами по материалам и технологиям частного управления «Наука и инновации» Тихановской Татьяны Александровны.
5. Доклад «Статус выполнения мероприятий за 2023 год по направлению «Аддитивные технологии» ДК ТНМиВ» заместителя генерального директора по науке ООО «РосАТ» Тепаева Сергея Владимировича.
6. Доклад «Статус выполнения мероприятий за 2023 год по направлению «Редкие и редкоземельные металлы» ДК ТНМиВ» руководителя направления ООО «Объединенные урановые предприятия» Хмелёва Александра Дмитриевича и заместителя руководителя Научно-исследовательского центра – руководителя аналитической лаборатории АО «ГК «Русредмет» Жукова Станислава Викторовича.
7. Доклад «Статус выполнения мероприятий за 2023 год по направлению «Редкие и редкоземельные металлы» ДК ТНМиВ» руководителя направления «Группа литиевых и гидроминеральных технологий» АО «Ураниум Уан Груп» Калугина Игоря Владимировича.
8. Доклад: «Статус выполнения мероприятий за 2023 год по направлению «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ» ДК ТНМиВ» директор ЦК НТИ «Цифровое материаловедение» МГТУ имени Баумана Павлова Александра Александровича и председателя индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам Рязанцева Антона Эдуардовича
9. Обсуждение и дискуссия.

На заседании присутствовали:

Члены Бюро Совета
Алдошин Сергей Михайлович, академик РАН, председатель
Каблов Евгений Николаевич, академик РАН, заместитель председателя
Цивадзе Аслан Юсупович, академик РАН, заместитель председателя
Бадамшина Эльмира Рашатовна, доктор химических наук, ученый секретарь
Алымов Михаил Иванович, член-корреспондент РАН
Бражкин Вадим Вениаминович, академик РАН
Гветадзе Рамаз Шалвович, член-корреспондент РАН
Ляхов Николай Захарович, академик РАН

Члены Совета
Бакулева Наталия Петровна, кандидат химических наук
Бойнович Людмила Борисовна, академик РАН
Бузник Вячеслав Михайлович, академик РАН
Буланов Андрей Дмитриевич, член-корреспондент РАН
Валиев Руслан Зуфарович, доктор физико-математических наук – он-лайн
Гудилин Евгений Алексеевич, член-корреспондент РАН
Жданеев Олег Валерьевич, доктор технических наук

Иванов Виктор Владимирович, член-корреспондент РАН
Иванов Владимир Константинович, член-корреспондент РАН
Куличихин Валерий Григорьевич, член-корреспондент РАН
Люлин Сергей Владимирович, член-корреспондент РАН – он-лайн
Максимов Антон Львович, член-корреспондент РАН
Мерзликин Александр Михайлович, доктор физико-математических наук
Мулюков Радик Рафикович, член-корреспондент РАН
Озерин Александр Никифорович, член-корреспондент РАН
Пономаренко Сергей Анатольевич, член-корреспондент РАН
Разумов Владимир Федорович, член-корреспондент РАН
Солдатов Александр Владимирович, доктор физ.-мат. наук – он-лайн
Федюшкин Игорь Леонидович, академик РАН
Хаширова Светлана Юрьевна, доктор химических наук
Чвалун Сергей Николаевич, член-корреспондент РАН
Шайтан Константин Вольдемарович, доктор физико-математических наук
Шевченко Владимир Ярославович, академик РАН
Якобовский Михаил Владимирович, член-корреспондент РАН – он-лайн
Ярославцев Андрей Борисович, академик РАН

Докладчики
Лукина Анна Ираклиевна, руководитель службы технической поддержки АО «Препрег-СКМ»
Сагомонова Валерия Андреевна, снс Департамента исследований и разработок АО «Препрег-СКМ»
Тихановская Татьяна Александровна, директор по управлению научно-техническими программами по материалам и технологиям частного управления «Наука и инновации»
Тепаев Сергей Владимирович, заместитель генерального директора по науке ООО «РосАТ»
Хмелёв Александр Дмитриевич, руководитель направления ООО «Объединенные урановые предприятия»
Жуков Станислав Викторович, заместитель руководителя Научно-исследовательского центра – руководитель аналитической лаборатории АО «ГК «Русредмет»
Калугин Игорь Владимирович, руководитель направления «Группа литиевых и гидроминеральных технологий» АО «Ураниум Уан Груп»
Павлов Александр Александрович, директор ЦК НТИ «Цифровое материаловедение» МГТУ имени Баумана
Рязанцев Антон Эдуардович, председатель индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам – он-лайн

Участники совещания
Лепин Владимир Николаевич, генеральный директор АО «Концерн "Калашников"», генеральный конструктор «Носимое вооружение и экипировка», профессор, доктор технических наук
Шевченко Андрей Борисович, директор по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом»
Иванец Дмитрий Васильевич, заместитель директора по технологическому развитию - начальник отдела развития технологий новых материалов и веществ Госкорпорации «Росатом»
Кулагин Алексей Николаевич, советник отдела развития технологий новых материалов и веществ Госкорпорации «Росатом»
Васин Александр Александрович, старший менеджер отдела развития технологий новых материалов и веществ Госкорпорации «Росатом»

Гурских Алексей Валерьевич, главный эксперт по продукту «ТМ, РМ и РЗМ», группа развития «ТМ, РМ и РЗМ» ООО «Русатом МеталлТех»
Подкопаев Александр Сергеевич, заместитель генерального директора – технический директор ООО «ЗУКМ», АО «ЮМАТЕКС»
Тананаев Иван Гундарович, заместитель генерального директора по научной работе, директор ИХТРЭМС КНЦ РАН (обособленного подразделения), член-корреспондент РАН, д.х.н. – он-лайн
Татунашвили Леван Вахтангович, директор по технологическому взаимодействию участников НТИ Центра НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества», МГТУ им. Н.Э. Баумана
Вошкин Андрей Алексеевич, член-корр. РАН, заместитель директора ИОНХ РАН
Голосов Евгений Витальевич, директор ФИЦ ПХФ и МХ РАН
Перевислов Сергей Николаевич, д.х.н., ИХС РАН

В своем вступительном слове председатель Научного совета РАН академик **Сергей Михайлович Алдошин** отметил, что целью объединённого заседания Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам и заседание Экспертного комитета является проведение научно-технической экспертизы результатов реализации «дорожной карты» (ДК) высокотехнологичного направления (ВТН) «Технология новых материалов и веществ». Далее он напомнил, о том, что в 2014 году президентом РФ была запущена Научно-технологическая инициатива, а в 2019 году было принято решение определить приоритетные направления развития нашей страны. Их было правительством утверждено 16, но не по всем были заключены соглашения о сотрудничестве между профильным министерством и нашими лидерами промышленности, лидерами в бизнесе. Одно из таких соглашений было подписано Минпромторгом РФ с ГК «Росатом» по направлению «Технология новых материалов и веществ». Были подготовлены ДК развития этих направлений, в том числе, по материалам и технологиями их получения, и в рамках этих дорожных карт должны были выполняться проекты, в том числе научно-технологические.

Отдельно обсуждался вопрос, как будет проводиться экспертиза работ, выполняемых в рамках этих соглашений. Была достигнута договорённость, утверждённая Президиумом комиссии по модернизации экономики, что экспертиза результатов будет проводиться в двух организациях. Это Экспертные комитеты, которые создаются по приказу вице-премьеров, подписавших соглашение, в случае рассматриваемой нами ДК это Д.В. Мантуров со стороны Минпромторга. Кроме того, независимая экспертиза будет проводиться в Российской академии наук через Научные советы, определенные президиумом РАН по различным направлениям. Эти Советы должны дать независимую экспертизу, направляемые в Президиум комиссии, и далее выносятся на Президиум комиссии по развитию экономики. При этом следует отметить, что по регламенту Научные советы РАН не участвовали в экспертизе самих ДК, по Положению они принимают участие в экспертизе результатов их выполнения в отличие от Экспертных комитетов, участвовавших и в подготовке дорожных карт, и в их корректировке.

Научному совету РАН по материалам и наноматериалам поручено проведение экспертизы результатов выполнения дорожной карты «Технология новых материалов и веществ» за 2023 год. отчетные материалы выполнения «дорожных карт» по всем десяти направлениям ВТН за 2023 г. поступили в РАН только в начале августа 2024 г., а не в мае месяце, как определено порядком проведения экспертизы. При этом в отчетах приведены только результаты по достижению показателей и контрольных точек, но нет содержательной части выполненных работ по НИР и ОКР даже в виде кратких аннотаций, что не позволяет по предоставленным материалам провести объективную полноценную экспертизу. Именно поэтому было принято решение о проведении совместного заседания Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Экспертного комитета по ДК ТНиМВ, на котором можно хотя бы в общих чертах заслушать результаты выполненных в 2023 г. НИР и ОКР.

Следует отметить, что по дорожной карте, которая является предметом нашей экспертизы, ответственными помимо ГК Росатом являются ещё два Центра компетенций, созданные в рамках национальной технологической инициативы президента на базе МГТУ им. Баумана и, чуть позже, на базе Новосибирского государственного университета. Несколько дней назад на Технопроме в Новосибирске началось обсуждение выполнения дорожной карты «Технология новых материалов и веществ», некоторые фрагменты которой, по-видимому, войдут в новый национальный проект «Новые материалы и химия». Вице-премьер Д.Н. Чернышенко, выступая на Технопроме, отметил, что в большой степени национальные проекты будут наполнены федеральными проектами. В нашем случае имеется в виду комбинация дорожной карты и национального проекта.

Далее С.М. Алдошин предоставил слово директору по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» А.Б. Шевченко.

Андрей Борисович Шевченко отметил (Приложение 8), что, действительно, с 2019 года существует соглашение между госкорпорацией Росатом и Правительством Российской Федерации о развитии ВТН «Технологии новых материалов и веществ», в 2023 году соглашения стали открытыми. Присоединились как новые направления, так и новые участники компании. В периметр дорожной карты вошли полимерные композиционные материалы, аддитивные технологии, редкие и редкоземельные металлы и новое направление, которое появилось со своими лидерами, это цифровое материаловедение и перспективные материалы.

Целевые показатели по дорожным картам понятны – ликвидировать отставания, которые есть в Российской Федерации на сегодняшний день, и выйти все-таки на передовые рубежи по тем направлениям, которые здесь обсуждаются.

В соглашение заложен принцип открытого формата: любая компания, которая считает себя компетентной, может присоединиться к реализации этого соглашения, как это сделано по направлению цифрового материаловедения, где сейчас два лидера – два Центра компетенций. Кроме того, предполагалось, что для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ «подставляет плечо» государство, а бизнес «подставляет своё плечо», обеспечивая рынки, вывод на рынок и реализацию этих продуктов. К сожалению, не все получилось, поскольку бюджетных средств по отдельным направлениям доведено не было.

В плане работы основным инструментом являются дорожные карты, в которые входит технологическая часть, показатели и индикаторы, стартапы и, естественно, план финансирования, план мероприятий. Компании-лидеры – это, как уже было отмечено, госкорпорация Росатом и два университета: МГТУ им. Баумана и Новосибирский ГТУ. Участниками ДК стали порядка 140 компаний, расположенных по всей территории страны. Продуктовая линейка включает 97 продуктов. Коллеги в своих докладах более подробно расскажут, как идут эти проекты, куда мы вышли, что мы собираемся ещё сделать, и как мы собираемся все это дело реализовывать дальше. А.Б. Шевченко подчеркнул, что на сегодняшний день основным заказчиком и партнёром со стороны государства является Минпромторг.

Кроме того, Андрей Борисович подтвердил, что произошла некоторая неувязка с отчётностью. Все отчёты от госкорпорации Росатом ушли вовремя и по адресу со всеми таблицами, которые должны были быть заполнены. На сегодняшнем заседании будут представлены результаты выполнения НИОКР за 2023 год.

По направлению «Полимерные композиционные материалы» было запланировано 5 работ, все они запущены, имеются первые результаты. По аддитивным технологиям запланировано 48 работ, запущено только 16. Причина в том, что с 2023 года готова комплексная научно-технологическая программа «Аддитивные технологии», получившая одобрение РАН, но, к сожалению, на комиссию по научно-технологическому развитию, которая должна была принять решение и дальше её продвинуть в сторону правительства Российской Федерации, она не прошла. По направлению редких и редкоземельных металлов запланировали 3 работы, запущены 2 – не было получено бюджетное финансирование. По этой же причине в результате из 56 работ запущено только 23.

А.Б. Шевченко подтвердил, что, действительно, два направления «Полимерные композиционные материалы» и «Редкие и редкоземельные металлы» вошли в национальный проект «Новые материалы и химия» отдельными федеральными проектами. Направление «Аддитивные технологии» вошло в другой национальный проект «Средства производства и автоматизации» как один из федеральных проектов. Направление, связанное с цифровым материаловедением, не вошло в нацпроект в виде отдельного проекта, но оно привязано ко всем принятым проектам.

А.Б. Шевченко отметил проблему, по которой нужна поддержка Российской академии наук – ликвидировать возникшую двойственность между национальными проектами и дорожными картами ВТН. Еще одна проблема – найти общий язык с регуляторами, например Ростехнадзором, для быстрейшего внедрения разработанных приборов, технологий и др. Аналогичные проблемы существуют не только в ГК Росатом, но и в Ростехе, в Роскосмосе. Поэтому, уверен А.Б. Шевченко, без науки, без доказательств, построенных на научно-технологической платформе, в этом плане не обойтись.

После этого участники заседания перешли к обсуждению выполнения проектов по направлениям, которые входят в ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ»

Доклад по **направлению полимерные композиционные материалы** (Приложение 9)**,** включающий результаты выполнения пяти проектов, от имени руководителя службы технической поддержки **Лукиной Анны Ираклиевны** и от себя сделала старший научный сотрудник департамента исследований разработок акционерного общества АО «Препрег-СКМ» **Согомонова Валерия Андреевна**.

Первый проект «Разработка составов и технологий нанесения на полимерные композиционные материалы специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты», (2023 2024 гг) посвящён молниезащите элементов конструкций летательных аппаратов, выполненных из ПКМ, за счёт нанесения на их поверхность специального функционального покрытия, содержащего в своём составе металлическую, связано-полную сетку. Заказчиком и исполнителем данной работы является АО «Препрег-СКМ». В 2023 г. были получены следующие результаты:

-проведены экспериментальные исследования по разработке составов и технологий нанесения на полимерные композиционные материалы специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты;
- разработаны проекты ТР и ТИ на изготовление металлических вязано паяных сеток и изготовление функционального покрытия;
- изготовлены экспериментальные партии функционального покрытия и образцов ПКМ, совмещенных с функциональным покрытием исследованы их физико-механические характеристики и молниестойкость.
Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:
уменьшить количество стадий прикатки металлической сетки непосредственно на предприятии изготовителя изделий авиационной техники ввиду получения готового материала, что существенно снизит трудозатраты на производство изделий из ПКМ;
- обеспечить пониженное, стабильное и эффективное электросопротивление и надежную защиту от локального разрушения ПКМ под действием заряда молнии;
- повысить экологичность материала ввиду использования в его составе проволочных вязанопаянных сеток, изготовленных по бессвинцовым технологиям и отсутствия в его составе связующих с токсичными летучими органическими соединениями.

Второй проект посвящён разработке технологий получения комплекса цианатэфирных олигомеров, в том числе обеспечивающих получение полимерных связующих с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия. Заказчиком и исполнителем данной работы также является АО «Препрег-СКМ».
Основные результаты 2023 г.:
- выбраны исходные компоненты (циановые эфиры, отвердители, модификаторы) для разработки экспериментальных составов цианатэфирных связующих
- разработаны технологические параметры синтеза мономеров для получения цианатэфирных олигомеров: подобраны каталитические системы и оптимальные режимы синтеза мономеров;
- разработаны программы и методики испытаний экспериментальных партий мономера и фенолформальдегидной смолы.
Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:
- создать класс отечественных мономеров для производства цианатэфирных связующих, способных на длительную работу в температурном интервале от 220 ℃ до 350 ℃;
- поставлять цианатэфирные связующие и препреги на их основе предприятиям космической, авиационной и других отраслей, что позволит занять в настоящий момент свободный сегмент рынка композиционных материалов

Целью третьего проекта «Разработка технологий и организация опытного производства суперконструкционных термопластов для применения в качестве матриц полимерных композиционных материалов», является исследование и оптимизация

технологий синтеза суперконструкционных термопластов для создания опытного производства материалов для применения в качестве матриц ПКМ.
За первый год выполнения проекта:
- разработана технологическая схема процесса получения суперконструкционных термопластов полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона в едином технологическом процессе;
- разработаны исходные данные для проектирования опытно промышленной установки мощностью 20 т в год для производства суперконструкционных термопластов;
- проведены экспериментальные исследования технологических режимов изготовления суперконструкционных термопластов и препрегов на основе термопластичных связующих полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона в форме порошков.
Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:
- увеличить объем производства указанных суперконструкционных термопластов с 2 до 20 т в год;
- обеспечить получение порошков полимеров с заданным размером частиц от 100 до 500 мкм;
- организовать производство суперконструкционных термопластов для использования в качестве связующих (или матриц) для изготовления термопластичных препрегов и ПКМ.
В настоящее время заказчиком и исполнителем работы является АО «Препрег-СКМ», организация производства планируется на производственной площадке завода Аргон, который также входит в композитный дивизион Росатома, заявленная мощность производства не менее 20 тонн в год. Это позволит обеспечить на внутреннюю потребность в данных материалах для госкорпорации Росатом.

Следующий четвертый проект посвящён разработке технологий производства негорючих, термореактивных связующих нового поколения и нацелен на разработку безрастворных негорючих термореактивных связующих для изготовления методом вакуумной инфузии стеклопластика с пониженной способностью к дымообразованию и распространению пламени по поверхности и повышенной прочностью при межслойном сдвиге. Заказчиком и исполнителем здесь также является АО «Препрег-СКМ».
По результатам выполнения НИР в 2023 году:
- проведены экспериментальные исследования по разработке составов однокомпонентного и двухкомпонентного безрастворных негорючих термореактивных связующих для изготовления методом вакуумной инфузии стеклопластиков на их основе;
- разработаны проекты ТР и ТИ на изготовление однокомпонентного и двухкомпонентного негорючих термореактивных связующих;

- изготовлены укрупненные экспериментальные партии однокомпонентного и двухкомпонентного негорючих термореактивных связующих, исследованы их физико-химические и термомеханические характеристики.

Пятый проект «Разработка технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол, включая трансфер существующей технологии» посвящён разработке технологии переработки углепластиков на основе различных матриц, путём удаления связующего методом пиролиза. Заказчиком и исполнителем данной работы является ООО «ЗУКМ» (завод углеродных композиционных материалов).

По результатам выполнения НИР в 2023 году:
- подготовлен отчет о патентных исследованиях по определению технического уровня и тенденций развития в области технологий вторичной переработки углепластиков, который позволил установить, что по совокупности технических, технологических и экономических характеристик непрерывная технология вторичной переработки углепластиков методом пиролиза является наиболее эффективной;
- выбраны направления исследований, позволяющие в дальнейшем установить оптимальные температурно-временные параметры процесса удаления связующего из углепластика методом двухстадийного пиролиза;
- разработаны требования, необходимые для реализации технологического процесса пиролиза отходов УВ, включающие характеристику сырья, вспомогательных материалов и готовой продукции, краткое описание предполагаемой технологической схемы производства, необходимого оборудования, перечень производственных инструкций и др;
- закуплено лабораторное и испытательное оборудование.

Дополнительно разрабатываемые технологии позволят снизить количество отходов полимерных композиционных материалов, подлежащих захоронению, организовать производство линейки продуктов на основе переработанного углеродного волокна.

В заключение доклада Согомонова В.А. отметила, что в целом по комплексу всех работ результаты реализации дорожной карты соответствует заявленным показателям. Проведённые мероприятия в рамках реализации дорожной карты актуальны, востребованы и целесообразны, результаты имеет практическую значимость и будут способствовать развитию рынка полимерных композиционных материалов в нашей стране.

В своем докладе (Приложение 10) директор по управлению научно-техническими программами по материалам и технологиям частного управления «Наука и инновации» **Тихановская Татьяна Александровна** отметила, что Дорожная карта по **направлению «аддитивные технологии»** сформирована Госкорпорацией Росатом из того объёма НИОКР, который запланирован в рамках двух доступных источников – федеральный проект «Разработка новых технологий и материалов для перспективных энергетических систем» в рамках комплексной программы «Развития техники, технологий, научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации», которая в последнюю очередь была утверждёна правительством. Работы по этому направлению ведутся с 2020 года, даже до утверждения федерального проекта в рамках нашей Госпрограммы развития атомного энергопромышленного комплекса, соответственно, достижения достаточно большие.

В настоящее время уже имеется семь образцов аддитивного оборудования, на которых изготовлено 14 изделий различного применения в атомной, машиностроительной, ракетно-космической отраслях, естественно, мы делаем упор на атомную отрасль. Итак, установки: две установки для печати порошковыми материалами, две установки для печати из проволочных материалов и две установки для печати композиционными материалами, при этом еще одна установка двухмодульная, сочетает, по сути, три технологии: FDM/LDM (один модуль) и SLA (второй модуль). Далее Т.А. Тихановская подробно описала каждую установку. Установка высокотемпературного селективного лазерного плавления обеспечивает подогрев рабочего объёма до температуры не менее 800 градусов. На этой установке уже изготовлена деталь – крышка передняя, определены свойства материала.

Следующая установка предназначена для электронно-лучевого селективного плавления изделий из тугоплавких металлов (молибден, ниобий, фольфрам) и сплавов на их основе. Несмотря на её достаточно скромные параметры зоны построения, нагрев даже более 800 градусов. Получены изделия, определены их свойства, в том числе показано, что они выдерживают 1300 градусов.

Установка аддитивного выращивания с применением проволочных материалов. Испытания показали, что технология не уступает традиционной, но при этом она безсварная и, соответственно, характеризуется повышенной скоростью изготовления изделий.

С помощью электронно-лучевых установок наплавки прутковыми материалами изготовлено изделие для ядерных энергетических установок с термоэмиссионным и газотурбинным преобразованием энергии, выдерживающее температуру эксплуатации до 1300 градусов.

Работа по созданию двухмодульной установки печати керамическими композиционными материалами методами FDM/LDM, SLA завершилась в 2023 году. Сейчас идёт доработка принтера по результатам испытаний и вносятся изменения в конструкторскую документацию в целях обеспечения серийности выпуска таких установок.

Установка для печати полимерными композитными материалами, тоже создана в 2023 году. Полученные изделия – рабочее колесо сепаратора электронасоса, экстрактор для фракционирования ВАО. Это достаточно серьёзные изделия атомного применения, которые работают в агрессивных условиях. Все изделия прошли испытания и по свойствам соответствуют требованиям главных конструкторов этих изделий.

Т.А. Тихановская подчеркнула, что в рамках направления ведутся работы не только по созданию отечественного оборудования по всем направлениям аддитивных технологий, но и по управлению этим оборудованием. Формируется разработанная программно-аппаратная платформа с уже связанными системами контроля, которые обеспечивают качество процесса печати с первого раза. В настоящее время эта программно-аппаратная платформа внедрена в весь перечень продемонстрированного оборудования. В планах на 2024 год стоит разработка интеллектуально-обратной связи для исключения человеческого фактора в процессе аддитивного производства. Системы контроля будут контролировать процесс печати и запускать изменения в технологических режимах печати, чтобы обеспечить отсутствие дефектов при печати.

Кроме того, проводятся работы в плане импортозамещения ключевых узлов отечественными лазерно-оптическими системами. Это направление представлено двумя результатами. Первый – трехосевой сканатор с возможностью контроля температуры обеспечения дополнительного лазерного воздействия, и второй – кластерная лазерно-оптическая система. Все проекты завершаются разработкой нормативно-технической документации государственного уровня.

Далее докладчица представила три проекта, выполняющиеся в рамках единого отраслевого плана. Это начавшаяся работа по созданию установки ВТ-6 по производству порошков из титановых сплавов. Следующие два проекта – это прямое лазерное выращивание порошком и виртуальный 3D принтер, работа по которому идет с 2019 г. Первая очередь этого проекта завершилась в 2022 г., в 2023 г. запущена вторая очередь.

Завершила доклад Т.А. Тихановская обобщенными выводами по работам 2023 года:

1. Разработана линейка отечественного аддитивного оборудования для работы с различными типами материалов.

2. Свойства материалов, получаемых методами аддитивного производства, находятся на уровне материалов, получаемых традиционными способами, а в некоторых случаях превосходят их.
3. В основе разрабатываемого аддитивного оборудования лежит программно-аппаратная платформа и комплекс систем контроля, которые позволяют не только обеспечить непрерывность технологического процесса, но и мониторинг параметров процесса изготовления изделий с целью дальнейшей паспортизации и гарантии качества конечного продукта.

Продолжил тему выполнения работ **по направлению «Аддитивные технологии»** (Приложение 11) заместитель генерального директора по науке ООО «РосАТ» **Тепаев Сергей Владимирович.** Одна из них – разработка модельного ряда установок SLM. За 2023 год разработан и утвержден нелитерованный комплект РКД для изготовления основного рабочего модуля опытного образца оборудования крупногабаритного класса.

Собран полнофункциональный опытный образец оборудования среднегабаритного класса. Достигнуты TRL4, TRL5. Разработана документация на программное обеспечение для обеспечения работоспособности оборудования среднегабаритного класса. Проведены предварительные испытания опытного образца оборудования среднегабаритного класса. Достигнут TRL6. Проведены приемо-сдаточные испытания опытного образца оборудования среднегабаритного класса. Скорректирована документация на оборудование среднегабаритного класса технологии SLM с присвоением литеры "О1". Достигнут TRL7.

В рамках следующего проекта «Комплексная отработка технологии изготовления элементов оборудования атомной энергетики при помощи АТ (SLM-метод), заказчик АО «ОКБМ Африкантов» в 2023 году выполнена настройка основного оборудования Центра аддитивных технологий; отработаны режимы изготовления деталей из стали 12Х18Н10Т на опытных образцах. Ещё одна работа этого года – проект «Оборудование и комплекс технологий и для аддитивного производства сложнопрофильных и крупногабаритных изделий атомной энергетики». Проведены экспериментальные исследования фрагмента выгородки ПЛВ, в т.ч. облучение высокоэнергетическим потоком ионов и изучние свойств; корректировка технологии ПЛВ фрагмента выгородки для обеспечения достижения требуемых эксплуатационных свойств. Обоснована применимость ПЛВ для ОИАЭ. Осуществлена транспортировка и проведена ПНР установки ПЛВ на территории ООО «РосАТ».

По проекту «Разработка опытного образца продуктовой линейки аддитивного оборудования прямого лазерного выращивания с применением металлических порошковых материалов (DMD)» отработана технология печати на опытной установке ПЛВ, разработана программа и методика испытаний опытного образца серийной установки DMD, завершен этап 2 НИОКР. В 2023 г. в рамках проекта «Разработка технологии изготовления фланца электрохимического генератора / электролизера с низкой газопроницаемостью стенок по отношению к водороду методом селективного лазерного сплавления из порошка сплава 12Х18Н10Т» изготовлены опытные образцы фланцев для испытания в изделиях (ЭХГ/электролизеров).

С.В. Тепаев отметил, что проект «Виртуальный 3D-принтер. 2.0» - это многомодульная платформа, работа, проводимая совместно с АО «Наука-инновации», по моделированию процессов наплавки как на микро-, так и на макроуровне, т.е. достаточно большая и нужная, как нам кажется, для промышленности программа. Получено несколько заключений от ракетостроительной отрасли, от Объединённой двигателестроительной корпорации с подтверждением того, что продукт на рынке, действительно, нужен.

Далее С.М. Алдошин предложил перейти к третьему направлению Дорожной карты – **редкие и редкоземельные металлы.**

Первый докладчик **Александр Дмитриевич Хмелёв**, руководитель направления ООО «Объединённые урановые предприятия» рассказал (Приложение 12) о проекте «Создание опытной установки для отработки масштабного перехода и экспериментального подтверждения технологии экстракционного разделения коллективного концентрата РЗЭ», заказчиком которого является ООО «Объединенные урановые предприятия», а исполнителем – АО «ГК «Русредмет» (Санкт-Петербург).

Предпосылки выполнения проекта: отсутствие в России крупнотоннажных производств разделения и получения соединений индивидуальных редкоземельных элементов (далее РЗЭ). Цель проекта – разработка технологий и экспериментальное подтверждение основных технологических стадий получения индивидуальных РЗЭ лёгкой группы и коллективная концентрация среднетяжёлой группы. Результатом 2022 года является созданная опытная установка производительностью полторы тонны в год по получению редкоземельных продуктов в пересчёте на оксид. Она включает в себя все основные технологические стадии будущего производства и позволяет провести полный комплекс определённых испытаний. Объектами исследования были концентрат фосфорногипсовый и Озёрский концентрат, это карбонаты Соликамского магниевого завода, который мы получили и с которыми мы в дальнейшем работали.

На 2023 год было запланировано изучение процесса электрохимического окисления церия. Экспериментальные исследования по экстракционному разделению La, Nd, Pr и РЗК СТГ в статическом и динамических режимах. Выпарка рафинатов экстракции. Осаждение карбонатов индивидуальных РЗЭ. Сушка и прокалка карбонатов РЗЭ.

В ходе выполнения проекта выбрана технологическая схема разделения РЗЭ лёгкой группы. Она включала такие стадии, как растворение в азотной кислоте, электроокисление церия и шесть экстракционных каскадов: 1) извлечение четырехвалентного церия, 2) разделение по линии церий/празеодим, 3) очистка лантана, 4) по линии неодим/самарий и получение концентрата СТГ, 5) стартовый каскад по линии неодим/празеодим, 6) экстракционная очистка празеодима. Был создан лабораторный прототип электролизера церия четырехвалентного, сейчас создаётся промышленный прототип.

На установке проводилась стажировка и обучение персонала, была разработана технология получения оксидов РЗ группы и концентратов. Также был выполнен полный комплекс статических испытаний, динамических испытаний, подготовлен отчёт о НИР. Разработан технологический регламент установки, содержащий данные материального баланса, предварительные аппаратурно-технологические схемы и параметры оборудования. Получены образцы продуктов. На основании полученных материалов и в соответствии с планом выполнения работ разработаны технические решения промышленного комплекса разделения РЗЭ и подготавливается окончательные исходные данные для проектирования производства, соединений индивидуальной разливки, группы и коллективных концентратов. Готовой продукцией являются карбонаты, оксиды редкометалльные, а также есть возможность получения нитратных растворов лантана, неодима, и в дальнейшем возможность получения уже металлических продуктов неодима, празеодима. Возможно создание и локализация производства на действующем предприятии – на площадке Соликамского магниевого завода.

Далее А.Д. Хмелев доложил о состоянии дел на Соликамском заводе. Основной технологией разделения на индивидуальные элементы суммарного редкоземельного концерта там является процесс жидкостной экстрации. В предлагаемой технологии у нас была выбрана экстракция из азотнокислых сред на трибутилфосфате. Данные технологические решения распространены во всем мире. Во времена СССР они использовались на целом ряде предприятий (в Эстонии, Казахстане, на Иртышском ХМЗ). В настоящее время данные решения были реализованы в 2010 годах на установках ООО КРОН (Великий Новгород) и на установке ФОСАГРО (Череповец).

На данный момент единственным промышленным источником редкоземельной продукции в нашей стране является лопаритовый концентрат, производимый из Озёрского месторождения Мурманской области, а единственным предприятием по производству редкоземельной продукции в Российской Федерации является Соликамский магниевый завод, товарной продукцией которого является неразделённый карбонат редкоземельных металлов. Из-за отсутствия в России мощностей по разделению РЗ на индивидуальные оксиды, основная часть продукции Соликамского магниевого завода экспортируется.

Проект разделения РЗ предполагает строительство перерабатывающих мощностей из неразделённого карбоната Соликамского завода. Критериями выбора места реализации проекта является близость к источнику сырья и возможность использования существующей инфраструктуры.

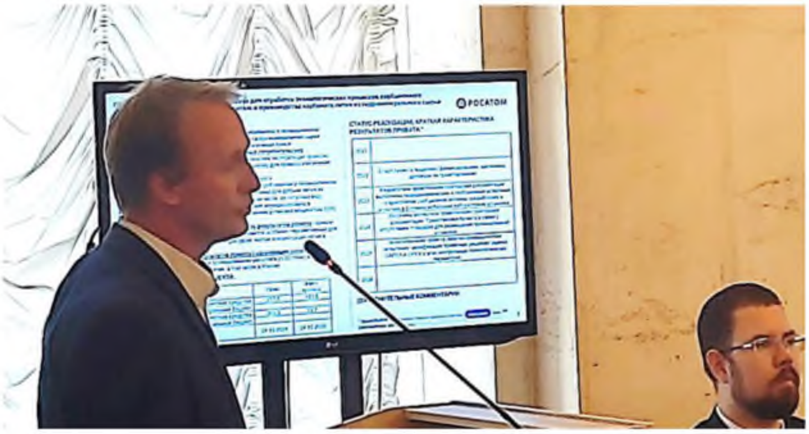
Мировой объём производства редкоземельных металлов в 2023 году в пересчёте на оксиды составлял 341 000 тонн. Производство неразделённых карбонатов на Соликамском магниевом заводе сейчас 2 000 тонн. Текущие потребности Российской Федерации оцениваются на текущий год в 1500 тонн, к 2027 году предполагается рост до 2500 тонн. Годовая производительность проектируемого комплекса составит по переработке коллективного карбоната 2500 тонн.

Таким образом, проект разделения позволяет покрыть, практически, все потребности страны в разделённых РЗМ и даёт более 50% вклада в дорожную карту РЗМ в среднесрочном горизонте. Ключевых конкурентов на российских рынках у этого проекта сейчас нет, на зарубежных рынках конкурентами являются Китай, Австралия.

В рамках реализации проекта предполагается создание комплекса по разделению РЗМ, укомплектованное технологическим оборудованием отечественного производства. Ввоз оборудования сторонних производителей не потребуется, все оборудование, включая экстракторы, изготавливаются в России на АО «ГК «Русредмете». На текущий момент отсутствует намерение о выходе продукции на зарубежные рынки, реализация планируется у нас на территории Российской Федерации. Стратегическая задача горнорудного дивизиона госкорпорации Росатом является импортозамещение собственного РЗМ на 100%, сейчас, в условиях внешнего санкционного давления.

Завершил доклад А.Д. Хмелев выводами о том, что редкоземельные металлы имеют стратегическое значение для высокотехнологической отрасли РФ и создание разделительного производства, использующего современные технологии промышленного разделения РЗМ на отдельные соединения позволит заместить импорт из КНР и укрепить технологический суверенитет РФ, а также замкнуть разорванную со времён распада СССР производственную цепочку получения редкоземельной продукции.

Далее по направлению редких и редкоземельных металлов выступил **Калугин Игорь Владимирович,** руководитель направления «Группа литиевых и гидроминеральных технологий» АО «Ураниум Уан Груп». Он доложил (Приложение 13) о выполнении проекта «Опытно-промышленная установка для отработки технологических процессов сорбционного обогащения природных рассолов по литию и производство карбоната лития из гидроминерального сырья Латинской Америки», его заказчиком и исполнителем является ОАО «Ураниум Уан Груп». Проект является частью большой зарубежной программы.



Предпосылки выполнения проекта: отсутствие в России отработанной в промышленном масштабе технологии прямого извлечения лития из гидроминерального сырья Цель проекта: верификация технологии прямого извлечения лития. Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: верифицированная по результатам опытной эксплуатации проектно-конструкторская документация на промышленную установку для прямого извлечения лития мощностью 1000 тонн карбоната лития в год. Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: опробованная в промышленном масштабе технология прямого извлечения лития, применимая для добычи лития из гидроминерального сырья месторождений России (в том числе, из попутных вод). Уровень готовности продукта/технологий: технология должна быть верифицирована в лабораторном масштабе, запроектирована промышленная установка мощностью 1000 тонн карбоната лития в год. Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: прямое извлечение лития из гидроминерального сырья является особенно перспективным для условий России – наличие энергетических ресурсов, малые концентрации лития в исходном сырье. Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: после апробации в промышленном масштабе (1000 тонн) возможно создание других объектов добычи лития, в том числе в России.

В заключение И.В. Калугин привел результаты, полученные в 2023 году:

1. В кооперации с технологическими провайдерами АО «А-РДМ» и ООО «7 Тех» разработан комплект технической документации на промышленную установку для сорбционного извлечения лития из рассолов салара Пастос Грандес (Боливия) производительностью до 950 тонн карбоната лития в год, включая технологический раздел, автоматизацию, электрическую часть и другие разделы. Техническая документация будет использована при проектировании промышленного производства карбоната лития на саларе Пастос Грандес после выполнения геологоразведочных работ и инженерных изысканий на выбранной площадке завода
2. Выполнена ключевая веха В3.1 Завершены гидродинамические испытания прототипа колонны СДМ. Проведены гидродинамические и сорбционные испытания прототипа сорбционной колонны сорбционно-десорбционного модуля. Конструкция колонны оптимизирована по результатам испытаний, подтверждено расчетное значение сорбционной емкости сорбента производства АО «А-РДМ», использованное при разработке технической документации на промышленную установку. Срок – 14.12.2023.
3. Выполнена ключевая веха В3.2 Получено заключение внешней экспертизы проектной документации. Экспертная оценка проектно-конструкторской документации на промышленную установку. Получено положительное экспертное заключение АО ВНИИХТ от 19.03.2024.

4. В течение 2023 года дважды в Боливии, в январе и ноябре, проводились демонстрационные испытания сорбционной технологии извлечения лития АО «А-РДМ» с применением мобильной лабораторной установки.
5. Выполнена ключевая веха В3.3 Выбрана площадка в рамках доходного проекта для проведения опытно-промышленных испытаний ПУ и последующей корректировке ПД. Подписано соглашение с YLB (Yacimientos de Litio Bolivianos) 13.12.2023 о размещении завода для производства карбоната лития, в том числе опытной промышленной установки мощностью 1000 тонн карбоната лития в год на солончаке Уюни. Данное месторождение является одним из возможных мест размещения промышленной установки.

После этого участники заседания перешли к заслушиванию результатов выполнения дорожной карты по направлению **«Перспективные материалы и цифровое материаловедение»**.

Директор ЦК НТИ «Цифровое материаловедение» МГТУ имени Баумана **Александр Александрович Павлов** начал свое выступление (Приложение 14) с того, что финансовые средства 2023 года были доведены только 25 декабря этого года, поэтому сколько-нибудь значимых научных или научно-технических результатов получено не было. Но был проведен ряд мероприятий для подготовки работы в 2024 и последующих годах.

Начато выполнение двух проектов из 12: проект № 9.2 «Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы» и Проект № 9.3 «Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства».

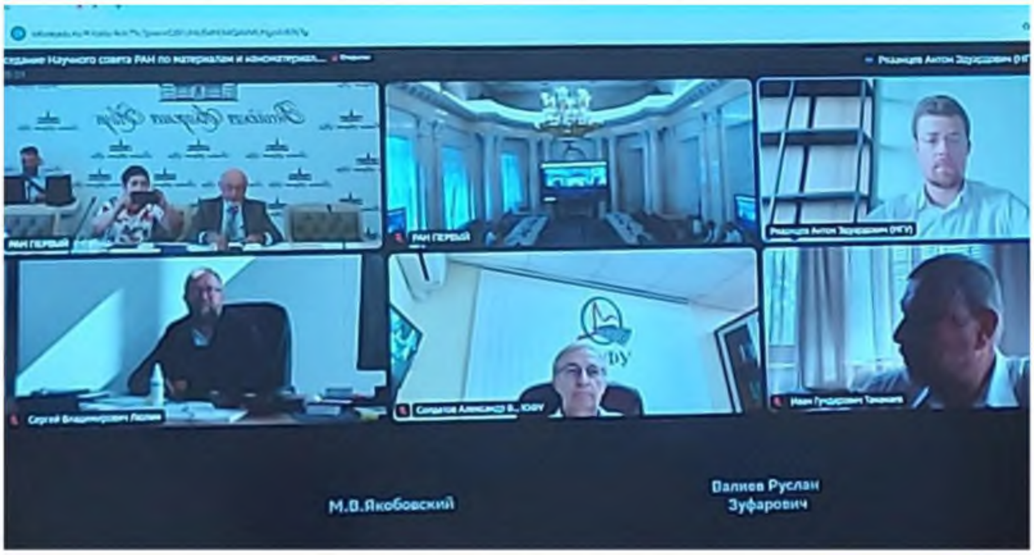
Эти проекты находятся в зане непосредственной ответственности ЦК НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества». Остальные проекты – это проекты наших партнёров по консорциуму, который был сформирован в 2023 г. и включает в себя ведущие университеты и институты Российской Академии наук, компании, в том числе дочерние компании Росатома. Каждый член консорциума имеет свой проект.

В рамках выполнения указанных двух проектов в 2023 году заключены 28 договоров на поставку оборудования стоимостью 351,7 млн. руб.:
- система синтеза и осаждения полимеров;
- серверное оборудование;
- ИК Фурье спектрометр для идентификации полимерных материалов по спектру поглощения инфракрасного излучения;
- реактор для высоковязких веществ;

- модуль для испытаний на трение;
- климатическая камера соляного тумана;
- химическая вакуумная станция;
- и д.р

Выполнен показатель результативности «Количество разработанных новых, перспективных материалов (накопленным итогом)» с плановым значением 2 единицы.
Созданы следующие материалы:
1. Материал «Самовосстанавливающиеся полимерные материалы повышенной теплостойкости на основе тандемной реакции Дильса Адлера» (патент на изобретение № 2796931 от 29.06.2023).
2. Материал «Низковязкое эпоксидное связующее для армированных пластиков с высокой трещиностойкостью и теплостойкостью» (патент на изобретение № 43262 от 02.05.2023 г.)

В начале своего он-лайн доклада (Приложение 15) председатель индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам **Рязанцев Антон Эдуардович** напомнил о целях и параметрах поднаправления «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ».



Цель Дорожной Карты – кратное сокращение времени разработки и внедрения новых материалов в промышленность за счет создания платформы цифровых инструментов моделирования и разработки новых материалов:
- создание интегрированной цифровой инфраструктуры для разработки материалов;
- создание исследовательской, производственной и испытательной инфраструктуры;
- разработка и внедрение в промышленность «материалов - демонстраторов».

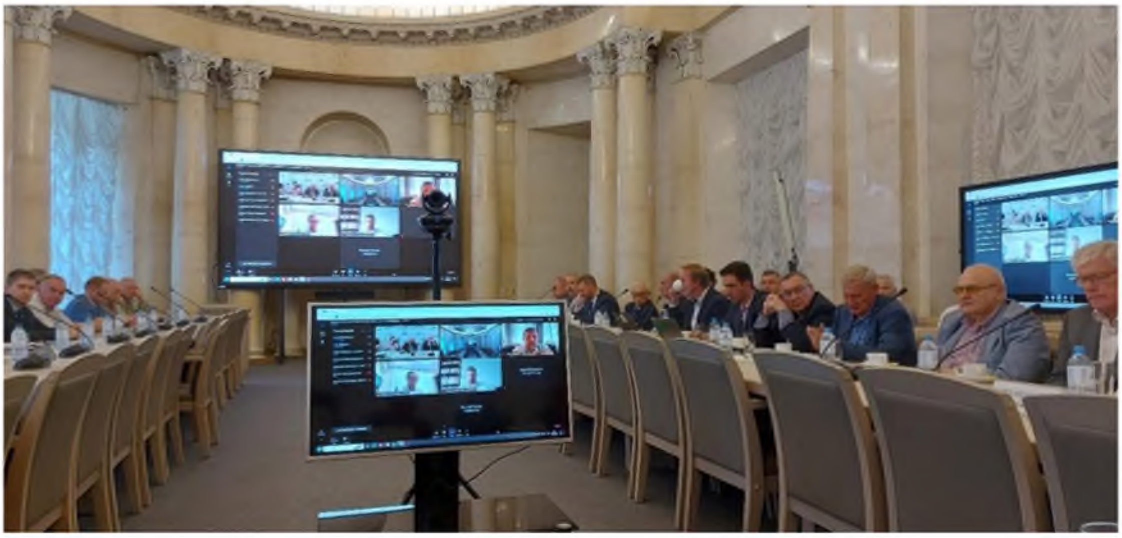
Ключевые параметры Дорожной Карты:
- решение о создании 4-го поднаправления Дорожной Карты было принято на совещании у А.Р. Белоусова и Д.В. Мантурова (п. 3 протокола №АБ-П7-281пр от 27.10.2023);
- грантополучателями являются 2 ЦК НТИ по новым материалам: НГУ и МГТУ;
- средства доводятся по Постановлению №1251 (ЦК НТИ) и 1780;
- основное финансирование: 2024-2026
- основные члены консорциума: РФЯЦ ВНИИЭФ, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ЮФУ, МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯУ «МИФИ», ДФУ, ИВС РАН, ИФХЭ РАН, ИК СО РАН, МФТИ, ВНИИА, Сколтех, ИТ СО РАН, ВолГТУ, ИК ЦТО;
- количество проектов: 21 (все проекты достигают минимум 6 УГТ) + 1 проект по созданию проектного офиса;

- в дорожную карту будут добавлены проекты по тематике новых материалов для отрасли БАС.

Поскольку, как было отмечено предыдущим докладчиком, финансовые средства были доведены только в декабре 2023 г., работ, фактически, было выполнено не очень много:

- привлечено две компании-лидеров в реализацию Соглашения;
- актуализирован портфель проектов ДК – добавлено 22 новых продукта;
- подготовлено и утверждено Экспертным советом при Наблюдательном совете АНО «Платформа НТИ» две программы развития Центров НТИ для целей реализации Соглашения;
- разработано четыре (с накопленным итогом) а в 2023 г. два новых перспективных материала.

Институтом химии твердого тела СО РАН, входящим в Консорциум Центра компетенций, разработан новый недорогой способ синтеза высокодисперсного порошка гидроксид алюминия, отличающегося от аналогов низким содержанием химических примесей (с содержанием натрия менее 0,04 мас. % Na2O), что обеспечивает возможность его использования в производстве катализаторов, используемых в нефтехимической промышленности, и способ получения из гидроксидов алюминия порошка альфа-оксида алюминия с размером частиц в диапазоне 1-4 мкм, полностью удовлетворяющих требованиям к носителю катализатора, применяемого в нефтехимической индустрии.



Кроме того, в инициативном порядке начат проект «Создание опытной технологической линии для производства катализаторов и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и разработка модифицированных материалов с применением углеродных наноаддитивов». В 2023 г. в рамках 1 части выполнены следующие работы совместно с Институтом катализа СО РАН:

1. Подготовлен аналитический обзор на тему «Технология производства углеродных нанотрубок и области их применения»
2. Разработаны программа и методики экспериментальных исследований катализатора синтеза МУНТ. Программа и методики необходимы для анализа качества разрабатываемых катализаторов синтеза МУНТ
3. Проведено экспериментальное исследование структурных и химических характеристик МУНТ других производителей. Данное исследование необходимо для корректировки дальнейшей работы над синтезом МУНТ
3. Проведен патентный поиск по базовым технологиям производства МУНТ. Поиск подтвердил, что технология, развиваемая в проекте, существенно отличается от

известных, является перспективной, масштабируемой и подходящей для промышленного производства
4. Разработан детализированный план НИР по созданию МУНТ-содержащих продуктов, материалов и изделий с разбивкой по временным этапам и направлениям. Данный план маломасштабная ДК проекта в рамках создания МУНТ-содержащих продуктов
5. Начаты закупочные процедуры оборудования, законтрактовано 27 ед. для поставки в 2024 году.

Все прозвучавшие доклады вызвали много вопросов и замечаний, развернулась бурная дискуссия, в которой приняли активное участие академики С.М. Алдошин, Е.Н. Каблов, В.М. Бузник, член-корреспонденты РАН А.Н. Озерин, В.В. Иванов, А.А. Вошкин, Р.Ш. Гветадзе, И.Г. Тананаев, Р.Р. Мулюков, Е.А. Гудилин, профессора С.Ю. Хаширова, Р.З. Валиев, Э.Р. Бадамшина, А.Б. Шевченко.

В завершение дискуссии выступил директор по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» **А.Б. Шевченко**, который еще раз подчеркнул, что когда формировалась соглашение и дорожные карты по каким-то непонятным причинам Российскую академию наук не привлекли к этому процессу, что изначально было неправильно, но соглашение уже подписано. В настоящее время пришло понимание необходимости привлечения Академии наук, но уже только на стадии экспертизы результатов выполнения дорожных карт по всем высокотехнологичным направлениям.

Как показывает сегодняшнее заседание, есть ряд замечаний в плане конкретных проектов, выполняемых в рамках дорожной карты. Ясно, что должно быть более тесное взаимодействие подразделений, выполняющих эти проекты, с академическими институтами. А.Б. Шевченко еще раз подчеркнул, что для достижения главной цели – технологической независимости и технологического лидерства – необходимо работать вместе

Подводя итоги, С.М. Алдошин отметил успешное проведение заседания, необходимость тщательной подготовки протокола заседания и экспертного заключения с учетом высказанных замечаний и отзывов экспертов, после чего оно будет отправлено в Президиум экспертного совета.

В результате проведения совместного заседания вынесено «Итоговое экспертное заключение Научного совета РАН по материалам и наноматериалам по рассмотрению результатов реализации в 2023г. дорожной карты высокотехнологичного направления «Технология новых материалов и веществ» (в соответствии с разработанным в РАН проектом анкеты). В качестве приложения к «Итоговому экспертному заключению» сформирован «Перечень замечаний и комментариев».

***

4 декабря 2024 года состоялось совместное заседание Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования, Научного совета по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН**, посвященное вопросам обеспечения титановой продукцией**

На заседании присутствовали:

Научный совет РАН по материалам и наноматериалам *Бюро Отделения химии и наук о материалах РАН*	
Алдошин Сергей Михайлович, академик РАН, председатель, председатель Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию	
Егоров Михаил Петрович, академик РАН, академик-секретарь ОХНМ РАН	
Каблов Евгений Николаевич, академик РАН, заместитель председателя, член Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию	
Цивадзе Аслан Юсупович, академик РАН, заместитель председателя	
Бадамшина Э.Р. д.х.н, ученый секретарь	Он-лайн
Алымов Михаил Иванович, член-корр. РАН, член Научного совета по металлургии и металловедению	Он-лайн
Бражкин Вадим Вениаминович, академик РАН	
Гветадзе Рамаз Шалвович, член-корреспондент РАН	
Дуб Алексей Владимирович, доктор технических наук, член Научного совета по металлургии и металловедению	
Ляхов Николай Захарович, академик РАН	
Бойнович Людмила Борисовна, академик РАН	Он-лайн
Буланов Андрей Дмитриевич, член-корр. РАН	Он-лайн
Валиев Руслан Зуфарович, профессор, д.ф.-м.н	Он-лайн
Дорохов Алексей Семенович, академик РАН	Он-лайн

Жданеев Олег Валерьевич, доктор технических наук	
Иванов Виктор Владимирович, член-корр. РАН	
Иванов Владимир Константинович, член-корр. РАН	
Лысак Владимир Ильич, академик РАН	Он-лайн
Максимов Антон Львович, член-корр. РАН	Он-лайн
Мулюков Радик Рафикович, член-корр. РАН	Он-лайн
Пономаренко Сергей Анатольевич, член-корр. РАН	Он-лайн
Разумов Владимир Федорович, член-корр. РАН	
Санин Владимир Николаевич, профессор, д.т.н.	Он-лайн
Федин Владимир Петрович, член-корр. РАН	Он-лайн
Хаширова Светлана Юрьевна, профессор, д.х.н.	Он-лайн
Чвалун Сергей Николаевич, член-корр. РАН	
Шайтан Константин Вольдемарович, д.ф.-м.н.	Он-лайн
Шикин Александр Михайлович, д.ф.-м.н.	Он-лайн
Ярославцев Андрей Борисович, академик РАН	
Межведомственный научный совет РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию *Бюро Отделения наук о земле РАН*	
Бортников Николай Стефанович, академик РАН, заместитель председателя, академик-секретарь ОНЗ РАН	
Волков Александр Владимирович, член-корр. РАН, ученый секретарь	
Александрова Татьяна Николаевна, член-корр. РАН	Он-лайн
Захаров Валерий Николаевич, академик РАН	
Лобанов Константин Валентинович, член-корр. РАН	
Масленников Валерий Владимирович, член-корр. РАН	Он-лайн
Машковцев Григорий Анатольевич, д.г.-м.н., проф.	
Петров Олег Владимирович, член-корр. РАН	
Ханчук Александр Иванович, академик РАН	
Чантурия Валентин Алексеевич, академик РАН	
Научный совет по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН	
Леонтьев Леопольд Игоревич, академик РАН, председатель, член Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам	
Григорович Константин Всеволодович, член-корр. РАН, заместитель председателя	
Карелин Олег Владиславович	
Лапин Александр Петрович	
Макарчук Максим Михайлович	
Оношко Александра Николаевна	
Румова Светлана Алексеевна	
Скринский Николай Александрович, заместитель руководителя ЦВНТР	
Смирнова Ольга Олеговна	
Приглашенные	
Аганичев Максим, Минпромторг России	Он-лайн
Арбузов Олег Александрович, заместитель начальника Центра РАН по сопровождению научно-технических программ и проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития	Он-лайн
Вернигора Артем Сергеевич, заместитель директора по операционной деятельности АО «Наука и инновации» ГК «Росатом»	Он-лайн

Иванец Дмитрий Васильевич, заместитель директора по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» - начальник отдела развития технологий новых материалов и веществ Госкорпорации «Росатом»	
Кведер Виталий Владимирович, академик РАН	
Ковда Ирина Викторовна, Начальник отдела Департамент координации деятельности научных организаций Минобрнауки России	Он-лайн
Левченко Елена Николаевна, зам. генерального директора - начальник управления информационно-аналитического и методического обеспечения работ на ВМСБ РМ ФГБУ ИМГРЭ	Он-лайн
Макеев Александр Борисович, д.г.н., в.н.с., Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН	
Маркович Дмитрий Маркович, академик РАН, директор Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН	
Машковцев Григорий Анатольевич, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М.Федоровского	
Михайлов Валентин Олегович, член-корр. РАН, начальник Центра РАН по сопровождению научно-технических программ и проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития	
Николашин Андрей Алексеевич, начальник отдела развития цветной металлургии Департамента металлургии и материалов Минпромторга России	Он-лайн
Рубан Татьяна Владимировна, заместитель начальника отдела Департамента координации деятельности научных организаций Минобрнауки России	Он-лайн
Темнов Александр Викторович, департамент государственной политики и регулирования в области геологии и недропользования Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации	
Тетенькин Дмитрий Дмитриевич, заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации	
Трубин Алексей, ГК Росатом	Он-лайн
Фрейман Леонид Ленэрович, заместитель исполнительного директора Российского союза химиков	Он-лайн
Докладчики	
Алексеев Юрий Иванович, советник председателя Научного совета по металлургии и металловедению, руководитель Центра внедрения научно-технических разработок	
Власенко Виктор Иванович, директор ООО «НТИ-Центр»	
Лопатко Сергей Владимирович, эксперт	
Новиков Алексей Алексеевич, генеральный директор ГК «Руститан»	
Рогожин Александр Алексеевич, заместитель генерального директора Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М.Федоровского	
Садыхов Гусейн Бахлулович, д.т.н, заведующий лабораторией ИМЕТ А. А. Байкова РАН	
Смовж Дмитрий Владимирович, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН	

Повестка:

1. Вступительное слово академика РАН **Сергея Михайловича Алдошина**, академика РАН **Леопольда Игоревича Леонтьева**, **Дмитрия Дмитриевича**

Тетенькина, заместителя Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации

2. Доклад **Александра Алексеевича Рогожина**, заместителя генерального директора Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М.Федоровского «Состояние и перспективы разработки месторождений природного рутила, ильменитовых и титаномагнетитовых руд для обеспечения потребностей Российской Федерации в титановой продукции (на основании данных ВИМС) с ранжированием месторождений по содержанию титана в руде; степени выработки геологических запасов; уровню готовности технологий переработки минерального сырья; оценкам объема инвестиций в разработку месторождений и создание производственных мощностей; срокам реализации инвестиционных проектов и выхода на поставку титановой продукции в экономику Российской Федерации».
3. Доклад **Алексея Алексеевича Новикова**, генерального директора ГК «Руститан» «О перспективах разработки Пижемского месторождения».
4. Доклад д.т.н **Гусейна Бахлуловича Садыхова**, заведующего лабораторией ИМЕТ А. А. Байкова РАН «Титановое сырье России и перспективы его использования для производства пигментного $TiO2$ и металлического титана».
5. Доклад **Виктора Ивановича Власенко**, директора ООО «НТИ-Центр» «Результаты комплекса опытно-промышленных работ по технологическим процессам добычи и переработки нефтетитанового сырья Ярегского месторождения и перспективы развития».
6. Доклад эксперта **Сергея Владимировича Лопатко** «О возможности покрытия текущей потребности Российской Федерации в титановой продукции за счет поставок титановых шлаков и природного рутила из дружественных стран (КНДР и Иран)».
7. Доклад академика РАН **Дмитрия Марковича Марковича**, директора Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, д.ф.-м.н. **Дмитрия Владимировича Смовжа**, заведующего лабораторией Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН «Перспективы внедрения отечественных технологий переработки минерального сырья на примере пирометаллургических методов (с использованием плазмотронов) при производстве металлов (титан, германий и др.) и карбосила-Э (аналог кокса и полукокса)».
8. Доклад **Юрия Ивановича Алексеева**, советника председателя Научного совета по металлургии и металловедению, руководителя Центра внедрения научно-технических разработок «О подготовке соглашения о сотрудничестве и взаимодействии между участниками Проекта».
9. Дискуссия.

Академик РАН **С.М. Алдошин**, академик РАН **Л.И. Леонтьев** и заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации **Д.Д. Тетенькин** во вступительном слове отметили, что Российская академия наук в рамках исполнения поручения Президента Российской Федерации В.В. Путина от 28 июня 2022 г. Пр-1130, Указа Президента Российской Федерации В.В. Путина 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий», распоряжения Правительства Российской Федерации от 11 июля 2024 г. № 1838-р «Об утверждении стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ до 2050 г.», федерального закона "О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 27.09.2013 № 253-ФЗ, организует работу по подготовке решений, связанных

Вице-президент РАН, председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования, академик РАН
С.М. Алдошин

с развитием минерально-сырьевой базы, внедрением современных технологий переработки сырья и обеспечением экономики Российской Федерации необходимой продукцией, и осуществляет их экспертное сопровождение, в том числе по титансодержащему минеральному сырью и титановой продукции.

Председатель Научного совета по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН академик И.Л. Леонтьев

В связи с этим организовано проведение совместного заседания трех Научных советов РАН по вопросам обеспечения титановой продукцией - Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования, Научного совета по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН – с участием представителей федеральных органов исполнительной власти и научного сообщества.

Заместитель Министра природных ресурсов и экологии РФ Д.Д. Тетенькин

А.А. Рогожин, заместитель генерального директора ФГБУ «ВИМС им. Н.М. Федоровского» проинформировал о том, что Российская Федерация располагает значительными запасами TiO2 со средним содержанием диоксида титана от 3 % до 10,44 % и в 2023 году в Российской Федерации было добыто из недр 509 тыс. тонн титаносодержащего сырья.

Заместитель генерального директора ФГБУ «ВИМС им. Н.М. Федоровского» А.А. Рогожин

При этом одни месторождения не имеют недропользователей (например, Ярегское месторождение, месторождение «Центральное» в Рассказовском районе Тамбовской области) и не удается никого привлечь к их разработке, вторые не используются по назначению и в достаточном объеме (например, Чинейское, Медведевское, Ариадненское, Большой Сэйим), третьи находятся на стадии разведки, проектирования и подготовки технологии к промышленному освоению (Пижемское месторождение). В 2023 году на мощностях Ловозерского месторождения произведено титановой продукции 1800 тонн в виде тетрахлорида, на мощностях Туганского месторождения 400 тонн сварочных электродов. Рассматривается возможность расширения добычи и переработки сырья, но для этого требуются значительные инвестиции со стороны недропользователей, а также предоставление мер поддержки со стороны государства. В качестве первоочередных мер ВИМС предложил:

- разработать и внедрить в промышленное производство комбинированные технологии переработки высокотитанистых титаномагнетитовых концентратов на базе наиболее перспективных месторождений с получением товарных продуктов;
- завершить разработку ФНТП по комплексному сопровождению геологоразведочных работ, добыче и промышленной переработке твердых полезных ископаемых, импортозамещению технологий и оборудования;
- создать действующий на постоянной основе механизм (консультативный орган) межведомственного взаимодействия на уровне специалистов и экспертов;
- в силу своей стратегической важности для обеспечения технологического лидерства и национальной безопасности при определении перспектив развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации исходить из интересов и потребностей государства, под которые должны быть подчинены интересы бизнеса.

Академик **Л.И. Леонтьев** особенно отметил, что при определении месторождений, которые целесообразно осваивать, нужно исходить из того, что во всем мире не осваиваются месторождения с содержанием TiO_2 в руде менее 5 %, и для каждого месторождения перед его освоением необходимо иметь технологию переработки сырья, апробированную не в лабораторных условиях, а в промышленных масштабах.

Академик **Е.Н. Каблов** отметил, что в Российской Федерации не добывается титаносодержащее сырье и не производится титановая продукция в необходимом количестве и нужного качества.

Член Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования академик Е.Н. Каблов

Д.Д. Тетенькин, заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации отметил, что необходимо ранжировать месторождения по определенным критериям и исходя из этого определить, какие из них целесообразно разрабатывать, а также определить, какие технологии должны применяться для их переработки. Кроме того, он подтвердил, что эту работу нужно проводить совместно с РАН.

А.А. Новиков, генеральный директор ГК «Руститан», организации, которая ведет разведку, проектирование и подготовку технологии к промышленному освоению Пижемского месторождения (по данным ФГБУ «ВИМС им. Н.М. Федоровского» в месторождении запасов TiO2 на 12,8 млн. тонн со средним содержанием 4,48 %), сообщил, что компания за 15 лет на разведку и разработку проекта потратила около 100 млн. долларов и планирует выйти на добычу первого титанового сырья в 2030 году с выходом на проектную мощность (по данным ТЭО временный кондиций) на 4 год после ввода в эксплуатацию, т.е. к 2035 году.

Генеральный директор ГК «Руститан» А.А. Новиков

Но для этого потребуется со стороны компании инвестирование дополнительных средств, а также подведение к месторождению электрических сетей и другой инфраструктуры. После выхода на проектную мощность с 2035 года на месторождении (по данным компании) будет добываться 5 млн. тонн руды в год, из которой будет ежегодно производиться следующая продукция: искусственный рутил – 123 тыс. тонн; ильменит – 85 тыс. тонн; синтетический волластонит – 148 тыс. тонн; циркон – 1,3 тыс. тонн; песок стекольный – 1000 тыс. тонн (Дорожная карта, Приложение № 2).

Г.Б. Садыхов (ИМет РАН) отметил, что разработанная в ИМет РАН технологическая схема обогащения ильменит-лейкоксеновых песчаников Пижемского месторождения является экологически чистой и замкнутой по жидким стокам.

Заведующий лабораторией ИМЕТ им. Бардина РАН профессор Г.Б. Садыхов

Все операции схемы предусматривают использование стандартного промышленного оборудования. Одновременно с титановой продукцией будет возможно организовать крупные производства многофункциональных универсальных материалов - синтетического игольчатого волластонита и прокаленного кварцевого песка для строительной индустрии. Предложенная технологическая схема после определенной корректировки также может быть успешно применена и для обогащения похожих по составу лейкоксеновых песчаников Ярегского месторождения.

Директор ООО «НТИ-Центр» **В.И. Власенко** сообщил, что Ярегское месторождение (по данным ФГБУ «ВИМС им. Н.М. Федоровского» в месторождении запасов TiO2 на 278,7 млн. тонн со средним содержанием 10,44 %) в данный момент не имеет недропользователя.

Вместе с тем, на месторождении промышленным хлоридным способом ранее было получено 925 тонн TiO2 высокого качества и целесообразно вернуться к его освоению.

С.В. Лопатко (его особое мнение прилагается, Приложение № 3), принимая во внимание дефицит титановой продукции в Российской Федерации, который сохранится и в долгосрочной перспективе, предложил параллельно с освоением отечественных месторождений рассмотреть возможность приобретения титановых шлаков в КНДР с заключением контракта на их поставку на долгосрочный период (до 30 лет), а также возможность строительства обогатительной фабрики в Ираншахре, Иран для организации производства и поставок в Российскую Федерацию концентратов крупнокристаллического рутила и ильменита.

Академик **Д.М. Маркович** и д.ф.-м.н. **Д.В. Смовж** сообщили, что Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и ООО «ЭПОС-Инжиниринг» разработаны уникальные технологии на основе российского серийного оборудования руднотермических печей шахтного типа первого поколения с плазменными горелками, которые позволяют кардинальным образом изменить ситуации с обеспечением титановым сырьем, развитием титановой отрасли и освоением минерально-сырьевой базы Российской Федерации.

Директор Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН академик Д.М. Маркович

Впервые в мире реализована технология плавки концентрата титаномагнетита с содержаниями TiO2 6-15 % и более с получением в одном процессе титанового шлака 85-90 % и чугуна ванадиеносного. Для отработки технологий предлагается создать с участием Геотехцентра ФГБУ «ВИМС им. Н.М. Федоровского» стенды общего пользования различной мощности для экспериментальных и опытно-промышленных исследований переработки различного минерального сырья при помощи плазмотронов для дальнейшего промышленного применения и тиражирования (предложение Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и ООО «ЭПОС-Инжиниринг» в Приложении № 4).

Ю.И. Алексеев руководитель Центра внедрения научно-технических разработок при Научном совете по металлургии и металловедению ОХНМ РАН отметил, что Стратегия Научно-технического развития Российской Федерации стала продолжением «Стратегии 2020», инициированной Президентом Российской Федерации, Председателем ВПП «Единая Россия» В.В. Путиным в 2008 году. Основными задачами являются:

- формирование современной, высокотехнологической промышленности со всеми тесными отношениями науки, промышленности и общества нашей страны и её ведущей роли в новом технологическом развитии всего человечества;

- создание стратегий федерального, регионального и муниципального научно-технологического развития;
- разработка дорожных карт приоритетных направлений высокотехнологичных направлений, национальных проектов развития страны;
- формирование научно-производственных национальных операторов, для реализации этих проектов, на основе: научных организаций, научно-технических и производственно-технологических компаний;
- активное участие в работе по корректировке федеральных, региональных и муниципальных стратегий научно-технологического развития, всемерно взаимодействовать с федеральными исполнительными и представительными органами власти, населением страны, политическими организациями по разъяснению целей и задач Стратегий научно-технологического развития;

В связи с тем, что эта деятельность носит разнородный и многопрофильный характер, при Научном совете по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН (Председатель академик РАН Л.И. Леонтьев) создан Центр внедрения научно-технических разработок.

Принимая во внимание, что, с одной стороны, по разным оценкам потребность в титановой продукции в Российской Федерации составляет в год от 800-850 тыс. тонн (по данным Минпромторга России) до 1 500 тыс. тонн (по оценкам экспертов), для производства которой необходимо от 2 400 до 4 500 тыс. тонн титаносодержащего сырья, с другой стороны, в Российской Федерации в текущий момент в год добывается 509 тыс. тонн титаносодержащего сырья, то покрыть потребность Российской Федерации в титаносодержащем сырье и титановой продукции только за счет собственных ресурсов в кратчайшие сроки не представляется возможным.

В связи с этим **РЕШИЛИ**:

1. В целях организации работ по обеспечению экономики Российской Федерации титановой продукцией:

1.1. Рекомендовать Минприроды России, ФА Роснедра, ФГБУ «ВИМС им. Н.М. Федоровского» совместно с РАН и недропользователями разработать и утвердить критерии ранжирования месторождений, включающие в себя:

- содержание TiO_2 в руде;
- степень выработки геологических запасов;
- уровень готовности технологий переработки минерального сырья к промышленному применению;
- оценку объема инвестиций недропользователей в разработку месторождений и создание производственных мощностей;
- оценку объема инвестиций сторонних организаций (строительство транспортной инфраструктуры, обеспечение подключения к электросетям и др.
- необходимые меры поддержки со стороны государства (инвестиции в инфраструктуру, льготы и др.);
- на основании разработанных и утвержденных критериев провести ранжирование месторождений, определить последовательность реализации инвестиционных проектов и представить в Правительство Российской Федерации соответствующий доклад для принятия решения.

1.2. Принять во внимание, что при выборе технологий, которые будут применяться при переработке титаносодержащего сырья, необходимо исходить из их экологичности, экономической эффективности и применимости в промышленных масштабах.

1.3. Рекомендовать ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и ООО «ЭПОС-Инжиниринг» совместно с ФГБУ «ВИМС им. Н.М.

Федоровского» проработать возможность применения пирометаллургических методов переработки титаносодержащего сырья с созданием стендов общего пользования различной мощности для экспериментальных и опытно-промышленных исследований переработки различного минерального сырья при помощи плазмотронов для дальнейшего промышленного применения и тиражированияи и представить совместные предложения в РАН по разработке и началу серийного производства руднотермических шахтных печей нового поколения с единичной мощностью 60-80 МВт.

1.4. Принимая во внимание, что в Российской Федерации наблюдается дефицит титаносодержащего сырья и за счет внутренних ресурсов он не может быть покрыт, параллельно с освоением отечественных месторождений рекомендовать Правительству Российской Федерации:

1.4.1. В связи с вступлением в силу Договора о всеобъемлющем стратегическом партнерстве от 19.06.2024 г. рекомендовать Правительству РФ провести переговоры с Кабинетом министров КНДР относительно возможности заключения долгосрочного контракта на поставку титаносодержащего сырья для нужд Росрезерва с последующей поставкой их конечным потребителям и созданием в Росрезерве 3-летнего запаса в следующих объемах:

- титанового шлака высокого качества с содержанием TiO_2 85 % - 100 тысяч тонн в год;
- титанового шлака плавки титаномагнетита с содержанием TiO_2 45 % - 300-400 тысяч тонн в год;
- концентрата рутила с содержанием TiO_2 97,5 % - 30 тысяч тонн в год;
- диоксида титана в анатазной модификации для производства катализаторов - 5 тысяч тонн в год.

1.4.2. Рекомендовать Правительству РФ рассмотреть возможность приобретения лицензии на геологический блок богатых россыпей ближнего сноса на площади Ираншахр (Исламская республика Иран) с ресурсами от 100 до 200 миллионов кубометров рудных песков с бортовыми содержанием 250 кг/м3 и более, соотношениями крупнокристаллического рутила к ильмениту 30:70, и строительства обогатительной фабрики мощностью 4 миллиона кубометров в год, что позволит обеспечить поставки в Российскую Федерацию 210-270 тысяч тонн концентратов рутила и 480-600 тысяч тонн концентрата ильменита в год, а также попутно титаномагнетита с очень низкой себестоимостью производства.

2. В целях организации работ по обеспечению экономики Российской Федерации всеми видами минерального сырья рекомендовать РАН совместно с заинтересованными федеральными, региональными и муниципальными органами исполнительной власти, государственными корпорациями и естественными монополиями создать действующую на постоянной основе рабочую группу межведомственного взаимодействия с участием представителей Российской академии наук (Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования, Научного совета по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН), федеральных органов исполнительной власти и подведомственных организаций (Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВИМС им. Н.М. Федоровского», Минпромторг России), государственных корпораций (ГК «Ростех», ГК «Росатом») и в случае необходимости других органов власти и организаций, задачами которой должны стать:

2.1. организация разработки и внедрения методологии оценки определения критической зависимости экономики Российской Федерации от поставок минерального сырья, в т.ч.: а) организации сбора статистических данных за прошлые годы по добыче, переработке и потреблению минерального сырья и продукции из него, определение степени дефицитности, источники покрытия дефицита; б) прогнозирования до 2050 года под разные сценарии развития экономики добычи, переработки и потребления минерального сырья и продукции из него в Российской Федерации, источников покрытия дефицита; в) анализа имеющихся технологий добычи и переработки минерального сырья, определения перспективных технологий, задачи по разработке которых должны ставиться научно-исследовательским институтам и малым технологическим компаниям с выделением бюджетного финансирования, определением мер государственной поддержки и привлечением инвестиций со стороны бизнеса;

2.2. определение источников покрытия потребностей экономики страны в минеральном сырье с учетом внутренних ресурсов и ресурсов дружественных стран (под разные сценарии развития и с различным горизонтом планирования);

2.3. определение номенклатуры и принципов наполнения Росрезерва минеральным сырьем в целях обеспечения потребностей экономики страны в минеральном сырье (под разные сценарии развития и с различным горизонтом планирования) и направление Правительству Российской Федерации рекомендаций по приобретению продукции в Росрезерв;

2.4. осуществление научно-технологического и методологического сопровождения работы по разработке и внедрению технологий переработки минерального сырья;

2.5. способствование созданию на базе добываемого минерального сырья продукции с добавленной стоимостью, в т.ч. для обеспечения перехода от экспортных поставок минерального сырья к поставкам продукции с добавленной стоимостью;

2.6. на основании проводимой работы разработка уточненной Стратегии развития минерально-сырьевой базы до 2050 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.07.2024 г. № 1838-р).

3. Поручить Научному совету по металлургии и металловедению ОХНМ РАН (председатель академик РАН Л.И. Леонтьев) с привлечением созданного при Научном совете Центра внедрения научно-технических разработок организовать проработку указанных в пп. 1 и 2 настоящего Протокола вопросов. Докладывать вице-президенту РАН, академику РАН С.М. Алдошину о проведенной работе по мере получения результатов, но не реже чем 1 раз в квартал.

Результаты по направлению работы Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, полученные в 2024 г.

УПОРЯДОЧЕННЫЙ КВАЗИСВОБОДНЫЙ ГРАФЕН НА SiC(0001) С ДВУХЭЛЕМЕНТНОЙ ИНТЕРКАЛЯЦИЕЙ ТЯЖЕЛЫМИ И МАГНИТНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

А.Г. Рыбкин, А.А. Рыбкина, А.А. Гогина, Д.Е. Естюнин, Д.А. Пудиков, А.М. Шикин

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

В данной работе впервые синтезирован упорядоченный квазисвободный графен большой площади на поверхности SiC(0001) с интеркалированными атомами тяжелых и магнитных металлов (Au, Co) и проведены его исследования методами ARPES, XPS, LEED, SQUID-магнитометрии и SEM. Проведена оптимизация параметров синтеза, в том числе на различных углеродных реконструкциях поверхности SiC [1], и путем последовательной интеркаляции Au и Co удалось достичь минимизации процессов силицидообразования на интерфейсе между SiC и графеном, что до сих пор являлось сдерживающим фактором для использования интеркалированного графена в электронике [2]. Исследования электронной структуры показали линейный характер дисперсии электронных состояний и формирование конуса Дирака квазисвободного графена после интеркаляции полного монослоя Au, и его сохранение после последующей интеркаляции Co [1,2].

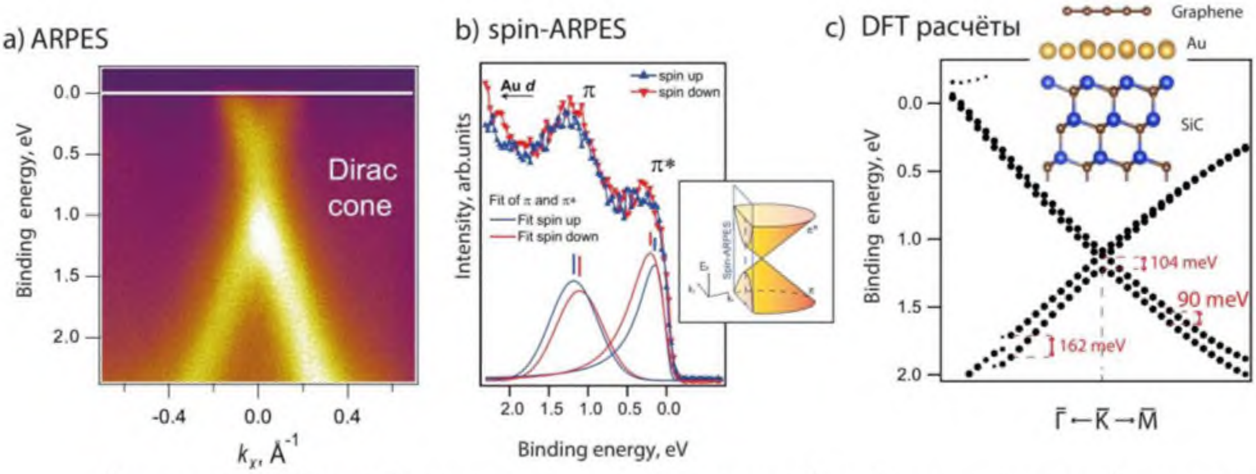


Рисунок 1. (a) Конус Дирака электронных состояний графена, измеренный методом фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением в области точки К зоны Бриллюэна графена. (b) Фотоэлектронный спектр со спиновым разрешением, измеренный в области конуса Дирака, спин-орбитальное расщепление π состояний составляет ~80 мэВ. (c) Модельное представление структуры графен/Au/SiC и результат DFT расчета зонной структуры в области точки К.

Важным результатом данного исследования является получение однослойного графена с преимущественной фазой n-допированного графена (рис. 1 (a)) и с большой величиной спин-орбитального расщепления Рашбы электронных состояний в графене (до 80 мэВ, рис. 1 (b)). Показана возможность интеркаляции атомов магнитного металла, создающего ферромагнитное упорядочение в синтезированной системе, сохраняющееся вплоть до комнатной температуры с величиной коэрцитивной силы 250-280 Э, что впервые наблюдалось для графеновых интеркалированных систем [2]. Наделение графена свойствами магнитно-спин-орбитального графена и топологически нетривиальными свойствами позволит использовать его в качестве источника спин-поляризованных токов для реализации бездиссипативного транспорта в будущих устройствах спинтроники на основе квантовых эффектов Холла. Результаты данной работы являются большим успехом в разработке графеновых устройств на полупроводниковых подложках для целей спинтроники.

1. Gogina A.A., Rybkina A.A., Ye X., Estyunin D.A., Pudikov D.A., Grigoryev E.A., Yuan C., Zhou Z., Shikin A.M., Rybkin A.G. Gold intercalation of different 6*H*-SiC(0001) surface reconstructions // Materials Chemistry and Physics. 2024. V. 323. P. 129612. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.129612
2. Рыбкина А. А., Гогина А.А., Лихолетова М.В., Пудиков Д.А., Королева А.В., Лыжова П.Д., Ерыженков А.В., Григорьев Е.А., Рыбкин А.Г. Экспериментальная реализация квазисвободного графена на SiC(0001) с интеркалированными слоями Au и Co // ЖЭТФ. 2024. Т. 167. № 4. Принята в печать.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$

А.М. Шикин, Д.А. Естюнин, А.В. Тарасов, Т.П. Естюнина и др.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

В рамках работы было проведено экспериментальное и теоретическое исследование системы на основе антиферромагнитного топологического изолятора Mn1-xGexBi2Te4. В частности, в работе [1] были проанализированы изменения электронной структуры при различной концентрации Ge, а также изучались возможности существования топологических фазовых переходов (ТФП) в состояния Дираковского и Вейлевского полуметаллов.

На рис. 1 показаны результаты, полученные методом фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением (ФЭСУР). Результаты показали наличие плато в диапазоне концентраций Ge 45-60%, что обуславливает возможность перехода системы в полуметаллическое состояние. Теоретические расчеты для антиферромагнитной фазы показали, что переход из топологического в тривиальный изолятор происходит через фазу Дираковского полуметалла. Для ферромагнитной конфигурации в системе происходят следующие переходы: топологический изолятор → Дираковский полуметалл → Вейлевский полуметалл → Дираковский полуметалл → тривиальный изолятор. Проведенное исследование подтверждает возможность перехода системы Mn1−xGexBi2Te4 в полуметаллическое Вейлевское состояние. Полученные результаты позволяют предположить, что данная система является перспективной для практического применения в устройствах. Более подробные экспериментальные исследования, включающие в себя анализ данных с разрешением по спину [2], продемонстрировали наличие спиновой поляризации для конуса Дирака. Наблюдаемая спиновая поляризация может повлиять на разработку спиновых устройств на основе магнитных топологических изоляторов.

Дальнейшие исследования предполагают замену Mn другими элементами из IV группы (например, Sn или Pb). В связи с этим мы также провели экспериментальное исследование системы Mn1−xPbxBi2Te4 [3], в котором было подтверждено наличие топологических фазовых переходов. Вместе с тем теоретически были исследованы системы с замещением атомов Mn на атомы немагнитных элементов в поверхностном СБ. В результате для гетероструктур Mn1−xAxBi2Te4/MnBi2Te4 (A= Si, Ge, Sn и Pb) было показано, что замещение атомов Mn на немагнитные атомы может быть использовано для создания синтетических слоистых топологических структур с целенаправленно измененной энергетической запрещенной зоной в точке Дирака [4].

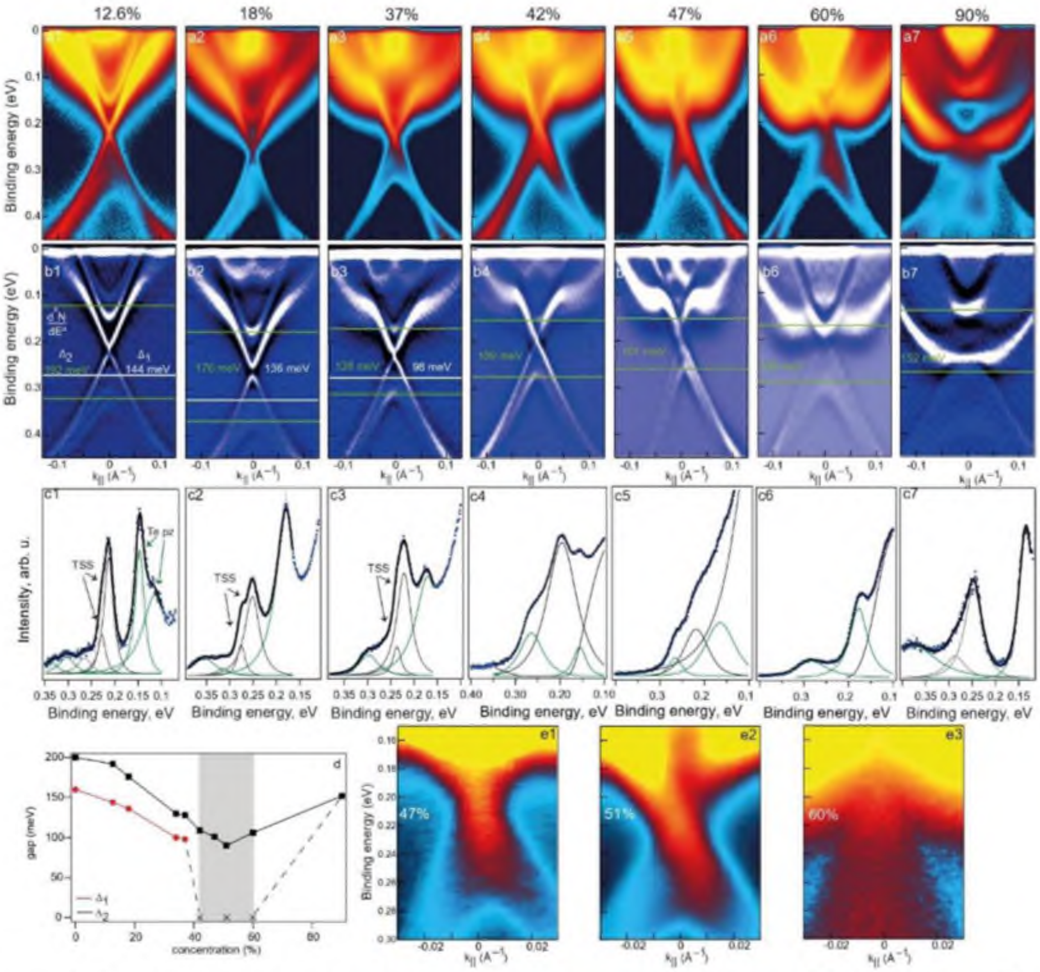


Рисунок 1. Экспериментальные данные, полученные методом ФЭСУР (hν = 6,3 эВ) для Mn1-xGexBi2Te4 с концентрацией Ge от 12 % до 90 %, представлены следующим образом: (a1-a7) в формате N(E), (b1-b7) в формате d2N/dE2, и (c1-c7) соответствующие профили плотности состояний в Г-точке с разложением на спектральные компоненты. (d) Зависимость величины энергетической запрещенной зоны в Г точке от концентрации Ge. Крестики указывают на нулевую величину энергетической запрещенной зоны при концентрации Ge от 42 до 60 %. (e1-e3) Детальное представление дисперсионных зависимостей (N(E)) для концентраций Ge между 47 и 60 % с использованием s-поляризации лазерного излучения.

1. Shikin A. M. et al. «Phase transitions, Dirac and WSM states in $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$». Scientific Reports. 2025. V. 15. P. 1741. https://doi.org/10.1038/s41598-024-73267-1
2. Shikin A. M. et al. «Spin texture tunability in $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$ through varying Ge Concentration». Physical Review B (Letters). arXiv preprint arXiv:2411.11650. 2024
3. Estyunin D. A. et al. «The electronic structure of $(Mn_{1-x}Pb_x)Bi_2Te_4$: experimental evidence of topological phase transition». Physical Review Research. arXiv preprint arXiv:2411.10390. 2024.
4. Estyunina T. P. et al. «Modification of Topological Surface States in Novel $Mn_{1-x}A_xBi_2Te_4$/MnBi2Te4 (A= Si, Ge, Sn, Pb) Topological Systems» JETP Letters. 2024. T. 119 (6). C. 451.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ И РАССЕЯНИЯ МОЩНОСТИ ПРИ НЕАДИАБАТИЧЕСКОМ ВЫКЛЮЧЕНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПАРАМАГНИТНЫХ КОМПЛЕКСАХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПОГАШЕННЫМИ ОРБИТАЛЬНЫМИ МОМЕНТАМИ

Палий А.В.
ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН
(научный руководитель – председатель Совета академик С.М. Алдошин)

Разработан новый подход к описанию тепловых процессов, вызываемых внезапным выключением магнитного поля, действующего на парамагнитные комплексы переходных металлов, установлена взаимосвязь между знаком теплового эффекта и знаком аксиальной магнитной анизотропии, а именно, показано, что в комплексах с аксиальной анизотропией типа «легкая ось» происходит поглощение тепла (магнитное охлаждение), тогда как в комплексах с анизотропией типа «легкая плоскость» быстрое выключение поля приводит к выделению тепла.

Проведен детальный теоретический анализ тепловых процессов, индуцируемых в магнитно-анизотропных спиновых комплексах переходных металлов внезапным выключением магнитного поля. Используя нестационарную теорию возмущений для случая внезапного возмущения, получено общее выражение для удельного тепловыделения в таких системах.

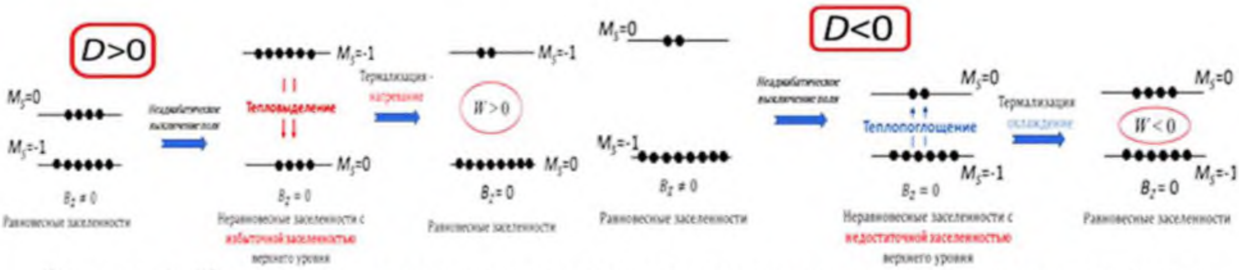


Рисунок 1. Иллюстрации тепловых процессов в случае аксиальной анизотропии типа легкая плоскость (слева) и легкая ось (справа)

В качестве простейших примеров были рассмотрены комплексы (S=1), проявляющие магнитную анизотропию типа «легкая ось» и «легкая плоскость». Проведенные расчеты показали, что знак теплового эффекта (выделение или поглощение тепла) зависит от знака параметра D аксиального расщепления в нулевом поле (поглощение тепла в комплексах с D<0 и выделение тепла в системах с D>0), а также от направления приложенного магнитного поля (рисунок 1). На основе полученных результатов был сделан вывод, что анализ магнетотепловых корреляций может, в принципе, лечь в основу нового дополнительного метода (наряду со СКВИД-магнитометрией, ЭПР спектроскопией и неупругим рассеянием нейтронов) исследования магнитной анизотропии. Другим важным следствием полученных результатов является выявленная возможность использования парамагнитных спиновых комплексов с магнитной анизотропией типа «легкая ось» (в частности, моноионных магнитов) в качестве низкотемпературных молекулярных магнитных хладагентов.

Область потенциальных практических применений полученных результатов: дизайн низкотемпературных магнитных хладагентов, а также устройств молекулярной спинтроники.

1. A. Palii, B. Tsukerblat, Dalton Trans. 2024 (53) 9161-9270. 10.1039/D4DT00723A.

ЧАСТИЧНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ ИОНОВ СВИНЦА В ЕГО ГАЛОГЕНИДАХ КАК СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТЬЮ И РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТЬЮ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Устинова М.И., Емельянов Н.А., Кирюхин Д.П., Кущ П.П., Кичигина Г.А., Фролова Л.А., Жидков И.С., Алдошин С.М., Трошин П.А.

ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН,
УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Впервые благодаря детальным исследованиям частичного замещения Pb^{2+} ионами других металлов в комплексных галогенидах свинца с перовскитной структурой $APbX_3$ выявлены катионы, способные к внедрению в кристаллическую решетку в B-позиции, а также ионы, формирующие преимущественно отдельные фазы на поверхности и границах зерен. Оба варианта локализации вводимых катионов кардинально влияют на свойства пленок: морфологию, концентрацию дефектов, подвижности носителей зарядов, а также контролируют их стабильность по отношению к свету и ионизирующему излучению.

Практическое внедрение перовскитных солнечных батарей, приблизившихся по КПД преобразования света в солнечных батареях (26.6%) к характеристикам устройств на основе кристаллического кремния, ограничивает их невысокая эксплуатационная стабильность. В данной работе развита оригинальная стратегия направленного инжиниринга перовскитных полупроводниковых материалов путем частичного замещения небольшой доли ионов свинца на катионы других металлов. Показано, что рациональная модификация может подавить фотолиз PbI_2 и кардинально улучшить фотостабильность пленок. Частичное замещение свинца в $CsPbI_2Br$ подавляет индуцированную светом сегрегацию галоидных фаз. Введение модифицирующих катионов существенно увеличивает радиационную стойкость комплексных галогенидов свинца по отношению к γ-лучам и электронам высоких энергий (рисунок 1).

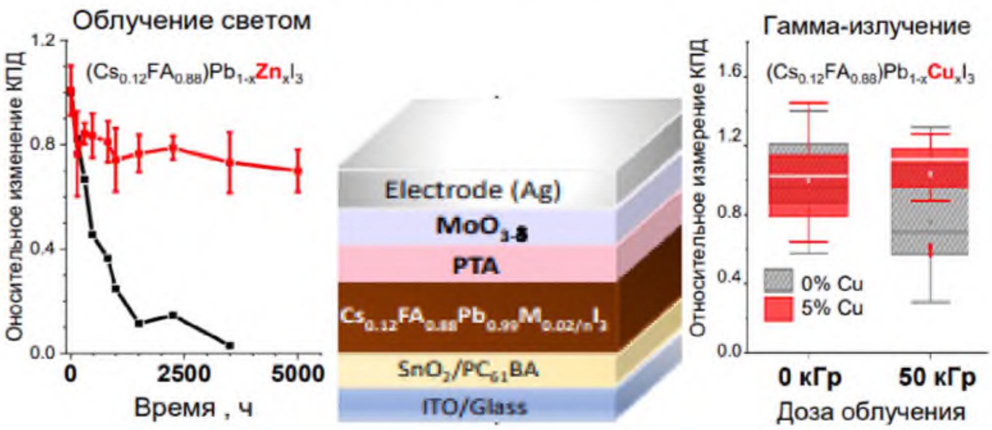


Рисунок 1. Иллюстрация перовскитных солнечных батарей с улучшенной фотостабильностью и устойчивостью при воздействии γ-излучения ^{60}Co

Разработанные полупроводниковые материалы с улучшенными свойствами стали основой для создания перовскитных солнечных батарей, демонстрирующих высокую эффективность и долговременную эксплуатационную стабильность, в том числе, в жестких условиях под воздействием ионизирующего излучения. Результаты работы важны для практического применения перовскитных солнечных батарей как в наземных солнечных электростанциях, так и в аэрокосмической технике.

1. M.I. Ustinova et al. Adv. Funct. Mater., 2024, 2407571;
2. M.I. Ustinova et al. Mater. Today Energy, 2024, 101687

КОМПЛЕКСНЫЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ

М.Н. Краснянский, А.Г. Ткачев, Буракова И.В., Дьячкова Т.П., Бураков А.Е.

Тамбовский государственный технический университет

Определены и реализованы методики синтеза ряда материалов на основе растительного сырья (на примере шрота подсолнечника, рапса и т.п.) с использованием метода гидротермальной карбонизации (ГТК). Найдены рациональные параметры технологии получения углеродной матрицы для дальнейшего создания гибридных наноструктурированных композитов (соотношение твёрдой и жидкой фазы карбонизации; температура и продолжительность гидротермальной карбонизации; температура конвективной сушки; температурные диапазоны и продолжительность карбонизации в инертной среде; массовые соотношения при щелочной активации).

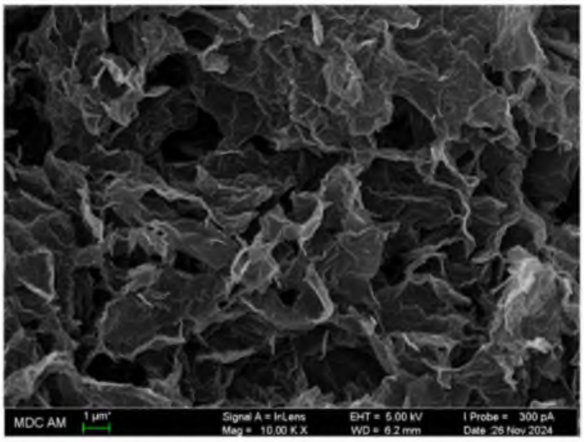


Рис. 1. СЭМ-изображение аэрогеля из подсолнечника, полученного гидротермальной карбонизацией с последующей щелочной активацией, содержащего оксид графена

Синтезированы активированные биоугли на основе кукурузного крахмала (декстрина) с добавлением наноматериалов (углеродных нанотрубок (УНТ) или оксида графена (ОГ)) в качестве структурообразователя для дальнейшего получения наномодифицированных крио- и аэрогельных форм эффективных сорбционных материалов. Определены рабочие параметры технологии получения: термообработка смеси исходных компонентов при 200 °С; карбонизация в инертной среде при 400 °С; щелочная активация при 400 и 750°С в соотношении ГТК:КОН – 1:3. Проведена оценка влияния вида исходного источника углеродной основы и его пористой структуры на свойства и морфологию синтезируемых материалов системы «растительное сырье + ОГ».

Отработаны методики синтеза, а также найдены оптимальные соотношения модификатора в системе «растительное сырье + оксид металла». Получен ряд материалов на основе шрота подсолнечника, структура которого модифицирована частицами оксида железа, при их различном соотношении. Для каждого состава проведена оценка влияния параметров обработки на свойства конечного материала: 1) гидротермальная карбонизация; 2) гидротермальная карбонизация и высокотемпературная карбонизация; 3) гидротермальная карбонизация, высокотемпературная карбонизация, щелочная активация.

Также установлены закономерности формирования углеродсодержащих крио- либо аэрогелей в процессах лиофилизации, либо сверхкритической обработки. Определены эффективные параметры формирования управляемой пористой структуры образцов при использовании методов дополнительной карбонизации и щелочной активации.

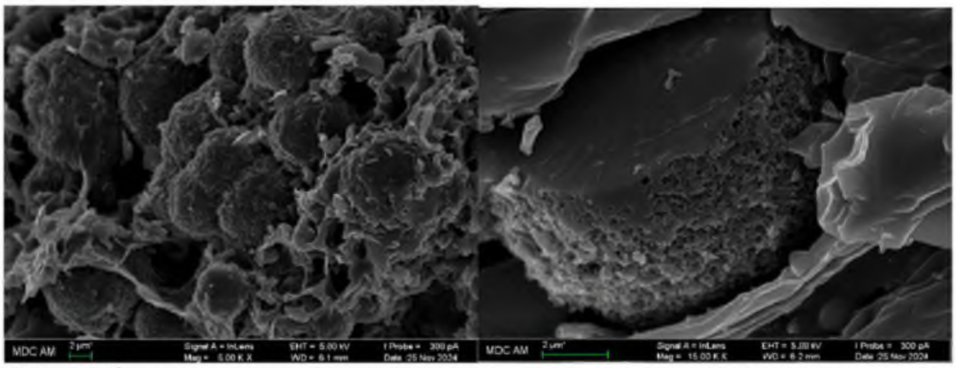


Рис. 2. СЭМ-изображение материала из подсолнечника, полученного гидротермальной карбонизацией с последующей щелочной активацией, содержащего оксид железа

Проведена оценка влияния параметров синтеза (модифицирующий агент и его концентрация) и метода постобработки (лиофильная сушка или сушка в сверхкритических условиях) на свойства синтезируемых крио- и аэрогельных материалов на основе разработанной ранее углеродной матрицы (из шрота подсолнечника, рапса и декстрина), дополнительно модифицированных оксидом графеном и/или частицами оксида железа. Реализованы следующие исследования:

- оптимизирована методика получения композиционных сорбционных материалов, состоящих из углеродной матрицы, полученной методом гидротермальной карбонизации растительного сырья, в структуру которых дополнительно введены частицы железа (при различном соотношении гидротермальный углерод/железо);
- синтезирован криогель на основе восстановленного оксида графена, модифицированного оксидом железа; в сверхкритических условиях синтезирован аэрогелеподобный материал на основе шрота подсолнечника в автоклаве высокого давления при 240 °C и 47.6 атм. в среде сверхкритического изопропанола. Полученные образцы дополнительно карбонизировали и активировали при различных температурных режимах и соотношениях реагентов.

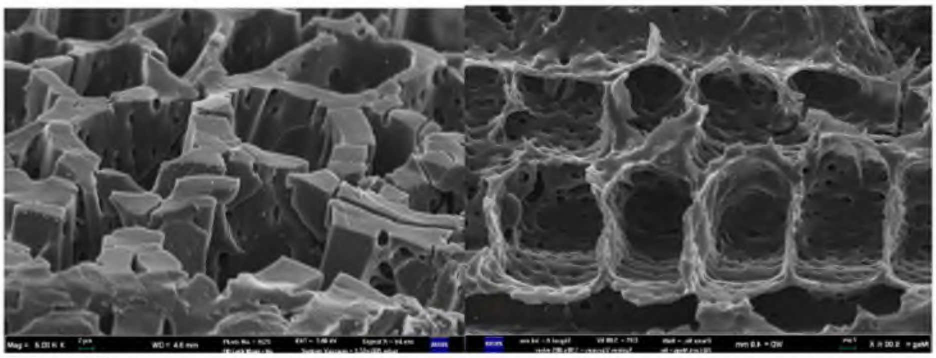


Рис. 3. СЭМ-изображение материала из подсолнечника, полученного гидротермальной карбонизацией с последующей щелочной активацией

Проведено комплексное диагностическое исследование полученных образцов с помощью методов сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, термогравиметрии, рентгенфлюоресцентной спектроскопии и т.д. Установлено, что в процессе гидротермальной карбонизации, высокотемпературной карбонизации в инертной среде, щелочной активации растительного сырья происходит:

1) в случае получения активированных биоуглей – формирование графено- и фуллереноподобных структур, составляющих основу синтезируемых биоуглей;
2) при получении модифицированных оксидом железа образцов – частное восстановление атомов железа ($Fe{+}3 \rightarrow Fe{+}2 \rightarrow Fe0$).

Величина удельной поверхности по методу БЭТ для активированных материалов с оксидом железа составила порядка 3019-3293 м2/г, по методу DFT – 2700 м2/г (NLDFT модель, учитывающая щелевидные/цилиндрические поры), объем пор по DFT – 1,5-1,8 см3/г. Удельная поверхность для аэрогелей на основе активированного шрота подсолнечника, модифицированного восстановленным оксидом графена и железа, по методу БЭТ составила 1849 м2/г, по методу DFT – 1611 м2/г (NLDFT модель, учитывающая щелевидные/цилиндрические поры), объем пор по DFT – 1,06 см3/г. Удельная поверхность для аэрогелей на основе мезопористого материала из декстрина, модифицированного восстановленным оксидом графена и железа, по методу БЭТ составила 1229 м2/г, по методу DFT – 1075 м2/г (NLDFT модель, учитывающая щелевидные/цилиндрические поры), объем пор по DFT – 1,13 см3/г. Для нанокомпозита с активированным углем из шрота рапса и оксидом графена характерна удельная поверхность по методу БЭТ – 2764 м2/г, по методу DFT – 2223 м2/г (NLDFT модель, учитывающая щелевидные/цилиндрические поры), объем пор по DFT – 1,5 см3/г.

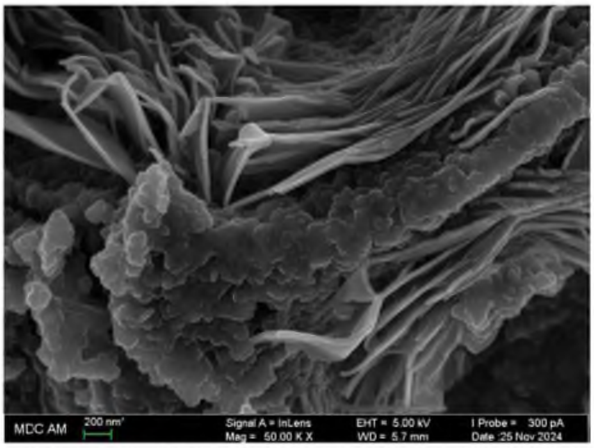


Рис. 4. СЭМ-изображение материала из декстрина, полученного гидротермальной карбонизацией с последующей щелочной активацией, содержащего оксид железа и оксид графена

Определены сорбционные параметры всех синтезированных композиционных углеродных материалов, в том числе, на реальных образцах сточных вод, содержащих фенолы и тяжелые металлы. Установлены взаимосвязи между физико-химическими характеристиками (в частности, размер частиц, величина удельной поверхности, распределение и объём пор, элементный состав, морфология) полученных материалов и их сорбционной активностью. В качестве модельных применялись следующие поллютанты: неорганические (тяжелые металлы), органические (синтетические красители – катионные метиленовый синий (МС) и малахитовый зеленый (МЗ) и анионные метаниловый желтый (МЖ) и конго красный (КК)). Также оценивалась сорбционная емкость по фенолам в условиях конкурентной сорбции (аммиак, хлориды, тяжелые металлы и т.д.) на реальных сточных водах производства АО «Газпромнефть-ОНПЗ», г. Омск, содержащих фенол в концентрациях до 1000 мг/дм3, pH=7-8 (отпаренная от сероводорода и аммиака вода из процессов замедленного коксования и гидропроцессов, основным загрязняющим компонентом являются фенолы): для материала после ГТК из шрота рапса: 298 мг/г (за 60 мин), для материала после ГТК и карбонизации из шрота рапса: 1309 мг/г (за 60 мин), для материала после ГТК, карбонизации и активации из шрота рапса: 1236 мг/г (за 10 мин).

1. Facile and economic preparation of graphene hydrothermal nanocomposite from sunflower waste: Kinetics, isotherms and thermodynamics for Cd(II) and Pb(II) removal

from water / I. Ali, A. E. Burakov, I. V. Burakova [et al.] // Journal of Molecular Liquids. – 2024. – Vol. 407. – P. 125179. – DOI 10.1016/j.molliq.2024.125179.

2. Timirgaliev A.N., Burakova I.V., Rybakova S.O., Ananyeva O.A., Yarkin V.O., Kuznetsova T.S., Kadum A.H.K., Burakov A.E. Removal of organic dyes from aqueous solutions using a graphene-containing sorbent based on activated rapeseed biochar: kinetics and isotherms / A. N. Timirgaliev, I. V. Burakova, S. O. Rybakova [et al.] // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2024. – Vol. 9, No. 3. – P. 177-187. – DOI 10.17277/jamt.2024.03.pp.177-187.
3. Kuznetsova T.S., Burakov A.E., Ananyeva O.A., Burakova I.V., Memetova A.E., Yarkin V.O., Tkachev A.G. Kinetics of Lead Sorption from Aqueous Solutions on Nanostructured Cryogel Modified with Organic Polymers / T. S. Kuznetsova, A. E. Burakov, O. A. Ananyeva [et al.] // Colloid Journal. – 2024. Т. 86. № 3. С. 408-417. – DOI 10.1134/s1061933x24600131.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ИОНОГЕЛЕЙ – ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПРИ КОНТАКТЕ С ВОДНОЙ ФАЗОЙ

В.К. Иванов, А.Е. Баранчиков, С.Ю. Котцов
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

Впервые осуществлен анализ структуры ионогелей, полученных иммобилизацией ионной жидкости – тетрафторобората 3-метил-1-октилимидазолия (OMIM BF_4) – в высокодисперсном пористом оксиде кремния (Aerosil A380) с использованием комплекса взаимодополняющих методов, включая малоугловое рассеяние рентгеновского излучения и ^{19}F ЯМР спектроскопию высокого разрешения. Выявлено, что структура таких ионогелей в существенной степени определяется их составом, то есть соотношением жидкой и твердой фаз. При наполнении оксида кремния ионной жидкостью она последовательно сорбируется на поверхности микро- и мезопор, а также в межчастичном пространстве, при этом взаимодействие анионов BF_4^- с поверхностью SiO_2 приводит к крайне высоким сдвигам соответствующих полос поглощения в ИК-спектрах (до 16 см$^{-1}$), а также к существенному сдвигу и уширению линий в спектрах ^{19}F ЯМР, указывающему на снижение подвижности анионов BF_4^- вблизи поверхности частиц (эффект конфайнмента), отражающемуся в изменении характеристических времен релаксации.

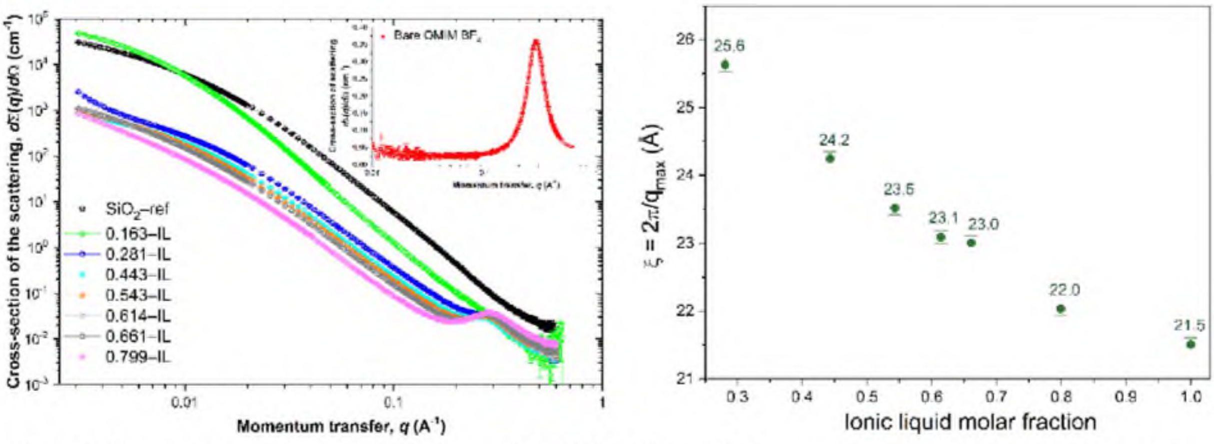


Рис. 1. Результаты анализа ионогелей OMIM BF_4@SiO_2 методом малоуглового рассеяния рентгеновского излучения. Справа – величина анион-алкил-анионных корреляций для ионогелей различного состава

Впервые показано, что в составе таких ионогелей происходит существенное искажение надмолекулярной структуры ионной жидкости – величина полярных-неполярных корреляций уменьшалась на ~20% (в диапазоне 25.6–21.5 Å), а в области низких концентраций ионной жидкости в материале (~15 мольн.%) регистрировалось разупорядочение структуры и исчезновение таких корреляций.

Разработан универсальный метод анализа стабильности ионогелей при их контакте с водой, позволяющий количественно оценить степень вымывания ионной жидкости из ионогелей и проанализировать эффективность различных синтетических подходов к получению стабильных ионогелей. Метод основан на проведении непрерывных кондуктометрических измерений водной фазы, находящейся в контакте с ионогелем. Результат анализа методом кондуктометрии подтверждены методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и ЯМР-спектроскопии, проведена оценка наиболее существенных источников систематических ошибок. Метод использован для определения скорости вымывания ионных жидкостей из ионогелей различного состава – ионогели на основе гидрофильных матриц (SiO_2 и полимеров) и высокорастворимых в воде ионных жидкостей продемонстрировали полную (>99%) потерю ионной жидкости за несколько часов. Проанализировано влияние основных факторов, повышающих стабильность ионогелей в водной среде – метод синтеза, состав ионогеля, тип матрицы и природа ионной жидкости – и установлены факторы, позволяющие снизить скорость вымывания ионной жидкости для менее 15% за 24 ч.

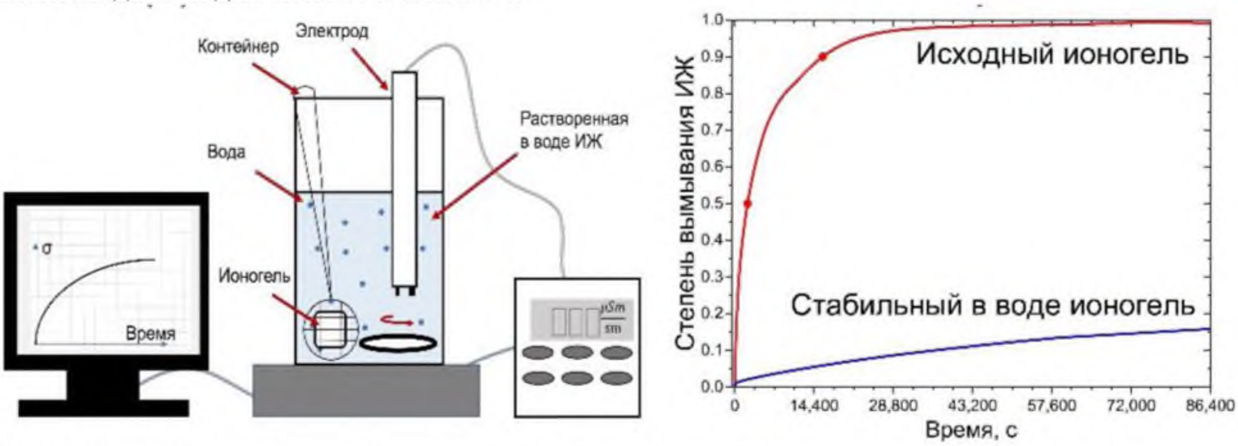


Рис.2. Схема реализации кондуктометрического метода анализа скорости вымывания ионных жидкостей из ионогелей и примеры экспериментальных зависимостей степени вымывания ионных жидкостей из ионогелей, определенных кондуктометрическим методом.

1. S.Yu. Kottsov, G.P. Kopitsa, A.E. Baranchikov, A.A. Pavlova, T.V. Khamova, A.O. Badulina, Yu.E. Gorshkova, N.A. Selivanov, N.P. Simonenko, M.E. Nikiforova, V.K. Ivanov. Structural insight into ionogels: A case study of 1-methyl-3-octyl-imidazolium tetrafluoroborate confined in aerosil // Langmuir. 2024. V.40(45). P.23962–23972. DOI: 10.1021/acs.langmuir.4c03162
2. S.Yu. Kottsov, A.O. Badulina, V.K. Ivanov, A.E. Baranchikov, A.V. Nelyubin, N.P. Simonenko, N.A. Selivanov, M.E. Nikiforova, A.Y. Tsivadze. Ionogels in aqueous media: From conductometric probing of the ionic liquid washout to the design of more stable materials // ChemEngineering. 2024. V.8. 111. DOI: 10.3390/chemengineering8060111
3. С.Ю. Котцов, А.О. Бадулина, Э.А. Труфанова, Г.С. Таран, А.Е. Баранчиков, А.В. Нелюбин, А.Н. Малкова, М.Е. Никифорова, С.А. Лермонтов, В.К. Иванов. Стабильность ионогелей при контакте с водой: влияние гидрофобности полимерной матрицы и растворимости ионной жидкости // Коллоид. журн. 2024. Т.86. №5. С. 579–594. DOI: 10.31857/S0023291224050063

4. S.Y. Kottsov, A.A. Voshkin, A.E. Baranchikov, E.V. Fatyushina, A.V. Levina, A.O. Badulina, A.A. Arhipenko, M.E. Nikiforova, V.K. Ivanov. Aliquat 336@SiO_2 ionogels: Synthesis of, and insight into, iron(III) extraction mechanisms // J. Mol. Liq. 2024. V.399. 124354. DOI: 10.1016/j.molliq.2024.124354

ВОЛОКОННЫЕ 2,8 МКМ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННЫХ ЭРБИЕМ ТЕЛЛУРИТНЫХ СТЁКОЛ

Дорофеев В.В.[1], Моторин С.Е.[1], Шарафеев А.Р.[1], Тимофеев О.В.[1], Пименов В.Г.[1], Сторожева Т.В.[1], Ким А.В.[2], Муравьев С.В.[2], Коптев М.И.[2]

[1]Институт химии высокочистых веществ им. Г. Г. Девятых РАН
(директор – член Совета член-корреспондент РАН А.Д. Буланов)
[2]Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН

Впервые на активных волоконных световодах из оксидного стекла экспериментально получена эффективная лазерная генерация на длине волны более 2,2 мкм, где сплошные силикатные волокна неработоспособны.

Высокочистые теллуритные стёкла систем TeO_2-ZnO-La_2O_3-Na_2O-(Er_2O_3) и TeO_2-WO_3-Bi_2O_3-La_2O_3-(Er_2O_3) синтезированы внутри специализированной установки с защитной атмосферой сухого кислорода. Стёкла устойчивы против кристаллизации вплоть до высоких концентраций Er_2O_3 (4 мол.%). Из них изготовлены двухслойные преформы с активированными ионами эрбия сердцевинами диам. 3-6 мм, с внешним диам. 12-16 мм длиной 40-70 мм, и жакетирующие трубки (Рис. 1).

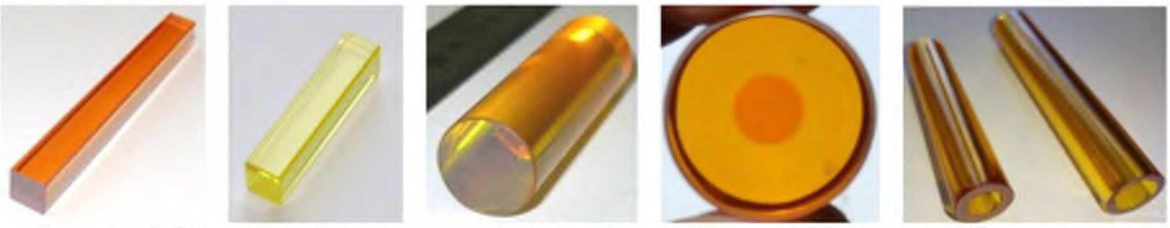


Рис. 1. Образцы высокочистых теллуритных стёкол, преформ и трубок

Сердцевины и оболочки готовых преформ характеризуются рекордно низким содержанием поглощающих примесей гидроксильных групп ($n\times10^{16}$ $см^{-3}$), 3d-переходных металлов <2 ppm wt в сумме, примесных РЗЭ <0,3 ppm wt каждого (Табл. 1).

Табл. 1. Содержание некоторых поглощающих примесей в разных составах теллуритных стёкол (ИСП-АЭС, ppm wt)

Примесь	TeO_2-ZnO-La_2O_3-Na_2O оболочка	TeO_2-ZnO-La_2O_3-Na_2O-Er_2O_3 сердцевина	TeO_2-WO_3-Bi_2O_3-La_2O_3 оболочка	TeO_2-WO_3-Bi_2O_3-La_2O_3-Er_2O_3 сердцевина
Co	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Eu	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Fe	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Mn	<0,05	<0,1	<1	<1
Yb	<0,02	<0,3	<0,2	<0,2

Изготовлены активные (6×10^{20}-10^{21} $см^{-3}$ ионов Er^{3+} в сердцевине) волоконные световоды с сердцевинами диаметром 7–40 мкм различной геометрии с числовыми апертурами 0,12–0,18 и оптическими потерями менее 0,15 дБ/м в области 1,7-2,8 мкм. Волокна состоят из активной сердцевины, оболочки для накачки, внешней отражающей оболочки и защитного полимерного покрытия (Рис. 2).

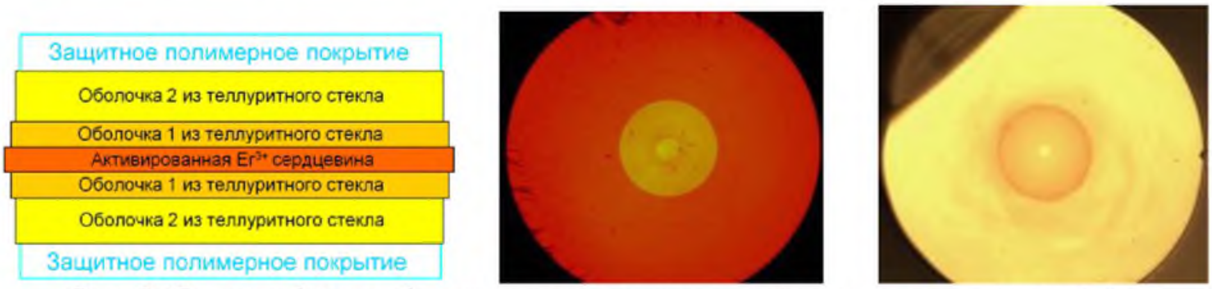


Рис. 2. Схема и фотографии торцов оптических волокон из теллуритных стёкол

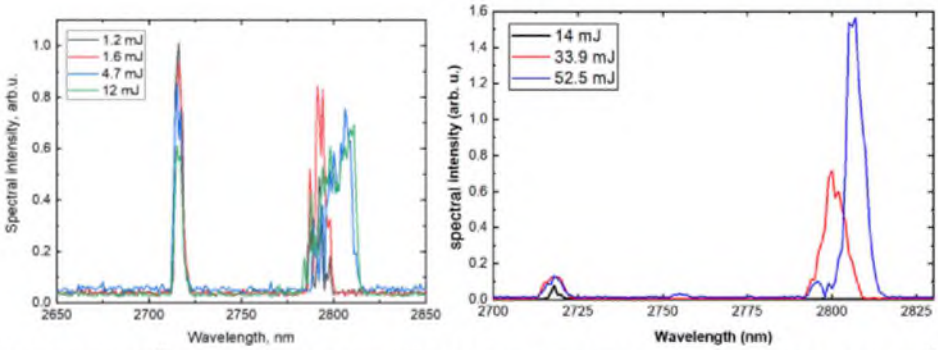


Рис. 3. Спектры лазерной генерации при различных энергиях импульса накачки 976 нм: волокно Er^{3+}:TWBL длиной 70 см (слева); волокно Er^{3+}:TZLN длиной 40 см (справа).

В волокнах из высокочистых теллуритных стёкол экспериментально достигнута лазерная генерация на длине волны ~2,8 мкм: из стёкол системы TeO_2-ZnO-La_2O_3-Na_2O-Er_2O_3 со средней мощностью 60 мВт и энергией импульса 1,2 мДж; из стёкол системы TeO_2-WO_3-Bi_2O_3-La_2O_3-Er_2O_3 со средней мощностью 30 мВт и энергией импульса 0,1 мДж (Рис. 3).

1. Muraviev, S.V., Dorofeev, V.V., Koptev, M.Y., Kim, A.V., "Experimental insights into increasing laser output at 2.8 μm in Er^{3+}-doped zinc-tellurite fibers," Opt. Lett. 49, 5555-5558 (2024), https://doi.org/10.1364/OL.534993
2. Muraviev S., Dorofeev V., Motorin S., Koptev M., Kim A., A 30 mW Laser Oscillator at 2.72 μm and 2.8 μm Wavelengths Based on Er^{3+}-Doped Tungsten–Tellurite Fibers, Photonics 11(12), 1159 (2024) https://doi.org/10.3390/photonics11121159

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОСОБО ЧИСТЫХ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $(GETE_X)_{100-Y}(AGI)_Y$ И ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ С НИЗКИМИ ОПТИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ В СРЕДНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

А.П. Вельмужов, Е.А. Тюрина, М.В. Суханов, Т.В. Котерева

Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятых РАН

(директор – член Совета член-корреспондент РАН А.Д. Буланов)

Проведено комплексное исследование физико-химических и оптических свойств стекол системы $(GeTe_x)_{100-y}(AgI)_y$ (x = 18–23 ат. %; y = 10–60 мол. %). Определены конкретные составы, по совокупности свойств наиболее пригодные для вытяжки волоконных световодов: $(Ge_{21}Te_{79})_{100-x}(AgI)_x$ (x = 40–60 мол. %).

Разработан способ получения особо чистых стекол системы $(GeTe_x)_{100-y}(AgI)_y$, включающий дистилляцию шихты $GeTe_x$ с раздельной конденсацией компонентов [1], синтез и загрузку йодида серебра в реактор методом химического транспорта. Способ позволяет получать образцы заданного химического состава с содержанием примеси кислорода в форме оксидов германия и теллура не более 10 ppb(wt).

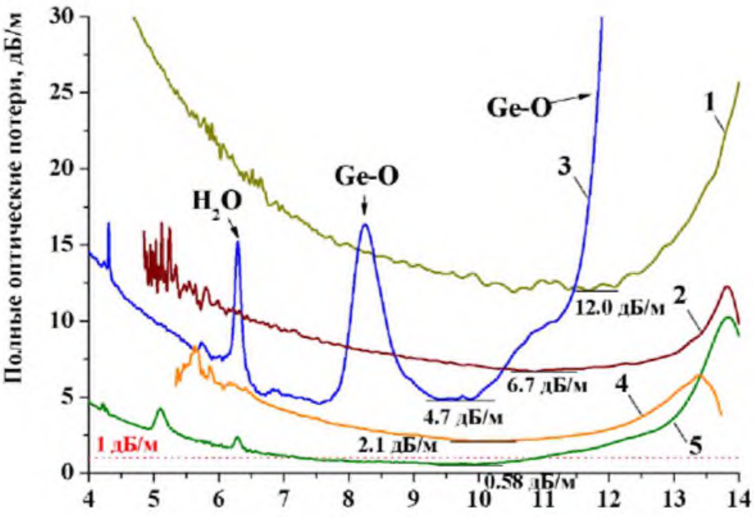


Рис. 1. Спектры полных оптических потерь волоконных световодов из стекол системы $(GeTe_x)_{100-y}(AgI)_y$, полученных различными способами. 1 – стекло $(GeTe_4)_{70}(AgI)_{30}$, полученное с применением химического транспорта AgI; 2 – стекло $(GeTe_4)_{65}(AgI_{35})$, полученное с применением химического транспорта AgI; 3 – стекло $(Ge_{21}Te_{79})_{50}(AgI)_{50}$, полученное без химического транспорта AgI; 4 – стекло $(Ge_{21}Te_{79})_{50}(AgI)_{50}$, полученное с применением химического транспорта AgI и вытянутое из штабика; 5 – стекло $(Ge_{21}Te_{79})_{52}(AgI)_{48}$, полученное с применением химического транспорта AgI и вытянутое из штабика в тигле.

Разработана методика вытяжки бесструктурных волоконных световодов «штабик в тигле». Из образцов стекол $(Ge_{21}Te_{79})_{100-x}(AgI)_x$ (x = 45–50 мол. %), полученных по разработанному способу, изготовлены волоконные световоды с рекордно низкими оптическими потерями (рис. 1). Минимальные оптические потери в лучшем волокне составили 0.58±0.05 дБ/м на длине волны 10.0 мкм. Этот уровень в 5 раз ниже предыдущих рекордных потерь, которые составляли 3 дБ/м в области 10 мкм и были получены зарубежными научными группами [2]. Остаточные потери могут быть обусловлены формированием субмикронных кристаллических включений при вытяжке волокна. Потери менее 1 дБ/м в этом волокне достигнуты в спектральном диапазоне 7.2–11.0 мкм. Оптические потери на длине волны 10.6 мкм, соответствующей важнейшей для практики рабочей полосе CO_2 лазера, составили 0.80±0.05 дБ/м. Это рекордно низкие оптические потери на этой длине волны среди всех известных волоконных световодов, изготовленных из стекол, работающих на принципе полного внутреннего отражения.

Достигнутые результаты расширяют возможности применения волокон на основе халькогенидных стекол в качестве материалов для передачи излучения CO_2 лазера и изготовления чувствительных элементов волоконно-оптических сенсоров, работающих на принципе многократно нарушенного полного внутреннего отражения. По результатам работы в печать направлены публикации [3, 4].

1. Velmuzhov A.P., Tyurina E.A., Sukhanov M.V., Evdokimov I.I., Kurganova A.E., Plekhovich A.D., Balueva K.V., Shiryaev V.S. Distillation with separate condensation of components as a new way to prepare especially pure Ge_xTe_{100-x} glasses with precisely desired composition. Separation and Purification Technology. 2023;324: 124532.
2. S. Cui, C. Boussard-Plédel, J. Lucas, B. Bureau, Te-based glass fiber for far-infrared biochemical sensing up to 16 μm. Opt. Express 22 (18) (2014) 21253–21262.
3. A.P. Velmuzhov, E.A. Tyurina, M.V. Sukhanov, A.D. Plekhovich, D.E. Anoshina, D.G. Fukina, V.S. Shiryaev. Physicochemical properties of glasses in the $(Ge_yTe_{100-y})_{100-x}(AgI)_x$ (x = 0–70; y = 18–23) system. Inorganic Chemistry Communications. 2024 (направлена в печать).
4. А.П. Вельмужов, М.В. Суханов, Е.А. Тюрина, В.С. Ширяев. Современные способы получения особо чистых стекол на основе халькогенидов германия и галлия. Часть 1. Синтез через летучие и легкоплавкие соединения. Конденсированные среды и межфазные границы. 2025 27(1) (принята в печать).

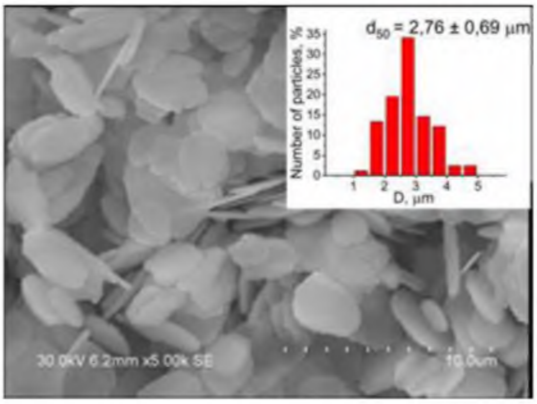
ПОЛУЧЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ СЕРЕБРА, МЕДИ, НИКЕЛЯ И ПАСТ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

А.И. Титков, Е.Ю. Герасимов, А.М. Воробьев, И.А. Мальбахова, Т.А. Борисенко, О.А. Логутенко

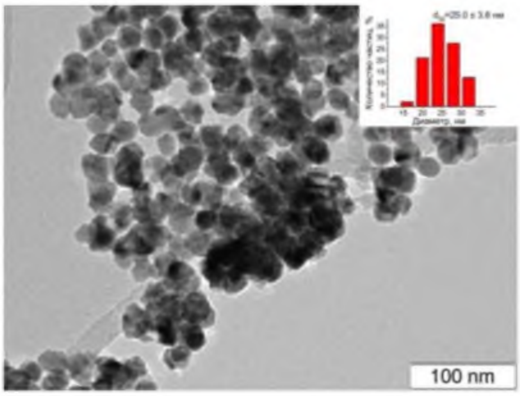
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

(научный руководитель – член Совета академик Н.З. Ляхов)

В ИХТТМ СО РАН получены нано- и микропорошки Ag, Cu, Ni и Cu-Ni с контролируемыми морфологией, гранулометрическим и элементным составом. Частицы серебра получены разного размера и формы. Показано, что средний размер частиц, полученных восстановлением линейных карбоксилатов серебра, уменьшается от 70 до 16 нм с ростом длины метиленовой цепи. Полученные порошки рекомендованы для приготовления чернил для 2D- и 3D-печати.



а

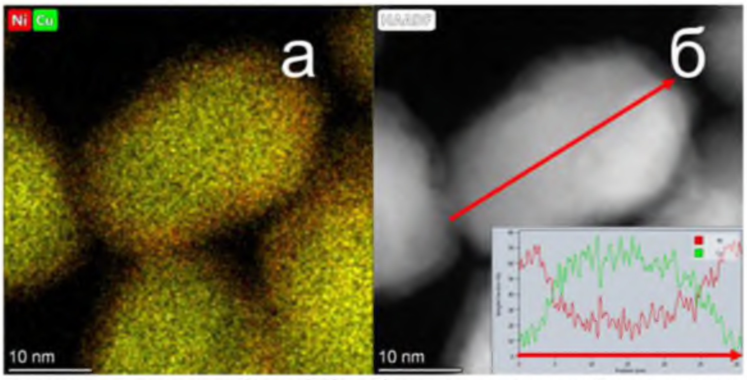


б

Микроснимки порошков микрохлопьев меди (а), полученных в результате механохимической обработки медных частиц, а также наночастиц сплава Cu-Ni (б), полученных в результате восстановления каприлата серебра в этиленгликоле и смеси каприлатов Cu и Ni в бензиловом спирте, соответственно.

В случае разветвленной структуры карбоксилата образуются частицы размером от 150 до 450 нм, которые можно использовать для приготовления электропроводящих паст для 3D печати. Получены микрохлопья меди, и на их основе разработаны составы печатных композиций (паст) для получения электронных элементов и устройств. Проведена тестовая печать пастами на полиимидной подложке с последующим лазерным отжигом.

Полученные пленки не окисляются в процессе отжига, что позволяет их использовать для изготовления токопроводящих рисунков на различных подложках. Восстановлением каприлатов меди и никеля в бензиловом спирте получены биметаллические порошки Cu-Ni сферической формы размером 20-40 нм. Показано, что обогащенная никелем оболочка частиц повышает их устойчивость к окислению.



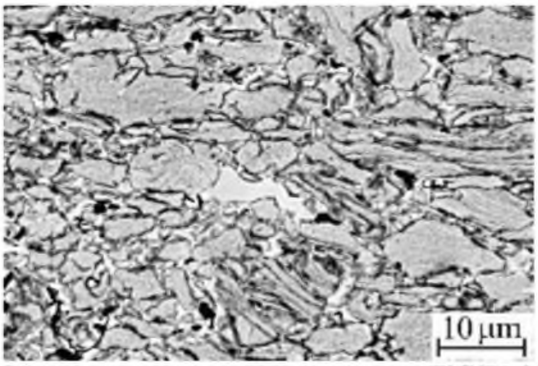
Распределение элементов Cu и Ni в биметаллической наночастице Cu-Ni

1. Титков А. И., Герасимов Е. Ю., Воробьев А. М., Мальбахова И. А., Борисенко Т. А., Логутенко О. А. Получение биметаллических наночастиц медь-никель восстановлением каприлатов в бензиловом спирте // Журнал общей химии. 2024. Т. 94, № 3. С. 450–460. DOI: 10.31857/S0044460X24030151

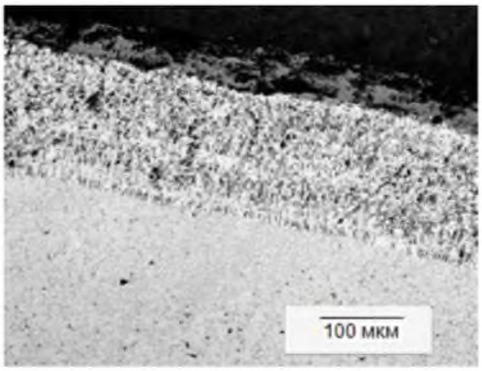
МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОЛУЧЕНИЮ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

Н.З. Ляхов с сотр.
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Развитие атомной промышленности, аэрокосмической техники, энергетики и машиностроения требует разработки новых материалов и покрытий с такими свойствами как термическая стабильность, устойчивость к высокотемпературной ползучести, высокая коррозионная стойкость, высокая усталостная прочность, износостойкость. Такими свойствами обладают металломатричные композиционные материалы, упрочненные высокодисперсными керамическими частицами.



Микроструктура композитов TiC/70 % Ni, полученных ЭИС продуктов механохимического синтеза при температуре 1100 °С



Структура поверхностного слоя механокомпозитов TiC/70 % Ni, полученных методом быстрого спекания, после термического окисления на воздухе при T=800 °С с выдержкой 100 ч

В ИХТТМ СО РАН разработан новый механохимический in situ подход к получению наноструктурированных металломатричных композитов, снимающий проблемы традиционных методов порошковой металлургии (несплошность межфазной поверхности металл/керамика, неоднородность распределения высокодисперсных керамических частиц в металлической матрице) за счет формирования высокодисперсных карбидов непосредственно в металлической матрице.

В системе Ti–C–Ni методом быстрого спекания наноструктурированного металломатричного механокомпозита TiC/Ni с 70 мас.% Ni получен материал высокой прочности, с относительной плотностью 99 % и твердостью около HV 980, имеющий существенно более высокую окислительную стойкость (до 800°С) по сравнению с традиционными никелевыми сплавами (550°С), благодаря формированию на поверхности сплошного однофазного слоя рутила.

1. Grigoreva T. F., Dudina D. V., Vidyuk T. M., Kovaleva S. A., Ukhina A. V., Devyatkina E. T., Vosmerikov S. V., Lyakhov N. Z. Structural-phase evolution during in situ mechanochemical synthesis of titanium carbide in nickel matrix // Physics of Metals and Metallogr. – 2024. – Vol. 125, No. 10. – P. 1166–1173. DOI: 10.1134/S0031918X24601240
2. Ковалева С. А., Жорник В. И., Веремей И. С., Григорьева Т. Ф., Девяткина Е. Т, Восмериков С. В., Витязь П. А., Ляхов Н. З. Исследование жаростойкости материалов на основе дисперсно-упрочненных механокомпозитов Ni/TiC // Актуальные вопросы машиноведения. – 2024. – Вып. 13. – С 52–57.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫЙ МЕТАЛЛ БЕЙНИТНОГО КЛАССА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСЛОЯ ПРИ МНОГОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКЕ ИЗНОСОСТОЙКИМИ СПЛАВАМИ

В.И. Лысак, И.В. Зорин

Волгоградский государственный технический университет

В рамках реализации развития подходов к созданию низкоуглеродистого (содержание углерода 0,1-0,2 мас.%) и низколегированного металла для промежуточных слоев в системе «износостойкий сплав – подслой – подложка из углеродистой стали» разработана система легирования C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-Al-Cu-Ti-La, обеспечивающая формирование пластичного (δ не менее 20-23 %) и прочного ($\sigma_{0.2}$ не менее 630-670 МПа) металла при наплавке термо- и износостойких сплавов на углеродистые конструкционные стали и стали инструментального назначения. Обосновано содержание элементов в рассматриваемой системе легирования, при котором достигается наилучшее соотношение между механическими свойствами и возможностью получения бейнитной структуры в широком температурном интервале $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения и скоростей охлаждения, что важно при формировании наплавленного металла в условиях повторных нагревов и охлаждений от наплавки соседних валиков.

Выявлено, что для структуры верхних слоев наплавленного металла характерно преобладание малоугловых и высокоугловых границ (рис. 1, б-в), что позволяет отнести ее к верхнему бейниту. В структуре средней части наплавленного металла увеличивается доля соседних зерен с существенно отличающимися ориентировками (001) и (111), что отражается и в увеличении доли большеугловых границ зерен в интервале 15°-50° (рис. 1, д-е; з-и). При этом в самом нижнем слое, подвергшемуся наиболее длительному термическому воздействию, увеличивается содержание вырожденного перлита (рис. 1, в). Малый размер структурных составляющих в этом слое связан с эффектом интенсификации рекристаллизационного процесса под действием предварительного отпуска от наплавки последующих слоев. В результате формируется плавное изменение твердости по высоте наплавленной композиции, что может свидетельствовать о более полном протекании релаксации термических напряжений

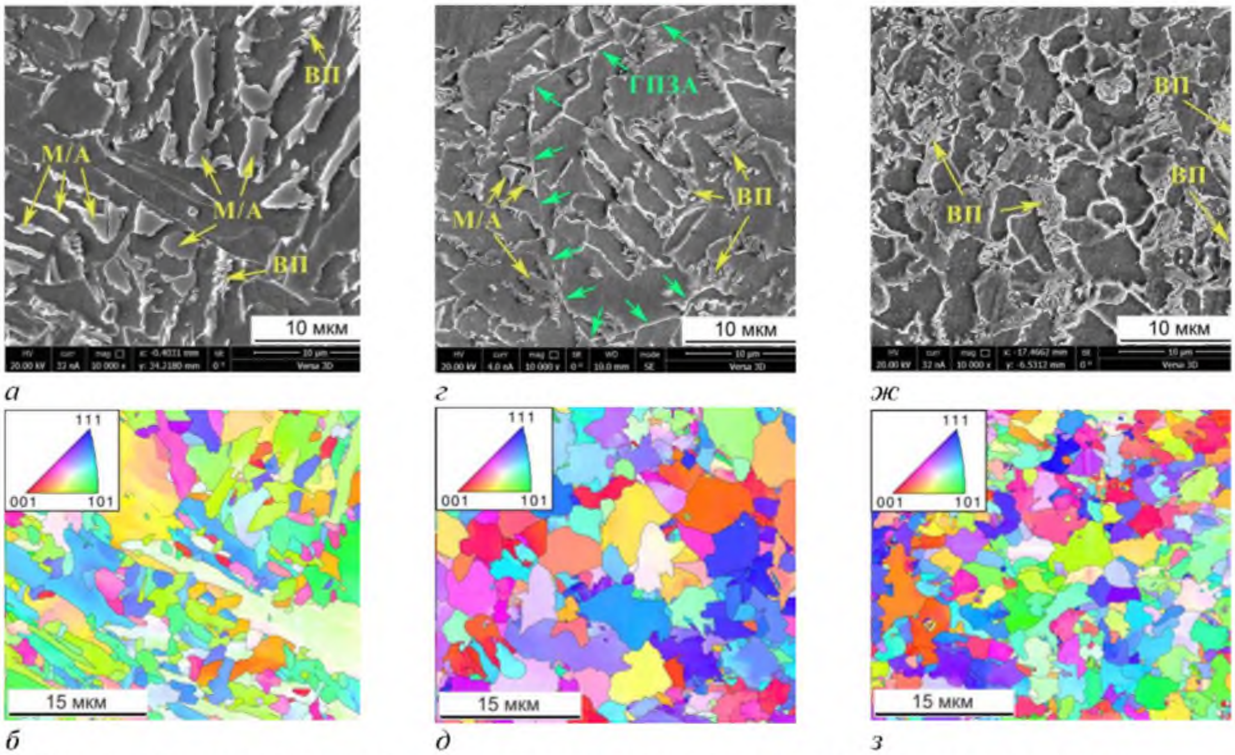


Рис. 1 – Структуры и карты распределения углов разориентации зерен в верхнем слое (*а-б*), средней части наплавленного подслоя (*г-д*) и вблизи условной линии сплавления с подложкой (*ж-з*): стрелки зеленого цвета указывают на частично оставшиеся границы первичного зерна аустенита (ГПЗА); МА – мартенситно-аустенитная составляющая; ВП – вырожденный перлит.

1. Зорин И.В., Фастов С.А, Лысак В.И. Формирование низколегированного подслоя со структурой бейнита для наплавки деталей металлургического оборудования / // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (ф. т. Сириус, 7-12 октября 2024 г.) : сб. тез. докл. В 7 т. Т. 2 / РХО им. Д. И. Менделеева [и др.]. - Москва, 2024. - С. 41.
2. Фастов С.А., Зорин И.В., Лысак В.И., Елсуков С.К., Несин Д.С. Исследование влияния основных параметров процесса наплавки колеблющимся электродом на формирование наплавленного металла бейнитного класса. Сварка и диагностика. 2024. № 4. С. 55-60. DOI: 10.52177/2071-5234_2024_04_55.

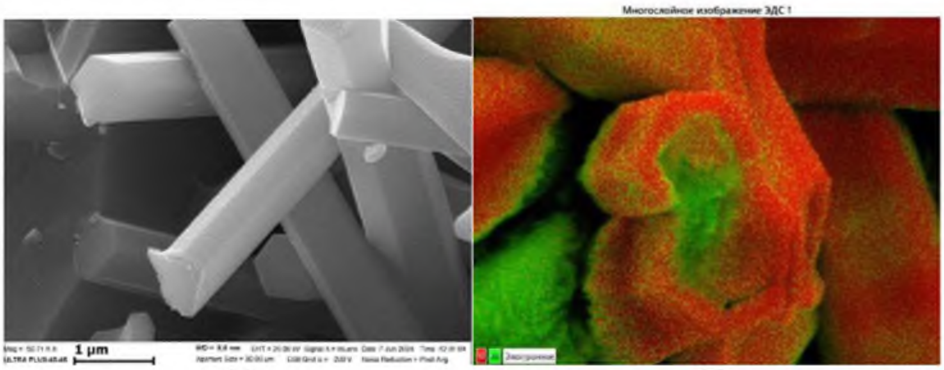
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРО- И ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ СИСТЕМЫ TI+AL+X(SIO)

А.Е. Сычев, М.Л. Бусурина, П.А. Лазарев, О.Д. Боярченко, О.В. Белоусова, И.Д. Ковалев

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им А.Г. Мержанова РАН (директор – член Совета член-корреспондент РАН М.И. Алымов)

В рамках данной работы впервые исследованы особенности структуро- и фазообразования в системе Ti-Al-SiO_2 с различным содержанием SiO_2. Продукты горения образцов составов (Ti-3Al-5 масс. % SiO_2) и (Ti-3Al-10 масс. % SiO_2) представлены основной фазой на основе твердого раствора Ti(Al,Si)3, вторичными фазами Al_2O_3, Ti_5Si_3

(PDF No 29-1362, гексагональная, пр. гр. P63/mcm) и незначительным количеством непрореагировавшего алюминия Al. Установлено, что при горении образцов составов Ti-3Al-15 масс. % SiO_2 и Ti-3Al-20 масс. % SiO_2 происходит образование следующих фаз - $Ti(Al,Si)_3$, Al_2O_3, Ti_5Si_3, Si и остается непрореагировавший алюминий Al. В синтезированном композиционном материале на основе твердого раствора $Ti(Al,Si)_3$, в его объёме формируются кристаллы Ti_5Si_3 (Рис. 1).



(а) (б)

Рисунок 1. Микроструктура гексагонального кристалла Ti_5Si_3 типа «ядро-оболочка» (а) и распределение элементов Al и Ti по объёму гексагонального кристалла (б).

Эти кристаллические структуры представляют собой стержнеобразные гексагональные призмы диаметром около 1-2 мкм и отношением длины к диаметру около 5~25. Отмечено, что многие кристаллы Ti_5Si_3 имеют структуру «оболочка-ядро», где центральная часть образована фазой твердого раствора $Ti_5(Al,Si)_3$. Внутренняя область («ядро») стержнеобразных гексагональных кристаллов обогащена алюминием, что может положительно сказаться на увеличении пластичности материала. Гексагональные кристаллы Ti_5Si_3 формируют пространственный каркас, представляющий собой сетчатую структуру, по форме напоминающую «птичье гнездо».

1 А.Е. Сычев, М.Л. Бусурина, П.А. Лазарев, О.Д. Боярченко, О.В. Белоусова, И.Д. Ковалев. Особенности взаимодействия в системе Ti-Al-SiO2 в процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: рост гексагональных кристаллов $Ti5(Al,Si)_3$. // Материаловедение, 2024, (принята в печать).

СИНТЕЗ ЛИТЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Mo-Nb-Ta-(Cr, V, Ti, Zr, Hf, Dy) МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СВС-МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ КОМПОЗИТОВ СПЛАВ/ОКСИДНОЕ-ВОЛОКНО

В.Н. Санин[1], Д.М. Икорников[1], С.Т. Милейко[2]

[1]Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН

[2]Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН

Разработка новых материалов способных к длительной эксплуатации при более высоких температурах, чем эксплуатируемые коммерческие сплавы на основе никеля (1100 °C), является ключевой проблемой дальнейшего повышения эффективности силовых установок турбинного типа. Поисковые исследования в этом направлении материаловедения ведутся во всех экономически развитых странах и по существу являются фундаментом развития сразу нескольких высокотехнологичных и инновационных отраслей промышленности: авиационное двигателестроение (ГТД), газотурбинные энергетические установки наземного типа (ГТУ) для энергогенерации и транспорта газа, малые энергетические установки различного применения в образцах современной и перспективной техники и др.

Перспективными базовыми материалами для дальнейшего развития конструкционных, высокотемпературных материалов (КВМ) является использование металлов с более высокой температурой плавления (Mo и Nb), структурно упрочненные дисперсионными выделениями на основе силицидов, интерметаллидов и карбидов.

Однако КВМ должны обладать комплексом свойств включая три основные характеристики: (1)-жаропрочность (сопротивление ползучести), (2)- трещиностойкость и (3) сопротивление окислению (коррозии), что затруднительно совместить т.к. имеется образная взаимосвязь между упрочнением сплавов и падением пластичности и трещиностойкости.

Для решения этих задач, наиболее перспективным направлением развития КВМ является разработка новых мультикомпонентных сплавов, получивших название высокоэнтропийные сплавы (ВЭС). ВЭС разрабатываемые для высокотемпературной эксплуатации формируются преимущественно из тугоплавких элементов (таких как Nb, Ta, Mo, W, Ti, Zr, Re, Cr, V и Hf). Вследствие высокой температуры плавления составляющих элементов, такие ВЭС проявляют высокие прочностные характеристики при повышенных температурах, однако успешно действующие коммерческие технологии для получения никелевых жаропрочных сплавов здесь практически не применяемы вследствие более высоких температур плавления компонентов и их высокой химической активности.

В рамках настоящей работы преследовалось решение 2х основных задач:

(1) Разработка энерго- и ресурсосберегающего метода получения литых ВЭС на основе тугоплавких металлов. Для решения этой проблемы, в настоящей работе впервые исследована возможность получения литых ВЭС на основе тугоплавких металлов, методами центробежной СВС-металлургии, одного из технологических направлений в области самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Используя данный метод, впервые были получены литые ВЭС, на основе базовой системы состоящей из тугоплавких металлов Mo-Nb-Ta, легированных металлами (Cr, V, Zr, Hf, Ti, Dy, La) непосредственно (in-situ) СВС. Показано, что кристаллизация слитков происходит из жидкого состояния, в котором обеспечивается гомогенное распределение элементов Mo-Nb-Ta-(Cr, V, Zr, Hf, Dy, La).

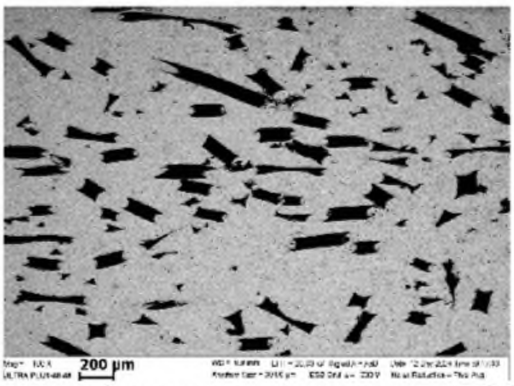


Рисунок 1. Микрофотография структуры композита ВЭС (MoNbTaCrV) / волокна эвтектического состава Al_2O_3-$Al_5Y_3O_{12}$

Синтез ВЭС проводился с использованием СВС-систем термитного типа, содержащих порошкообразные оксиды целевых элементов. Процесс горения составов проводился на новой центробежной СВС-установке оригинальной конструкции, не имеющей аналогов в мире. Полученные данные показали, что для синтеза исследуемых сплавов целесообразно использовать интервал значений перегрузки от 50 до 100g.

Визуальный анализ слитков ВЭС показал, что все образцы синтезированных сплавов имели литой вид. Анализ элементного состава, показал, что все целевые элементы присутствуют в составе синтезированных ВЭС, а их отклонение от расчетных концентраций не превышает 1-2 масс. %. Использование лигатур Zr-Mo и Hf-Mo позволило минимизировать взаимодействие в волне горения таких химически активных компонентов сплава как Zr и Hf, что обеспечило их присутствие в составе ВЭС с незначительным отклонением от расчетных значений.

Сравнительный анализ данных РФА показал, что фазовый состав полученных ВЭС сплавов может быть, как однофазным, где присутствуют интенсивные рефлексы *bcc* фазы, а также может иметь в сплаве несколько *bcc* фаз, где также наблюдаются слабые рефлексы fcc фазы и *hcp* фазы. Состав фаз зависит от набора элементов, входящих в состав синтезируемых сплавов.

Исследование окислительной стойкости ВЭС (при 1000 °С в атмосфере воздуха) выявило, что в зависимости от состава ВЭС характер окисления меняется. Наибольшую окислительную стойкость показали сплавы MoNbTaCrTi и MoNbTaCrV. Распределение элементов (EDS) вблизи границы окисленный слой/ВЭС показало, что наибольшее падение концентрации в составе окисленного слоя наблюдается для Mo. Элементы Nb, Ta, Cr, V и Ti сохраняют свои концентрации переходя в окисленное состояние и образую комплексные оксиды ($CrTaO_4$, $CrNbO_4$).

(2) Исследование совместимости оксидного волокна и высокоэнтропийной матрицы из синтезированны сплавов и поиск технических решений для получения нового класса высокотемпературных композитов в сочетании оксидное волокно/высокоэтропийные сплавы.

В рамках первого этапа разработки композитов оксидное волокно/ВЭС матрица, были проведены исследования по совместимости потенциальных компонентов композитов. Для формирования матрицы были использованы два состава (в виде порошковых композиций): базовый сплав MoNbTa и сплав MoNbTaCrV. Волокна были сформированы из эвтектического состава Al_2O_3-$Al_5Y_3O_{12}$ произведённые методом внутренней кристаллизации. Наблюдение микроструктур композитов, полученными в различных технологических режимах, указывают на взаимодействие компонентов на границе раздела, определяющее потенциально высокую прочность границы волокно-матрица, необходимую для получения композитов с высокой крипостойкостью. Поиск оптимальных режимов спекания потребовал тщательной проработки технологии получения композитов, приведшее в итоге к необходимости разработки многостадийной технологической схемы, основы которой были разработаны. В частности, для композита, с матрицей MoNbTaCrV (Рис.1), технологический режим, состоящий из горячего прессования при 1500°С и последующего спекания при 1750°С представляется на данном этапе наиболее оптимальным.

1. V.N. Sanin, D.M. Ikornikov, A.O. Sivakova, D.Y. Kovalev, O.A. Golosova. Gravity-Assisted SHS Metallurgy of Cast High-Entropy Mo–Nb–Ta–(Cr,V,Zr,Hf) Alloys. International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis, 2024, Vol. 33, No. 4, pp. 308–318. DOI: 10.3103/S1061386224700298.
2. D. M. Ikornikov, O. A. Golosova, S. L. Silyakov, and V. N. Sanin. Effect of Doping with Si–B on the Structure of Cast Mo–Nb–Cr–V–Ti–Al High-Entropy Alloy Produced by Gravity-Assisted SHS Metallurgy. International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis, 2024, Vol. 33, No. 4, pp. 330–335. DOI: 10.3103/S1061386224700341.
3. В.Н. Санин, С.Б. Бабкин, А.А. Колчин, И.Д. Петухов, С.Д. Иванов, Д. Икорников. О совместимости оксидного волокна и высокоэнтропийной матрицы в композите. Композиты и Наноструктуры. Том 16, выпуск 4 (2024), стр.323-331. doi.org/10.36236/1999-7590-2024-16-4-323-331.

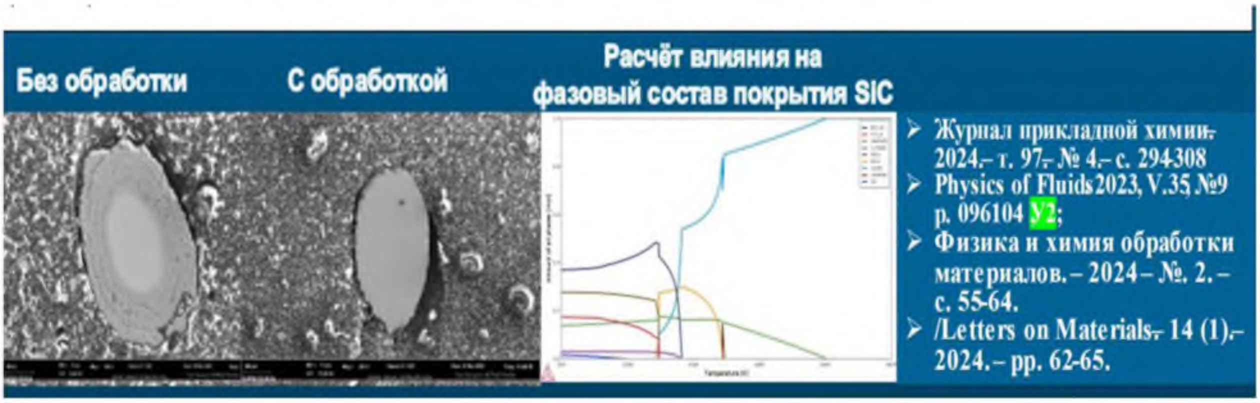
ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЖАРОСТОЙКИХ СПЛАВОВ К ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ В ПРОЦЕССЕ МАТРИЧНОЙ КОНВЕРСИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Ю.Р. Колобов

ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

С использованием современных высокоразрешающих структурных аналитических методов исследований в сочетании с компьютерным моделированием изучены закономерности и физико-химические механизмы эволюции структуры и фазового состава сплавов систем Fe-Cr-Al и Fe-Cr-Ni в условиях высокотемпературного окисления на воздухе, а также в установках для некаталитической конверсии углеводородных газов, где такие сплавы используются в качестве материала проволочных газопроницаемых матриц. Исследовано влияние легирующих элементов (Al, Cr) на процессы эволюции структурно-фазового состояния и формирование поверхностных оксидных слоев исследуемых сплавов в рассматриваемых условиях.

Эксперименты проводили на демонстрационной установке матричной конверсии. Окислению подвергали сжиженный пропан-бутан технический (СПБТ, ГОСТ 20448–90). В качестве окислителя использовали смесь сжатого воздуха и технического кислорода. Рабочие параметры процесса: давление в реакторе – 1 атм, температура на поверхности матрицы (температура поверхностного горения – 10000С, концентрация кислорода в исходной смеси – 25÷28%. Суммарная длительность эксперимента составила 37 часов. В результате проведённого исследования кинетики процесса поверхностного горения показана его стабильность в течение всего времени исследования. При этом состав получаемого синтез-газа меняется незначительно.



Изучены процессы деградации структуры и свойств исследуемых сплавов при высоких температурах, в том числе в агрессивных средах с повышенным (до 28%об.) содержанием кислорода в процессе горения. Установлено, что в таких условиях основным фактором, определяющим развитие высокотемпературной коррозии данных сплавов, также является формирование поверхностных оксидных слоев.

На примере сплава Fe-Cr-Al показано, что лазерная обработка способствует формированию поверхностного защитного слоя оксида алюминия (Al2O3) толщиной около 2 мкм, который обеспечивает значительное замедление процессов деградации материала даже в условиях эксплуатации при температуре до 1000°С, в том числе в среде с повышенным содержанием кислорода.

Эффективность комбинированной обработки, включающей нанесение на их поверхность эмульсии карбида кремния с последующим облучением лазерным пучком с наносекундной длительностью импульсов, продемонстрирована на примере сплава Fe-Cr-Ni, для которого такая обработка обеспечивает формирование тонкого защитного карбооксидного слоя, который значительно снижает скорость окисления материала при высоких температурах. Исследования, подтвержденные расчетами CALPHAD, показали, что модифицирование исследуемых сплавов с образованием защитного покрытия на основе карбида кремния и, в общем случае, формирование фаз карбидов металлов в приповерхностных слоях сплавов (или изделий из них) эффективно повышают их жаро- и коррозионную стойкость в рассматриваемых условиях при температурах до 1000°С.

В результате проведённого исследования показана стабильность процесса поверхностного горения – парциального окисления на поверхности модифицированной газопроницаемой матрицы – в течение всего времени исследования. При этом состав получаемого синтез-газа меняется незначительно.

Разработан способ повышения жаростойкости исследуемого класса сплавов путем проведения описанной выше комбинированной обработки. Такая обработка обеспечивает формирование защитного тонкого поверхностного оксидного слоя, что в 2-3 раза снижает скорость окисления исследованных сплавов при температуре 1000°С, в том числе в агрессивной среде с повышенным (до 28%об.) содержанием кислорода.

1. Д. О. Фролов, Д. М. Левин, С. С. Манохин, Ю. Р. Колобов, С. В. Овсепян Исследование высокотемпературного фона внутреннего трения в азотированном жаропрочном сплаве на основе никеля // Физика и химия обработки материалов. – 2024 – №. 2. – с. 55-64. DOI: 10.30791/0015-3214-2024-2-55-64, (URL публикации https://elibrary.ru/item.asp?id=68516801, дата обращения: 09.11.2024);
2. Yu.R. Kolobov, B. S. Bokstein, M.G. Tokmachev, A.O. Rodin, S. S. Manokhin, A.Yu. Tokmacheva-Kolobova, S.V. Ovsepyan Growth of hardening nitride phase particles in a Ni-Co-Cr-Ti alloy during annealing //Letters on Materials.– 14 (1).– 2024. – pp. 62-65. https://lettersonmaterials.com/Upload/Journals/42605/kolobov_et_al_proofs_u.pdf https://doi.org/10.22226/2410-3535-2024-1-62-65 (URL публикации https://lettersonmaterials.com/en/Readers/Article.aspx?aid=42605, дата обращения: 09.11.2024);
3. Озерский А.В., Отнельченко В.В., Никитин А.В., Фокин И.Г., Арутюнов В.С., Манохин С.С., Неласов И.В., Колобов Ю.Р., Седов И.В. Влияние состава окислителя на матричную конверсию пропан-бутановой смеси и деградацию фехралевой матрицы // Журнал прикладной химии. – 2024. – Т. 97. – №. 4. – С. 294-308. (URL публикации https://journals.rcsi.science/0044-4618/article/view/268512, дата обращения: 09.11.2024);

ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЕ СТАЛИ ДЛЯ АКТИВНЫХ ЗОН РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А.А. Никитина[1], А.В. Дуб[2]

[1]АО «ВНИИНМ»

[2] Частное учреждение по обеспечению научного развития атомной отрасли "Наука и инновации"

Дисперсно-упрочненными сплавами называют композиционные материалы, в которые на одной из технологических операций искусственно вводят высокодисперсные равномерно распределенные частицы, не взаимодействующие активно с матрицей и не растворяющиеся в ней заметно вплоть до температур плавления фаз.

В настоящее время ферритные/феррито-мартенситные стали дисперсно-упрочненные оксидами (ДУО-стали) рассматриваются как кандидатные материалы активной зоны ядерных реакторов на быстрых нейтронах, прежде всего для оболочек твэлов. Данный класс материалов обладает уникальным комплексом свойств: высокой радиационной стойкостью, термической стабильностью, а также повышенными механическими характеристиками и коррозионной стойкостью. Обеспечение необходимых параметров в ДУО-сталях достигается за счет введения в данные материалы оксидных частиц различного состава с относительно гомогенным распределением, которые обладают достаточной стабильностью под действием эксплуатационных факторов – нейтронного облучения при повышенных температурах.

ДУО стали различного состава являются безальтернативным материалом для оболочек твэлов перспективных активных зон РБН, рассчитанным на целевые параметры твэлов БН-1200 М и БР-1200 на 2-м и 3-м этапах эксплуатации.

В АО «ВНИИНМ» был разработан материал для оболочечных труб из ДУО-стали на базе системы Fe-Cr-Al с высокой длительной прочностью при температуре 750 ^oC и механическом напряжении 200 Мпа и высокой радиационной стойкостью (150 сна). Благодаря своим свойствам применение таких материалов в качестве оболочек твэлов позволит увеличить топливную кампанию реакторов на быстрых нейтронах в 1,5 раза за счет увеличения ресурса твэла.

Для достижения технологического суверенитета РФ в ключевых отраслях промышленности впервые в России были изготовлены трубы размером 9,7×0,5 мм из ДУО низкохромистой стали и стали Х14Ю4В2СТ ДУО (Рисунок 1).

Рисунок 1 - Оболочечные трубы из ДУО сталей

Детальное изучение полученных образцов показало, что микроструктура сталей Х14Ю4В2СТ ДУО и ДУО низкохромистой алюминий содержащей стали характеризуется наличием равномерно распределенных оксидных частиц Y-Zr-Al-Si-Ti-O со средним размером ~10 нм и концентрацией ~ 5~1021 $м^{-3}$. Наличие таких частиц в структуре приводит к существенному увеличению прочностных характеристик ДУО сталей по сравнению с матричными (на 15-20%)

На сегодняшний день проводятся длительные механические испытания на термическую ползучесть образцов из стали Х14Ю4В2СТ ДУО, которые показывают ее существенное преимущество по жаропрочности по сравнению с традиционными ферритными и ферритно-мартенситными сталями. Так, например, даже при температуре 750 °С и напряжении 60 МПа образцы отстояли свыше 1000 часов и испытания продолжаются.

По результатам лабораторных исследований создается опытное производство оболоченных труб из ДУО сталей. В дальнейшем планируется разработать и изготовить твэлы с оболочками из ДУО сталей для реакторов 4-го поколения, что позволит повысить безопасность и экономическую эффективность технологий атомной энергогенерации и вывести их на новый уровень.

1. Никитина А.А., Цветкова Е.В., Иванов К.А. Коррозионная стойкость ДУО ферритно-мартенситных сталей в свинцовом теплоносителе. ВАНТ, Серия Материаловедение и новые материалы. Т. 4(92), 2018 г.
2. Фролов А.С., Кулешова Е.А., Гурович Б.А., Никитина А.А., Мальцев Д.А., Федотова С.В., Сафонов Д.В. Стабильность оксидов системы Y-Ti-O в реакторных материалах в условиях нейтронного облучения при повышенных температурах. Вопросы материаловедения. –2022. –№ 3 (111). –С. 109-130.
3. S. V. Rogozhkin, A. A. Khomich, A. A. Nikitin, A. A. Bogachev, A. V. Klauza, P. A. Fedin, K. E. Pryanishnikov, T. V. Kulevoy, A. A. Lukyanchuk, O. A. Raznitsyn, A. S. Shutov, N. A. Iskandarov, A. G. Zaluzhny, M. V. Leontyeva-Smirnova, A. A. Nikitina. Study of the Radiation Hardening Mechanisms of Heat-Resistant Oxide Dispersion Strengthened Steels in Accelerated Tests Using Ion Irradiation and Ultramicroscopic Analysis. ISSN 1063-7788, Physics of Atomic Nuclei, 2024, Vol. 87, No. 9, pp. 1–24.

ВОЛОКНО ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

А.В. Глебов[1], А.В. Дуб[2]
[1]АО «ВНИИНМ»
[2] Частное учреждение по обеспечению научного развития атомной отрасли "Наука и инновации"

Глобальным трендом последнего десятилетия в части разработок новых материалов для атомной энергетики является разработка толерантного топлива – топлива, устойчивого к запроектным авариям с потерей теплоносителя. Применение карбида кремния в качестве материала оболочки твэла является единственным решением, которое полностью исключает возможность образования пароциркониевой реакции.

При создании труб-оболочек твэлов на основе карбида кремния используется SiC-волокно, которое на данный момент производится в Японии и США, а так как это является продуктом двойного назначения, то, соответственно, возможность поставки такого волокна в Российскую Федерацию отсутствует.

Применение SiC-волокна и композитов на его основе является также актуальным для решения задач гражданского самолетостроения.

Развитие гражданского самолётного двигателестроения привело к увеличению диаметра турбин, в результате чего выросла центробежная нагрузка на лопатки двигателя. Металлические лопатки перестали выдерживать подобные нагрузки, поэтому лидеры отрасли перешли на использование композитных лопаток, обладающих повышенной прочностью, приведенной к массе изделия.

Использование наиболее современных материалов необходимо для обеспечения технологического развития авиационной отрасли в России, без композитных решений невозможно создать конкурентно-способный двигатель для гражданского самолёта.

Карбид кремния является материалом с выдающимися показателями, поэтому его применение актуально практически во всех отраслях промышленности.

В АО «ВНИИНМ» Была разработана технология изготовления SiC-волокна с содержанием кислорода < 1 %, σ=2,6-3,4 ГПа, Термостойкость 1200 °С. Длинной не менее 5 м. (Рисунок 1).

Были отработаны режимы формования полимерного волокна с применением прекурсоров МПКС с различными температурами размягчения и молекулярной массой. Для получения нити с увеличенным числом филаментов (не менее 100) использовались модернизированный блок формования и фильера с 500 отверстиями и параметром капилляра 200 мкм. Количество филаментов в нити определялось количеством отверстий в фильере и составляло, соответственно, 500 филаментов. После карбидизации карбидокремниевые волокна имели ø 12 - 35 мкм, блестящую поверхность и приобретали черный цвет с оттенками синего и коричневого, наблюдалась усадка (до 23 %).

Рисунок 1. SiC волокно

В дальнейшем планируется разработка твэлов из карбида кремния, что позволит повысить безопасность технологий атомной энергогенерации и вывести их на новый уровень, позволит расширить географию использования отечественных электростанций.

В долгосрочной перспективе развитие направления приведет к использованию волокна на основе карбида кремния в одном ряду с привычными сегодня материалами, такими как углеродные волокна, полиарамидные волокна, стекловолокна.

Внедрение новых отечественных материалов расширит возможности конструкторов во всех отраслях науки.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ОБОЛОЧКИ ТВЭЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАЗОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕАКТОРАХ ТИПА ВВЭР И PWR

А.В. Глебов[1], А.В. Дуб[2]
[1] АО «ВНИИНМ»
[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

С целью повышения безопасности эксплуатации АЭС в России и в мире активно ведутся работы по разработке толерантного топлива и соответствующих оболочек топлива для атомных реакторов.

Среди инновационных материалов оболочек ATF-твэлов для реакторов типа ВВЭР выделяются композиционные материалы на основе карбида кремния (SiC). Их основными преимуществами являются низкое сечение захвата тепловых нейтронов (0,13 барн), высокая температура плавления, коррозионная стойкость на воздухе и в паре при температурах до 1700 °С, высокотемпературная прочность, низкая ползучесть.

Рисунок 1. Макет трубы-оболочки композиционного твэла

В ходе выполнения работ разработана технология изготовления композиционных оболочек твэлов (рисунок 1) на основе карбида кремния в обеспечение газонепроницаемости изделий применительно к эксплуатации в реакторах типа ВВЭР и PWR. Проведено моделирование твэла с оболочкой из композита на основе карбида кремния, в том числе и использованием разработанных концевых элементов и паянного соединения, разработана технология их изготовления (рисунок 2).

Замена циркониевых твэлов на композитные позволит повысить безопасность реакторов ВВЭР

Рисунок 2. Образцы концевых элементов SiC с нанесенным покрытием SiC из газовой фазы

КОМПЛЕКС ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ И КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.В. Сидоров[1], А.В. Дуб[2]
[1] ООО «РосАТ»
[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

Данная работа направлена на обоснование применения аддитивных технологий для производства элементов ядерной энергетической установки (ЯЭУ), изделий атомной энергетики, авиационной и топливной отраслей методом аддитивной технологии по типу прямого лазерного выращивания (далее – установка ПЛВ).

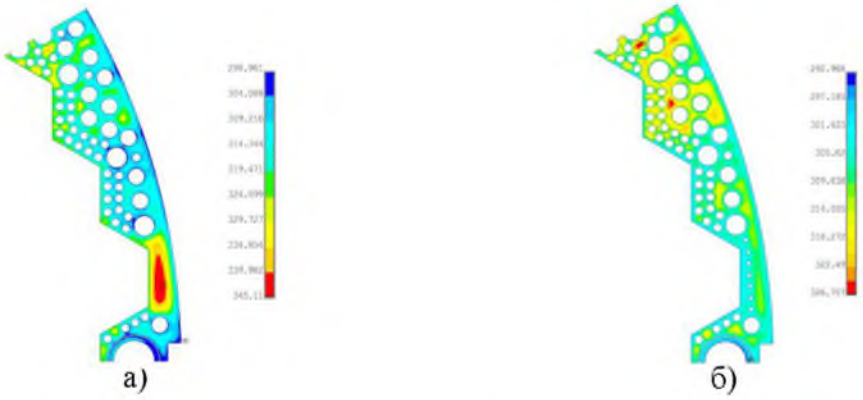


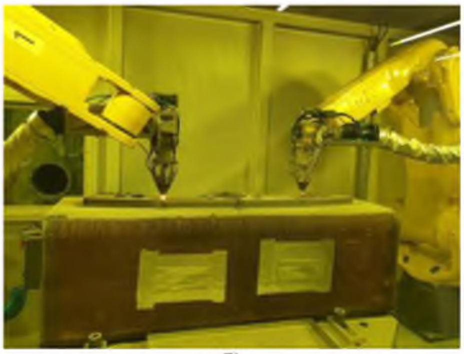
Рисунок 1. Температурное поле выгородки без оптимизации отверстий (а) и с оптимизацией отверстий (б)

Актуальную задачу повышения срока эксплуатации выгородки водоводяного энергетического реактора (далее – ВВЭР), работающей в самых жестких условиях, возможно решить за счёт снижения рабочей температуры эксплуатации – путём оптимизации конструкции кольца выгородки. Для этого была проведена оптимизация конструкции внутрикорпусного устройства (далее – ВКУ). Результаты работы утверждены Генеральным конструктором АО ОКБ «Гидропресс» согласно результатам расчёта температурных полей (рисунок 1) оптимизированной конструкции выгородки реактора ВВЭР. Удалось снизить максимальную температуру в металле выгородки на 35 °С, а перепад по наиболее температурно-напряженному сечению выгородки на 30 °С.

Изготовлен экспериментальный образец установки ПЛВ (рисунок 2):

- максимальные размеры выращиваемого изделия: высота не менее 1000 мм, диаметр не менее 2000 мм;
- система автоматического управления с двумя манипуляторами;
- размер участка занимаемого оборудования 9000×6000 мм;
- производительность экспериментальной установки по марке стали 08Х18Н10Т от 1,2 кг/час.

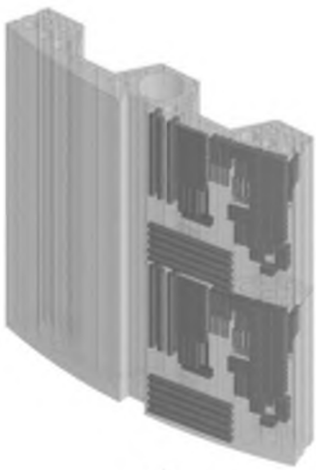
а)



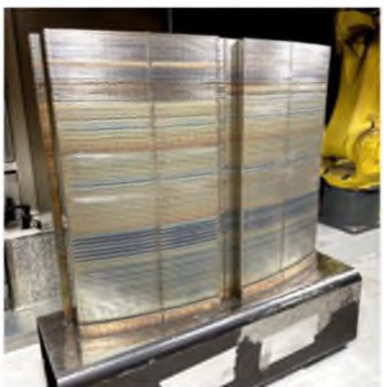
б)

Рисунок 2. Экспериментальный образец установки прямого лазерного выращивания. Внешний вид установки (а) и зона построения (б)

Проведены испытания экспериментального образца установки ПЛВ по программе и методике головной материаловедческой организацией НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», согласованной главным конструктором целевого изделия АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (рисунок 3а). Испытания включали исследование радиационного распухания образцов после облучения на ионном ускорителе.



а)



б)

Рисунок 3. Схема вырезки образцов (а) и напечатанный фрагмент выгородки активной зоны атомного реактора ВВЭР-ТОИ (б)

Изготовлен фрагмент ВКУ сегментом 34 градуса от полного кольца выгородки высотой 1000 мм с применением двух непрерывно работающих технологических инструментов установки ПЛВ (рисунок 7б).

Результаты проведенных испытаний и исследований свойств материала и элемента конструкции фрагмента ВКУ, полученного по технологии ПЛВ из стального порошка марки 08Х18Н10Т позволяют сравнить их со свойствами выгородки ВКУ, изготовленной из стали марки 08Х18Н10Т по технологии ковки (таблица 1).

Основные значения характеристик соответствуют установленным требованиям к материалу, получаемому традиционными способами изготовления, согласно нормативной документации, тем самым подтверждена целесообразность и обоснована возможность изготовления изделий атомной энергетики, авиационной и топливной отраслей методами ПЛВ.

Таблица 1 – Механические свойства образцов из металла напечатанного фрагмента выгородки активной зоны атомного реактора ВВЭР-ТОИ в сравнении с требованиями к выгородке, изготовляемой традиционными методами

Параметр	Тем-ра, °С	σ_B, МПа		σ_{02}, МПа	σ_B / σ_{02}	δ_5, %	ψ,%
Требования ОСТ 108.109.01-92	20	490		195	2,5	35	40
	350	335		155	2,2	25	40
Напечатанный фрагмент выгородки активной зоны атомного реактора ВВЭР-ТОИ	20	гор.	566	266	2,1	66	82
	350	гор.	414	170	2,4	42	71
	20	верт.	542	280	1,9	65	82
	350	верт.	390	176	2,2	44	73

При этом заметно снижаются производственные издержки, материалоемкость и количество технологических операций. Стоимость изготовления снижается незначительно с 30,6 до 29,4 млн. руб. соответственно, однако срок изготовления уменьшается с 127 до 97 дней соответственно для традиционной и технологии ПЛВ.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛАЗЕРНЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ И ПРЯМАЯ НАПЛАВКА МЕТАЛЛА) С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, А ТАКЖЕ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ (ВИРТУАЛЬНЫЙ 3D-ПРИНТЕР. 2.0)

А.Н. Быков[1], А.В. Дуб[2]
[1] ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

Продолжается разработка программного обеспечения CAD/CAE/CAM класса «Виртуальный 3D-принтер», представляющим собой комплекс цифровых инструментов для лазерных аддитивных технологий.

В части блока программ «Проектирование» (CAD) реализована функциональность для генерации поверхностных и объёмных сеток, визуализации сложных деталей (заданных в виде деревьев неявной геометрии) и модуль для проведения сравнения двух STL-моделей. Разработаны окна-помощники для упрощения выполнения последовательности операций пользователем оборудования.

В части блока программ «Моделирование» (CAE) разработаны программные модули для мультимасштабного моделирования материалов и процессов применительно к технологии прямого лазерного выращивания. (Рисунок 1)

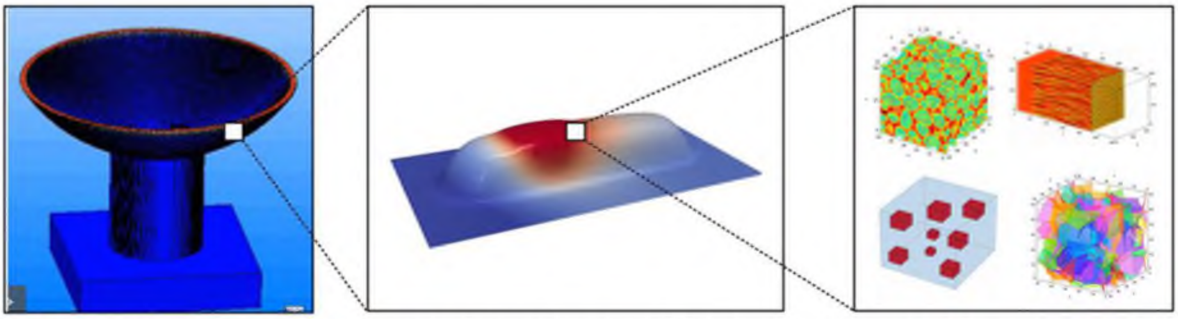


Рисунок 1. Мульти-масштабное моделирование процесса прямого лазерного выращивания

Программные модели макроуровня предназначены для моделирования термодеформационных процессов в объёме всей детали с целью минимизации короблений.

Программные модули мезоуровня позволяют получить детальную картину распределения материала в области сплавления: распределение металлопорошковой композиии на выходе из сопла, характеристики взаимодействия порошка с лазерным излучением и в конечном счёте – характеристики качества сплавления порошка в расплавленной ванне.

На микроуровне, разработанные модули выполняют моделирование эволюции микроструктуры, разработаны методы расчёта термодинамических функций многокомпонентных металлических сплавов, процессов затвердевания многокомпонентных сплавов и выделения вторичных фаз.

Также, в 2024 году разработан специализированный модуль, который позволяет связать мультимасштабные модели между собой для прогнозирования микроструктуры и свойств материала в любой заданной точке изделий аддитивного производства.

В части блока программ «Производство» разработана функциональность для процессов ПЛВ в части размещения детали на столе, расчёта траектории движения инструмента и генерации управляющего кода.

В 2025 году планируется верификация разработанных программных модулей в сравнении с результатами экспериментальных исследований, а также апробация разработанного программного продукта для решения пилотных отраслевых задач.

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

И.А. Иванов[1], А.В. Юдин[1], А.В. Дуб[2], А.А. Жедаев[2], Т.А. Тихоновская[2]

[1] АО НПО «ЦНИИТМАШ»

[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

Специалисты АО НПО «ЦНИИТМАШ» завершили разработку 3D-принтера, работающего по технологии селективного лазерного плавления. Технология представляет собой нанесение каждого отдельного слоя металла поверх предыдущего, при этом площадь каждого слоя может значительно отличаться от другого, что является причиной образования сложного температурного профиля в объеме изделия при его построении. В связи с тем, что под воздействием лазерного излучения на порошковый слой материал многократно переходит из твердой фазы в жидкую и обратно, а скорость охлаждения составляет 10^4–10^5 К/с, необходимо уделять внимание вопросу влияния на материал температурных градиентов, которые при кристаллизации расплавленного металла вызывают внутренние напряжения, что приводит к деформациям деталей, а также к образованию трещин и расслоений из-за термического расширения, что является одним из недостатков технологии.

Одним из эффективных методов снижения внутренних напряжений в деталях является контроль температуры в зоне построения, что стало возможным благодаря разработке установки высокотемпературного селективного лазерного плавления (ВТСЛП) производства АО НПО «ЦНИИТМАШ» с возможностью подогрева плиты и стенок колодца построения до 800^o и выше. Габариты рабочей зоны и функция подогрева стенок колодца отличают отечественную установку от импортных аналогов, что позволяет изготавливать изделия диаметром D = 350 мм и высотой h = 320 мм, а также проводить in-situ термообработку в составе установки для предотвращения образования дефектов при остывании изделия после процесса СЛП.

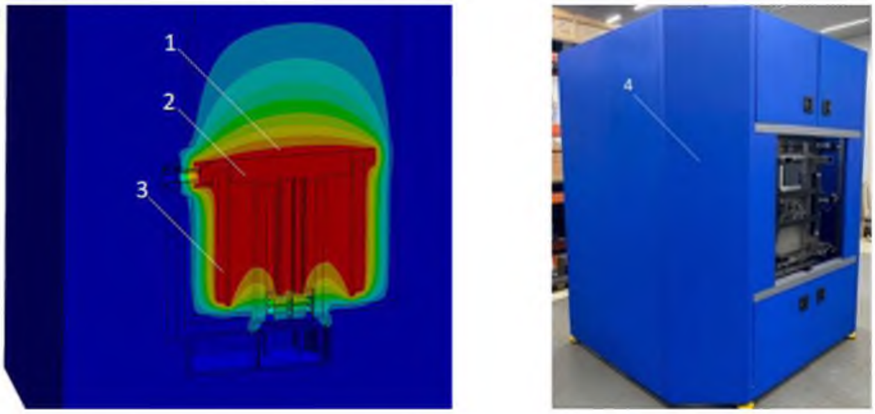


Рис.1. 1). Зона плавления порошка. 2). Подогреваемая платформа построения. 3). Подогреваемые стенки колодца построения. 4). Внешний вид установки ВТСЛП.

В ходе сравнительных испытаний технологии высокотемпературного селективного лезерного плавления с технологией селективного лазерного плавления без подогрева было установлено, что повышение температуры нагрева рабочей зоны приводит к снижению интенсивности теплоотвода, поэтому ванна расплава застывает медленнее, что приводит к замедлению роста кристаллов. При этом в сформированной структуре наблюдаются более вытянутые зерна (длиной до 4-5 мкм), в отличие от процесса без предварительного нагрева (с длиной зерен до 1,5-2 мкм), что свидетельствует об увеличении тенденции к продолжению роста существующих зерен и уменьшении образования новых. Образование новых зерен нарушает эпитаксиальный рост ранее сформированных зерен. Если новое зерно хорошо ориентировано вдоль направления роста (в случае никелевых сплавов это ориентация (001) вдоль направления роста), то его рост будет продолжаться. В противном случае оно будет вытеснено конкурентным ростом соседних зерен. Кроме того, было установлено, что наличие предварительного нагрева выше 800 °C снижает пористость материала и позволяет расширить диапазон параметров лазерного излучения для обеспечения плотной структуры материала в детали (не менее 99%).

ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОНО-ЛУЧЕВОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Е.Г. Колесников[1], С.В. Пшенов[1], А.В. Дуб[2], А.А. Жедаев[2], Т.А. Тихоновская[2]
[1] АО «НИИ НПО «ЛУЧ»
[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

В 2024 году специалисты АО «НИИ НПО «ЛУЧ» завершили разработку и испытания установки селективного электронно-лучевого плавления, отличительной особенностью такого оборудования является высокая скорость движения электронного пучка (10 м/с), вакуумная рабочая камера, а также принцип воздействия на частицу порошка – лазер передает тепловую энергию от поверхности в объем, в то время как электронный пучок воздействует сразу на весь объем частицы. К преимуществам данной технологии можно отнести экономическую эффективность при производстве сложно профильных мелкосерийных изделий, за счет высокой эффективности передачи электрической энергии в тепловую (80-90% против 20-30% у лазера), а также скорость печати в 3-5 раз выше, чем лазерного спекания. К недостаткам технологии селективного электронно-лучевого плавления порошка в вакууме можно отнести накопление отрицательного заряда на поверхности порошка, что приводит к отталкиванию соседних заряженных частиц порошка (эффект «дымления»), рассеиванию электронного пучка, за счет накопления объёмного отрицательного заряда над поверхностью.

Рис 1. Внешний вид установки селективного электронно-лучевого плавления производства АО «НИИ НПО «ЛУЧ»

Специалистами АО «НИИ НПО «ЛУЧ» разработана установка селективного электронно-лучевого плавления с системой нейтрализации порошка, которая реализована с помощью алгоритмов чередования режимов сфокусированного и расфокусированного состояния электронного луча. Особенностью предлагаемого решения по сравнению с аналогами является возможность расфокусирования луча на все поле построения. Предложенное решение является оригинальным и не имеет аналогов в составе представленных на рынке установок электронно-лучевого плавления.

Для работы со специальными сплавами разработана электронно-лучевая пушка, позволяющая формировать поток электронов с ускоряющим напряжением в диапазоне 30-150кВ. Повышенное значение ускоряющего напряжения, а также возможность его регулирования, позволяет более эффективно управлять процессом печати и минимизировать эффект уноса порошка. В отличие от зарубежных аналогов ОО ВТСЭЛП обладает электронно-лучевой пушкой, разработанной специально для реализации аддитивного процесса в том числе по тугоплавким металлам (мощность электронного луча составляет до10 кВт).

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АДДИТИВНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

И.А. Иванов, А.В. Дуб, А.А. Жедаев, Т.А. Тихоновская
Частное учреждение «Наука и инновации»

Разработка аддитивного оборудования нераздельно связана с разработкой программно-аппаратных решения для обеспечения эффективного управления и устойчивого процесса послойного синтеза. Большинство аддитивных установок работает по принципу формирования исходного вектора процесса, что означает формирование исходных данных стратегии печати. В таком случае проконтролировать качество синтезируемых изделий можно только по образцам свидетелям типовой формы. Однако, как было сказано ранее, площадь каждого слоя может значительно отличаться от другого, что является причиной образования сложного температурного профиля в объеме изделия при его построении, при этом гарантировать идентичность получаемых свойств в изделиях с различной геометрией невозможно. В таком случае, результатом аддитивного процесса является изделие, качество которого можно только прогнозировать, но не гарантировать.

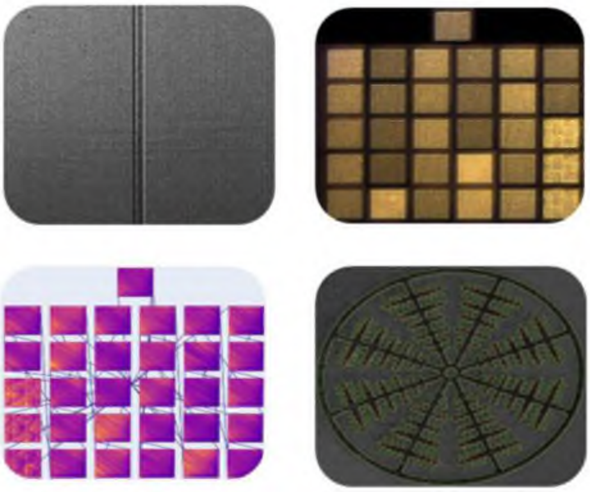


Рис 1. Пример работы комплекса систем контроля

Разработка эффективных программно-аппаратных решений становится наиболее актуальной, когда речь заходит о том, чтобы обеспечить возможность не только установки вектора, но и управления траекторией процесса. Для решения такой задачи необходимы инструменты мониторинга технологических параметров процесса, а также система интеллектуальной обратной связи, которая способно анализировать получаемые данные от систем контроля и производить их оценку для принятия решения о продолжении, корректировке ли остановке процесса. Такие инструменты и система разрабатывались параллельно с разработкой линейки аддитивного оборудования.

Прежде всего, программно-аппаратная платформа позволяет обеспечить круглосуточную работу установки СЛП. Но как гарантировать стабильность работы аппаратной части оборудования и повторяемость результата с точки зрения технологии? Для решения этих задач в программно-аппаратную платформу заложен комплекс систем контроля, который позволяет контролировать технологические параметры процесса, на основе которых работает система машинного обучения для ускорения отработки технологии изготовления сложнопрофильных изделий, а также система интеллектуальной обратной связи для мгновенной корректировки технологических параметров с целью предотвращения или устранения дефектов.

Разработано программное обеспечение «Слайсер», которое позволяет учитывать наличие в оборудовании систем контроля и позволяет изменять G-code в процессе печати, разработана система хранения данных о процессе, которая позволяет систематизировать большой объем данных с целью паспортизации процесса. Обеспечена возможность подключения внешнего ПО «Виртуальный принтер» для сопоставления данных о моделировании процесса с эмпирическими данными систем контроля.

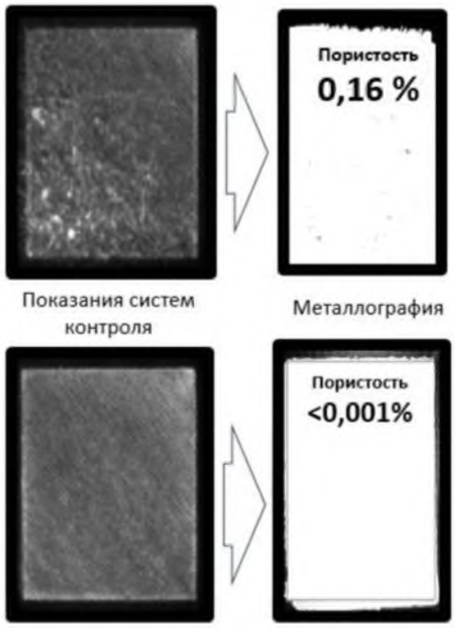


Рис 2. Пример работы интеллектуальной системы обратной связи

Важно отметить, что первые 3D-принтеры по технологии СЛП за рубежом начали появляться в середине нулевых годов. Первые отечественные принтеры начали появляться в середине десятых. Программно-аппаратная платформа является ключом к наиболее быстрому сокращению отставания в 10 лет, косвенным подтверждением является тот факт, что исследования в области разработок систем контроля в зарубежных статьях начали появляться одновременно с началом развития систем контроля аддитивного процесса в Госкорпорации «Росатом».

ТЕХНОЛОГИЯ АДДИТИВНОГО ЭЛЕКТРОНО- И ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

О.В. Панченко[1], А.А. Попович[1], А.В. Дуб[2], А.А. Жедаев[2], Т.А. Тихоновская[2]

[1] ФГАОУ ВО «СПбПУ»

[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

Для решения задач изготовления изделий с габаритами метрового класса существуют методы аддитивного производства на основе сварочных технологий с применением проволочных материалов, которые позволяют не только в разы сократить срок изготовление изделий, но и ремонтировать поврежденные детали, восстанавливая требуемую геометрию, что важно когда речь заходит об изделиях с длительным сроком службы, которые в некоторых случаях превышают срок существования производственной площадки этих изделий - в таких случаях локальный ремонт может стать наиболее оптимальным решением для минимизации простоя тех или иных устройств, которые встали на ремонт, это относится к изделиям судостроительной и энергетической отрасли.

В рамках ФП-4 КП «РТТН» в 2024 году успешно прошли испытания разработанные установки аддитивного электродугового выращивания и плазменно-дугового выращивания для изготовления изделий из титановых сплавов для применения в атомной энергетике и авиастроении.

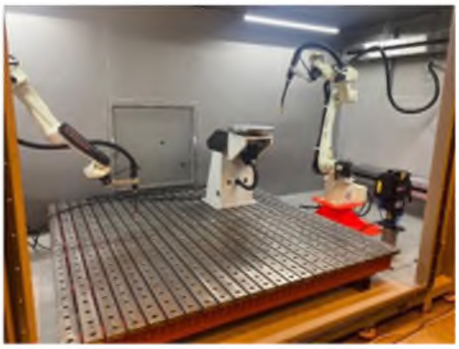



Рис.1. Внешний вид установок аддитивного электродугового выращивания и плазменно-дугового выращивания

Демонстрация эффективности установки аддитивного электродугового выращивания становится наглядной при изготовлении замкнутой ёмкости (Рисунок 2) из стали 08Х18Н10Т для применения в периферийном оборудовании атомных станций малой мощности. Задача состояла в том, чтобы увеличить скорость изготовления изделия, а также исключить сварные соединения. На установке аддитивного электродугового выращивания изделие было изготовлено целиком, а срок изготовления сократился с 6 месяце в до 6 недель. Полученный материал методом аддитивного электродугового выращивания обладает характеристиками не хуже материала, полученного традиционными методами производства.


Рис 2. Емкость для применения в оборудовании АСММ (08Х18Н10Т)

Другое важное преимущество аддитивных технологий становится явным при работе с титановыми сплавами, где коэффициент использования материала может достигать 80% процентов и более вместо привычных 30% при изготовлении изделий традиционными методами производства.

Таблица 1 – Прочностные характеристики стали 08Х18Н10Т, полученные методом аддитивного электродугового выращивания

Ориентация образца	σ0,2, МПа	σВ, МПа	δ, %
Поперечно направлению роста	371±16,8	654±18,0	44±0,8
Продольно направлению роста	373±17,1	645±8,7	36±10,0

Установка аддитивного электродугового выращивания представляет собой технологический комплекс контейнерного типа с разделенными зонами (зона оператора/рабочая зона/техническая зона). Габаритные размеры установки – 8396 х 2910 х 2955 мм (д х ш х в). Установка позволяет реализовать полный цикл изготовления деталей от создания модели в оригинальной САПР до печати готового изделия без дополнительного оборудования.

Два 6-осевых робота манипулятора, способных к одновременной работе, для печати крупногабаритных изделий (2500 х 2500 х 1000 мм (6,25 м3) при весе до 3 тонн или 4000 x 1000 x 500 мм (2 м3) при весе до 500 кг) или один 6-осевой робот манипулятор с двумя дополнительными осями для печати среднегабаритных изделий (500 x 500 x 500 мм (0,125 м3) при весе до 250 кг);

РЗМ-АКТИНИЕВЫЙ КОНЦЕНТРАТ ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

С.В. Кириллов[1], А.В. Дуб[2]
[1] ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

Практически весь объем РЗЭ, потребляемый российской промышленностью, поставляется из Китая, что связано с отсутствием в России производств, производящих индивидуальные РЗЭ.

Стратегия развития промышленности редких и редкоземельных металлов в Российской Федерации на период до 2035 года предполагает снижение зависимости России от импорта РЗЭ и создание условий для организации на собственной территории полной технологической цепочки – от добычи до производства продукции на основе РЗЭ и её утилизации.

Наблюдаемый постоянный и неуклонный рост заболеваемости злокачественными новообразованиями в России и в мире, подстегнул развитие ядерной медицины и, в том числе, поставил вопросы, связанные с расширением ресурсной базы для производства радиофармпрепаратов. Наряду с попутным извлечением РЗЭ из растворов подземного выщелачивания урана дополнительно извлекать ценный изотоп актиний-227. Данный изотоп является генератором для получения радиофармацевтического препарата дихлорида радия-223.

Разработана технологии разделения коллективного концентрата редкоземельных элементов, получаемых из продуктов скважного подземного выщелачивание урана, с получением индивидуальных оксидов Ce, Pr, Nd, концентрата среднетяжёлой группы и концентрата Ac – 227 на опытно-экстракционном каскаде (рисунок 4).

Получение La-Ac концентрата гидрометаллургическим способом позволит снизить стоимость радиофармпрепарата Ra-223 и обеспечить доступность терапии для большего числа пациентов.

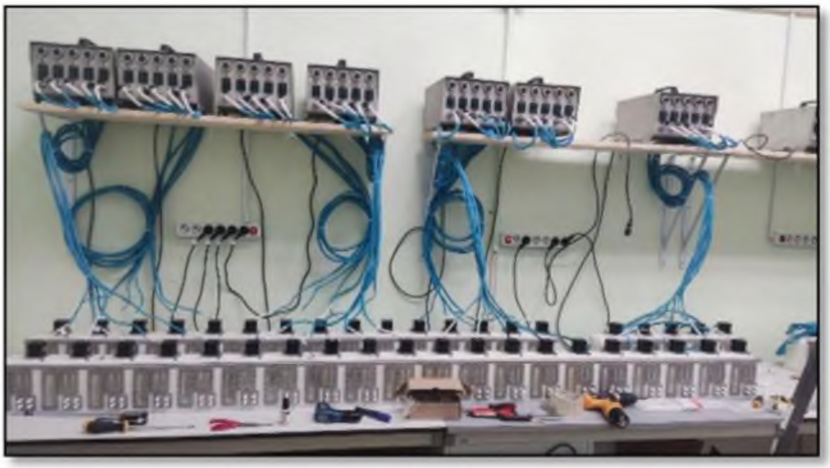


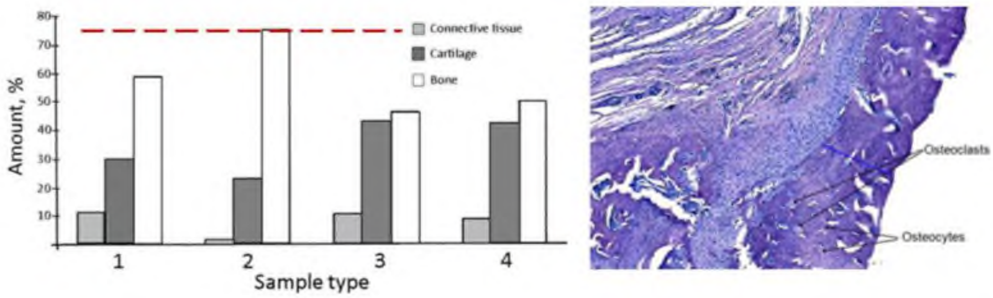
Рисунок 1 – Опытно-экстракционный каскад

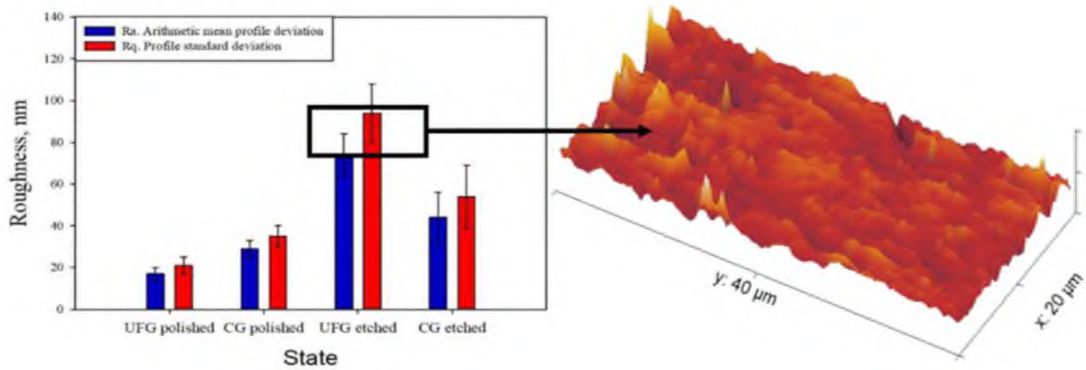
НАНОСТРУКТУРНЫЙ ТИТАН ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Р.З. Валиев с соавт.

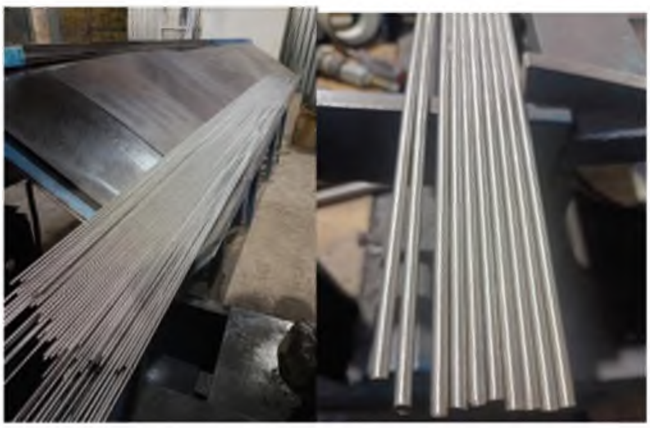
Уфимский государственный авиационный технический университет

Наноструктурный титан, особенно с шероховатой поверхностью, способствует наилучшей остеоинтеграции, ускоряя образование костной ткани в зоне взаимодействия кости и имплантата, и является очень перспективным материалом для широкого применения в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, где предъявляются высокие требования к механическим и биофункциональным свойствам изделий. Использование высокопрочного нанотитана в медицине открывает новые возможности для миниатюризации имплантатов и сокращения восстановительного периода после операций. Выполнены исследования и разработан наноструктурный титан (нанотитан) с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой для имплантатов в реконструктивной хирургии и стоматологии. Материал обладает уникальной прочностью $\sigma_в$>1300 МПа и усталостной долговечностью, прошел международную апробацию для изготовления имплантатов улучшенной конструкции.





В настоящее время освоено опытное производство таких полуфабрикатов- прутков на базе малого инновационного предприятия ООО «Наномет» (г. Уфа).



Развитие данного производства для изготовления полуфабрикатов в виде прутков и лент различных типоразмеров из наноструктурных металлических биоматериалов (титана и его сплавов, Mg и Zn сплавов) направлено на обеспечение рынка медицинских имплантатов в стране и внесет значительный вклад в импортозамещение. Также готовится соглашение о создании совместного российско-китайского производства с Пекинским университетом в этом направлении. Актуальной проблемой является кооперация с индустриальными партнерами в нашей стране, что позволит внести вклад в задачу импортозамещения.

1. R.Z. Valiev, I.V. Alexandrov, M. Kawasaki, T.G. Langdon, Ultrafine-Grained Materials, SpringerNature, 2024
2. Bobruk, E.V.; Zaripov, N.G.; Ramazanov, I.A.; Chinh, N.Q.; Valiev, R.Z. Low-temperature superplasticity of ultrafine-grained aluminum alloys: recent discoveries and innovative potential. Materials 2024, 17, 3311. https://doi.org/10.3390/ma17133311
3. Боткин А.В., Валиев Р.З., Волкова Е.П., Худододова Г.Д., Р. Эбрахими, Влияние предварительной деформации на формирование ультрамелкозернистой структуры при РКУП-обработке магниевых сплавов/ Физическая мезомеханика 27 4 (2024) 63–72
4. Rezyapova, L.R., Safargalina, Z.A., Usmanov, E.I., Valiev, R.R., Minasov, T.B. and Valiev, R.Z. (2024), Nanostructured Titanium with Ultrafine-Grained Structure as Advanced Engineering Material for Biomedical Application. Adv. Eng. Mater. 2400394. https://doi.org/10.1002/adem.202400394
5. R.Z. Valiev, Y. Zheng, K. Edalati, Review: nanoSPD-produced metallic materials for advanced medical devices. J Mater Sci 59 (2024) 5681-5697

МОДИФИКАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ БИОИМПЛАНТАТОВ С РАЗВИТЫМ МУЛЬТИМАСШТАБНЫМ СТРОЕНИЕМ ПУТЁМ НАНЕСЕНИЯ НА ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАВНОМЕРНОГО БИОРЕЗОРБИРУЕМОГО ОСТЕОТРОПНОГО ПОКРЫТИЯ

А.В. Угодчикова[1], А.В. Дуб[2]
[1] АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

В 2024 году проведены работы по разработке технологии получения биоактивных покрытий на поверхности изделий из титановых сплавов. Также изготовлена установка для нанесения биопокрытий на поверхность титановых сплавов методом микродугового оксидирования (МДО).

Разрабатываемая установка включает в себя импульсный источник питания и гальваническую охлаждаемую ванну.

Импульсный источник питания обеспечивает на выходе прямоугольные импульсы положительной и отрицательной полярности с максимальным амплитудным значением 500 В, что позволяет варьировать такие параметры процесса, как длительность и частоту следования импульсов.

Для повышения биоактивных свойств металлических медицинских имплантатов с ячеистой структурой из титановых сплавов на всю их поверхность наносили керамикоподобное покрытие методом МДО. Толщина полученных покрытий составила более 80 мкм. Для увеличения адгезии клеток костной ткани и повышения остеоинтеграции имплантата с костной тканью шероховатость обеспечили не менее 8 мкм (рисунок 9). В результате исследования фазового состава выявлено, что покрытия имеют аморфно-кристаллическое состояние, что позволит контролировать скорость биодеградации. Также полученные покрытия обладают высокими гидрофильными свойствами за счёт развитой морфологии поверхности и высокой шероховатости, что также непосредственно влияет на процесс остеосинтеза.

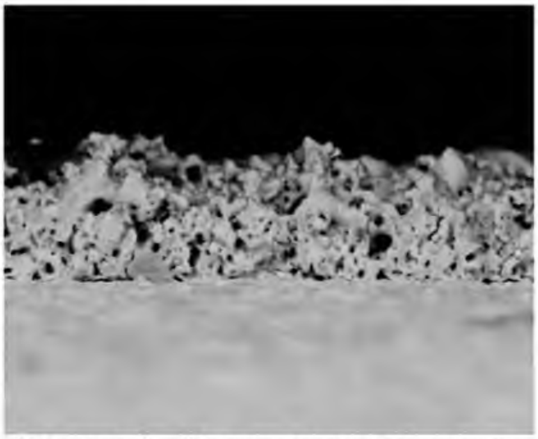


Рисунок 9 – Остеотропное покрытие

Проведены электрохимические испытания на коррозионную стойкость остеотропных покрытий. Покрытия подвергались испытаниям в растворе Хэнка и хлорида натрия. Выявлено очень медленное растворение образцов с МДО покрытиями: ток коррозии составил порядка $1 \cdot 10^{-4}$ мА/см^2 в растворе Хэнка и $4{,}39 \cdot 10^{-10}$ мА/см^2 в хлориде натрия.

При определении скорости экспансии клетками MG-63 поверхности образцов с помощью МТТ-теста в период до 10 суток культивирования выявлено, что образцы сплава титана с биопокрытием цитосовместимы и обладают матриксными (для клеток) свойствами, т.е. способны к биодеградации.

На основании полученных результатов по оценке способности разработанных составов покрытий на титановые сплавы поддерживать остеогенную дифференцировку паспортизованной культуры мезенхимальных стволовых клеток костного мозга (МСК КМ) доноров по степени экспрессии трёх маркерных генов (RunX2, щелочной фосфатазы и SP7) ответственных за остеокоммитирование МСК КМ, можно заключить, что наиболее эффективным оказался титан с биопокрытием по сравнению с чистым титановым сплавом.

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

А.В. Муруева, А.Е. Дудаев, Е.И. Шишацкая
Институт биофизики СО РАН (Т.Г. Волова)

Сконструированы резорбируемые пленки из сополимеров 3-гидроксибутирата-со-3-гидроксивалерата П(3ГБ-со-3ГВ) и 3-гидроксибутирата-со-4-гидроксибутирата П(3ГБ-со-4ГБ) для доставки лекарственных средств и культивирования клеток, нагруженные препаратами различной химической структуры и действия - антибиотиками (цефтазидим, дорипенем), антисептиком (хлоргексидин) и стимулятором регенерации тканей (актовегин).

С использованием СЭМ, АСМ и измерения контактных краевых углов показано, как химический состав полимерной основы и тип препаратов влияют на пористость, показатели шероховатости и адгезионные свойства поверхности пленок. Пленки представляют собой депо-форму лекарственных средств, высвобождение которых *in vitro* осуществляется в течение длительного времени, постепенно и без резких выбросов, согласно моделям Корсмейера-Пеппаса и Хигучи с диффузионным характером.

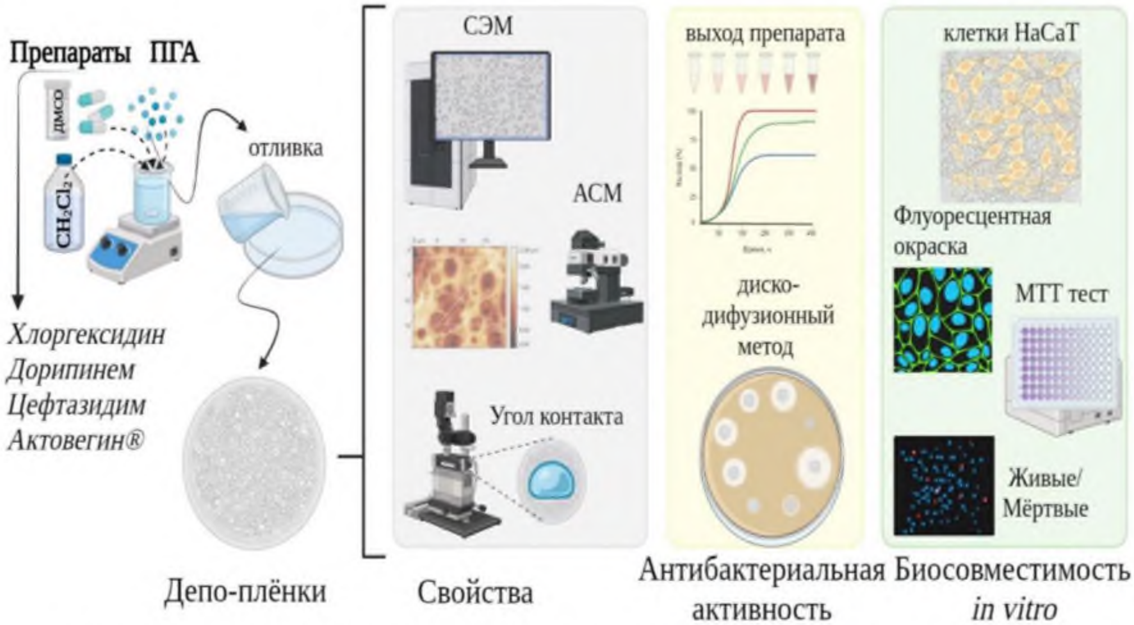


Рисунок 1. Получение и характеристики резорбируемых полимерных депо-пленок

Пленки, нагруженные антибиотиками, обладают выраженной антибактериальной активностью и подавляют развитие патогенов *S. aureus* и *E. coli*, не оказывая негативного влияния на адгезию и пролиферацию клеток эпидермального ряда. В культуре кератиноцитов человека HaCaT показано, что пленки с актовегином в действующей концентрации оказывают стимулирующее действие, увеличивая количество пролиферирующих клеток. Резорбируемые депо-пленки пригодны для клеточной и тканевой инженерии и перспективны для реконструкции дефектов тканей, осложненных инфекцией.

1. Murueva A.V., Dudaev A.E., Shishatskaya E.I., Ghorabe Fares D.E., Nemtsev I.V., Lukyanenko A.V., Volova T.G. Biodegradable polymer casting films for drug delivery and cell culture // GIANT – 2024. – Vol.18. – P.100314. doi.org/10.1016/j.giant.2024.100314

ФОТОТРОФНАЯ ПРОДУКЦИЯ «ЗЕЛЕНЫХ» БИОПЛАСТИКОВ – МИКРОБНЫХ РАЗРУШАЕМЫХ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ (ПГА)

Н.О. Жила, Е.Г. Киселев
Институт биофизики СО РАН (Т.Г. Волова)

С целью поиска эффективных продуцентов выполнено сравнительное исследование фототрофного синтеза разрушаемых биопластиков микробиологического происхождения (полигидроксиалканоатов, ПГА) в культуре 10 видов ранее не культивируемых цианобактерий, выделенных из бассейна р. Енисей, цианобактерии *Spirulina platensis* (Nordet) Geite, зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* (Beije) и колониальной водоросли *Botryococcus braunii*.

Показано, что сочетание ростовой фазы на полной питательной среде и последующее культивирование видов при дефиците азота и фосфора в среде стимулирует внутриклеточное накопление резервных ПГА и липидов на фоне перестройки состава жирных кислот. По результатам первичного скрининга отобраны продуктивные виды и введены в лабораторную культуру с использованием сконструированного тубулярного биореактора.

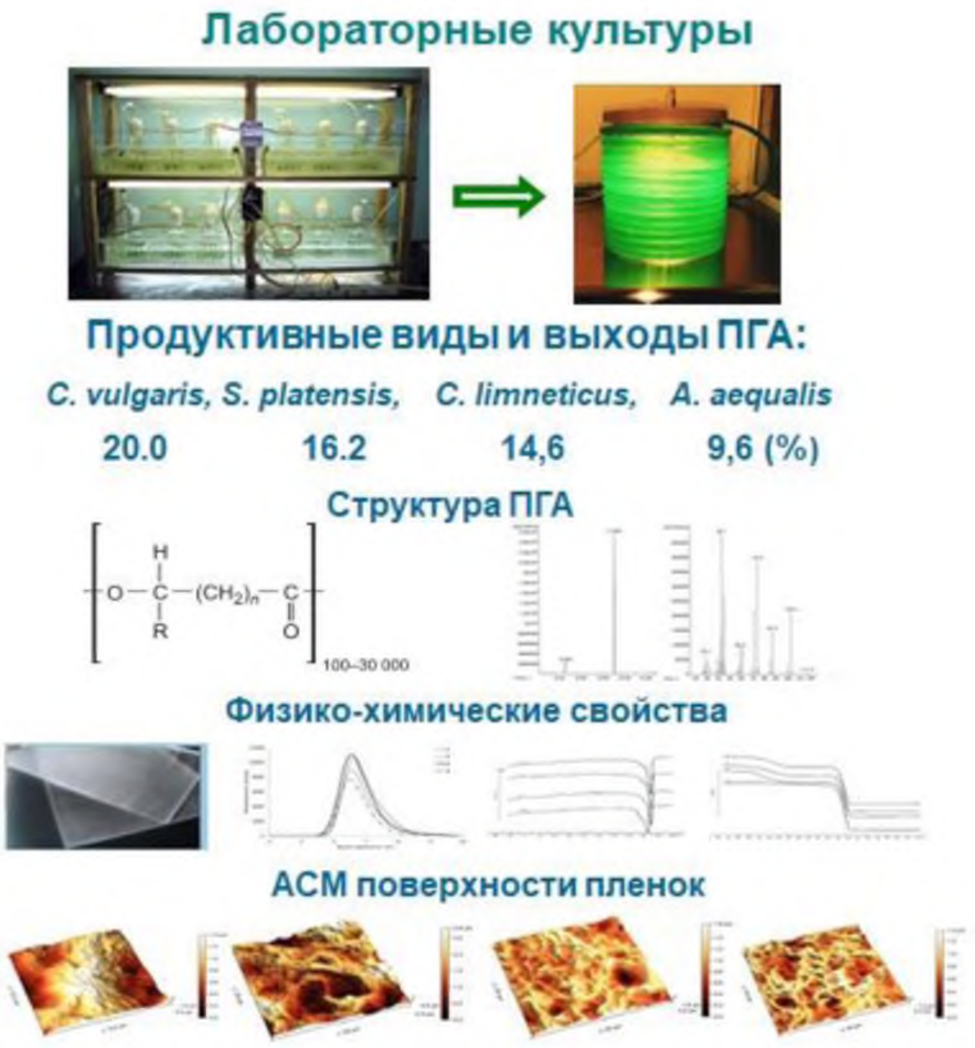


Рисунок 1: Фотопродукция «зеленых» биопластиков

Выходы ПГА у наиболее продуктивных *Clorella vulgaris, Spirulina platensis, Chroococcus limneticus и Anabaena aequalis* в тубулярном биореакторе составили 20.0; 16.2; 14,6 и 9,6%, что сопоставимо с лучшими зарубежными решениями. Все виды синтезировали поли-3-гидроксибутират с типичными свойствами, пригодный к переработке в изделия. Возможность фотобиосинтеза разрушаемых биопластиков за счет утилизации CO2, включая отходящие дымовые и топочные газы, – путь получения перспективных и востребованных материалов и снижения парникового следа в биосфере

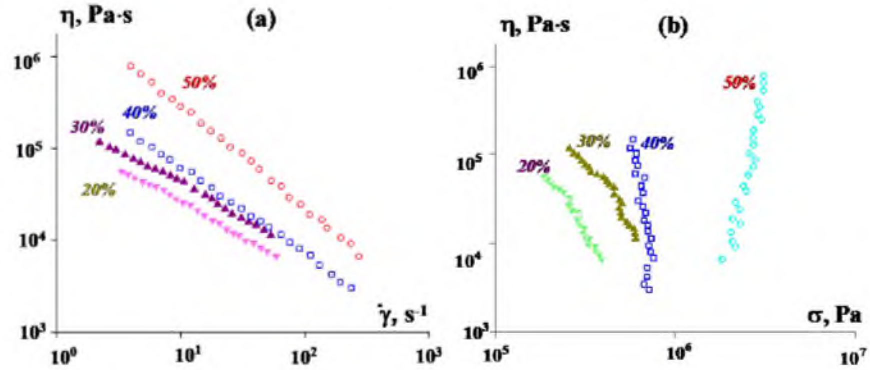
1. N.O. Zhila, E.G. Kiselev, E.I. Shishatskaya, F.D.E. Ghorabe, A.S. Kazachenko, T.G. Volova. Comparative study of the synthesis of polyhydroxyalkanoates by cyanobacteria *Spirulina platensis* and green microalga *Chlorella vulgaris* /Algae Res. 2024-103826; https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103826
2. Zhila N.O., Kalacheva G.S., Shishatskaya E.I., Ghorabe Fares D.E., Volova T.G. Fatty acids composition of cyanobacteria and the ability to synthesize degradable polyhydroxyalkanoates (PHA)// J.Siberian Federal University. Biology. 2024. ,17(3). P. 264-277.EDN: LTFCNM
3. Zhila N.O., Prudnikova S.V., Degermendzhi A.G., Volova T.G. Colonial Green Alga Botryococcus is a Producer of Valuable Metabolites. // J. Siberian Federal University. Biology. – 2024.– V.17.(3).–P.278-286

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕТОДЕ ПОРОШКОВОГО ЛИТЬЯ

С.Ю. Хаширова с сотр.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

Впервые разработаны материалы на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), парафина и его смеси с полиэтиленом для технологии порошкового литья. Определены оптимальные составы, обеспечивающие переработку разработанных материалов методом порошкового литья [1].



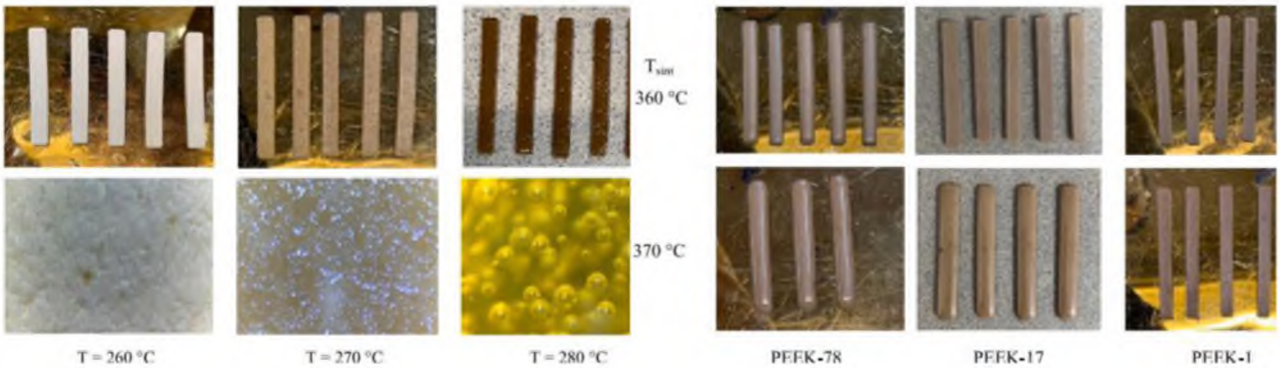
Кажущаяся вязкость суспензий ПЭЭК различной концентрации в зависимости от кажущейся скорости сдвига (а) и напряжения сдвига (б)

Выявлено, что оптимальный комплекс реологических и механических свойств достигается при использовании суспензии с 40 % ПЭЭК, которая обладает достаточной текучестью для литья и прочностью для извлечения изделия из формы. При этом данная суспензия также пригодна получения нити для 3D-печати и печати изделия методом FDM. Установлено, что филаменты, полученные из суспензий с 40 и 50 об. % полифениленсульфона (ПФСн), характеризуются достаточной гибкостью и прочностью и могут быть применимы также в 3D печати.

а б в

Филамент с содержанием 40 об. % ПЭЭК (а) и напечатанное из него изделие (б), напечатанные образцы из филаментов с содержанием 40 об. % ПФСн (в).

Проведены систематические исследования влияния основных характеристик порошков ПЭЭК и ПФСн (насыпная плотность, вязкость расплава) и температуры спекания на физико-механические свойства образцов, полученных порошковым литьем [3].



Образцы ПФСн (а) и ПЭЭК (б) после спекания при различных температурах

Показано, что решающее влияние на механические свойства изделий при порошковом литье с применением ПЭЭК и ПФСн оказывает насыпная плотность порошка и температура спекания, оптимальное значение которой зависит от вязкости расплава полимера и фракционного состава. В свою очередь повышенная вязкость способствует лучшему сохранению исходной формы образцов.

1. Khashirova S.Y.; Slonov A.L.; Zhansitov A.A.; Musov K.V.; Tlupov A.F.; Khashirov A.A.; Mityukov A.V.; Malkin A.Y. The Rheology of Polyether Ether Ketone Concentrated Suspensions for Powder Molding and 3D Printing. Polymers 2024, 16, 1973.
2. Slonov A.L., Zhansitov A.A., Musov I.V., Khashirov A.A., Mityukov A.V., Malkin A.Ya. and Khashirova S.Yu. Rheological Properties of Polyphenylene Sulfone-Based Compositions as a Basis for Powder Casting and 3D Printing Technology. Polymer Science, Series A, 2024
3. Slonov A.L., Zhansitov A.A., Musov Kh.V., Tlupov A.F., Baykaziev A.E., Rzhevskaya E.V., Khashirova S.Yu., Malkin A.Ya. Powder casting of polyetheretherketone and polyphenylene sulfone: Sintering. Powder Technology 451 (2025) 120449.

ПАРОФАЗНЫЙ МЕМБРАННЫЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ФУРФУРОЛА ИЗ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ

М.Г. Шалыгин, А.А. Козлова, В.К. Грудковская
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН
(директор – член Совета член-корреспондент РАН А.Л. Максимов)

Фурфурол является ценной молекулой-платформой для получения более чем 1600 химических продуктов, его производные используют в 70-ти различных отраслях промышленности. Фурфурол получают путём гидролиза отходов деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства, объём которых в России колоссален. Масштабы производства фурфурола в РФ не покрывают существующие в нём потребности, однако, это может быть частично компенсировано повышением эффективности используемых процессов за счёт применения мембранной технологии.

В рамках гранта РНФ проводится исследование применения парофазного мембранного метода с использованием российских промышленных мембран для концентрирования фурфурола. Парофазный мембранный метод может быть использован самостоятельно или в комбинации с существующими процессами многостадийной ректификации, в т.ч. для преодоления точки азеотропа и концентрирования фурфурола с уменьшением затрат и увеличением производительности (Рисунок 3).

В работе впервые были исследованы транспортные и селективные характеристики российских промышленных мембран при разделении смесей паров воды и фурфурола различного состава в диапазоне температур 50-90 °С. Полученные селективности вода/фурфурол в диапазоне 70-120 превосходят найденные литературные значения. Подобраны условия подготовки промышленной мембраны для работы в условиях парофазного процесса.

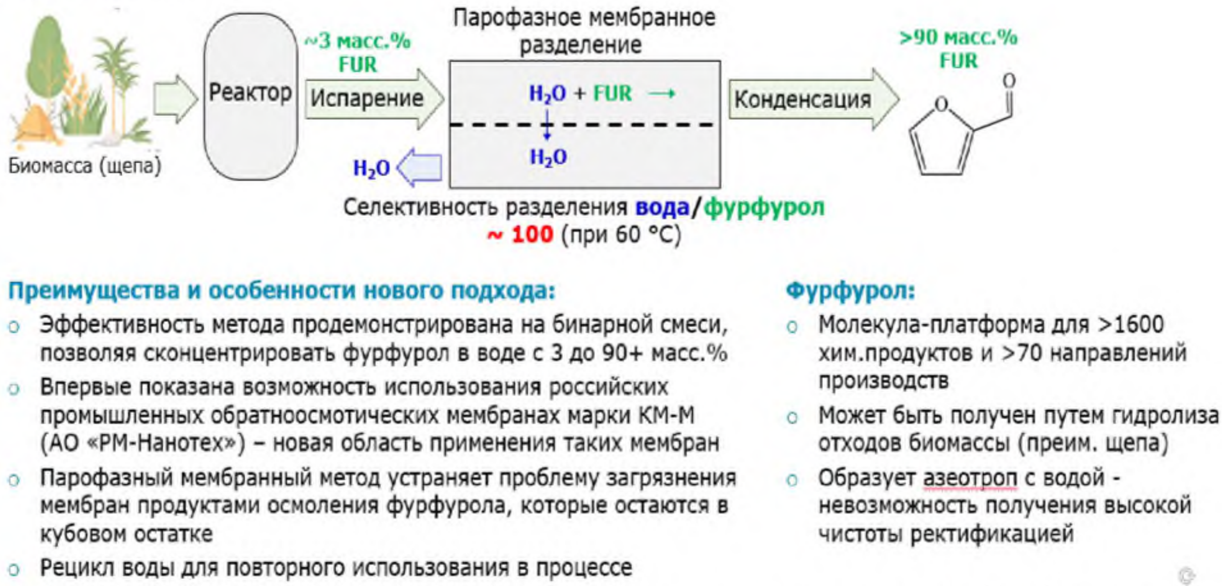


Рисунок 3. Схема повышения эффективности процесса производства фурфурола из биомассы

Полученные данные о селективности мембранного разделения смеси вода/фурфурол могут быть использованы для проработки технических решений интенсификации процесса производства фурфурола с применением мембранной технологии

ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНАЯ МАССА КАК ПРИРОДНЫЙ КОМПОЗИТ И ИСТОЧНИК ПОЛЕЗНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

В.Г.Куличихин, П.А.Михайлов, К.В.Зуев
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН

В структуре клеточной стенки (Рис. 1) целлюлоза является армирующим компонентом, сшитый лигнин связующим, а адгезию между ними осуществляет гемицеллюлоза.

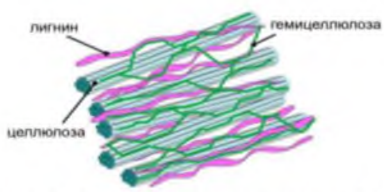


Рис. 1. Структура клеточной стенки

Целлюлоза используется для получения гидратцеллюлозных нитей и волокон, причем лаборатория является единственным научным центром в РФ, где создана пилотная линия формования волокон Лиоцелл из растворов целлюлозы в N-метилморфолин-N-оксиде (NMMO). Оригинальным моментом процесса служит твердофазная активация твердых порошков целлюлозы и растворителя, приводящая к образованию твердых растворов. Далее следует его перевод в жидкоподобное состояние путем нагрева до точки плавления NMMO (90-120°C) и формование через воздушную прослойку в водный раствор NMMO. В результате, получены нити (Рис. 2), которые служат прекурсорами теплозащитных углеродных волокон.

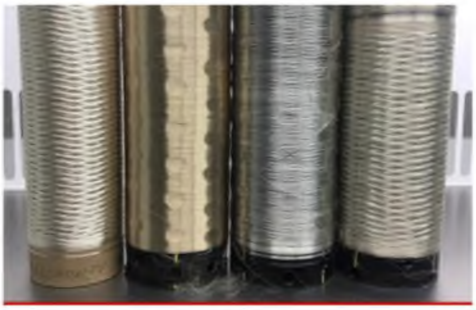


Рис. 2. Шпули с гидратцеллюлозными нитями, полученными из древесной и растительной целлюлоз

Лигнин является кладезем полезных реагентов, среди которых наиболее интересными для композиционных материалов являются ароматические гидроксикислоты, такие как 4-гидроксибензойная, ванилиновая и сиреневая (Рис. 3).

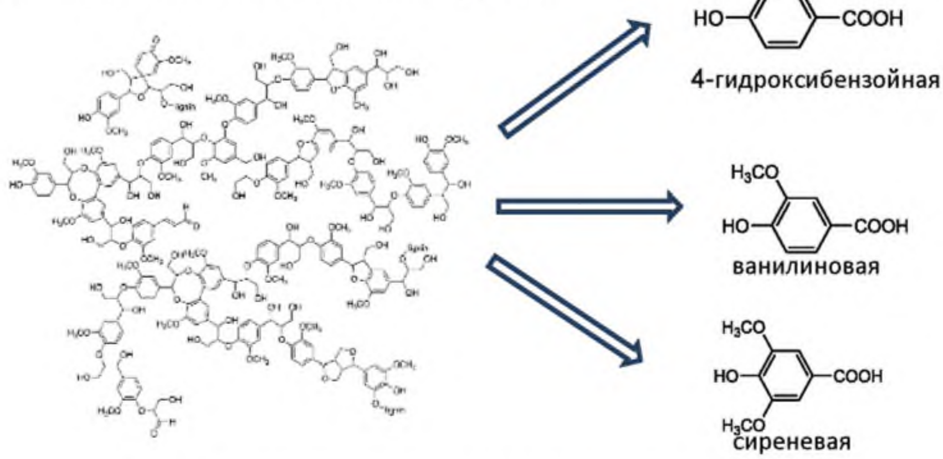


Рис. 3. Гидроксикислоты, полученные из лигнина.

Именно эти гидроксикислоты были использованы для синтеза [1] термотропных ароматических полиэфиров в сочетании с 4.4’-гидроксибифенилкарбоновой кислотой (Рис. 4).

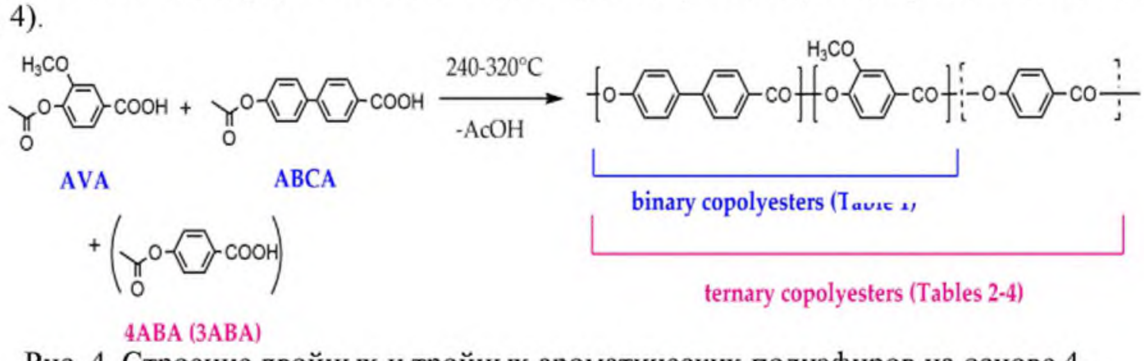


Рис. 4. Строение двойных и тройных ароматических полиэфиров на основе 4-гидроксибензойной, ванилиновой и 4,4'-гидроксибифенилкарбоновой кислот

Полученные сополиэфиры не только формируют жидкокристаллическую (ЖК) фазу в расплаве при температуре порядка 350°C, но и практически не кристаллизуются, образуя при охлаждении стеклообразный ЖК композит (Рис. 5).

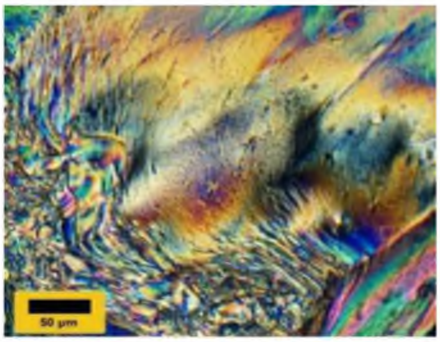


Рис. 5. Поляризационно-оптический снимок в скрещенных поляроидах ЖК расплава тройного сополиэфира при температурах до 350^{o}С.

Достоинством термотропных ЖК полиэфиров является возможность их использования для формирования и волокон, и объемных изделий, которые благодаря высоким механическим характеристикам могут быть использованы и для формования армирующих волокон, и как подложки печатных плат для микроэлектроники, поскольку их коэффициент термического расширения существенно ниже, чем для обычных термопластов.

Олигомерные полиэфиры ограниченно растворимы в эпоксидных смолах и полученные растворы могут быть использованы как связующие в композиционных материалах, в которых роль армирующей фазы играют теплозащитные углеродные волокна из целлюлозы. Таким образом, из природных композитов – лигноцеллюлозной массы выделены компоненты, играющие важное значение в получении нового класса композитов с наноструктурированным связующим.

1. Mikhaylov P.A., Zuev K.V., Golubev Y.V., Kulichikhin V.G., Fully Aromatic Thermotropic Copolyesters Based on Vanillic, Hydroxybenzoic, and Hydroxybiphenylcarboxylic Acids. Polymers 2024, 16, 1501 DOI: 10.3390/polym16111501

ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО КЛАССА ВОЛОКОН И НЕТКАНОГО НЕГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ МЕМБРАН ДЛЯ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ И ТЕРМОСТОЙКИХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Л.А. Варфоломеева[1], А.Ф. Ващенко[1], В.Г. Куличихин[1], И.И. Пономарев[2]
[1]Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН
[2]Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН

Разработаны новые технологии переработки полигетероариленов в волокна и материалы с уникальными свойствами. Впервые найден безкислотный комплексный растворитель для высокомолекулярного полимера АБ-Полибензимидазола и разработана новая экологичная технология получения жаростойких негорючих волокон (Рисунок 1). Впервые получены высокопрочные огнестойкие ПНБИ волокна мокрым и сухо-мокрым способами и разработан новый подход к получению полых волокон через растворы в органических растворителях. Найдены оптимальные с точки зрения вязкоупругих характеристик условия получения и эксплуатации растворов для электроформования на основе ПАНИ-О, установлены режимные параметры электроформования нетканых материалов.

Рисунок 1. Волокна АБПБИ (а), тест на огнестойкость ПНБИ волокна (б), полое волокно из ПНБИ, сформованное с использованием эффекта усадки ПАН во внутренней части (в)

Установлены величины электрического напряжения, прикладываемого к фильере (инжектирующему соплу), в границах которого возможно осуществить стабильный процесс электроформования, т.е. при котором струя не подвергается распаду на капли. Полученные образцы переданы на испытания. Такие материалы перспективны для изготовления высокотемпературных фильтрующих элементов.

РАЗРАБОТКА УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ АРМИРОВАНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АВИАЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМАХ

А.Р. Гареев[1], М.В. Панин[1], А.В. Дуб[2]
[1] АО «НИИграфит им. С.Е. Вяткина»
[2] Частное учреждение «Наука и инновации»

В АО «НИИграфит» разработали технологию производства и ремонта авиационных тормозных дисков из углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ), которыми комплектуются практически все коммерческие самолеты. В институте изготовили образцы фрикционных дисков из УУКМ отечественного производства. По своим физико-механическим, тепловым и трибологическим свойствам они не уступают зарубежным аналогам, использующихся на воздушных судах производства Boeing и Airbus.

Авиационные тормозные диски

В настоящее время, в АО «НИИграфит» с участием специалистов Департамента разработки конструкционных решений ПАО «Аэрофлот», ведётся разработка первого в РФ стенда для проведения сертификационных испытаний авиационных тормозных систем для тяжёлых воздушных судов: в 2024 году открыт инвестиционный проект, с целью разработки конструкции испытательного стенда и технологии ремонта оригинальных тормозных дисков зарубежного производства, в 2025 году АО «НИИграфит» приступит к изготовлению стенда для сертификационных испытаний новых авиационных тормозных дисков и ремонту оригинальных тормозных дисков для ПАО «Аэрофлот».

РАБОТЫ В ОБЛАСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

О.В. Жданеев

«Российское энергетическое агентство» Минэнерго России

1. Разработана технология получения водорода методом электролиза воды с использованием анион проводящей матрицы отечественного производства. Матрицв представляет собой неорганический волокнистый материал, анионная проводимость в котором достигается в результате внедрения катионов калия в процессе пропитки раствором КОН.

- Towards a new perspective on the efficiency of water electrolysis with anion- conducting matrix / E. Galitskaya, R. Khakimov, A. Moskvin, O. Zhdaneev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 49. – P. 1577-1583. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2023.10.339. – EDN VHVAUG

2. Определены потребности российской промышленности в высокотехнологичных магнитах на основе редкоземельных металлов (РЗМ) и выделены основные технологические приоритеты. Приведён пример практического применения магнитов РЗМ в ветроэнергетической отрасли и требования к ним. Проанализирован весь технологический процесс создания магнитов РЗМ от материалов до технологий серийного производства на базе отечественных компетенций и разработок. Проделанная работа стала одной из основ для создания серийного производства магнитов РЗМ в России корпорациями Росатом и Росэлектроника.

- Rare earth permanent magnets in Russia’s wind power / O. V. Zhdaneev, K. N. Frolov, V. A. Kryukov, V. A. Yatsenko // Materials Science for Energy Technologies. – 2024. – Vol. 7. – P. 107-114. – DOI 10.1016/j.mset.2023.07.007. – EDN RFASVL.

3. Проведен анализ развития систем хранения энергии на основе водорода и сделана экономическая оценка эффективности их использования для различных задач. Разработана математическая модель определения стоимости хранения энергии. Определены зависимости стоимости хранения от установленной мощности, объема доступной энергии и её стоимости. Рассчитаны оптимальные сценарные условия для систем хранения на основе водорода, при которых стоимость хранения энергии с использованием водорода оказывается существенно ниже альтернативных вариантов. Рассмотрена возможность применения водорода для обеспечения функционирования арктического поселения Хатанга с населением около 5 тысяч человек. Проведена экономическая оценка проекта модернизации энергосистемы с внедрением возобновляемых источников энергии, а также систем хранения водорода.

- Khakimov, R. Hydrogen as a key technology for long-term & seasonal energy storage applications / R. Khakimov, A. Moskvin, O. Zhdaneev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 68. – P. 374-381. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2024.04.066. – EDN IQQFIU.

- Application of renewable and hydrogen energy in the Arctic by the example of modernizing the energy system of the Arctic settlement of Khatanga / O. V. Zhdaneev, V. A. Karasevich, A. V. Moskvin, R. R. Khakimov // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 95. – P. 267-277. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2024.11.183. – EDN FUEIFW.

4. Рассмотрены существующие подходы к сертификации низкоуглеродного водорода и предложены рекомендации по их совершенствованию на основе оценки углеродного следа по всему жизненному циклу. Представлена комплексная оценка углеродного следа водорода, получаемого из воды и метана при паровом риформинге. Результаты оценки углеродного следа водорода из сероводорода демонстрируют, что для сероводородной конверсии метана и термического разложения сероводорода, выбросы диоксида углерода составят порядка 1,842 и 2,244 кг CO_2/кг H_2, соответственно. С учетом сопутствующих выбросов при добыче природного газа суммарные выбросы парниковых газов для рассматриваемых процессов составляют 4,649 и 6,129 кг CO_2экв./кг H_2 соответственно при использовании сетевой электроэнергии. При использовании электричества от гидроэнергетики, суммарные выбросы парниковых газов при производстве водорода путем сероводородной конверсии метана и термического разложения сероводорода составят 2,33 и 2,78 кг CO_2/кг H_2 соответственно, а для щелочного электролизера они около 2,60 кг CO_2/кг H_2. Таким образом, при использовании низкоуглеродных источников электроэнергии для обеспечения работоспособности процессов технологии получения водорода из сероводорода демонстрируют сравнительные показатели с процессами электролиза воды, а в некоторых случаях демонстрируют даже более низкие выбросы. Дополнительно рассмотрено и проанализировано воздействие утечек водорода на парниковый эффект.

- Methodological approaches to carbon footprint assessment and certification of low carbon hydrogen / A. G. Ishkov, O. V. Zhdaneev, K. V. Romanov [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 96. – P. 147-159. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2024.11.181. – EDN QUISAS.

5. Предложен метод прогнозирования инновационной активности в ключевых областях технологий энергетического перехода. Впервые исследовано различие краткосрочных и долгосрочных эффектов политики местного содержания (ПМС) на инновационную активность в зависимости от сектора и страны, что позволяет адаптировать политику под конкретные экономические условия. Предложена методика расчета уровня технологического суверенитета по четырем интегрированным показателям, описывающим наличие заделов по приоритетным технологиям, уровню количественной подготовки кадров, уровню обеспеченности стандартами и уровню технологической независимости

- Ovsyannikov, I. R. Forecast of innovative activity in key areas of energy transition technologies based on analysis of patent activity / I. R. Ovsyannikov, O. V. Zhdaneev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 87. – P. 1261-1276. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2024.08.375. – EDN NUWNBS.
- Жданеев О.В., Овсянников И.Р. От импортозамещения к технологическому лидерству: как политика местного содержания ускоряет развитие нефтегазовой отрасли // Записки Горного института. 2024. С. EDN KMCTLU

6. На основе экспериментов, проведенных в 300-миллилитровом реакторе периодического действия, были разработаны 4- и 7- компонентные кинетические модели для каталитического облагораживания сланцевой нефти в суб- и сверхкритических состояниях воды (температура 300 - 400 °С, время реакции 1 - 48 ч, массовое соотношение воды к нефти 1:1). В исследовании использовались четыре катализатора на основе двух переходных металлов (Ni и Fe) и двух лигандов. Применение катализаторов на основе таллового масла значительно снижало интенсивность вторичных реакций крекинга по

сравнению с катализаторами на основе металлов и растительного масла, что способствовало увеличению выхода синтетической нефти и снижению выхода газа.

- Kinetic modeling of oil shale upgrading at sub- and supercritical water conditions using Ni- and Fe-based oil-soluble catalysts / G. Félix, R. Djimasbe, M. A. Varfolomeev [et al.] // The Journal of Supercritical Fluids. – 2024. – Vol. 207. – P. 106193. – DOI 10.1016/j.supflu.2024.106193. – EDN SBNNMK.

7. К 2050 году в мире будет накоплено более 60 млн. тонн отслуживших кремниевых фотоэлектрических модулей (ФЭМ), 43 млн.т композитных лопастей ВЭУ и 1 млн.т «черной массы» аккумуляторов. Полная переработка таких отходов позволит вернуть в производственный цикл ценные и дефицитные материалы, такие как металлы (кобальт, литий, никель, медь, титан, серебро) и углеродные волокна, общей стоимостью от 200 млрд. долл. Без переработки потребуется сжигание или захоронение таких отходов, с соответстующими выбросами CO_2 и сопутствующими платежами за эти выбросы (десятки миллиардов долларов). Проведен анализ технологических схем переработки отходов возобновляемой энергетики по соответствующим группам технологий: механические (физические), термические, химические, и технологии металлургии и выщелачивания для переработки аккумуляторов. В настоящее время отсутствуют унифицированные протоколы переработки, стандарты и, более того, значительная часть технологий являются экспериментальными с TRL менее 4-6. Показано, что в регионах мира с высокой стоимостью энергии и с быстро нарастающим объемом композитных отходов и ФЭМ обосновано применение химических технологий переработки. В регионах, где приоритетной проблемой является объем отходов, рекомендуются термические технологии с высоким TRL – пиролиз в разных средах, пиролиз в жидком слое для композитов и ФЭМ. Для переработки «черной массы» рационально применять электрохимическое выщелачивание и целесообразно адаптировать технологии биометаллургии к переработке «черной массы» на замену технологии выщелачивания в будущем, как более экологичные и дешевые. Ускоренно внедрение данных технологий переработки позволит вернуть в оборот дефицитные материалы – серебро (60 тыс.т к 2050 году), медь (440 тыс.т), 4 млн. тонн углеродных волокон, литий (32 тыс.т). Особенность России – отложенный спрос на технологии переработки отходов композитов и ФЭМ. Накопление отходов в промышленном объеме начнется к 2040-2045 годам, к этому времени отрасль должна быть готова переработать около 100 тыс.т ФЭМ и 30 тыс. тонн лопастей, в дальнейшем среднегодовые объемы составят 10-15 тыс.т, существенного увеличения не прогнозируется.

- Renewable energy waste recycling / O.V. Zhdaneev, T.V. Aleshkevich // International Journal of Hydrogen Energy. - 2024. - Vol. 93. - P. 499-512. - DOI 10.1016/j.ijhydene.2024.10.401.

РЕЗЕРВНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.В. Чуб, М.Н. Кузьмин, М.З. Галин, Д.В. Королев, А.В. Левченко
ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН
(научный руководитель – председатель Совета академик С.М. Алдошин)

Разработана система резервного электроснабжения на водородно-воздушных топливных элементах и металлогидридном накопителе водорода, основанная на отечественных технологиях и оригинальных разработках ФИЦ ПХФ и МХ РАН, имеющая номинальную мощность 4 кВт, максимальную – 5 кВт, выходное напряжение 48 В, с объемом хранимой энергии до 40 кВт ч, рабочее давление водорода в системе хранения 3-10 бар, давление заправки 10-30 бар.

Оригинальные опережающие решения в области материалов и устройств батарей топливных элементов с воздушным охлаждением, воплощенные в рамках работ Центра компетенций НТИ по технологиям новых и мобильных источников энергии, в области материалов и систем металлогидридного хранения водорода, развитые в ФИЦ ПХФ и МХ РАН, инженерные решения, развиваемые индустриальным партнером этих работ ООО «Инэнерджи», позволили завершить инновационный цикл разработкой ряда новых инженерно-технических решений с созданием экспериментального образца установки резервного накопителя электроэнергии (рисунок 1), провести его отладку на экспериментальной площадке Центра. После отладки технических решений было изготовлено два экземпляра накопителя электроэнергии, переданных эксплуатанту в Иркутской области.

Полученный практический результат демонстрирует работу полного инновационного цикла с доведением разработок ФИЦ ПХФ и МХ РАН в области альтернативных источников энергии до мелкосерийного производства и ориентирован на создание резервных источников энергоснабжения на базе отечественных технологий и разработок для регионов с децентрализованным энергоснабжением.

Рисунок 1. Схема и фотография разработанной установки резервного энергоснабжения на основе водородно-воздушных топливных элементов с воздушным охлаждением и металлогидридным накопителем водорода

1. Belmesov A.A., Shmygleva L.V., Baranov A.A., Levchenko A.V. Russian Chemical Reviews, 2024, 93(6), RCR5121; Галин М.З., Герасимова Е.В., Евщик Е.Ю., Левченко А.В. Патент RU 2830566. 21.11.2024 г. Защитное покрытие для титановых пластин и способ его нанесения. (приоритет от 27.12.2023 г.)

ГИДРОФИЛЬНЫЕ И СУПЕРГИДРОФИЛЬНЫЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДОВ НА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ДЛЯ ИХ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ И ПОТЕРЬ НА КОРОННЫЙ РАЗРЯД

К.А. Емельяненко, Н. Денман, А.М. Емельяненко, Л.Б. Бойнович
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН

Эксплуатация высоковольтных линий электропередач в открытой атмосфере создает ряд проблем. Среди этих проблем выделяется коронный разряд из-за его влияния на потребление энергии, безопасность и состояние окружающей среды, и производительность системы транспортировки энергии. Коронный разряд проявляется в виде видимого свечения, образования озона, ультрафиолетового излучения и аудио шума. Все указанные факторы представляют опасность для здоровья и способствуют загрязнению окружающей среды. Кроме того, энергия, рассеиваемая в процессе коронного разряда, напрямую преобразуется в потери мощности линии. Учитывая общую протяженность высоковольтных линий в России в сотни тысяч километров, эти потери представляют собой существенное экономическое бремя для поставщиков коммунальных услуг и потребителей. При этом коррозия проводов в условиях коронного разряда не только сокращает срок службы оборудования, но и увеличивает расходы на техническое обслуживание. Указанные проблемы усугубляются в условиях выпадения атмосферных осадков.

Рисунок 1. Полупромышленная установка для исследования потерь на коронный разряд на линиях электропередач до 500кВ

Разработаны составы и методы нанесения гидрофильных и супергидрофильных кремнийорганических покрытий для поверхности электрических проводов на высоковольтных линиях электропередач для их защиты от коррозии и потерь на коронный разряд. С использованием комбинации экспериментальных установок, воссоздающих реальные условия эксплуатации высоковольтного провода (Рис. 1), выполнены измерения потерь мощности на коронный разряд, прочности сцепления со льдом и коррозионной стойкости на покрытых и непокрытых проводах.

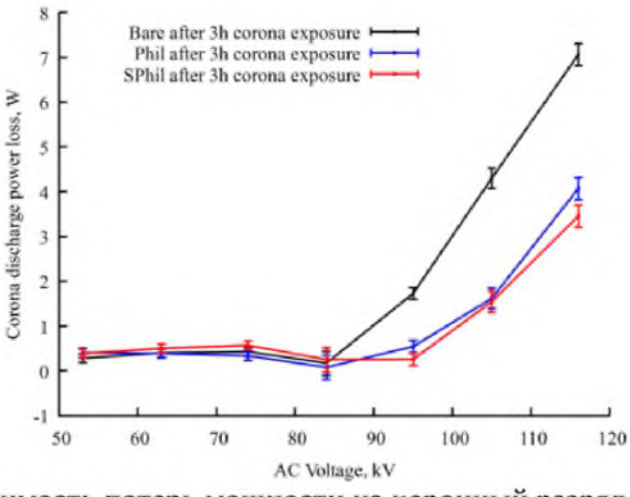


Рисунок 2. Зависимость потерь мощности на коронный разряд от приложенного напряжения в условиях дождя после 3 ч непрерывного горения коронного разряда. Черная кривая соответствует потерям на алюминиевом проводе, синяя и красная кривая – потери на проводе с гидрофильным и супергидрофильным кремнийорганическим покрытием, соответственно

Результаты свидетельствуют, что как гидрофильные, так и супергидрофильные органосилановые покрытия обеспечивают существенное снижение потерь мощности на коронный разряд, на 25–60% по сравнению с непокрытыми проводами (Рис. 2). Коррозионные испытания позволяют отдать предпочтение для применения на практике гидрофильным покрытиям, поскольку именно гидрофильные покрытия позволяют понизить токи коррозии примерно в три раза по сравнению с голыми проводами, демонстрируя улучшенную защиту и долговременную стабильность. Разработанные покрытия рекомендованы для использования в электроэнергетике для улучшения производительности и долговечности высоковольтных линий электропередачи.

Выполненные исследования показывают, что разработанные нами гидрофильные органосилановые покрытия для применения в линиях электропередач высокого напряжения позволяют не только снизить потери на коронный разряд до 30% от потерь, характерных для голого провода, но и повышают коррозионную стойкость алюминиевых проводов. Показано, что такие покрытия улучшают эффективность снижения потерь при длительной эксплуатации, что указывает на стабильность покрытия и позволяет рассматривать такое покрытие, как перспективное для долгосрочной эксплуатации.

1. K.A. Emelyanenko, A.M. Emelyanenko, L.B. Boinovich, Laser nanoengineered coatings for efficient energy transportation through corona discharge suppression. Optics & Laser Technology 171 (2024) 110394. https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.110394
2. К.А. Емельяненко, О.А. Рябкова, Н .Денман, Создание гидрофильных кремнийорганических покрытий и исследование их стойкости к факторам, сопровождающим коронный разряд. Коллоидный журнал, 2024, Т. 86, № 5. С. 571–578.

СУХОЙ АЭРОЗОЛЬНЫЙ ПРИНТЕР ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРО-РАЗМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОДЛОЖКАХ

В.В. Иванов, В.И. Борисов, А.А. Лизунова, Ю.М. Токунов, М.Н. Уразов, Д.В. Корнюшин, В.А. Ворошилова, В.А. Долгов, М.С. Иванов
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

В МФТИ создан опытный образец сухого аэрозольного принтера (рисунок 1), не имеющего мировых аналогов, обеспечивающего автоматическую печать наночастицами металлов по заданному чертежу микро-размерных металлических элементов на различных подложках, с минимальной шириной печатаемых дорожек до 30 мкм на поле с размерами до 100 x 100 мм^2. Отличительной особенностью принтера является совмещение в одном устройстве четырех одновременно протекающих процессов: газоразрядного получения, лазерной модификации размеров, печати и лазерного спекания наночастиц на подложке. Принтер предназначен для формирования проводящих элементов электроники из металлических материалов на различных подложках (межсоединения, электродные структуры, индуктивные и резистивные элементы) (рисунок 2), для изготовления плазмонных наноструктур с заданными размерами наночастиц, что способно обеспечивать многократное усиление оптического отклика в оптоэлектронных устройствах (матрицах фотоприемных устройств, дисплеях, источниках света). Разработана рабочая конструкторская документация на принтер с литерой «О».

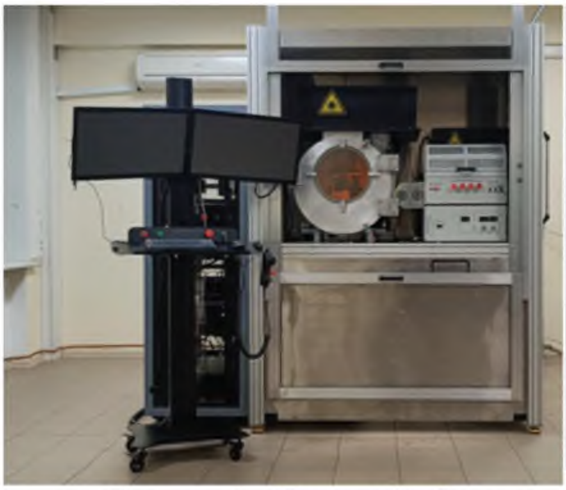


Рисунок 1 – Опытный образец сухого аэрозольного принтера.

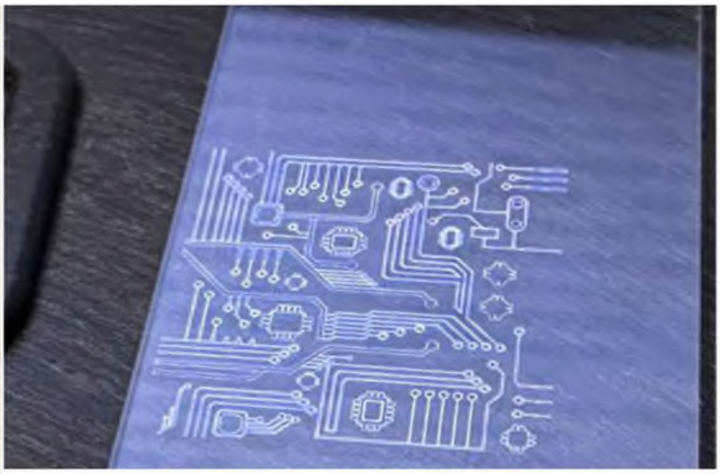


Рисунок 2 – Разводка межсоединений электронной платы по ПЭТ подложке линиями Ag.

1. Патент РФ RU 2828069 C1. Иванов В.В., Иванов М.С., Ворошилова В.А., Корнюшин Д.В., Долгов В.А., Уразов М.Н., Борисов В.И. Способ оптимизации значений параметров импульсного лазерного излучения, обеспечивающего максимальную энергоэффективность преобразования агломератов наночастиц в потоке газа в уединенные наночастицы околосферической формы. Опубликовано 07.10.2024, Бюл. № 28.
2. Olesya Vershinina, Anna Lizunova, Egor Khramov, Emilia Filalova, Arina Sanatulina, Artem Novoselov, Messan Nouraldeen, Dana Malo, Ekaterina Kameneva, Mariia Kerechanina, Yuri Tokunov, Victor Ivanov. Plasmon Properties of Polydisperse Aluminum Nanoparticles Produced in Spark Discharge. Nano Materials Science, 2024, NMS-2024-0023, https://mc03.manuscriptcentral.com/nmsci

ОЛОВООРГАНИЧЕСКИЙ НЕГАТИВНЫЙ РЕЗИСТ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ.

А.В. Пискунов, С.А. Чесноков, М.Ю. Захарина, К.В. Арсеньева

Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН

(директор – член Совета академик И.Л. Федюшкин)

Разработана полная лабораторная технологическая схема создания полупроводниковых наноструктур на подложке из монокристаллического кремния для применения в производстве микроэлектронной техники. Схема включает синтез оловоорганического кластера и его использование в качестве негативного резиста в электронно-лучевой литографии. Стабильный в аэробных условиях оксо-кластер олова синтезирован с высоким выходом в одну стадию. Подобраны условия нанесения кластера на кремниевую подложку методом центрифугирования (spin coating). При получении пленок фоторезиста толщиной от 30 до 60 нм удаётся достичь шероховатости поверхности 0.6 нм. Фоторезист обладает высокой чувствительностью к пучку электронов. Проявка, следующая за воздействием электронного пучка на плёнку фоторезиста, генерирует на поверхности кремниевой подложки заданное изображение, сформированное из диоксида олова – прозрачного широкозонного полупроводника.

Выполнено совместно с Институтом проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (член-корреспондент РАН Д.В. Рощупкин).

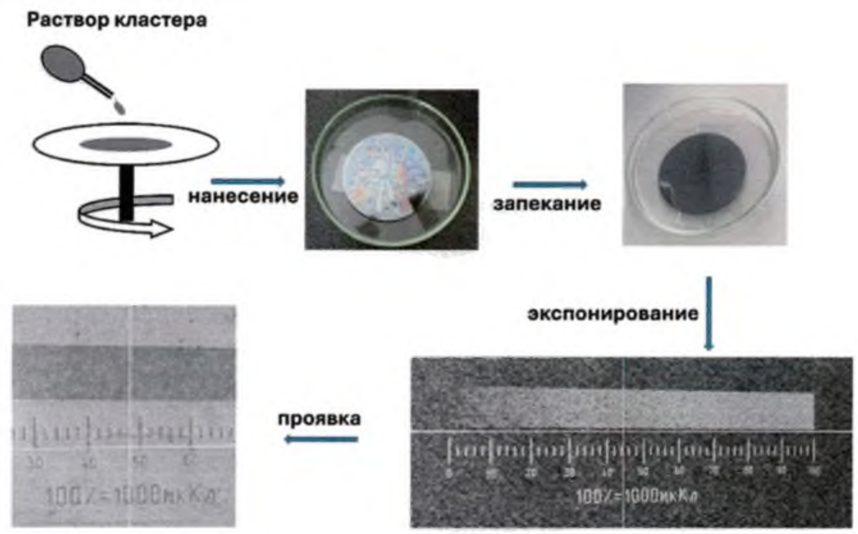


Рис. 1. Технологическая схема.

РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОТОЛИТОГРАФИИ С АКТИНИЧНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ[1] 248 НМ (KrF-ЭКСИМЕРНЫЕ ЛАЗЕРЫ)[2]

В.Г. Курбатов, Т.А. Пугачева, М.Е. Сидельцев, Н.А. Кузнецова, Д.А. Варламов, И.Е. Кузнецов, Г.В. Малков, А.В. Аккуратов, Э.Р. Бадамшина

ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

Важнейшими материалами, используемыми для литографического изготовления элементов интегральных схем, являются комплементарные пары, обладающие комплексом взаимосвязанных свойств: «позитивный фоторезист с химическим усилением» (ФР) – «антиотражающее покрытие» (АОП). В данной работе успешно решены задачи по многостадийному синтезу и масштабированию процессов получения и очистки всех целевых компонентов для 248 нм технологии (рисунок 1).

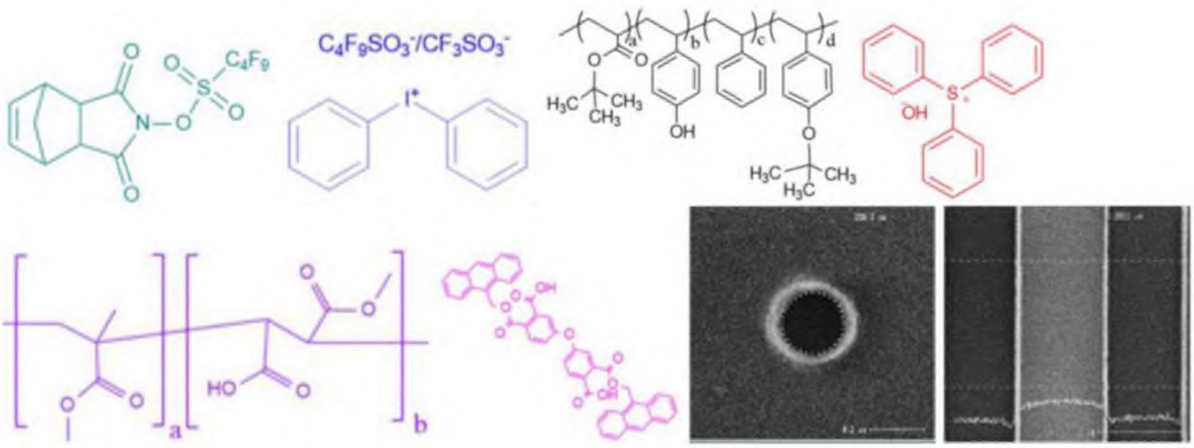


Рисунок 1. Разработанные и синтезированные соединений для фотолитографии и растровые изображения линий маски 0.22-1 мкм, изготовленных с использованием разработанного ФР

---

[1] Электромагнитное излучение в видимой или ультрафиолетовой областях спектра, в т.ч. излучение эксимерного лазера.

[2] Приоритетное направление программы научных исследований: 2.2.7. Химические и физико-химические процессы и материалы для IT-технологий

Разработаны и масштабированы методы синтеза ключевых отечественных компонентов антиотражающих покрытий и фоторезистов с химическим усилением для KrF-фотолитографии: полимерных основ, фотогенераторов кислоты, фотооснований и фотохромных соединений. Изготовленные в АО «НИОПИК» (г. Долгопрудный) на их основе материалы успешно опробованы на технологических линиях АО «Микрон» (г. Зеленоград) для создания топологических элементов интегральных микросхем размером от 110 нм методом фотолитографии с актиничным лазерным излучением 248 нм.

На основе полученных компонентов в АО «НИОПИК» были изготовлены 2 марки АОП и 5 марок ФР, способных заменить иностранные материалы, проведена их апробация на 248 нм технологических линиях АО «Микрон». Результаты тестирования признаны удовлетворительными – отмечено соответствие толщин и дефектности пленок заданным, хорошее качество линий и отверстий в масках (рисунок 2), образующихся при использовании разработанных композиций, соответствие их размеров требуемым в техпроцессе.

Материалы для позитивной фотолитографии с актиничным излучением 248 нм (KrF-эксимерные лазеры) в РФ сейчас чрезвычайно востребованы, что подтверждает актуальность выполненной работы по созданию отечественных полимерных основ, хромогенов, фотогенераторов кислоты (ФГК) и фотооснований, - их тестирования, проведение сравнительного анализа оригинальных составов ФР и АОП и их импортных аналогов.

1. A.S. Novikov, G.V. Malkov, A.V. Akkuratov. Synth. Lett., 2024, 10.1055/a-2421-3288

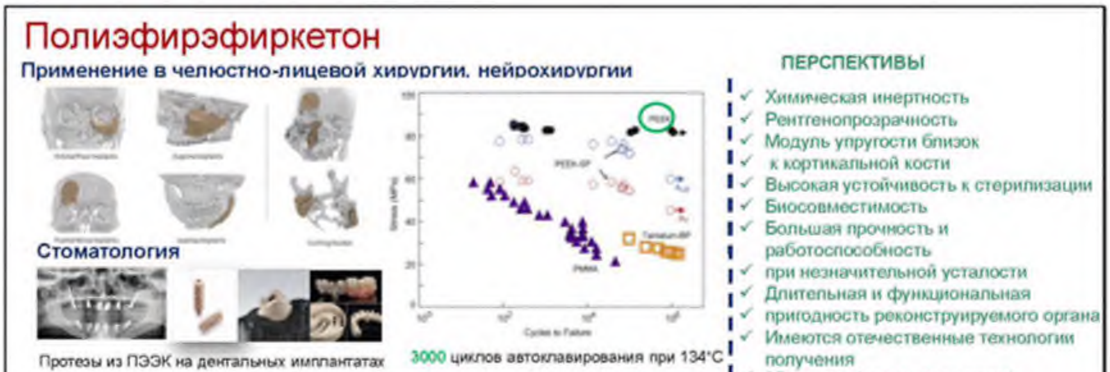
Приложения

Приложение 1.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СУПЕРКОНСТРУКЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ

профессор, директор Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ С. Ю. Хаширова

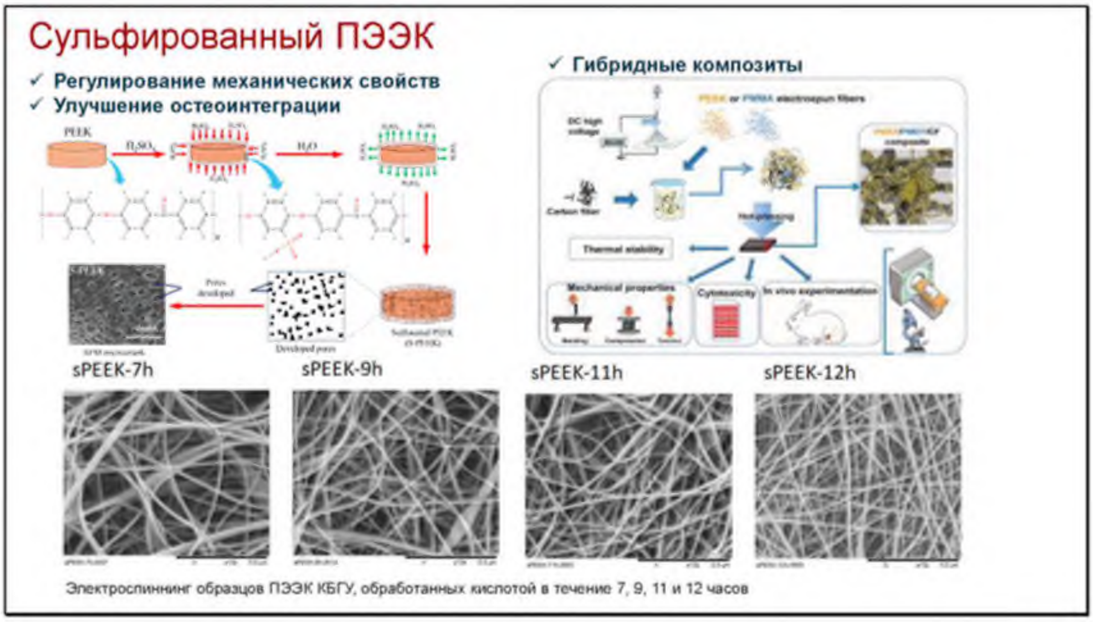
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова



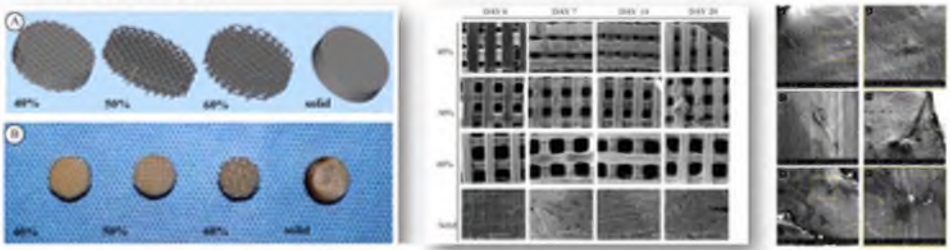
Наименование показателя	СВМПЭ	ПТФЭ	ПММА	ПЭЭК-КБГУ
Плотность, г/см^3	0,93 – 0,95	2,13 – 2,23	1,14 – 1,19	**1,3-1,33**
Модуль упругости при растяжении, МПа	570 - 1350	400-750	1600 - 3300	3100-4100
Прочность при разрыве, МПа	40-60	20-35	38-76	95-120
Относительное удлинение, %	380-600	350-550	2-45	3-150
Теплостойкость по Вика, °C	70-90	100-120	80-113	345
Максимальная температура длительной эксплуатации, °C	62	260	70	220-260
Коэффициент трения	0,1-0,2	0,05–0,10	0,5-0,7	0,2-0,4

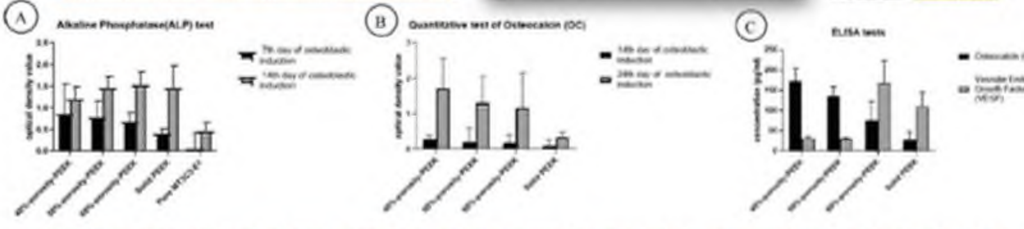

Виды дефектов для замещения имплантатами из ПЭЭК
Имплантат коленного сустава, изготовленный из Zeniva
Имплантат PitStop из PEEK для облегчения хирургической коррекции прогрессирующего плоскостопия
Спинальные кейджи из PEEK
Имплантаты из PEEK для нейрохирургии
композитная пластина CFR-PEEK для сращивания плюснефаланговых суставов.
Система коррекции молоткообразной стопы Vector™, изготовленная из PEEK-OPTIMA™


Способы повышения остеоинтеграции ПЭЭК
✓ Повышение механических свойств
✓ Улучшение остеоинтеграции
Физическая модификация
Плазма N_2, O_2, ANAB*
Химическая модификация
H_2SO_4
Сополимеры
Модификаторы
Покрытие
Ti, TiO_2, ГА, полиэлектролит графен, Та
Биокомпозиты
ГА, графен, наносиликат, др.
hv
monomer or polymer
polymer brushes
Polystyrene
PolyAA
PolyMeOEGMA
PolyVPA
PolyBA
PEEK
*ANAB-пучки ускоренных нейтральных атомов
Радикальная полимеризация мономеров на поверхности ПЭЭК


Сульфированный ПЭЭК
✓ Регулирование механических свойств
✓ Улучшение остеоинтеграции
✓ Гибридные композиты
PEEK
H_2SO_4
H_2O
Pores developed
Developed pores
Thermal stability
Mechanical properties
Cytotoxicity
In vivo experimentation
Carbon fiber
sPEEK-7h
sPEEK-9h
sPEEK-11h
sPEEK-12h
Электроспиннинг образцов ПЭЭК КБГУ, обработанных кислотой в течение 7, 9, 11 и 12 часов

Влияние способа укладки нити при 3D печати образцов ПЭЭК на биосовместимость





Ka Ioi Wong, Yehong Zhong, Dong Li, Zhihua Cheng, Zheyuan Yu, Min Wei / Modified porous microstructure for improving bone compatibility of poly-ether-ether-ketone //Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104541

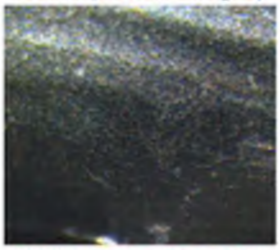
Снимки поверхности 3D образцов из ПЭЭК напечатанных в КБГУ методом FDM и обработанных различными методами

ПЭЭК – КБГУ

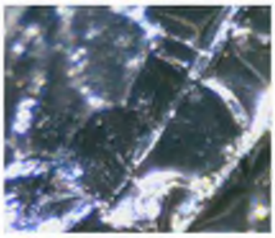
ПЭЭК, обработанный H_2SO_4

ПЭЭК, обработанный плазмой

ПЭЭК, обработанный сульфированным ПЭЭК

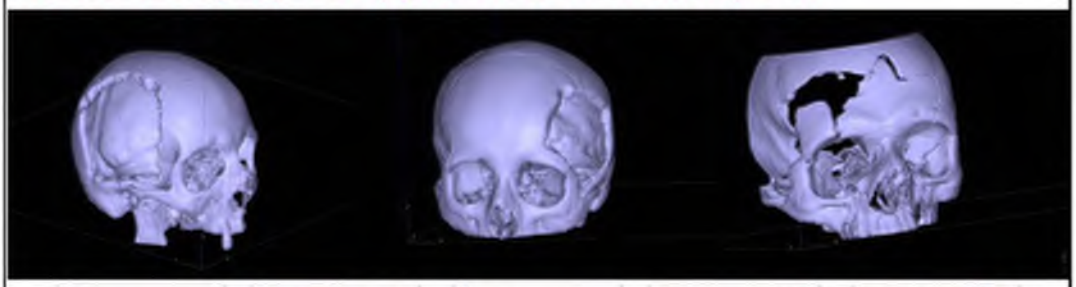


ПЭЭК с напылением Ti (1А)



ПЭЭК с напылением Ti (2А)

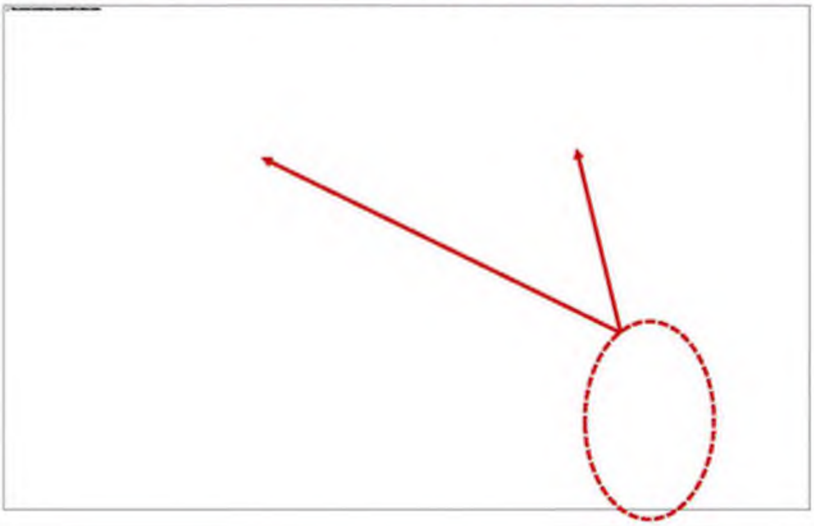
3D печать суперконструкционными полимерами



У КАЖДОГО ПАЦИЕНТА ПОВРЕЖДЕНИЯ С УНИКАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

ВОЗМОЖНОСТЬ ТОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕННОЙ ОБЛАСТИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ 3D-ПЕЧАТЬЮ И ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Физико-механические свойства материалов для имплантатов

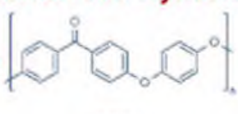


Физико-механические свойства материалов для имплантатов

Наименование	Модуль упругости при изгибе, ГПа	Предел прочности при растяжении, МПа
Кортикальная кость	7,0-30,0	50-200
PEEK Optima (Victrex)	4,1	100-108
Титан	103-114	240-890
ПММА	3,8	48-62
Полифениленсульфид	2,7	60
Полифениленсульфид+ 40%ГА	6,1	80
ПЭКК	5,1	115
ПЭЭК+30% ГА	7,2	57
ПЭЭК+30 % УВ	24,0	214
ПЭЭК+15 % МУНТ	7,55	110
ПЭЭК (КБГУ)	3,6-4,0	100-118
ПЭЭК+40 % УВ (КБГУ)	23,6	234

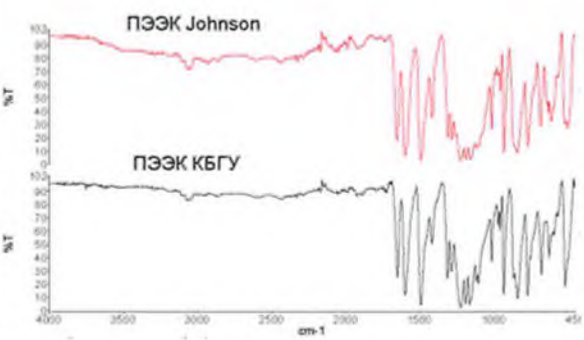
Полиэфирэфиркетон – какой же нужен для медицины?

- ✓ Химическая структура
- ✓ Надмолекулярная структура
- ✓ Медицинская чистота

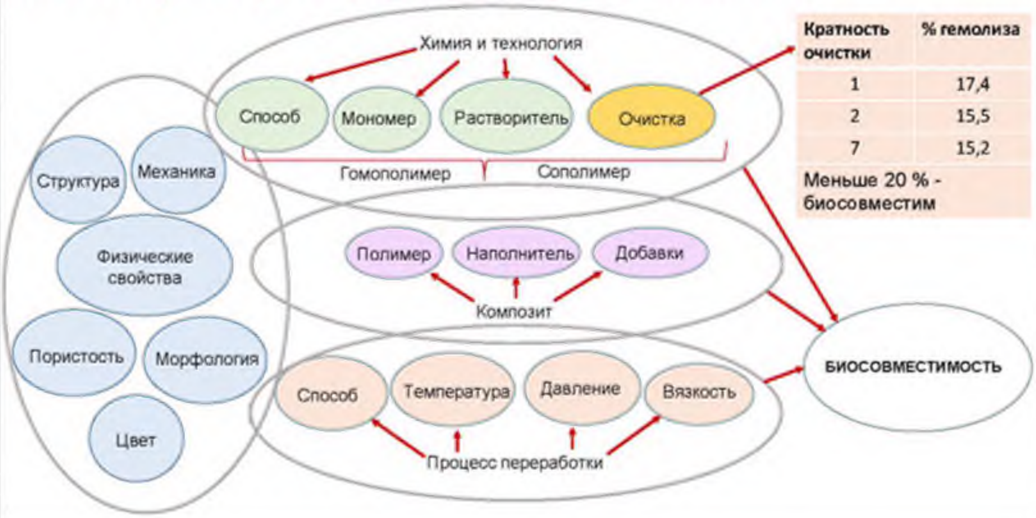


PEEK

- ✓ Биосовместимость
- ✓ По форме изделия
- ✓ По химической структуре

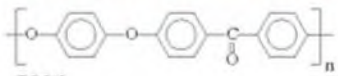


Какие параметры определяют биосовместимость?



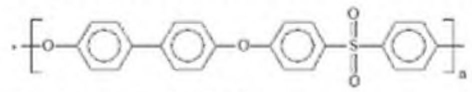
Кратность очистки	% гемолиза
1	17,4
2	15,5
7	15,2
Меньше 20 % - биосовместим	

Влияние надмолекулярной структуры на биосовместимость



ПЭЭК

СПЭК на основе 4,4'-дигидроксибифенола и 1,4-дигидроксибензола (СПЭЭК)



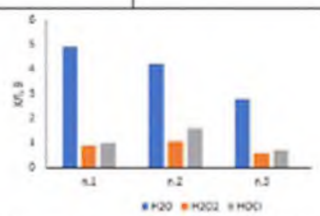
Полифениленсульфон (ПФСн)

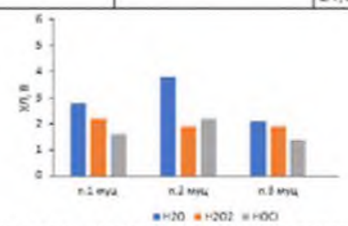
Образец	$T_{пл}$, °C	T_c, °C	$X_{кр}$, %
ПЭЭК	342	138	46,2
СПЭЭК	324	155	31,8

Влияние надмолекулярной структуры на биосовместимость

Амплитуда ХЛ ответа цельной крови при активации полимерами, обработанными водой или водой и раствором муцина

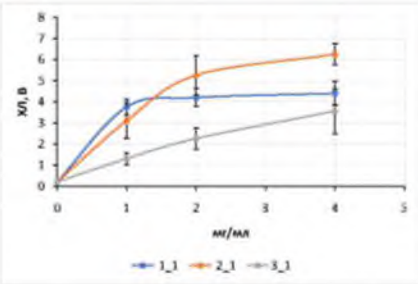
Образцы	Амплитуда ХЛ ответа на образцы, В		Амплитуда ХЛ ответа на ФМА, В	
	Без муцина	С муцином	Без муцина	С муцином
PEEK	4,4 ± 0,6	2,9 ± 0,3	6,4 ± 2,3	27,5 ± 0,6
SPEEK	3,9 ± 1,3	2,4 ± 0,1	5,1 ± 2,4	31,2 ± 0,1
PPSU	2,2 ± 0,4	1,8 ± 0,2	4,1 ± 0,7	26,6 ± 1,4
NaCl	0,2 ± 0,02		4,7 ± 0,7	
муцин		1,7 ± 0,1		21,6 ± 0,4



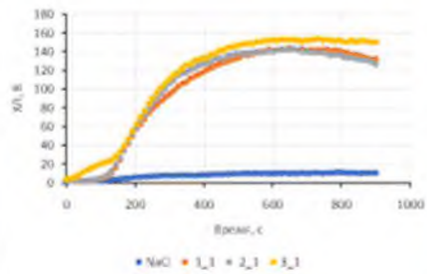


Величина ХЛ ответа цельной крови на образцы полимеров в зависимости от их предобработки пероксидом водорода или хлорноватистой кислотой. Представлены данные для образцов без муцина и с муцином

Влияние надмолекулярной структуры на биосовместимость



Влияние концентрации полимеров на ХЛ ответ крови
1_1 – PEEK, 2_1 SPEEK, 3_1 - PPSU



Кинетические кривые ХЛ ответа нейтрофилов на образцы полимеров в конечной концентрации 2 мг/мл

PEEK

SPEEK

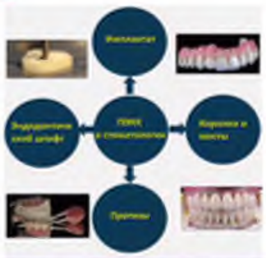
PPSU

Полиэфиркетонкетон (ПЭКК) в качестве имплантатов

- ✓ Обладает меньшей чем ПЭЭК бактериальной адгезией на поверхности
- ✓ Лучшая остеоинтеграция по сравнению с ПЭЭК
- ✓ Возможность регулирования степени кристалличности
- ✓ Удобство создания персонализированных имплантатов методом 3D печати

Стоматологический материал из ПЭКК Pekkton® ivory (Cendres+Métaux SA, Швейцария)

Имплантат OsteoFab® PEKK



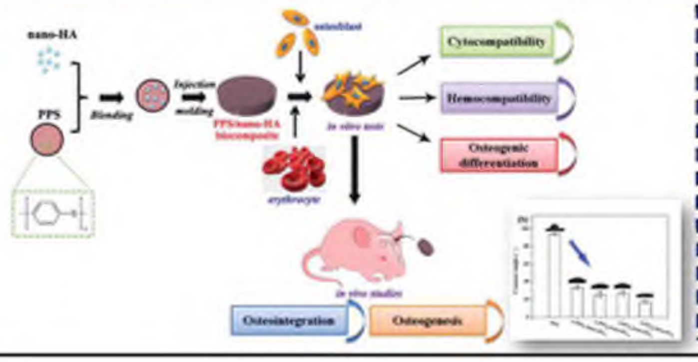
Сравнительные исследования 3D образцов ПЭЭК, ПЭЭК, напыленного титаном и ПЭКК

Фотография и микрофотография структуры имплантатов (до и после операции [извлечение через 16 недель])

Свойства	ТЛ 80/20	ТЛ 70/30	ТЛ 60/40
Модуль упругости при растяжении, МПа	3800	3800	2900
Модуль упругости при изгибе, МПа	3900	3900	3000
Температура плавления, 10°С/мин, °С	357	331	302
Удлинение при разрыве, %	30	20	50
Температура стеклования, 10 °С/мин	165	162	160
Плотность, г/см³	1,29	1,29	1,27
Водопоглощение, %	0,5	0,5	0,6

Полифениленсульфид - композиты

Состав	Е изг, ГПа	Е раст, ГПа	σ разр, МПа	ε,%
ПФС - КБГУ	3,6	2,8	19,4	2,4
ПФС (ТО) -КБГУ	3,8	2,7	47	1,9
Fortron 0203	4,2	-	33	1,0
Fortron 0205	4,0	-	66	2,0
Угленаполненный ПФС (литье)				
ПФС+50% УВ - КБГУ	30,2	10,6	180	3,3
Угленаполенный ПФС (печать)				
ПФС+25 % УВ - КБГУ	13,8	5,5	78,0	2,0



ПЕРСПЕКТИВЫ

- ✓ Модуль упругости ПФС/нано-ГА близок к кортикальной кости
- ✓ Способствует пролиферации клеток
- ✓ Обладают хорошей биосовместимостью и остеоинтеграцией
- ✓ Имеются возможности разработки медицинской марки

ПРОБЛЕМЫ

- ✓ Нет промышленной медицинской марки
- ✓ Нет отечественного производства

Полиэфиримид

Применение в нейрохирургии

Гибкая многослойная микросистема полимер-металл-полимер, размещенная в зрительной коре головного мозга кошки

Kwang-Hee Cheon, Cheonil Park, Min-Ho Kang, In-Gu Kang. Construction of tantalum/poly(ether imide) coatings on magnesium implants with both corrosion protection and osseointegration properties, Bioactive Materials, Volume 6, Issue 4, 2021, Pages 1189-1200

ПЕРСПЕКТИВЫ

- ✓ Высокая механическая прочность
- ✓ Термическая стабильность
- ✓ Химическая стойкость
- ✓ Минимальная цитотоксичность
- ✓ Хорошая биосовместимость
- ✓ Устойчив к стерилизации
- ✓ Имеются отечественные технологии получения

ПРОБЛЕМЫ

- ✓ Высокая стоимость
- ✓ Отсутствие достаточного количества исследований
- ✓ Золотистый цвет
- ✓ Отсутствие отечественного производства

Свойства	Nanovia[1] (France)	3DXTech[2] (USA)	ПЭИ-УВ (КБГУ)	
			ПЭИ-УВ-ОФСн	ПЭИ-УВ-ПК
Модуль упругости при изгибе, МПа	4950	7500	**13300**	**8400**
Прочность при изгибе, МПа	-	120	**227,6**	**104,8**
Прочность при растяжении, МПа	-	145	**94,3**	**73**
Относительное удлинение при разрыве, %	3,5	1,5	**2,2**	**3,4**

Полиэфирсульфоны

Eviva® PSU
Ensinger

Veriva® PPSU
TECASON P MT

Имплантаты среднего уха, изготовленные изполиэфирсульфонов, будут обладать особенно хорошими характеристиками при проведении высокочастотных (от 4 гГц) звуковых волн. Вследствие низкого веса полимерного имплантата возможен низкий уровень «оглушения» при всех частотах.

ПЕРСПЕКТИВЫ

- ✓ превосходная ударная вязкость и прочность при использовании в клапанах и шунтах для лечения гидроцефалии
- ✓ размерная стабильность для нейроваскулярных и стоматологических применений
- ✓ непроницаемость и химическая стойкость для проволочных и свинцовых покрытий в клапанах и шунтах
- ✓ Прозрачность
- ✓ Возможность 3D печати
- ✓ Возможность широкого регулирования свойств за счет создания композитов
- ✓ Возрождение малотоннажной химии

ПРОБЛЕМЫ

- ✓ Высокая стоимость
- ✓ Желтый оттенок цвета
- ✓ Отсутствие отечественного производства

Наименование показателя		PPSU (США)	ПФСн	КПСФ-1	КПСФ-2	КПСФ-3	КПСФ-4
Ударная вязкость по Изоду, кДж/м²	б/н	н/р	н/р	н/р	22,5	22	
	с/н	10,5	25,4	-	-	-	-
Модуль упругости при изгибе, ГПа		2,41	2,5	4,1	6,2	8,0	4,5
Модуль упругости при растяжении, ГПа		1,72	2,1	3,15	3,9	6,2	3,4
Прочность при разрыве, МПа		64,5	79	70	67	60	46
Относительное удлинение, %		4	8,0	5,0	2,5	2,2	2,1

Синтезируемые в КБГУ суперконструкционные термопласты

МАТЕРИАЛ КБГУ	ЗАРУБЕЖНЫЙ АНАЛОГ
Полиэфирфиркетон (**ПЭЭК**) различных марок и композиты на его основе для литья и 3D печати **ТУ 20.116.40-010-63089030-2021**	Линейка марок PEEK фирмы Victrex (наполненные и ненаполненные марки)
Полиэфирэфиркетон медицинского назначения **ТУ 20.16.40-001-02069510-2022**	Медицинский PEEK Optima фирмы Victrex
Полифениленсульфон (ПФСн) различных марок и композиты на его основе для литья и 3D печати **ТУ 20.16.59-003-63089030-2019**	Линейка марок PPSU фирмы Solvay (Radel) и BASF (Ultrason P) (наполненные и ненаполненные марки)
Полисульфон (ПСФ) различных марок и композиты на его основе для литья и 3D печати **ТУ 20.16.59-003-63089030-2019**	Линейка марок PSU фирмы Solvay (Udel) и BASF (Ultrason S) (наполненные и ненаполненные марки)
Полиэфирсульфон (ПЭС) различных марок и композиты на его основе для литья и 3D печати **ТУ 20.16.59-003-63089030-2019**	Линейка марок PESU фирмы Solvay (Veradel) и BASF (Ultrason E) (наполненные и ненаполненные марки)
Полифениленсульфид (ПФС) **ТУ 20.16-001-63089030-2019**	Марки PPS с низкой вязкостью Forton 0203 и Forton 0205 для композитов фирмы Celanese
Полиэфиримид (ПЭИ)	PEI фирмы Sabic (Ultem)
Сополимеры ПЭЭК, ПФСн, ПСФ, ПЭС, ПЭИ и композиты на их основе **ТУ 20.60.13-007-63089030-2019** **ТУ 23.99.14-005-63089030-2019** **ТУ 23.99.14-006-63089030-2019** **ТУ 23.99.24-004-63089030-2019**	

✓ **Марки КБГУ высокотехнологичны и могут перерабатываться как литьем, экструзией, прессованием, так и 3D печатью**

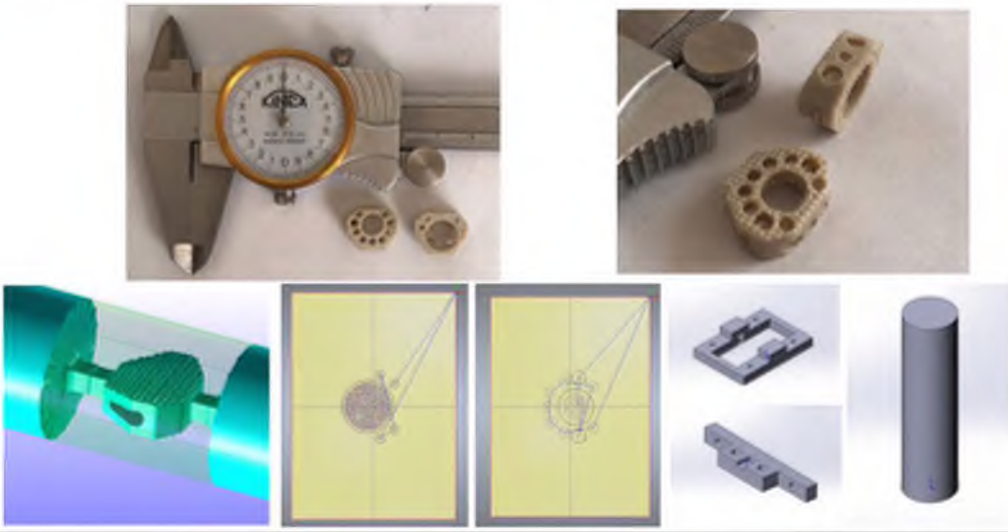
Стадии внедрения полимера в медицину

1 стадия	2 стадия	3 стадия	4 стадия
Материал и его свойства	Тестирование in vitro	Тестирование in vivo имплантация	Испытания с участием человека

ЗАРЕГИСТРИРОВАН ТУ НА МЕДИЦИНСКИЙ ПЭЭК
ТУ 20.16.40-001-02069510-2022

СООТВЕТСТВУЕТ требованиям безопасного применения!

Изготовление спинальных кейджей из ПЭЭК-КБГУ



ВЫВОДЫ

- ✓ Суперконструкционные полимеры демонстрируют большой потенциал в области биомедицины вследствие низкой токсичности, биосовместимости и других позитивных эффектов, однако они еще далеки от своего пикового использования в медицинских устройствах и имплантатах
- ✓ До сих пор трудно определить, какой материал на основе СП лучше всего подходит для различных биомедицинских целей
- ✓ Необходимы дополнительные исследования, чтобы установить прямую связь между химической структурой, условиями получения и переработки полимера в изделия и его биосовместимостью
- ✓ Новые горизонты перспективных приложений суперконструкционных полимеров в медицине возможно открыть за счет модификации поверхности и создания композитов

Идеальных имплантатов нет, но наиболее перспективны суперконструкционные полимеры!

ПРОБЛЕМЫ

- ✓ Высокая зависимость от импортных материалов и изделий;
- ✓ затруднительная сертификация материалов;
- ✓ нет стандартизированной методики испытаний материалов для применения в качестве имплантатов, в том числе долгосрочной;
- ✓ отсутствие отечественного производства медицинских полимеров

ПЕРСПЕКТИВЫ

- ✓ Развитие малотоннажной химии полимеров медицинского назначения

ВОЗМОЖНОСТИ

- ✓ Имеются отечественные технологии получения ПЭЭК и других суперконструкционных полимеров и технологии их переработки, в том числе 3D печати


Центр прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ
ЦПМАТ
научный центр
СИНТЕЗ МАТЕРИАЛА
ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЯ
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ
3D ПЕЧАТЬ, ЛИТЬЕ
ГОТОВ К СОТРУДНИЧЕСТВУ!

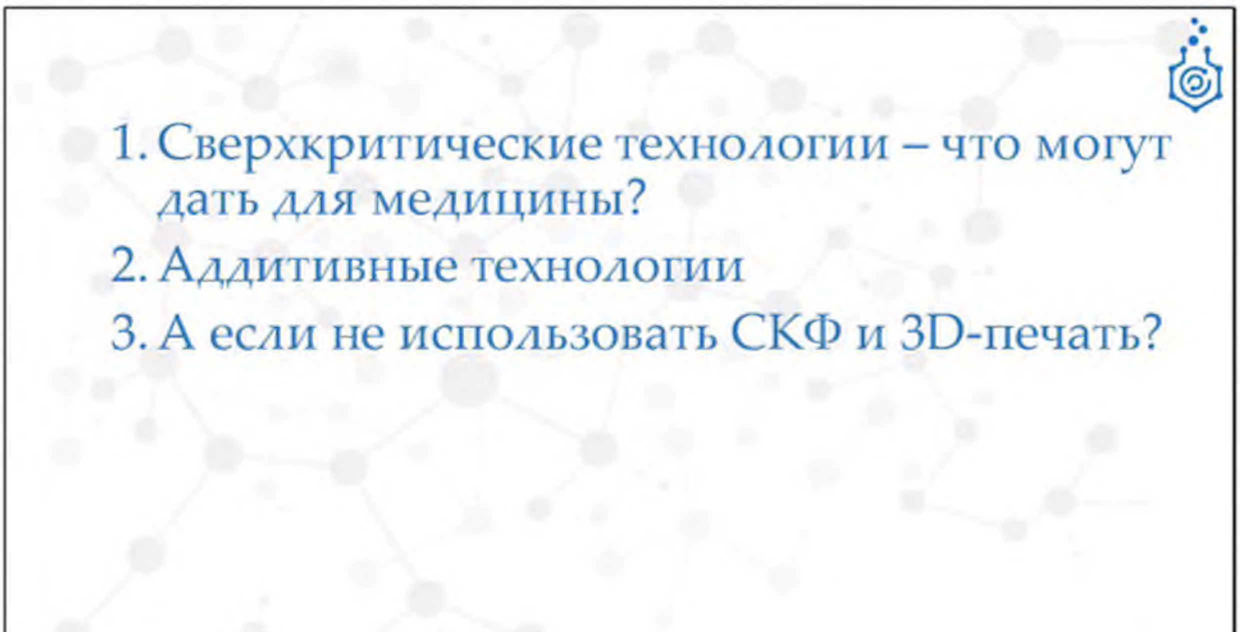

ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ
БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!
360004, Россия, КБР,
г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173,
тел. (88662) 72-30-48
E-mail: new_kompozit@mail.ru
http://cpmat.ru/

Приложение 2.

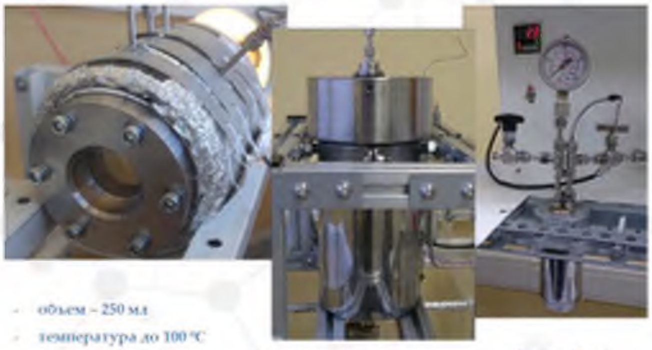
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Профессор, заведующая кафедрой химического и фармацевтического инжиниринга д.т.н. Н. В. Меньшутина

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева



Сверхкритические технологии для изделий медицинского назначения



Применения:
- пропитка
- адсорбция
- децеллюляризация
- стерилизация

- объем – 250 мл
- температура до 100 °C
- давление до 300 bar

- объем – 2 л
- температура до 80 °C
- давление до 200 bar

- объем – 65 мл
- температура до 120 °C
- давление до 350 bar

Патент №2 779 050 от 31.08.2022 г.

2

Аэрогели – класс уникальных высокопористых материалов

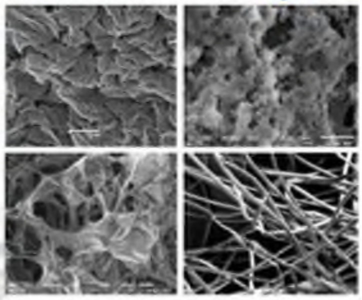
Высокая площадь внутренней поверхности
$S = 200 – 2000$ м²/г
$V_{пор} = 3 – 10$ см³/г

Низкая плотность
$\rho = 0.003 – 0.35$ г/см³

Пористость: 90 – 99 %

Диаметр пор:
5 - 50 нм

Различная форма и размер



Возможность получения аэрогелей на основе различных биосовместимых материалов

Полисахариды (альгинат, желатин, хитозан, гиалуроновая кислота и др.);

Протеины (коллаген, эластин, овальбумин, бета-лактоглобулин, фосфопротеин и др.);

Гибридные аэрогели (совмещение различных исходных веществ, например «коллаген + гиалуроновая кислота»).

3

Медицинские изделия на основе биополимерных аэрогелей для оказания первой помощи

Тампонирующие материалы

Микрочастицы

Гидроколлоидные пластыри

Особенности и ключевые преимущества использования биополимерных аэрогелей:

- ✓ Биосовместимость и безопасность при использовании;
- ✓ Способность принимать форму раны или полости;
- ✓ Высокая сорбционная емкость избытка раневого экссудата и его токсических компонентов (до 70 г/г);
- ✓ Предотвращение вторичного инфицирования раны;
- ✓ Стимуляция регенеративных процессов;
- ✓ Защита от внешних травмирующих воздействий;
- ✓ Механическая прочность;
- ✓ Возможность безопасного извлечения из раны;
- ✓ Отсутствие цитотоксичности;
- ✓ Возможность внедрения лекарственных средств из группы антисептиков, антибиотиков, анестетиков и др.;
- ✓ Возможность использования по принципу «заполненный шприц» или в составе аппликаторов (в случае частиц).

Патент №2 743 425 от 18.02.2021 г. (гемостатики)
Патент №2 757 593 от 19.10.2021 г.
Патент № 2 725 031 от 29.06.2020 г.
...

Губчатые повязки

Противоожоговые повязки

Спреи и аэрозоли

4


Местные гемостатические средства на основе хитозановых аэрогелей
Свойства аэрогеля:
Плотность: 0,003-0,5 г/см³
Площадь удельной поверхности: 150-1800 м²/г
Средний размер пор: 5-30 нм
Пористость: 85-99%
Сорбционная емкость: до 60 г/г
МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ МЕСТНЫХ ГЕМОСТАТИКОВ
на основе хитозана
эритроцитарный сгусток
Свойства частиц хитозановых аэрогелей:
Остановка массивных артериальных/венозных кровотечений за 3 минуты
Антибактериальная активность, биосовместимость
В совокупности с АФС (лидокаин, эритромицин и т.д.) терапевтический эффект при применении (анестезирующий, анестетический и т.д.)
Свойства микрочастиц хитозановых аэрогелей:
Остановка кровотечений при хирургических вмешательствах или ранении верхних покровов
Антибактериальная активность, биосовместимость
В совокупности с АФС (лидокаин, эритромицин и т.д.) терапевтический эффект при применении (анестетический, противомикробный и т.д.)
Свойства бинтов на основе хитозановых аэрогелей:
Остановка массивных артериальных/венозных кровотечений за 3 минуты
Антибактериальная активность, биосовместимость
Массовая загрузка хитозана в подложки до 25 масс%
Сорбционная емкость до 15 г/г
5


Хитозановые аэрогели
Монолиты или губки
Частицы
Микрочастицы
Размер
От 1 см
От 0,5 до 10 мм
От 10 до 500 мкм
Group
3rd day
7th day
14th day
21st day
Negative control
Chitosan film
Сорбционная ёмкость: до 60 г/г
6


ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОПОЛИМЕРНЫХ АЭРОГЕЛЕЙ
1. Сорбционные медицинские изделия (первая помощь и терапия мокнущих ран, ожогов, ранений и пр.)
2. Изделия медицинского назначения для регенерации различных дефектов, в том числе костных (в случае тяжелых травм)
Аэрогель (на основе коллагена) помещается в полость кости
Замещение костного дефекта и дифференциации собственных клеток
Биодеградация аэрогеля по мере регенерации костного дефекта
3. Функциональные материалы с направленным терапевтическим действием с внедренными лекарственными средствами, в том числе для челюстно-лицевой хирургии
Аэрогель помещается в полость десны, разбухает и полностью заполняет её
Безопасное заживление + терапия
7

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

4. Персонализированные изделия медицинского назначения, полученные с использованием 3D печати

5. Изделия для косметологических применений (коллаген+гиалуроновая кислота+ эластин) с возможностью модификации различными добавками

Омолаживающие маски для лица

Терапия кожных заболеваний

6. Функциональное спортивное питание (протеиновые аэрогели с различными добавками)

8

Сверхкритическая стерилизация изделий медицинского назначения

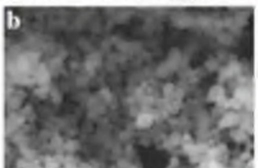
Параметры проведения процесса:
Температура (от 40 до 60℃)
Давление (от 12 до 18 МПа)
Время (от 30 до 180 минут)
Дополнительный стерилизующий агент:
- Изопропанол
- Пероксид водорода

Виртуальная геометрия аппарата высокого давления для проведения процесса сверхкритической флюидной стерилизации высокопористых материалов

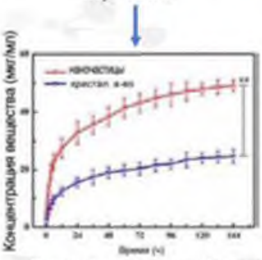
9

Процесс быстрого расширения сверхкритических растворов (RESS)

Получение нано- и микрочастиц

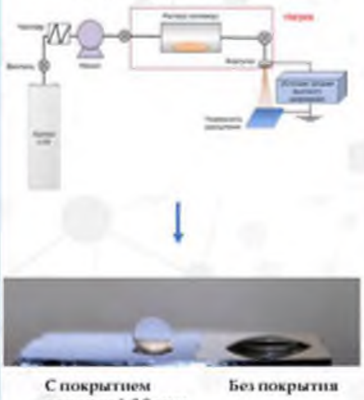


Dср = 73 нм



Увеличение растворимости и скорости растворения АФС

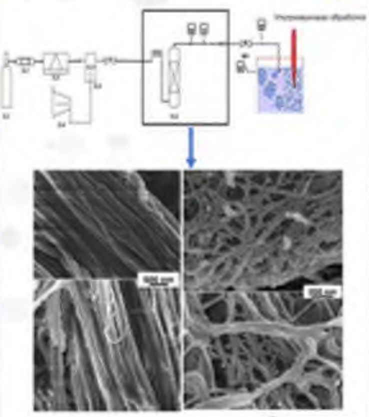
Получение супергидрофобных полимерных покрытий



С покрытием толщиной 0,9 мкм

Без покрытия

Получение волокон



а б

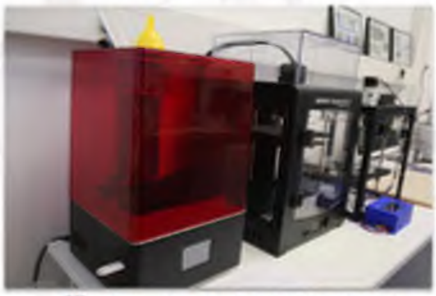
СЭМ-изображения волокон полимера, полученных с помощью процесса RESOLVE в: а – метанол и гексан; б – водный раствор хлорида натрия

10

Аддитивные технологии для получения медицинских изделий

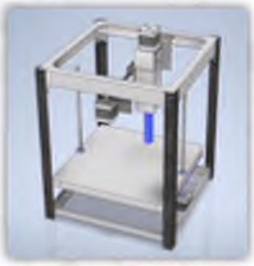
- Технология прямой гелевой печати
- Технология 3D-печати с использованием гетерофазной системы
- Технологии послойного наплавления и получения гибридных изделий
- Технология жидкокристаллической стериолитографии (LCD)

3D-принтер собственной конструкции для реализации процесса печати вязкими материалами



3D-принтеры для реализации процесса печати фотополимерами и пластиками

3D-печать гелевыми материалами



Цифровая модель 3D-принтера

Экструдер гелевых

Характеристики материала для печати:
- Вязкость гелевых материалов
- Тиксотропные свойства гелевых материалов
- Однородность гелевых материалов

Характеристики процесса печати:
- Скорость подачи гелевых материалов
- Скорость перемещения экструдера

Реализация процесса 3D-печати с использованием разработанной конструкции 3D-принтера и составы гелевых материалов на основе альгината натрия

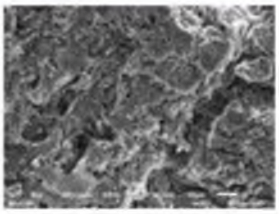
Цыганков П. Ю., Абрамов А. А., Меньшутина Н. В. 3D-печать гелевыми материалами с целью получения аэрогелей на основе альгината натрия // Химическая промышленность сегодня. – 2020. – № 6. – С. 52–57.

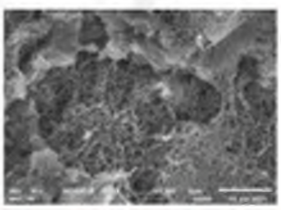
3D-печать мягких тканей

Персонализированный имплантат сердечно-сосудистой системы

Персонализированный имплантат хрящевой ткани

Матриксы для роста клеток со сложной геометрией

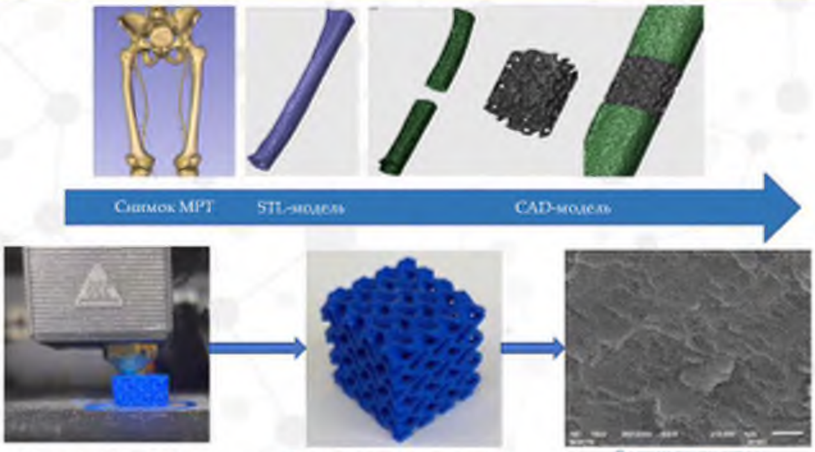




Снимки СЭМ материалов со сложной геометрией после проведения процесса СКС

N. Menshutina, A. Abramov, P. Tsygankov, D. Lovskaya Extrusion-based 3D printing for highly porous alginate materials production // GELS. – 2021. – Vol. 7, no. 3. – P. 92–105.

3D-печать костных имплантов



3D-печать твердого каркаса костного имплантата

Основа имплантата костной ткани (полилактид, могут использоваться наночастицы и т.д.)

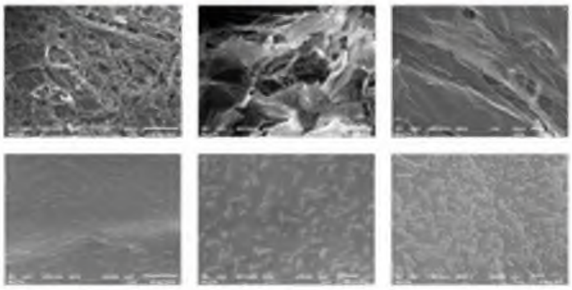
Внутренняя структура гибридного имплантата костной ткани

Заполнение внутренней структуры имплантата гидрогелем

Гемостатическая губка на основе альгината, хитозана и микробиологического серебра

Антибактериальный эффект:

- **Bacillus cereus**
- **Staphylococcus aureus (золотистый стафилокок)**
- **Pseudomonas aeruginosa (синегнойная палочка)**



I II III

Исследования 2023 г:

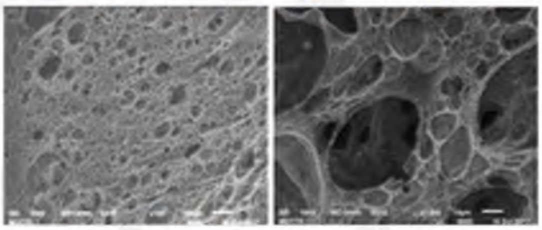
- Диагноз: остеосаркома челюсти, неудачная пересадка кожи, нарушена заживляемость раны при постоянной химиотерапии
- Применение материала с добавлением коллагена привело к улучшению вида раны, снижению интенсивности воспаления краев, появлению частичной эпитализации

Патент №2732156 от 25.12.2018 г.

Биосовместимые биодеградируемые матриксы

на основе ПМГК*, ПКЛ**, альгината натрия, наночастиц гидроксиапатита

- **Механически стабильны**
- **Цитотоксичность отсутствует**
  (культура клеток ММСК слизистой десны человека)
- **Высокая адгезия клеток к матриксу**
- **Острая токсичность отсутствует**
  (исследования на мышах и крысах Вистар, инъекции экстракта в брюшную полость)

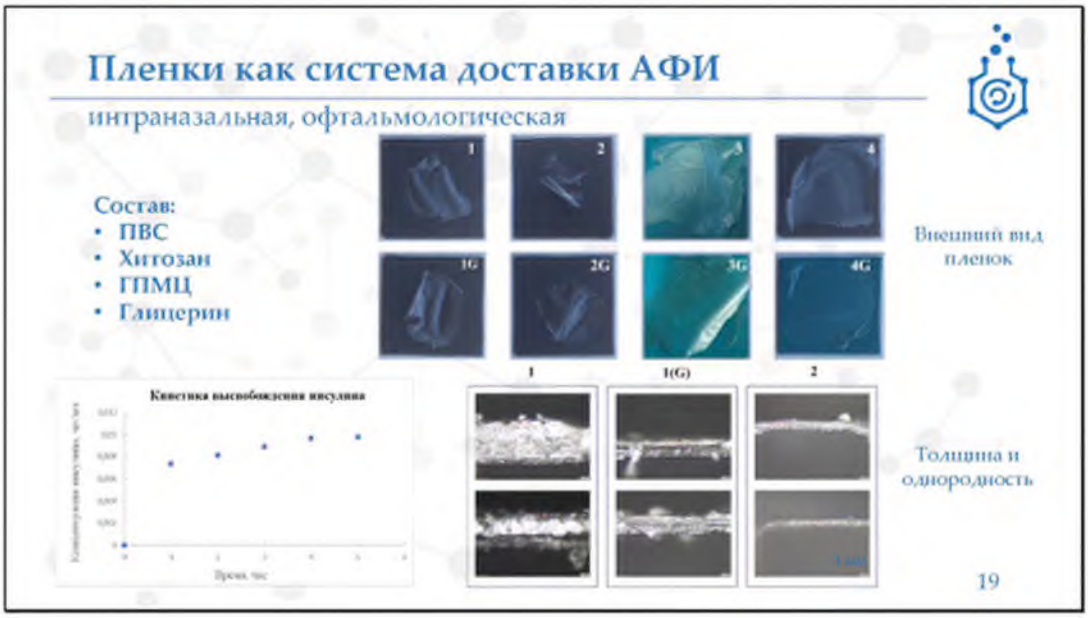


Матриксы для прорастания клеток, предназначены для постепенной деградации и замены на ткани человека

*ПМГК - со-полимер полимолочной и полигликолевой кислот
**ПКЛ - поликапролактон

Патент №2756551 от 30.12.2019 г.


Микросферы для культивирования клеток
на основе ПМГК, желатин, коллаген, хитозан, альгинат натрия
Микросферы можно применять для суспензионного культивирования в качестве подложек или для инъекционного ввода клеток
Отработаны методики формирования микросфер, в том числе с развитой макроструктурой, из разного класса полимеров:
• ПМГК, ПКЛ
• Желатин, коллаген, хитозан, альгинат натрия
Сухие частицы
Частицы после сорбции воды
Микросферы на основе желатина, покрытые коллагеном
Пористые микросферы на основе ПМГК
18


Пленки как система доставки АФИ
интраназальная, офтальмологическая
Состав:
• ПВС
• Хитозан
• ГПМЦ
• Глицерин
1
2
3
4
1G
2G
3G
4G
Внешний вид пленок
Кинетика высвобождения инсулина
1
1(G)
2
Толщина и однородность
19


Покрытие в псевдоожиженном слое
Инкапсуляция в Kollicoat MAE 100P
Модульная лабораторная установка MINILAB RC (Diosna, Германия)
Проведение экспериментальных работ на установке псевдоожиженного слоя Mini-Glatt (Германия)
Фармпрепарат. Грануляция.
Фармпрепарат. Наслаивание.
20

Приложение 3.

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ БИОПЕЧАТИ И РОБОТИЗИРОВАННОЙ ХИРУРГИИ

Директор Института биомедицинской инженерии НИТУ МИСИС к.ф.-м.н. Сенатов Ф. С.

Университет науки и технологий МИСИС

Университет МИСИС – точка реализации комплексного подхода в биоинженерии и образовании

Вызовы:

- Необходимость комплексного подхода при диагностике и лечении социально значимых заболеваний
- Необходимость в специалистах нового типа, объединяющих инженерные, материаловедческие, биологические и медицинские компетенции

МИСИС
ИНСТИТУТ БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

1) Лаборатория Биофизики
2) Лаборатория «Биомедицинские наноматериалы»
3) Лаборатория Тканевой инженерии и регенеративной медицины
4) Лаборатория «Сплавы с памятью формы»
5) НИЦ «Неорганические наноматериалы»

Рейтинг публикационной активности российских университетов

	Срез Материаловедения: Биоматериалы (Biomaterials)					
Место в 2023	Университет	Общий балл 2023	Масштаб, устойчивость научной деятельности	Качество роста	Востребованность научной деятельности	Превосходство
1	Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова	94,8	66,7	78,9	97,9	95,2
2	**Национальный исследовательский технологический университет МИСИС**	**88,9**	**70,9**	**77,5**	**92,2**	**78,3**
3 - 4	Национальный исследовательский Томский политехнический университет	84,9	69,4	93,6	74,2	83,9
3 - 4	Российский университет дружбы народов	84,6	52,9	100,0	93,7	79,7
5	Московский физико-технический институт	82,8	53,4	100,0	90,1	100,0
6 - 7	Университет ИТМО	80,7	74,4	77,6	69,8	73,5
6 - 7	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	80,4	78,2	67,5	64,8	78,6

по данным Аналитического центра «ЭкспертАЦ»

Биоматериаловедение и Биоинженерия в Университете МИСИС

11,4 % от общих доходов от НИОКР

12,1% от всех статей Q1/Q2

12 докторов медицинских и биологических наук

>100 студентов и аспирантов выполняют НИР

78% сотрудников моложе 39 лет

Экспертный совет

совещательный орган для привлечения лучшего отечественного и мирового опыта и компетенций

ФИО	Организация
Белоусов Всеволод Вадимович, Д.б.н., член-корр. РАН	Директор Федерального центра мозга и нейротехнологий ФМБА России
Дайхес Николай Аркадьевич, Д.м.н., член-корр. РАН	Директор НМИЦ оториноларингологии ФМБА России
Логунов Денис Юрьевич, Д.б.н., академик РАН	Зам.директора по научной работе НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи
Миткевич Владимир Александрович, Д.б.н., член-корр. РАН	Заместитель директора по научной работе Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН
Назаренко Антон Герасимович, Д.м.н., профессор РАН	Директор НМИЦ травматологии и ортопедии им.Н.Н. Приорова
Решетов Игорь Владимирович, Д.м.н., академик РАН	Директор института кластерной онкологии имени профессора Л.Л. Левшина (Сеченовский Университет)
Чехонин Владимир Павлович, Д.м.н., академик РАН	Заместитель Президента РАН

Образование

Магистерские программы:

- Биомедицинские наноматериалы *(с 2015 г)*
- Биоматериаловедение iPhD *(с 2019 г)*
- Биомедицинская инженерия и биофабрикация ПИШ (*с 2023 г*)
- **Нейроинженерия и Тераностика** *(с 2024)*

(направление 19.04.01 «Биотехнологии»)

Программы ДПО:

- Биофабрикация и методы анализа в тканевой инженерии (100 часов) *(с 2023 г)*

Реализуемые биомедицинские курсы:

1. Морфология и клеточная биология
2. Токсикология
3. Экспериментальная онкология
4. Биофизика
5. Биохимия
6. Клеточный и гуморальный иммунитет
7. Аппаратные методы исследований
8. Микробиология
9. Генная инженерия
10. Выделение и очистка белков
11. Тканевая инженерия и регенеративная медицина
12. Биофабрикация
13. Морфология и гистология

Формирование продуктоориентированной модели

Внешний экспертный совет

Представители медицинских организаций, формирующих рыночный запрос

Институт биомедицинской инженерии

Научно-образовательное направление

Генерация продуктовых групп

Консорциум «Инженерия здоровья»

Текущие продуктовые направления

- «Тканевой пистолет» для расширенных повреждений кожи и мягких тканей
- Роботический биопринтер для *in situ* печати на человеке
- Биорезорбируемые винты и пластины для челюстно-лицевой хирургии и ортопедии
- Индивидуализированный имплантат хряща
- Межпозвонковые кейджи и ортопедические имплантаты (Ti-Nb-Zr и ПЭЭК)
- Нейроимплантаты и нейроинтерфейсы

Консорциум «Инженерия здоровья»

Участники Консорциума

1. НИТУ «МИСИС» - **Инициатор и координатор**
2. РНИМУ им. Н.И. Пирогова
3. ТГУ
4. КБГУ
5. БелГУ
6. НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова
7. НМИЦ ПН им. В.П. Сербского
8. НМИЦ онкологии имени Н. Н. Блохина
9. НИЦЭМ им. Н. Ф. Гамалеи
10. ФЦМН ФМБА России
11. ИМБ им. В. А. Энгельгардта РАН
12. ООО "Конмет»
13. 3D-bioprinting solutions
14. ООО «НТМ»

Модель Стратпроекта **продуктовая**

8

Консорциум «Инженерия здоровья»

Сырье → Производственная площадка ↔ Клиника

Разработчики → Производственная площадка

Председатель – Чехонин В.П., академик РАН

Заседания 2 раза в год

Приглашенные <u>внешние</u> эксперты по продуктам:

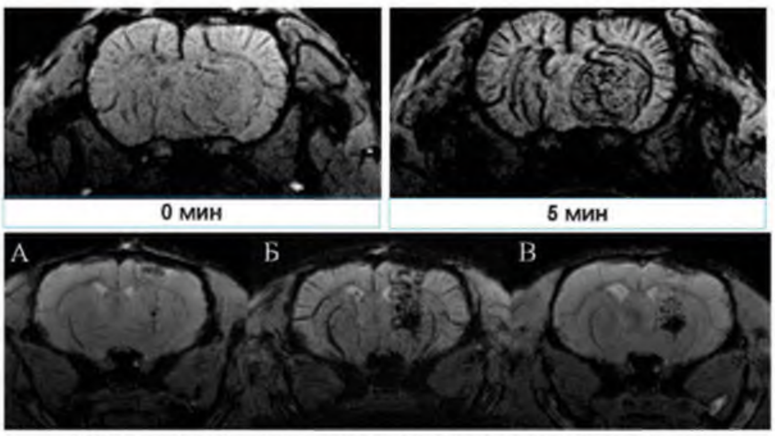
- **"Межпозвонковый кейдж":** Гуща А.О., зав.отдел.нейрохирургии (ФГБНУ Научный Центр Неврологии), Гринь А.А., зав.отдел. (НИИ СП им.Н.В Склифосовского), Колесов С.В., зав. отдел. (НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова).
- **"Нейроимплантат« и «Нейроинтерфейс»:** Белоусов В.В., директор (Центр мозга и нейротехнологий ФМБА России)
- **«Имплантат хряща»:** акад. Дайхес Н.А., директор (НМИЦ оториноларингологии ФМБА России)
- **«Тканевой пистолет» и «Биопринтер in situ»:** Брижань Л.К., д.м.н., зав.глав.травматолога ВС (ГКВГ им.Бурденко)

9

TRL 7-8

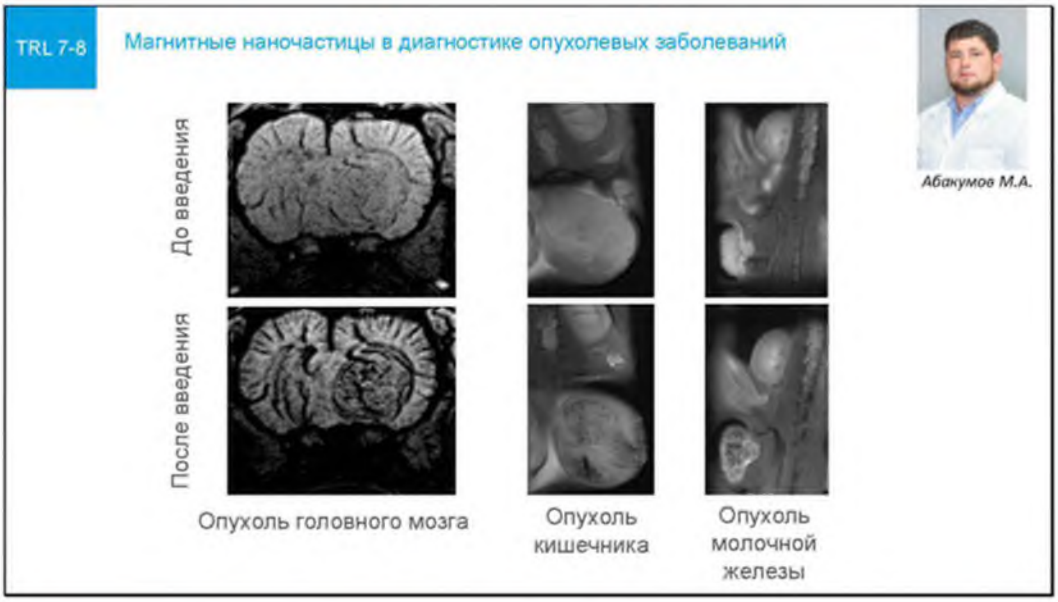
Контрастное вещество на основе наночастиц оксида железа, покрытых белковой оболочкой, и препарат для терапии железодефицитной анемии

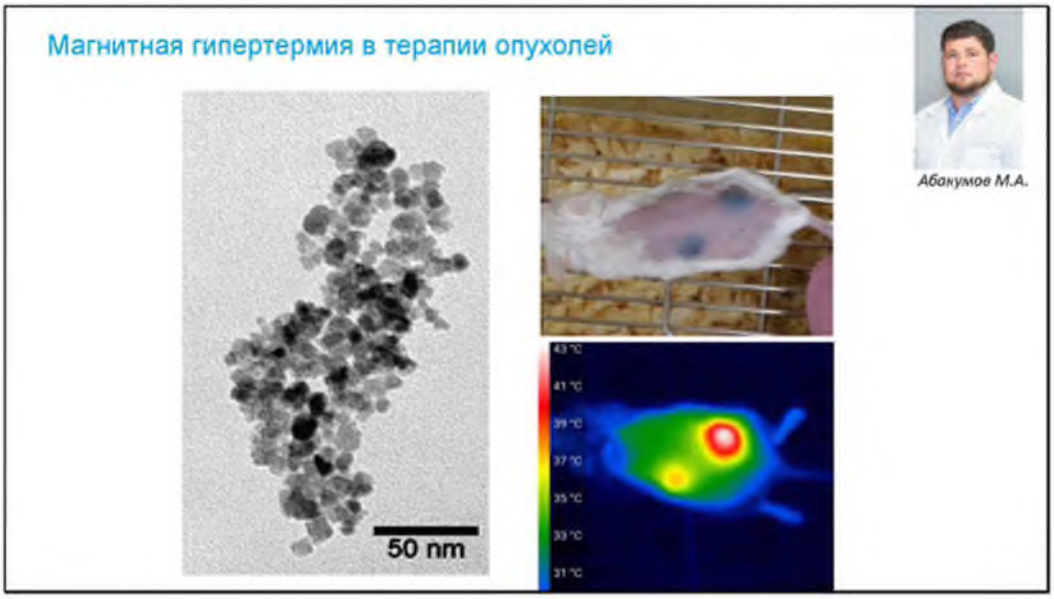
Абакумов М.А.



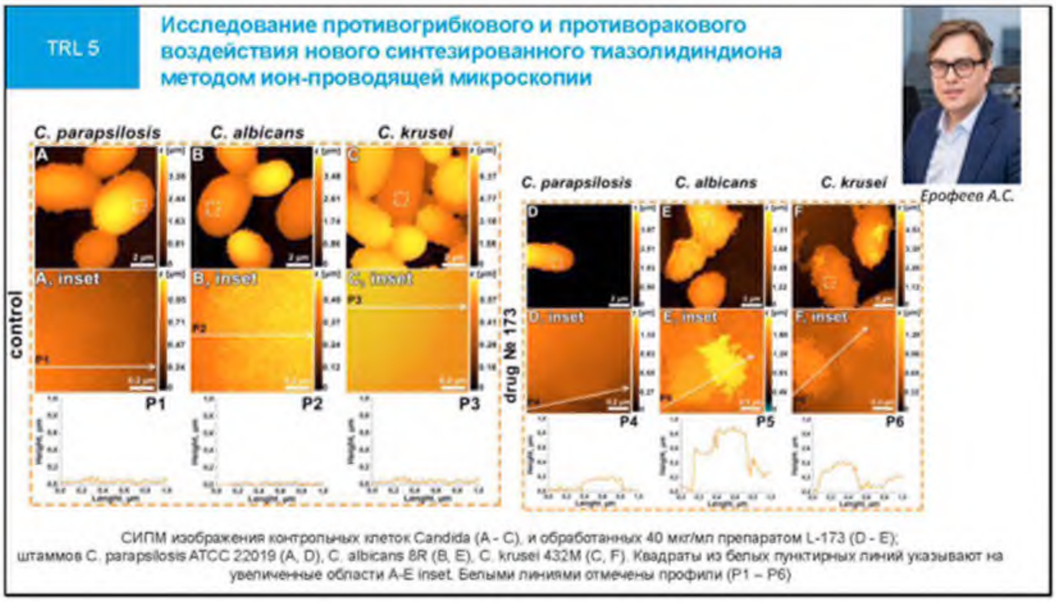
МРТ головного мозга крыс до введения (А), через 5 минут после введения (Б) и через 24 часа (В) после введения контрастного средства в дозе 5 мг/кг

- В условиях **GMP** получены 3 опытные партии
- Разработан опытно-промышленный регламента получения в соответствии с ОСТ
- Результаты **доклинических исследований** свидетельствуют об эффективной визуализации и отсутствии побочных эффектов


TRL 7-8
Магнитные наночастицы в диагностике опухолевых заболеваний
Абакумов М.А.
До введения
После введения
Опухоль головного мозга
Опухоль кишечника
Опухоль молочной железы


Магнитная гипертермия в терапии опухолей
Абакумов М.А.
50 nm
43 °C
41 °C
39 °C
37 °C
35 °C
33 °C
31 °C

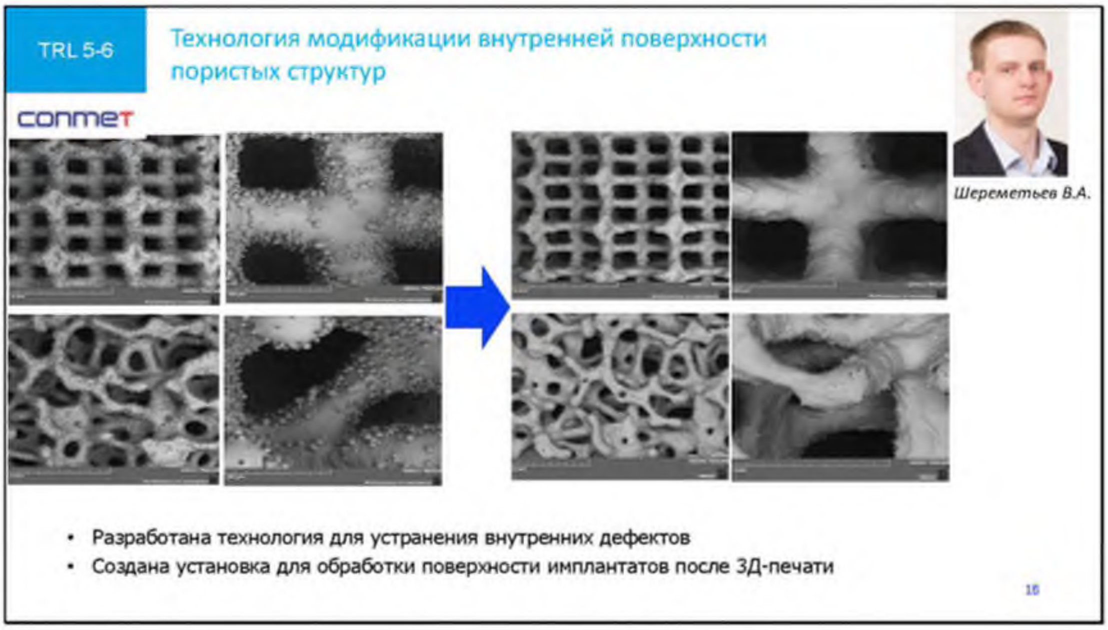

TRL 5
Система для скрининга противоопухолевых препаратов
Ерофеев А.С.
500 нм
Определяемые аналиты с помощью наносенсоров:
- Клеточные метаболиты (активные формы кислорода)
- Кислород
- Нейромедиаторы
- Ионы переходных металлов
20 μm
10 μm
0 μm
Опухоль
Единичные клетки
3D модели сфероидов
Живые организмы (мыши)


TRL 5
Исследование противогрибкового и противоракового воздействия нового синтезированного тиазолидиндиона методом ион-проводящей микроскопии
Ерофеев А.С.
C. parapsilosis
C. albicans
C. krusei
control
drug № 173
P1
P2
P3
P4
P5
P6
СИПМ изображения контрольных клеток Candida (A - C), и обработанных 40 мкг/мл препаратом L-173 (D - E);
штаммов C. parapsilosis ATCC 22019 (A, D), C. albicans 8R (B, E), C. krusei 432M (C, F). Квадраты из белых пунктирных линий указывают на увеличенные области A-E inset. Белыми линиями отмечены профили (P1 – P6)


TRL 4
Система для определения единичных молекул и маркеров заболеваний
Ерофеев А.С.
Принцип работы
Подготовка образцов
Определение белков и РНК
Контроль
Образец с аналитом
Определяемые аналиты:
белки (например, S, N белки SARS-CoV-2
маркеры нейродегенеративных заболеваний (бета-амилоидные агрегаты)
маркеры опухолевых заболеваний

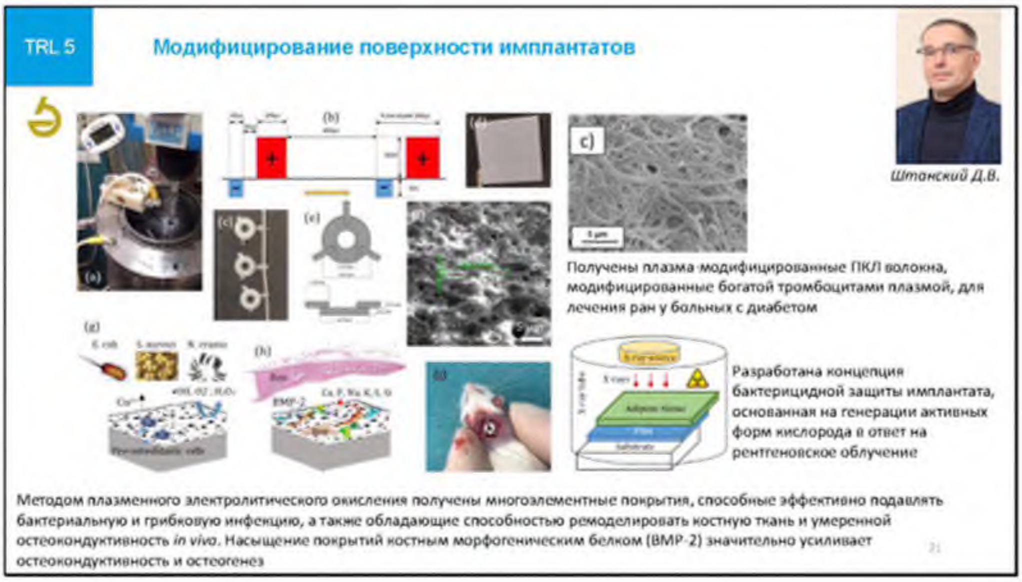

TRL 4
Технология скриннинга мед.препаратов на сфероидах
Кудан Е.В.
Дорогой, высокочувствительный, роботизируемый метод
24 ч
72 ч
1.5 ч
Внесение клеточной суспензии в планшеты
Добавление веществ к образовавшимся сфероидам
Добавление CellTiter-Glo 3D к сфероидам с веществами
Измерение люминесцентного сигнала
Дешевый, менее чувствительный, прижизненный метод
24 ч
72 ч
8 ч
Внесение клеточной суспензии в агарозные молды
Добавление веществ к образовавшимся сфероидам
Добавление резазурина к сфероидам с веществами
Измерение флуоресцентного сигнала
Тканевые сфероиды
16

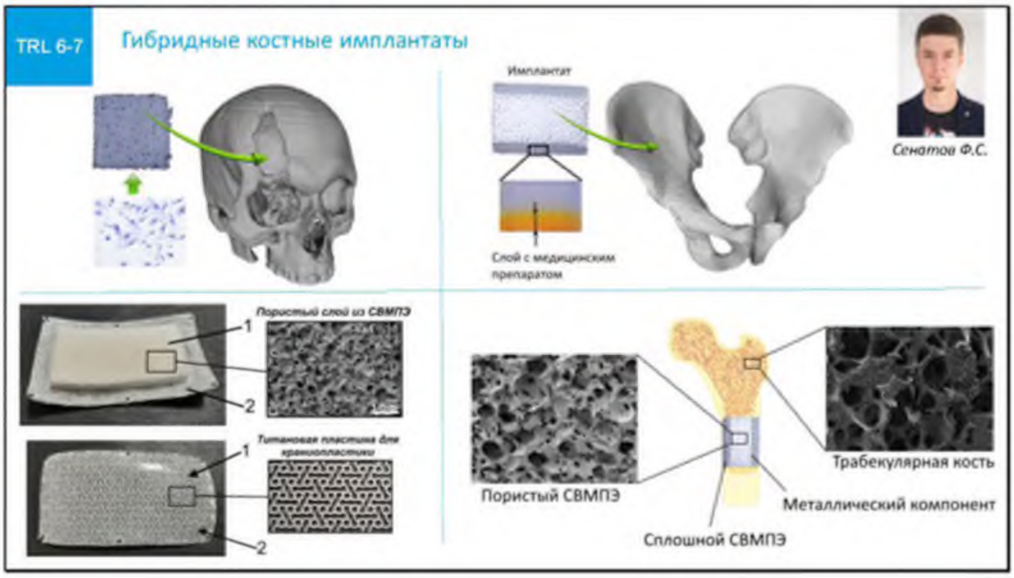

TRL 7
Магниевый сплавы и способы получения заготовок для изготовления биорезорбируемых систем фиксации и остеосинтеза твердых тканей в медицине
Комиссаров А.А.
Мембрана для челюстно-лицевой хирурги
Канюлированный винт для ортопедии
Винт с покрытием
Проволока различного диаметра
Разработано при участии асп. МИФП Ли А.В. (научный руководитель – Комиссаров А.А.)
17

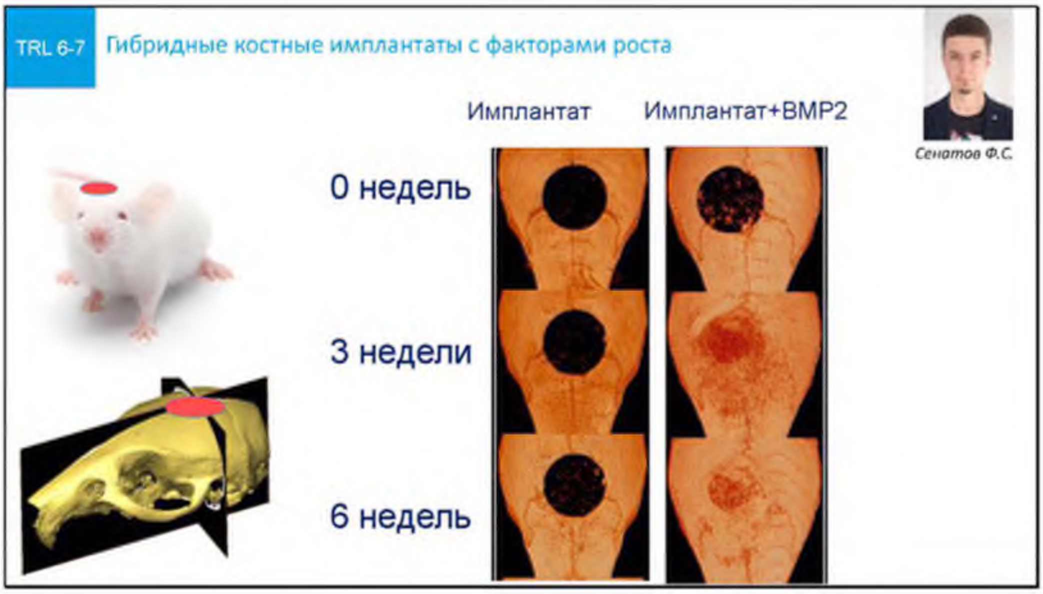

TRL 5-6
Технология модификации внутренней поверхности пористых структур
CONMET
Шереметьев В.А.
• Разработана технология для устранения внутренних дефектов
• Создана установка для обработки поверхности имплантатов после 3Д-печати
18

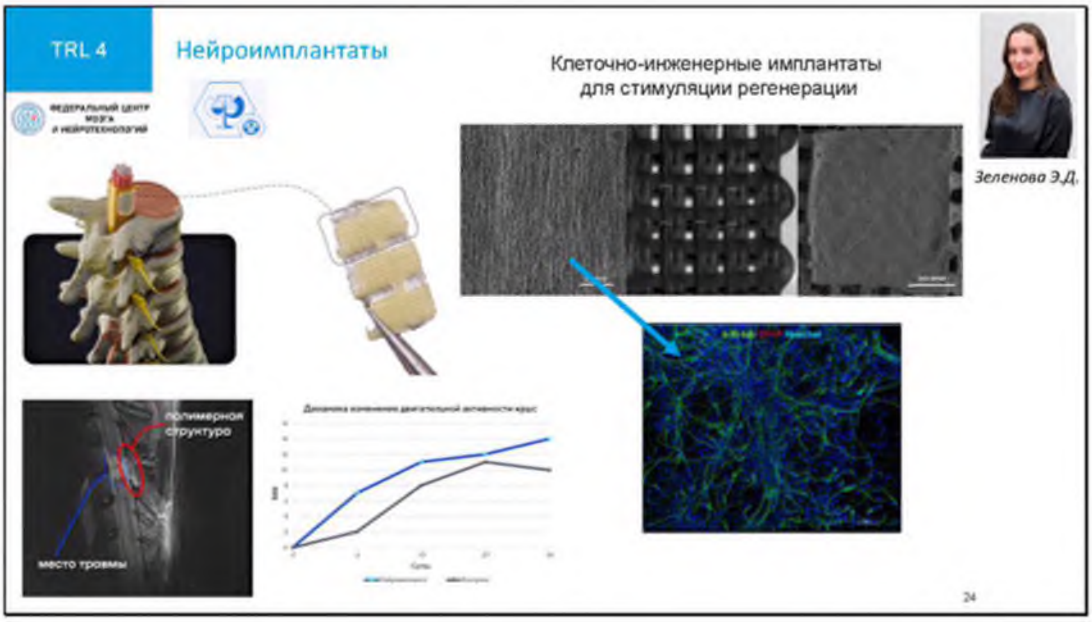

TRL 7-8
Новый сплав для ортопедии и травматологии
CONMET
Шереметьев В.А.
Ti-Nb-Zr - новый материал со свойствами, близкими к биомеханике кости


TRL 6-7
Межпозвонковые кейджи для спондилодеза
CONMET
Шейный отдел позвоночника
Поясничный отдел позвоночника
Шереметьев В.А.
20


TRL 5
Модифицирование поверхности имплантатов
Штанский Д.В.
c)
Получены плазма-модифицированные ПКЛ волокна, модифицированные богатой тромбоцитами плазмой, для лечения ран у больных с диабетом
Разработана концепция бактерицидной защиты имплантата, основанная на генерации активных форм кислорода в ответ на рентгеновское облучение
Методом плазменного электролитического окисления получены многоэлементные покрытия, способные эффективно подавлять бактериальную и грибковую инфекцию, а также обладающие способностью ремоделировать костную ткань и умеренной остеокондуктивность in vivo. Насыщение покрытий костным морфогенетическим белком (BMP-2) значительно усиливает остеокондуктивность и остеогенез
21


TRL 6-7
Гибридные костные имплантаты
Имплантат
Слой с медицинским препаратом
Сенатов Ф.С.
Пористый слой из СВМПЭ
Титановая пластина для краниопластики
1
2
1
2
Трабекулярная кость
Пористый СВМПЭ
Металлический компонент
Сплошной СВМПЭ


TRL 6-7
Гибридные костные имплантаты с факторами роста
Имплантат
Имплантат+BMP2
Сенатов Ф.С.
0 недель
3 недели
6 недель


TRL 4
Нейроимплантаты
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР МОЗГА И НЕЙРОТЕХНОЛОГИЙ
Клеточно-инженерные имплантаты
для стимуляции регенерации
Зеленова Э.Д.
полимерная структура
место травмы
24


TRL 4
Нейроинтерфейсы
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР МОЗГА И НЕЙРОТЕХНОЛОГИЙ
Имплантаты для интеграции нейроинтерфейсов
Жирнов С.В.
Неинвазивные нейроинтерфейсы


МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
3dbio
Программно-аппаратный комплекс для оказания медицинской помощи при обширных ранениях на базе технологий 3Д-биопечати
Тканевой пистолет
Система роботической печати на пациенте
Гибридный биопринтер
FABION
Оказание помощи до поступления в госпиталь
Расположение в госпиталях
Индивидуализированные биоимплантаты


МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
3dbio
Программно-аппаратный комплекс для оказания медицинской помощи при обширных ранениях на базе технологий 3Д-биопечати
Тканевой пистолет
Система роботической печати на пациенте
Гибридный биопринтер
FABION
Оказание помощи до поступления в госпиталь
Расположение в госпиталях
Индивидуализированные биоимплантаты

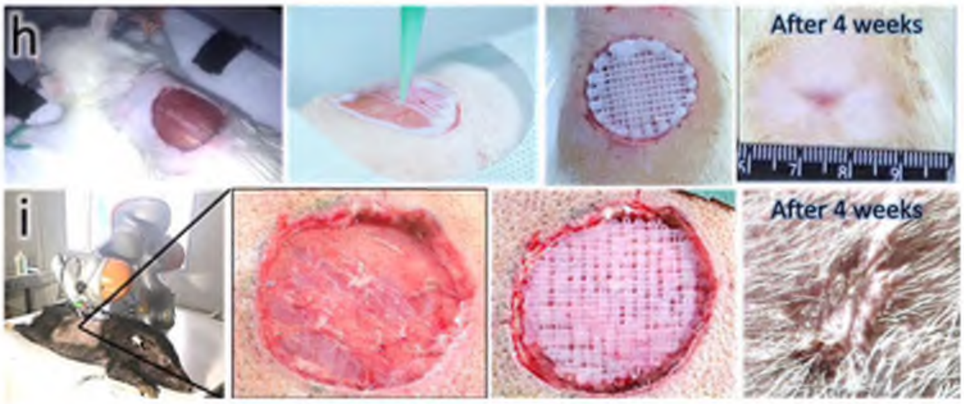

Тканевой пистолет
Комплектация кейса
Внешний вид тканевого пистолета перед использованием
МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ
3dbio


Тканевой пистолет с гемостатической композицией
Нанесение на большую площадь поверхности
Сшивка гидрогеля в процессе
нанесения при выходе из
тканевого пистолета
Нанесения второго слоя с
контролем толщины
МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ
3dbio
COLETEX


МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ
3dbio
Программно-аппаратный комплекс для оказания медицинской
помощи при обширных ранениях на базе технологий 3Д-биопечати
Тканевой пистолет
Система роботической
печати на пациенте
Гибридный биопринтер
Оказание помощи до
поступления в госпиталь
Расположение в
госпиталях
Индивидуализированные
биоимплантаты

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ 3dbio Пример биопечать *in situ* с помощью роборуки на минипиге

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ 3dbio Пример биопечать *in situ* с помощью роборуки на минипиге



Толщина: 1.5 мм
Время печати: 5 минут
Серии:
- Коллаген свин. 1 типа
- Коллаген свин. 1 типа + Аутолог.фибробласты

Первая в мире биопечать сразу на пациенте

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ 3dbio

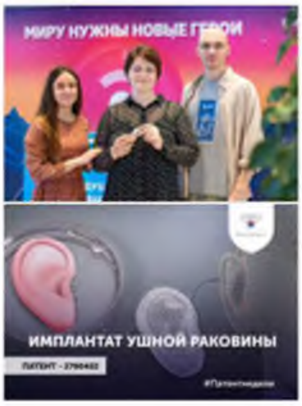
Первая в мире биопечать на пациенте

Программно-аппаратный комплекс для оказания медицинской помощи при обширных ранениях на базе технологий 3Д-биопечати

Тканевой пистолет	Система роботической печати на пациенте	**Гибридный биопринтер**
		
Оказание помощи до поступления в госпиталь	Расположение в госпиталях	Индивидуализированные биоимплантаты

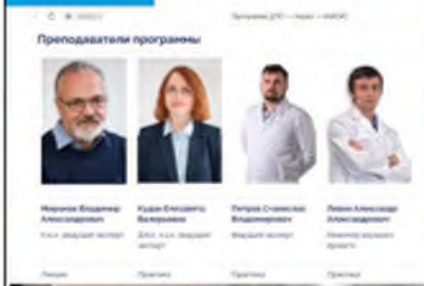
Биопечать ушной раковины для пациентов с микротией или травмой уха

Ключевые разработчики: магистранты iPhD «Биоматериаловедение» МИСИС



ДПО

«Биофабрикация и методы анализа в тканевой инженерии» (100 часов)



ДПО прошли в 2023:

СамГМУ, ТГУ, НИИ онкологии Томского НИМЦ, ИНХС РАН, НИУ ВШЭ, СФУ, МГУ, УлГУ

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

Институт Биомедицинской инженерии

@BIOENGINEERS_MISIS

БиоИнженеры и Точка.

Сенатов Фёдор Святославович

к. ф.-м. н., директор Института Биомедицинской инженерии Университета МИСИС

senatov@misis.ru

Приложение 4.

ПОЛУЧЕНИЕ, ОБРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

Заведующий лабораторией Сплавы с памятью формы
к.т.н. В.А. Шереметьев

Университет науки и технологий МИСИС

Коллектив научной группы и лаборатории СПФ

№	Ф.И.О	Ученая степень	Должность
1	**Прокошкин Сергей Дмитриевич**	**д.ф.-м.н.**	**Главный научный сотрудник (научный руководитель)**
2	Шереметьев Вадим Алексеевич	к.т.н.	Заведующий лабораторией
3	Дубинский Сергей Михайлович	к.т.н. (PhD)	Старший научный сотрудник
4	Полякова Кристина Александровна	к.т.н.	Старший научный сотрудник
5	Комаров Виктор Сергеевич	к.т.н.	Старший научный сотрудник
6	Рыклина Елена Прокопьевна	д.т.н.	Ведущий научный сотрудник
7	Хмелевская Ирина Юрьевна	к.т.н.	Ведущий научный сотрудник
8	Жукова Юлия Сергеевна	к.т.н.	Ведущий научный сотрудник
9	Кадиров Пулат Оманович	к.т.н.	Инженер научного проекта
10	Караваева Мария Артёмовна	к.т.н.	Инженер научного проекта
11	Мурадян Анастасия Александровна	к.т.н.	Научный сотрудник
12	Баранова Александра Павловна	к.ф.-м.н.	Младший научный сотрудник
13	Карелин Роман Дмитриевич	к.т.н.	Научный сотрудник
14	Лукашевич Константин Евгеньевич	аспирант	Инженер научного проекта
15	Деркач Михаил Анатольевич	аспирант	Инженер научного проекта
16	Караваева Мария Артёмовна	аспирант	Инженер научного проекта
17	Черкасов Владимир Владимирович	аспирант	Инженер научного проекта
18	Лезин Вячеслав Дмитриевич	аспирант	Инженер научного проекта
19	Теплякова Татьяна Олеговна	аспирант	Инженер научного проекта
20	Мурыгин Семен Романович	аспирант	Инженер научного проекта
21	Страхов Олег Владимирович	студент	Инженер научного проекта
22	Костылева Амалия Николаевна	студент	Лаборант-исследователь

2 доктора наук
11 кандидатов наук
9 аспирантов
14 студентов

Научно-техническое сотрудничество

- **Ecole de Technologie Superieure (г. Монреаль, Канада, проф. В. Браиловский)**
- TU-Bergakademie (г. Фрайберг, Германия, проф. Р. Кавалла)
- Индийский технологический институт Мадраса (г Ченнаи, Индия, проф. Прадип Конда Гокулдосс)
- **Институт математики и механики СПбГУ, г. Санкт-Петербург (С.П. Беляев, Н.Н. Реснина)**
- Институт металлургии и материаловедения РАН (С.В. Добаткин, В.С. Юсупов, М.М. Перкас, А.Е. Шелест)
- Институт машиноведения РАН (В.В. Столяров)
- НИИ онкологии ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» (Бабышкина Н.Н.)
- **ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа (Р.З. Валиев, Д.В. Гундеров, Е.В. Парфенов)**
- Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург (В.Г. Пушин)
- Биологический факультет МГУ, г. Москва (К.В. Шайтан)

Промышленные партнеры

- **ООО «КОНМЕТ», г. Москва**
- **ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ», г. Москва**
- ООО «МЕГАМЕТАЛЛ» , г. Москва
- НИЦ «Курчатовский институт» ФГУП ВИАМ, г. Москва
- Компания "Globetek 2000 Pty Ltd.", г. Мельбурн, Австралия
- ООО НТЦ «Технологии специальной металлургии», г. Москва

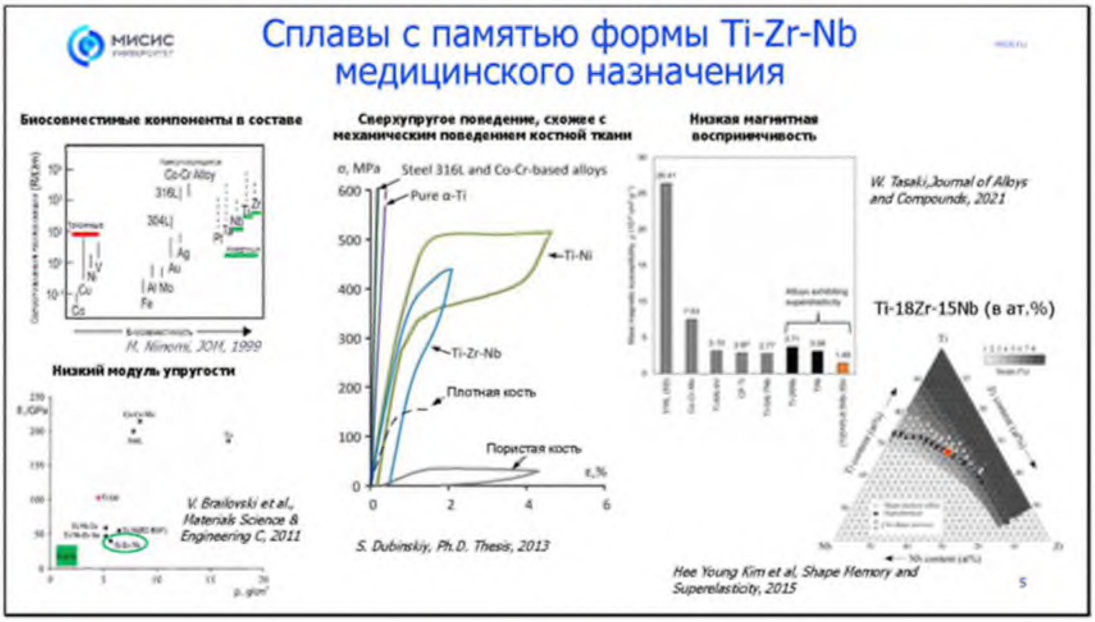
Основные направления исследований

Научный подход основан на общепринятой в металловедении триаде «Обработка-Структура-Свойства»

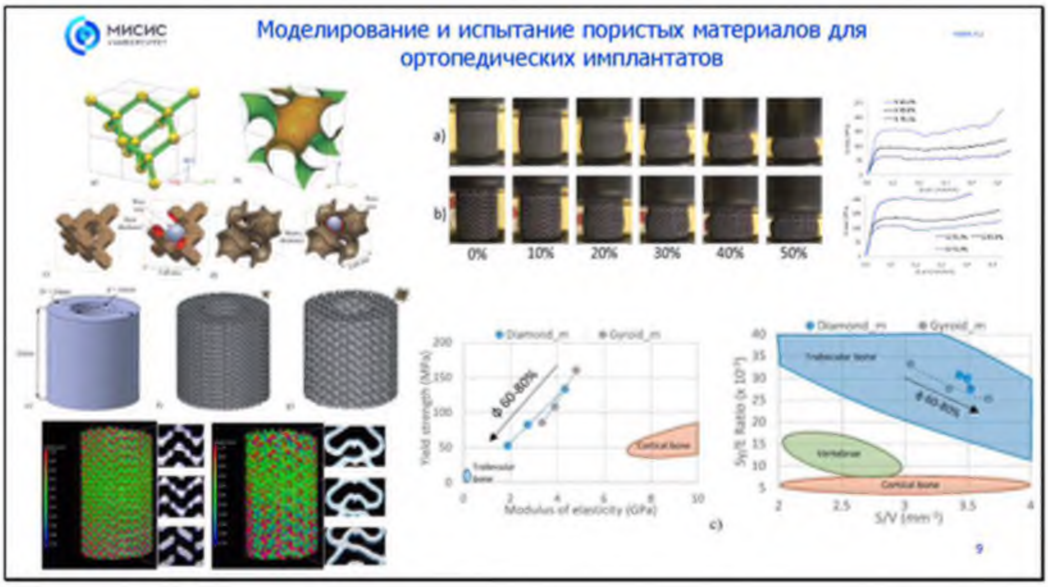
1. Термомеханическая обработка никелида титана с памятью формы медицинского и технического назначения.
2. Термомеханическая обработка сплавов с памятью формы на основе Ti-Zr-Nb медицинского назначения.
3. Разработка научно-технологических основ создания персонализируемых имплантатов из сверхупругих сплавов на основе Ti-Zr-Nb.
4. Термомеханическая обработка сплавов с памятью формы на основе Fe-Mn-Si медицинского назначения.
5. Фундаментальные аспекты сдвиговых превращений и особенностей кристаллических решеток фаз в сплавах с памятью формы системы Ti-Zr-Nb.
6. Поиск и исследование новых перспективных композиций сплавов с памятью формы

Способы реализации

- Структурно-фазовые превращения и управление функциональными свойствами СПФ методами термомеханической и термической обработки
- Технологии ОМД для создания оптимальных заготовок СПФ
- Способы термомеханической обработки СПФ для формирования в них наноструктур
- Методы и технологии наведения эффектов памяти формы в СПФ
- Функциональные механические и термомеханические испытания СПФ
- Методы и технологии модификации и функционализации поверхности СПФ
- Физико-химические и медико-биологические исследования СПФ
- Технологии создания пористых материалов на основе СПФ
- Применение СПФ в медицинской и других областях техники

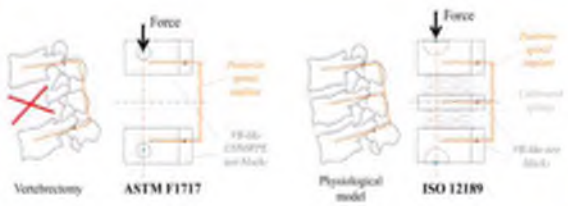

МИСИС
Сплавы с памятью формы Ti-Zr-Nb медицинского назначения
Биосовместимые компоненты в составе
H. Niinomi, JOM, 1999
Низкий модуль упругости
V. Brailovski et al., Materials Science & Engineering C, 2011
Сверхупругое поведение, схожее с механическим поведением костной ткани
σ, MPa
Steel 316L and Co-Cr-based alloys
Pure α-Ti
Ti-Ni
Ti-Zr-Nb
Плотная кость
Пористая кость
ε,%
S. Dubinskiy, Ph.D. Thesis, 2013
Низкая магнитная восприимчивость
W. Tasaki, Journal of Alloys and Compounds, 2021
Ti-18Zr-15Nb (в ат.%)
Hee Young Kim et al, Shape Memory and Superelasticity, 2015
5


МИСИС
Потенциал применения сплавов Ti-Zr-Nb
Длинномерные прутковые полуфабрикаты
Требования к прутку
длина не менее 1500 мм;
диаметр 5,5 мм
допуск на диаметр – h9 (по ГОСТ 25346-89)
предельное отклонение от круглости (по ГОСТ Р 53442-2015) равно половине допуска на диаметр;
предельное отклонение от прямолинейности не более 1 мм на 1 м
шероховатость поверхности не более Ra 0,4 мкм
Порошок для селективного лазерного плавления
Требования к порошку
Сферические частицы размером 10-50 мкм (распределение по размерам частиц определяется по стандарту ISO 13322-2):
- D10 10-25 мкм;
- D50 25-40 мкм;
- D90 40-50 мкм
Насыпная плотность: 2-3 г/см³, измеряется по стандарту DIN EN ISO 3923-1;
Сыпучесть: 30-35 с/50г, измеряется по стандарту DIN EN ISO 4490
Применение сплава Ti-Zr-Nb перспективно для ортопедических имплантатов, функционирующих под нагрузкой
6


МИСИС
Моделирование и испытание пористых материалов для ортопедических имплантатов
a)
b)
0% 10% 20% 30% 40% 50%
Diamond_m
Gyroid_m
Φ 60-80%
Yield strength (MPa)
Modulus of elasticity (GPa)
Trabecular bone
Cortical bone
Sy/E Ratio (x 10⁻³)
S/V (mm⁻¹)
Vertebrae
c)
9

Сверхупругие балки для транспедикулярной фиксации позвоночника из сплава Ti-Zr-Nb

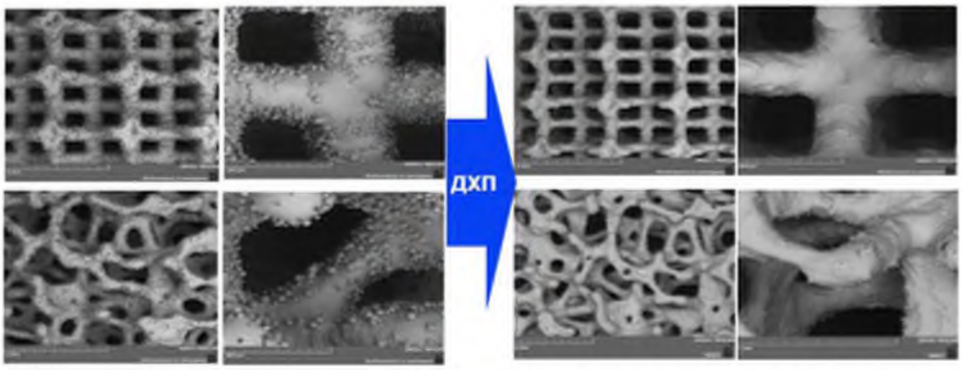
Испытания изделий по стандарту ASTM F1717



Испытания изделий по стандарту ISO 121189

Такие системы фиксации найдут применение в качестве функционального (динамического) метода стабилизации при лечении различных дегенеративных заболеваний и деформаций позвоночника.

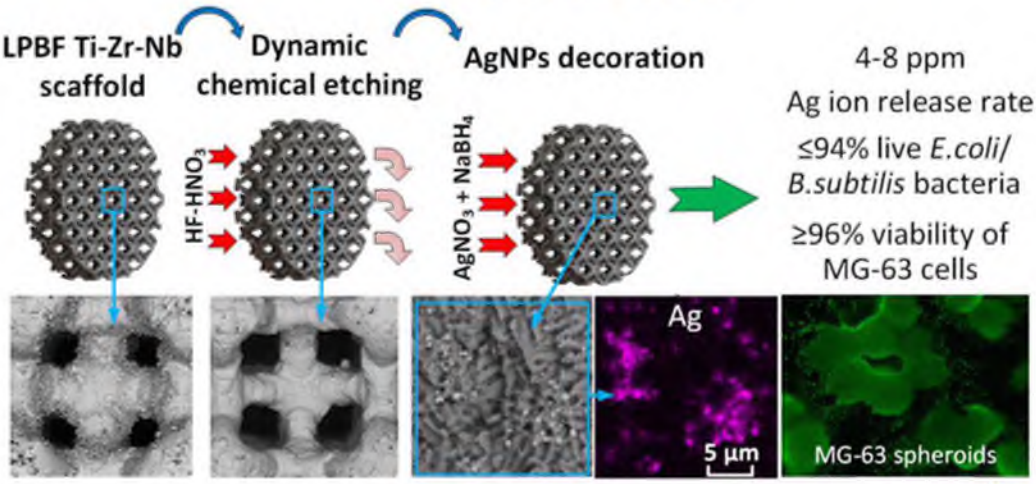
Технология модификации внутренней поверхности пористых структур методом динамического химического протравливания (ДХП)



Разработана технология модификации пористых материалов из сплавов Ti-Zr-Nb и Ti-Al-V, полученных методом СЛП, путем динамического химического протравливания (ДХП), направленного на устранение внутренних дефектов и повышение полезной площади внутренней поверхности. Создана установка ДХП.

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

Модификации внутренней поверхности пористых для повышения антибактериальной активности



МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!

Шереметьев Вадим Алексеевич
sheremetyev@misis.ru
+79265748111

Приложение 5.

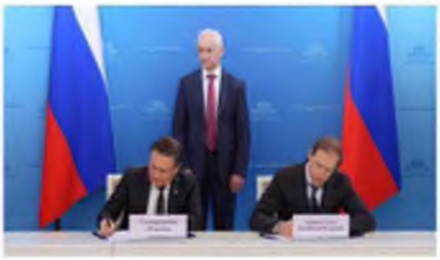
РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОРОЖНОЙ КАРТЫ РАЗВИТИЯ ВТН «ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ» В 2023 ГОДУ

Научный руководитель ПН НТР «Материалы и технологии» Госкорпорации «Росатом», руководитель Комитета Экспертного совета ДК ВТН «Технологии новых материалов и веществ», профессор А.В. Дуб

Госкорпорация «Росатом»

I. Соглашение в целях развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ»

РОСАТОМ



Соглашение о намерениях от 16.01.2023 между Правительством Российской Федерации и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» в целях развития в Российской Федерации высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ».

Цель Соглашения: достижение Российской Федерацией позиции **одного из лидеров на глобальных технологических рынках** в высокотехнологичном направлении «Технологии новых материалов и веществ»

Механизм реализации Соглашения:

Разработка и реализация дорожной карты развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ»*

Периметр дорожной карты:

- Полимерные композиционные материалы;
- Аддитивные технологии;
- Редкие и редкоземельные металлы.
- Цифровое материаловедение и перспективные материалы**

Целевые показатели:

- Количество зарегистрированных РИД;
- Объем выручки от реализации продукции/сервисов;
- Доля продуктов (технологий), по которым создан лабораторный образец;
- Доля продуктов (технологий), по которым подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности
- Доля продуктов (технологий), по которым запущены опытно-промышленное производство и сертификация

* - утверждена 21.12.2023

**- соглашение о намерениях от 08.11.2023 между Правительством РФ и центрами компетенций НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана и «Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами» на базе НГУ

2

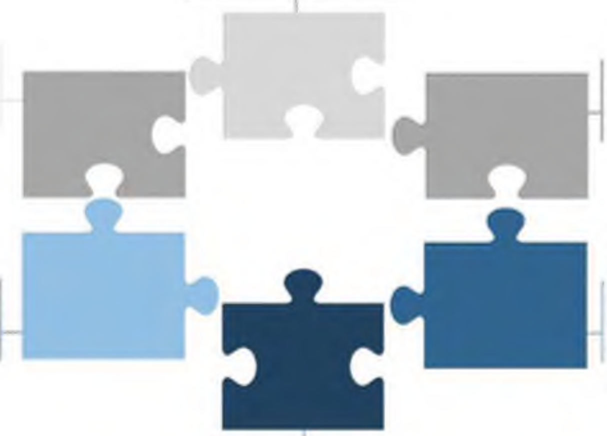
Источники финансирования Дорожной карты

РОСАТОМ

Федеральный бюджет
(НИР и ОКР, инфраструктура, поддержка сбыта)
КНТП[1] (Минобрнауки России), ПП РФ №1649,2136,41[2] (Минпромторг России),
КП РТТН[3] (Росатом),...

Региональные бюджеты
(развитие инфраструктуры)
Композитная долина
(Тульская область)

Институты развития
(НИОКР, коммерческие проекты)
Российский научный фонд
Фонд развития промышленности



Собственные средства инициаторов проектов
(коммерческие проекты)
проект развития Томторского месторождения

Индустриальные заказчики продукции
(программы НИОКР, контракты на закупку продукции)
заказ редкоземельных магнитов для ветряной энергетики (НовоВинд)

Инвестиционный ресурс Госкорпорации «Росатом»
(бизнес-проекты)
Стратегическая программа «Аддитивные технологии»

1. КНТП – комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла
2. Механизмы субсидирования
3. РТТН – комплексная программа «Развитие техники, технологий и научных исследований в области атомной энергии»

ВТН «Технологии новых материалов и веществ»
(Минпромторг России)

РОСАТОМ

КОМПАНИИ – ЛИДЕРЫ

По распоряжению Правительства РФ от 31 декабря 2022 г. № 4403-р:

- Госкорпорация «Росатом»
- Центр компетенций НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Центр компетенций НТИ «Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами» на базе НГУ

КОМПАНИИ – УЧАСТНИКИ

- Организации Госкорпорации «Росатом», ООО «ИТЕКМА», НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, МГУ им. М.В. Ломоносова, МАИ, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ФГАОУ ВО «СПбПУ», НИТУ «МИСиС», ООО «Эмзиор», МГТУ им. Баумана, АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО «ОСК», ПАО «Газпром», ООО «Скайград Инновации», АО «УХК «Уралхим», ПАО «Норильский никель» и др.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Разработка и производство современных конструкционных и функциональных материалов, а также изделий на их основе, являющихся основой для передовых технологических решений

ПОДНАПРАВЛЕНИЯ:

1. *Полимерные композиционные материалы*
2. *Аддитивные технологии*
3. *Редкие и редкоземельные металлы*
4. *Перспективные материалы и цифровое материаловедение*

ОБРАЗ РЕЗУЛЬТАТА К 2030 ГОДУ

Потребности российской промышленности в современных материалах (полимерные композиты, РМ и РЗМ, материалы для аддитивных технологий) и технологиях цифрового материаловедения будут обеспечены за счет отечественных разработок (технологический суверенитет)

ПРОДУКТОВАЯ ЛИНЕЙКА

97 ПРОДУКТОВ, ВКЛЮЧАЯ:

1. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Полимерные композиционные материалы» – 19 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- ПАН-прекурсор, УВ, ПКМ на его основе
- Среднемодульное УВ (5,5 ГПа)
- Аппретирующие составы
- Эпоксидный биндер
- Изделия ПКМ для авиакосмической промышленности

2. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Аддитивные технологии» – 40 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- Трехосевой сканатор с возможностью подключения систем контроля
- Лазерные источники мощностью 2000-6000 Вт*
- Серийный SLM 3D-принтер (3Д принтер СЛМ с камерой построения 300х300 и дальнейшие модификации, 3Д принтер СЛМ с камерой построения 600х600 и дальнейшие модификации)
- Серийный DMD 3D-принтер
- Комплекс ПО «Виртуальный 3D-принтер. 2.0»
- Порошки для 3D-печати из сплавов на основе никеля, кобальта, железа, титана, молибдена и алюминия
- 3D-принтер сухой аэрозольной печати
- 3D-принтер по технологии EBAM

3. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Редкие и редкоземельные металлы» – 10 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- Коллективные концентраты редкоземельных металлов
- Оксиды редких и редкоземельных металлов
- Перспективные химические соединения редких и редкоземельных металлов
- Высокоэнергетические постоянные редкоземельные магниты системы неодим-железо-бор (Nd-Fe-B)
- Лигатуры, сплавы с содержанием редких и редкоземельных металлов
- Автокатализаторы
- Литиевая продукция

4. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» – 28 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- Единая цифровая технологическая платформа инженерного программного обеспечения «Цифровое материаловедение»
- Новые функционально-ориентированные 2D и 3D композиты
- Новые конструкционные термопластичные материалы
- Керамические стержни сложной геометрии для литья лопаток ГТД
- Аморфные металлические сплавы

Статус реализации Дорожной карты 2020-2023

РОСАТОМ

1 Экосреда	2 Механизмы господдержки	3 Создание производств	4 Исследования и разработки
• Открыт Центр аддитивных технологий на базе АО «ОКБМ Африкантов»; • Создан Центр аддитивных технологий с производственным участком по выпуску 3-D принтеров в г. Новоуральск. • В Президентском лицее «Сириус» открыт центр компетенций «Сириус. Технологии композитов» и научно-образовательная лаборатория АТ; • Ассоциацией развития аддитивных технологий проведен V юбилейный Лидер-Форум в г.Казань	• Утверждена новая Методика Минприроды России по расчету стартового разового платежа за пользование недрами; • Разработаны отдельные коды ОКВЭД и ОКПД для аддитивного оборудования; • Утверждена Стратегия развития аддитивных технологий; • Подписан ФЗ, допускающий размещение РАО производств РМ в хранилище ПАО ППГХО»; • Внесены изменения в ПП РФ № 719 от 17.07.2015 в части локализации РЗМ-магнитов.	• Веден в эксплуатацию новый завод по производству ПАН-прекурсора мощностью до 5 000 тонн в год; • Получена лицензия на освоение литиевого месторождения в России (Колмозерское); • Введена в эксплуатацию I очередь горно-обогатительного комбината АО«Туганский ГОК «Ильменит»; • Введена ОПУ по получению гидроксида лития на площадке АО «АЭХК»; • Заключено Соглашение о строительстве промышленного комплекса по добыче и производству карбоната лития в Боливии	• Разработана технология производства сырья нового поколения (ПАН) для получения углеродных волокон различных номиналов; • Утверждена КНТП* ПКМ; • Разработана и одобрена КНТП* АТ; • Разработано аддитивное SLM-оборудование среднегабаритного класса (полнофункциональный образец (RM310M)). • Заключено Соглашение на право использования российской технологии прямого извлечения лития из рассолов; • Выполнен расчет математической модели проточного реактора

* КНТП - Комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла

1. ВТН «Технологии новых материалов и веществ» поднаправление «Полимерные композиционные материалы»

РОСАТОМ

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

(в разрезе продуктов на основе утвержденной Дорожной карты)

РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	План	Факт
Одобрено передовых технологий в рамках КНТП «Новые композиционные материалы»	шт.	40	40
Заключены грантовые договоры с Минобрнауки РФ на выделение субсидий на разработку технологий в рамках КНТП	шт.	5	5
Утверждена концепция реализации проекта по созданию производства углеродного волокна на основе российского оборудования мощностью до 500 тонн в год	шт.	1	1
Создан прототип проточного реактора формата А6 путем металлической 3d-печати	шт.	1	1

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ: отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты; сложная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, которая дублирует действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств.

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ	Ед. изм.	2024	2025	2026
Разработан паспорт на материал, с учетом квалификации препрегов для панелей пола в рамках проекта «Организация производства комплекса композитных материалов для авиации»	шт.	1		
Введена в эксплуатацию новая линия по производству препрегов	шт.		1	
Построен технопарк научно-исследовательского кластера ИНТЦ "Композитная долина" общей площадью 10 000 кв.м	шт.		1	
Запущено серийное производство проточных реакторов	шт.			1

2. ВТН «Технологии новых материалов и веществ» поднаправление «Аддитивные технологии»

РОСАТОМ

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

(в разрезе продуктов на основе утвержденной Дорожной карты)

РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	План	Факт
Разработана технология аддитивного производства сложнопрофильных и крупногабаритных изделий атомной энергетики	шт.	1	1
Разработана и изготовлено оборудование аддитивного производства сложнопрофильных и крупногабаритных изделий атомной энергетики	шт.	1	1
Разработана программа и методика испытаний на опытный образец серийной установки DMD	шт.	1	1
Разработана конструкторская документация с литерой «О1» аддитивного оборудования (технология SLM (среднегабаритный))	шт.	1	1

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ: отсутствие в необходимом объеме бюджетных ассигнований федерального бюджета на реализацию КНТП «Аддитивные технологии. Новые материалы и технологические процессы», отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты; сложная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, которая дублирует действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств.

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ	Ед. изм.	2024	2025	2026
Создано производство аддитивного оборудования (11шт/год 3-D принтеров SLM)	шт.	1		
Создано производство металлопорошковых композиций для аддитивных технологий по технологии VIGA (никель, хром, кобальт, молибден, алюминий)	шт.			1
Утверждена Комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла «Аддитивные технологии. Новые материалы и технологические процессы»	шт.	1		
Разработана конструкторская документация с литерой «О1» продуктовой линейки аддитивного оборудования (технология SLM (крупногабаритный) и DMD)	шт.		2	

7

3. ВТН «Технологии новых материалов и веществ» поднаправление «Редкие и редкоземельные металлы»

РОСАТОМ

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

(в разрезе продуктов на основе утвержденной Дорожной карты)

РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	План	Факт
Заключено Соглашение о сооружении комплекса по производству литиевой продукции в Боливии	шт.	1	1
Получено лицензий на недропользование (Колмозерское литиевое месторождение, ООО «Полярный литий»)	шт.	1	1
Консолидировано редкоземельных активов в контур Госкорпорации «Росатом» (ООО «Ловозерский ГОК», ОАО «Соликамский магниевый завод»)	шт.	2	2
Объектов завершенных строительством (участок производства металлического лития мощностью 350 тонн)	шт.	1	1
Количество полученных опытных образцов разделенных редкоземельных металлов	шт.	8	8

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ: отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты; сложная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, которая дублирует действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств.

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ	Ед. изм.	2024	2025	2026
Объектов завершенных строительством (разделительный комплекс мощностью 4000 тонн/год по коллективному концентрату)	шт.			1
Объектов введенных в эксплуатацию (участок производства металлического лития мощностью 350 тонн/год)	шт.	1		
Геологоразведочные работы. Утверждено ТЭО постоянных кондиций. (Колмозерское литиевое месторождение, ООО «Полярный литий»)	шт.		1	
Начало добычи на литиевом месторождении	шт.			1

8

4. ВТН «Технологии новых материалов и веществ»
ПН№4 «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»

РОСАТОМ

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	План	Факт
Привлечено компаний-лидеров в реализацию Соглашения	шт.	2	2
Портфель проектов ДК ВТН актуализирован. Добавлено новых продуктов	шт.	22	22
Подготовлено и утверждено Экспертным советом при Наблюдательном совете АНО «Платформа НТИ» Программ развития Центров НТИ для целей реализации Соглашения	шт.	2	2
Количество разработанных новых, перспективных материалов	шт.	4	4

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ:

1. позднее доведение средств 2024 г. до ЦК (на 14.05.2024 г. средства не доведены), риск не реализации ДК;
2. Формирование нормативного коридора в рамках нового Постановления Правительства 1780

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ

в 2024 году	Ед. изм.	Знач.
Изготовлены разнообразные по составу и способам производства ПКМ для проведения испытаний с целью получения данных об их свойствах для формирования расширенной БД в рамках разрабатываемой цифровой платформы.	шт.	1000
Наработаны партии катализатора синтеза МУНТ/Наработаны партии МУНТ с разными размерно-структурными параметрами	партия	2/3
Отработана технология изготовления порошков различного фракционного состава из суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами, полученных при синтезе в реакторе объемом до 20 л.	шт.	1

в 2025 году	Ед. изм.	Знач.
Разработан программный модуль интеллектуального поиска и классификации материалов, основанного на машинном обучении	шт.	1
Проведено тестирование лабораторного прототипа роботизированной системы ускоренного синтеза материалов для рентгеновской литографии	шт.	1
Разработана методика получения МУНТ суперконцентратов и суспензий	шт.	1

в 2026 году	Ед. изм.	Знач.
Разработана цифровая база данных по полимерным и композиционным материалам (ПКМ) в рамках единой цифровой платформы с инженерным и научным ПО	шт.	1
Разработана опытная технология производства и переработки суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами и композиционных материалов на их основе	шт.	1
Создана технологическая линия для производства катализаторов и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ)	шт.	1

Предложения в Проект решений

РОСАТОМ

1. **Дорожная карта «Технологии новых материалов и веществ» соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.**

2. **Считать результаты ДК достижимыми в содержательной части.**

Приложение 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ НИОКР ДИВИЗИОНА «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ» ЗА 2023 ГОД

Директор по исследованиям и разработкам АО «ЮМАТЕКС» Д. И. Кривцов

Госкорпорация «Росатом»

Результаты НИОКР в рамках КП «РТТН»

Наименование (цель) НИОКР:

«Разработка опытной технологии формования ПАН прекурсора для производства среднемодульного углеродного волокна с повышенной прочностью. Этап 2023-2024 годов»

Полученные в 2023 году результаты:

- ✓ Разработана опытная технология (мокрого) формования ПАН прекурсора 12К для получения среднемодульного УВ с ***прочностью не менее 6,0 ГПа***
- ✓ Изготовлены опытные образцы УВ с прочностью 6,4-6,6 ГПа, модулем упругости 290-300 ГПа и линейной плотностью ~400 текс (12К) на опытной линии АО «ЮМАТЕКС»

Перспектива использования результатов НИОКР:

В 2025-2026 гг. запланирована постановка среднемодульного (295 ± 10 ГПа) УВ с ***прочностью 6,0-6,5 ГПа*** на промышленном производстве ООО «АЛАБУГА-ВОЛОКНО» для его последующего применения в атомной и авиационной отраслях

Генеральный директор АО «ЮМАТЕКС»
Александр Владимирович Тюнин:

«Благодаря работам в рамках КП РТТН нам удалось в очень сжатые сроки поставить на производство стратегически важный материал – сверхвысокопрочное среднемодульное углеродное волокно, который обеспечивает потребности атомной отрасли и авиастроения РФ, а также ставит Композитный дивизион ГК «Росатом» в один ряд с мировыми лидерами отрасли.
Успех в данном проекте обеспечивает конкурентоспособность ключевых российских производителей высокотехнологичной продукции на долгосрочной перспективе и создал качественный задел для дальнейшего развития технологий производства углеродного волокна на основе ПАН прекурсора»

2

Результаты НИР в рамках КНТП «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства»

Работы по КНТП в Дивизионе начались в сентябре 2023 года

По всем работам проведены ПИ на определение уровня техники и тенденций развития объекта исследований

№	Наименование НИР	Ключевые результаты, полученные в 2023 году
1	Разработка технологий получения комплекса цианатэфирных олигомеров, в том числе обеспечивающих получение полимерных связующих с температурой стеклования до 400°C	• Разработаны технологические параметры синтеза мономеров для получения цианатэфирных олигомеров: - подобраны каталитические системы для синтеза мономеров - экспериментально определены оптимальные режимы синтеза мономеров
2	Разработка технологий и организация опытного производства суперконструкционных термопластов для применения в качестве матриц ПКМ	• Разработана технологическая схема процесса получения полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полиарилсульфона (ПАСУ) в едином технологическом процессе • Разработаны исходные данные для проектирования опытно-промышленной установки мощностью до 20 т/год • Исследованы технологические режимы получения ПЭЭК и ПАСУ
3	Разработка технологий производства негорючих термореактивных связующих нового поколения	• Разработаны проекты ТР и ТИ получения негорючих термореактивных связующих • Изготовлены и исследованы экспериментальные партии одно- и двух-компонентного негорючих термореактивных связующих для последующего изготовления стеклопластиков методом вакуумной инфузии
4	Разработка составов и технологий нанесения на ПКМ специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты	• Изготовлена опытная партия металлической вязано-паяной сетки (СМВП) единого состава с бессвинцовым припоем • Получены экспериментальные образцы ПКМ с интегрированной СМВП, проведены их испытания под воздействием тока, имитирующем удар молнии
5	Разработка технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол, включая трансфер существующей технологии	• Разработаны исходные данные к технологии • Проведен аналитический обзор с обоснованием преимуществ технологии вторичной переработки углепластиков методом пиролиза • Подобрано лабораторное и испытательное оборудование

Исполнитель работ №№ 1-4 – АО «Препрег-СКМ», Исполнитель работы № 5 – ООО «ЗУКМ»

Спасибо за внимание

Кривцов Дмитрий Иванович

d.krivtsov@umatex.ru, +7 (916) 417 01 03

16.05.2024

Приложение 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ» В РАМКАХ ДК ВТН «ТЕХНОЛОГИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ»

Руководитель направления АО «Наука и инновации»
А. А. Жедаев

Госкорпорация «Росатом»

Результаты научно-технологического развития аддитивных технологий в Госкорпорации «Росатом» в рамках ДК «Технологии новых материалов и веществ»

Жедаев Александр Алексеевич

Руководитель направления –
Руководитель проектов НИОКР ФП-4 КП «РТТН»

Частное учреждение «Наука и инновации»
Госкорпорация «Росатом»

Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ». Поднаправление 2. «Аддитивные технологии»

В составе поднаправления «Аддитивные технологии» Дорожной карты предусмотрен раздел «Оборудование и программное обеспечение» - **6 из 12 проектов НИОКР** указанного раздела представляют собой взаимосвязанный комплекс НИОКР, который реализуется в рамках Федерального проекта «Разработка новых материалов и технологий для перспективных энергетических систем», входящий в состав комплексной программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года» (Далее – **ФП-4 КП «РТТН»**).

Результаты ФП-4 КП «РТТН»

Итог 2023 года:

- Разработано и испытано **7 различных образцов аддитивного оборудования** для изготовления изделий с применением металлических порошков, проволоки прутков, а также полимерных композиционных и керамических материалов.

План на 2024 год:

- Изготовлено на разработанном аддитивном оборудовании и испытано в условиях, приближенных к эксплуатационным, не менее **14 изделий для применения в атомной, машиностроительной и ракетно-космической отраслях**;

Комплексное развитие направления «Аддитивные технологии» в составе ФП-4 КП «РТТН» 1. Аддитивное оборудование

Комплексное развитие направления «Аддитивные технологии» в составе ФП-4 КП «РТТН»
2. Программное обеспечение и комплектующие

Программно-аппаратная платформа (ПАП)

Преимущества:

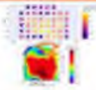
- ✓ Универсальный инструмент для управления 3D-принтерами, работающих по различным технологиям (SLM/SLS/EBM/WAAM/PRM/LDM);
- ✓ Контроль технологического процесса;
- ✓ Машинное обучение;
- ✓ Система интеллектуальной обратной связи;
- ✓ Подключения внешнего ПО моделирования процесса;
- ✓ 90% отечественных комплектующих.

Программное обеспечение

ПО «Слайсер» для подготовки 3D-модели к печати

ПО «Виртуальный принтер» для моделирования процесса

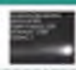
Система хранения данных процесса 3D-печати



Обратная связь и системы контроля

Система контроля геометрии изделия

Система контроля формы ванны



Система машинного обучения

Система контроля температуры ванны

Система контроля качества порошкового слоя

Система интеллектуальной обратной связи

Отечественные лазерно-оптические системы

Трехосевой сканатор с возможностью контроля температуры и обеспечения дополнительного лазерного воздействия

Кластерная лазерно-оптическая система (4/6/8/9 сканаторов)

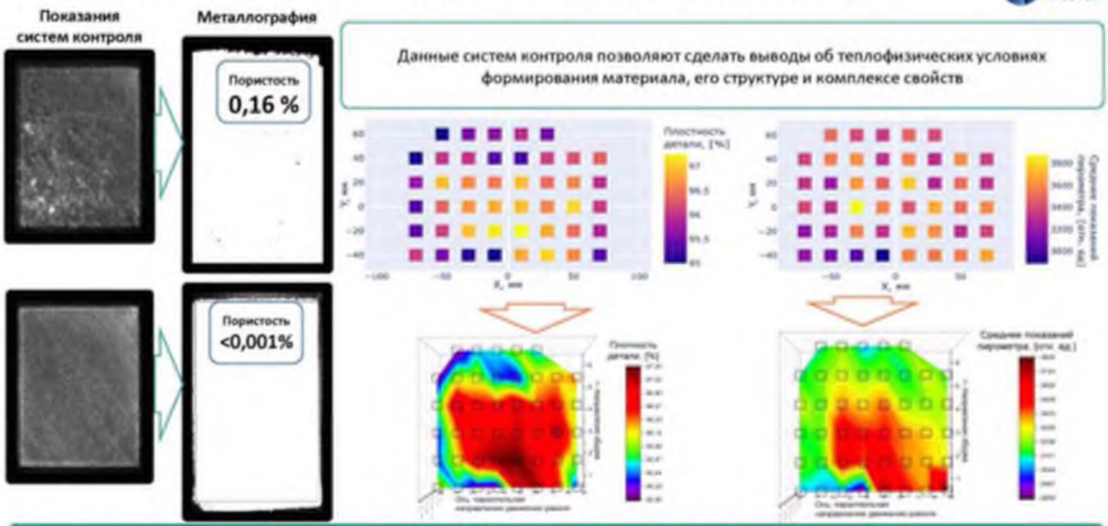
Комплексное развитие направления «Аддитивные технологии» в составе ФП-4 КП «РТТН»
3. Нормативная документация

№	Наименование ГОСТ Р	Срок разработки первой редакции ГОСТ Р	Плановый срок утверждения ГОСТ Р
1	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Сканаторы лазерные трехосевые. Общие технические условия » или ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Сканаторы лазерные трехосевые. Общие требования»	2022 год	2024 год
2	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Оборудование для прямой наплавки с использованием проволочных материалов. Общие требования»	2024 год	2024-2025 год
3	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Программно-аппаратная платформа управления аддитивным процессом производства методом селективного лазерного сплавления изделий с заданными параметрами качества и свойствами. Общие требования»	2024 год	2024-2025 год
4	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Оборудование для 3D-печати с применением полимерных композиционных материалов. Общие требования»	2023 год	2024 год
5	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Оборудование селективного лазерного сплавления с высокотемпературным подогревом рабочей зоны построения. Общие требования»	2024 год	2024-2025 год
6	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Оборудование селективного электронно-лучевого сплавления с высокотемпературным подогревом рабочей зоны построения. Общие требования»	2024 год	2024-2025 год
7	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Оборудование для изготовления деталей из керамических и композиционных материалов на основе карбида кремния. Общие требования»	2023 год	2024 год
8	ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Программное обеспечение для моделирования технологических процессов и свойств продукции. Общие требования»	2024 год	2024-2025 год

Приложение


Системы непосредственного контроля за аддитивным процессом
Система контроля температуры жидкой ванны
Система контроля температуры всей области сплавления
Система контроля качества нанесения порошкового слоя
Комплекс систем контроля включает в себя:
1) Система контроля температуры жидкой ванны.
2) Система контроля всей области сплавления (на основе тепловизионной камеры и КМОП матрицы).
3) Система контроля качества порошкового слоя.
4) Система контроля геометрии синтезируемого изделия.
5) Система контроля качества синтезируемого материала на основе УЗ.
6) Система контроля мощности лазерного излучения.
В АСУ заложен инструмент на основе скриптового языка, позволяющий взаимодействовать с системами контроля, создавать и использовать модели (на основе МО и ИИ) для формирования прогноза качества материала и изделия.
Наличие обратной связи позволит автоматизировать процесс идентификации и залечивания дефектов в автоматическом режиме и реализовать подход "печать с первого раза".
Обеспечение качества серийной аддитивной продукции ответственного машиностроениия

Системы непосредственного контроля за аддитивным процессом



Повышение сопротивления аддитивного материала хрупкому разрушению

Установка высокотемпературного селективного лазерного плавления (ВТСЛП)

3D-принтер ВТСЛП

Характеристики

Используемые материалы:
12Х18Н10Т, ВЖ-159, ВИТ7Л и др.

Габариты зоны построения, мм:
диаметр = 350, высота = 320

Макс. t подогрева:
не менее 800°С

Лазеры:
2 шт., от 400 Вт

Габариты установки (ДхШхВ):
3000х2000х1500мм

Компоненты

Сканаторы:
3-осевой (гибридный) сканатор
НИИ НПО «ЛУЧ»(гибридный), 2 шт.

Система управления:
программно-аппаратная платформа

Системы контроля:
- контроль равномерности порошкового слоя;
- контроль геометрии;
- контроль распределения температурных полей температуры синтезируемого слоя изделия.

Оборудование для изготовления методом электронно-лучевого селективного плавления (ВТСЭЛП) изделий из тугоплавких металлов (Mo, Nb, W) и сплавов на их основе.

Оборудование

3D-принтер ВТСЭЛП

Характеристики

Используемые материалы: Порошок сплава НМ24, а также порошки тугоплавких металлов (Mo, Nb, W) и сплавов на их основе

Габариты зоны построения, мм: диаметр = 300, высота = 350

Макс. t подогрева: не менее 800°С

Электронная пушка: мощность 6-10кВт

Габариты установки (ДхШхВ): 2500х1200х4000мм

Компоненты

Электронно-лучевая пушка

Система управления: программно-аппаратная платформа

Системы контроля:

- контроль равномерности порошкового слоя;
- контроль геометрии;
- **Контроль температуры области плавления порошкового материала.**
- **Контроль калибровки электронно-лучевой пушки.**
- **Контроль вакуума**

Дополнительные результаты преокта для коммерциализации:

✓ Электронно-лучевая пушка, которая разработана специально для процесса селективного электронно-лучевого плавления;

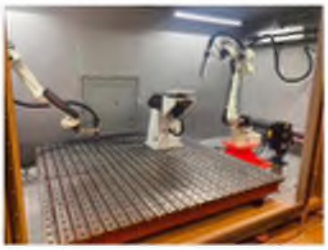
✓ Порошки из тугоплавких металлов (Nb, W, Mo) и сплавов на их основе.

Установки аддитивного выращивания с применением проволочных материалов

Установка аддитивного плазменно-дугового выращивания (**АПВ**) с послойным упрочнением

Габариты зоны построения (ДхШхВ): **4000×1000×500мм**
Максимальная производительность наплавки одного робота: **600 см3/час (2 кг/час)**
Количество роботов/манипуляторов: **2 шт.**
Скорость подачи проволоки: **1-24 м/мин**
Тип подачи защитного газа (аргон/азот): **локальная защита зоны плавления, заполнение рабочей камеры газом.**

Установка аддитивного электро-дугового выращивания (**АЭВ**) с поворотным столом



Габариты зоны построения (ДхШхВ): **2500х2500х1000мм**
Максимальная производительность наплавки одного робота: **800 см3/час (3 кг/час)**
Количество роботов/манипуляторов: **2 шт.**
Скорость подачи проволоки: **1-24 м/мин**
Тип подачи защитного газа (аргон/азот): **локальная защита зоны плавления, заполнение рабочей камеры газом.**

Электронно-лучевая установка наплавки прутков (ЭЛУНП)

3D-принтер ЭЛУНП

Характеристики:

Используемые материалы:
Прутки и проволока из сплава НМ24 и ТСМ7-С, а также проволока и прутки из тугоплавких металлов (Mo, Nb, W) и сплавов на их основе

Габариты зоны построения, мм:
1100x900x900 (ДxШxВ)

Электронная пушка:
мощность – 40 кВт

Компоненты:

Электронно-лучевая пушка

Системы контроля:
- Контроль вакуума
- Системы визуального контроля

Габариты установки (ДxШxВ):
6000x6000x3000мм

Дополнительные результаты проекта для коммерциализации:

- ✓ Технология получения монокристаллитных дисковых заготовок их тугоплавких сплавов;
- ✓ Электронно-лучевая пушка, которая разработана специально для процесса электронно-лучевой наплавки;
- ✓ Прутки из тугоплавких металлов (Nb, W, Mo) и сплавов на их основе.

Двухмодульная установка печати керамическими композиционными материалами методами FDM/LDM, SLA

Двухмодульный 3D-принтер для печати керамическими композиционными материалами

Характеристики

Используемые материалы:
Карбидокремниевая, оксидная керамика

Габариты зоны построения, мм:
FDM/LDM: 400x400x300
SLA: 300x300x300

Макс.t подогрева:
Камеры построения: до 200°C
Печатающей головки LDM: до 80°C
Печатающей головки FDM: до 280°C

Модули:
FDM/LDM, 2 экструдера
SLA

Габариты установки (ДxШxВ):
2700x1750x2250 мм

Компоненты

Система управления:
программно-аппаратная платформа

Системы контроля:
- контроль геометрии

Дополнительные результаты преокта для коммерциализации:

- ✓ Паста на основе SiC для 3D-печати методом FDM.

Установка для печати полимерными композитами методом FDM

3D-принтер для печати полимерными композитами

Характеристики

Используемые материалы:
PPS+CF, PEEK+CF, PSU+GF и т.д.

Габариты зоны построения, мм:
450x450x450

Макс.t подогрева:
Камеры построения: до 200°С
Печатающей головки: до 450°С

Габариты установки (ДxШxВ):
750x650x1400 мм

Компоненты

Система управления:
Слайсер, программно-аппаратная платформа

Системы контроля:
- контроль геометрии;
- Корректировка режима печати во время печати

Дополнительные результаты преокта для коммерциализации:

✓ Дискретно или непрерывно-армированные (стекловолокно, углеволокно) жгуты для 3D-печати.

Оборудование газостатического прессования

Разработана и изготовлена установка горячего изостатического прессования для изготовления изделий из металлов, керамики, металлокерамики и керметов, в том числе со сложной геометрией.

	Наименование характеристики	Значение
	Газостат (силовая часть)	
1	Максимальное рабочее давление, не менее, кгс/см^2	2000
1	Максимальное время выдержки при максимальном давлении, не менее, час	6
1	Максимальная скорость охлаждения рабочей среды, не менее, °С/мин	600
1	Рабочая среда	Аргон
	Размеры зоны нагрева, мм:	
	- диаметр внутренний	370
	- высота активной зоны	1500

Приложение 8.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Председатель индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам А. Э. Рязанцев

Новосибирский государственный университет

Новосибирский государственный университет

*НАСТОЯЩАЯ НАУКА

ПОДНАПРАВЛЕНИЕ № 4 «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» ДК ВТН «ТЕХНОЛОГИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ»

Рязанцев Антон Эдуардович, председатель индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам

Цели и параметры ДК «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»

Цель Дорожной Карты – кратное сокращение времени разработки и внедрения новых материалов в промышленность за счет создания платформы цифровых инструментов моделирования и разработки новых материалов:

1. Создание интегрированной цифровой инфраструктуры для разработки материалов;
2. Создание исследовательской, производственной и испытательной инфраструктуры;
3. Разработка и внедрение в промышленность «материалов - демонстраторов»

Ключевые параметры Дорожной Карты:

- **Решение** о создании 4-го поднаправления Дорожной Карты было принято на совещании у А.Р. Белоусова и Д.В. Мантурова (п. 3 протокола №АБ-П7-281пр от 27.10.2023)
- Грантополучателями являются 2 ЦК НТИ по новым материалам: **НГУ и МГТУ**
- Средства доводятся по **Постановлению №1251** (ЦК НТИ) и **1780**
- Основное финансирование: **2024-2026**
- Основные члены консорциума: **РФЯЦ ВНИИЭФ, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ЮФУ, МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯУ «МИФИ», ДФУ, ИВС РАН, ИФХЭ РАН, ИК СО РАН, МФТИ, ВНИИА, Сколтех, ИТ СО РАН, ВолГТУ, ИК ЦТО**
- Финансирование консорциумов: **НГУ 5,3 млрд. руб., МГТУ 4,1 млрд руб.**
- Количество проектов : **21 (все проекты достигают минимум 6 УГТ) + 1 проект по созданию проектного офиса**
- В дорожную карту будут добавлены проекты по **тематике новых материалов для отрасли БАС**

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Результаты 2023 года

ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	План	Факт
Привлечено компаний-лидеров в реализацию Соглашения	шт.	2	2
Портфель проектов ДК ВТН актуализирован. Добавлено новых продуктов	шт.	22	22
Подготовлено и утверждено Экспертным советом при Наблюдательном совете АНО «Платформа НТИ» Программ развития Центров НТИ для целей реализации Соглашения	шт.	2	2
Количество разработанных новых, перспективных материалов	шт.	4	4

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ

в 2024 году	Ед. изм.	Знач.
Изготовлены разнообразные по составу и способам производства ПКМ для проведения испытаний с целью получения данных об их свойствах для формирования расширенной БД в рамках разрабатываемой цифровой платформы	шт.	1000
Наработаны партии катализатора синтеза МУНТ/Наработаны партии МУНТ с разными размерно-структурными параметрами	партия	2/3
Отработана технология изготовления порошков различного фракционного состава из суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами, полученных при синтезе в реакторе объемом до 20 л.	шт.	1
в 2025 году	**Ед. изм.**	**Знач.**
Разработан программный модуль интеллектуального поиска и классификации материалов, основанного на машинном обучении	шт.	1
Проведено тестирование лабораторного прототипа роботизированной системы ускоренного синтеза материалов для рентгеновской литографии	шт.	1
Разработана методика получения МУНТ суперконцентратов и суспензий	шт.	1
в 2026 году	**Ед. изм.**	**Знач.**
Разработана цифровая база данных по полимерным и композиционным материалам (ПКМ) в рамках единой цифровой платформы с инженерным и научным ПО	шт.	1
Разработана опытная технология производства и переработки суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами и композиционных материалов на их основе	шт.	1
Создана технологическая линия для производства катализаторов и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ)	шт.	1

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Инфраструктура ДК «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»

На базе ЦНФМ НГУ должна быть разработана и развернута интегрированная цифровая инфраструктура для управления процессом разработки и внедрения материалов:

- Цифровая управляющая платформа (умная фабрика);
- Цифровой паспорт материалов – единая онтология области;
- Модели микроструктуры на всех уровнях иерархии;
- Модели техпроцессов;
- Базы данных цифровых паспортов материалов;
- Интеграция с «тяжелым» инженерным CAD/CAE/CAM ПО (Росатом)
- Центр суперкомпьютерного моделирования (будет запущены следующие очереди кластера ИТ СО РАН – ЦНФМ «Оракул-Каскад»)

В НГУ будут закуплены объекты инфраструктуры как минимум на 2,5 млрд руб. Для успешной реализации проекта необходима своевременная сдача научно-исследовательского корпуса Кампуса. ЦНФМ будет интегрирован с НПЦ НСО и нацпроектом БАС.

- Литейный лабораторный центр центр;
- Лаборатория нанесения покрытий;
- Лаборатория наномодифицированных полимерных и композитных материалов;
- Лабораторный участок по керамике и керамокомпозитным материалам;
- Лабораторный участок по композитным материалам;
- Лабораторный центр по огне- и теплозащитным материалам и покрытиям.

ЦНФМ cnfm.ru

Платформа «Цифровое материаловедение»

Объекты инфраструктуры:
(200 млн. руб. – дорожная карта ВТН)
- Центр суперкомпьютерного моделирования материалов (Кампус НГУ)
- Испытательная лаборатория для верификации моделей (Кампус НГУ)

Продукты:
- Программный комплекс «Цифровой паспорт материала (ПК ЦПМ)»
- База данных цифровых паспортов материалов
- ПК «Representative Volume Element»
- ПК «Управление жизненным циклом системы материал-конструкция с заданными свойствами»
- ПК для расчета живучести

Сервисы:
- Разработка материалов «под ключ» + постановка на производство
- Полный спектр услуг по реинжинирингу материалов
- Образовательные программы

Заказчики:

ОАК

НИИГРАФИТ РОСАТОМ

ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

Год	Бюджет (млн. руб.)
2024	260
2025	365
2026	265
Итого	**780**

Ключевые партнеры:
МФТИ
Сколтех
ООО «ИК ЦТО»

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Платформа «Наномодифицированные материалы»

Объекты инфраструктуры:
(651 млн. руб. – дорожная карта ВТН)
- Линия для производства МУНТ (ИК СО РАН)
- Центр разработки, исследований и испытаний нанокомопозитных материалов (Кампус НГУ)
- Центр прототипирования конструкций из нанокомпозитных материалов (Кампус НГУ)

Продукты:
- Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ)
- Мастербатчи на основе МУНТ и других углеродных наноматериалов
- Линейка наномодифицированных ПКМ

Сервисы:
- Разработка систем «материал + нанодаддитив + технология»
- Разработка конструкций «под ключ»
- Образовательные программы в рамках кафедры нанокомпозитных материалов

Заказчики:

Концерн ВКО Алмаз - Антей | e6 | НИИГРАФИТ РОСАТОМ | РЭНЕРА РОСАТОМ

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	30
2024	286
2025	379
2026	375
2027	215
Итого	1285

Ключевой партнер:
Институт катализа СО РАН

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Платформа «Пожаробезопасность техногенных систем»

Объекты инфраструктуры:
(329 млн. руб. – дорожная карта ВТН, 60 млн. руб. – частные инвестиции)
- Центр разработки огнезащитных материалов (Кампус НГУ)
- Центр сертификации (Академпарк)
- Центр моделирования (Кампус НГУ)

Продукты:
- Линейка композитных и полимерных материалов и покрытий с пониженной горючестью с заданными свойствами
- ПК для моделирования распространения пламени, дыма, температур в техногенной системе
- ПК для моделирования горения материалов
- Типовые модели (цифровые двойники) пожара в самолете, корабле и вертолете
- Стандарты по испытанию и руководства по проектированию пожаробезопасных конструкций

Сервисы:
- Комплексное обеспечение пожаробезопасности техногенных систем
- Разработка материала «под ключ»
- Сертификация
- Образовательные программы

Заказчики:

ОАК | УЗГА | ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

Год	Бюджет (млн. руб.)
2024	458
2025	396
2026	178
Итого	1032

Ключевые партнеры:
ООО «ИК ЦТО»
ИКиГ СО РАН
ГосНИИ ГА
ЦИАМ им. Баранова
ВНИИПО
ВолГТУ

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Платформа «Жаропрочные сплавы и покрытия»

Объекты инфраструктуры:
(1 025 млн. руб. – дорожная карта ВТН)
- Центр литьевых технологий (ИТ СО РАН)
- Центр восстановительного ремонта и термообработки (ИТ СО РАН и Академпарк)
- Центр аддитивного производства (ИТ СО РАН и Академпарк)
- Центр нанесения жаропрочных покрытий (ИТПМ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, ИТ СО РАН, Академпарк)

Продукты:
- Модифицированные жаропрочные сплавы на никелевой основе;
- Жаропрочные покрытия и технологии нанесения;
- Детали газовых турбин (ГТУ) на основе разработанных сплавов и покрытий.;
- Керамические стержни для отливки лопаток сложной формы;
- Комплекс технологий восстановительного ремонта деталей ГТУ;
- Керамо-керамические композиты и изделия из них.

Сервисы:
- Разработка систем «материал + покрытие + технология»;
- Разработка конструкций «под ключ»;
- Полный спектр услуг по реинжинирингу деталей;
- Образовательные программы

Заказчики:

ГАЗПРОМ ЭНЕРГОХОЛДИНГ | УЗГА | ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	100
2024	417
2025	737
2026	568
Итого	1822

Ключевые партнеры:
Газпром Энергохолдинг
ООО «ИК ЦТО»
ИТПМ СО РАН
ИТ СО РАН
Скоптех;

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Проекты Центра НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества»

Центр НТИ МГТУ им. Н.Э. Баумана является головной площадкой для реализации 12 проектов ДК ВТН «Перспективные материалы и цифровое материаловедение».

№	Наименование проекта	Соисполнители
1	Разработка новых функциональных ориентированных 2D и 3D ПКМ, в том числе с использованием графена и его аналогов, и методов их получения с использованием аддитивных технологий	ФИЦ ПХФ, МХ РАН МГТУ им. Н.Э. Баумана
2	Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы	МГТУ им. Н.Э. Баумана
3	Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства	МГТУ им. Н.Э. Баумана
4	Цифровизированный анализ и управление электрохимическими и защитными свойствами специальных функциональных композиционных материалов и "умных" полимерных покрытий для техногенно-природных сред	ИФХЭ РАН
5	Разработка единой цифровой технологической платформы инженерного программного обеспечения (в части PDM/CAD/CAE/CAPP/CAM) для проектирования, анализа и автоматизированного изготовления изделий из полимерных композиционных материалов	ПО ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»
6	Разработка единой цифровой платформы по строительному материаловедению с применением инструментов искусственного интеллекта и возможностью моделировать свойства строительных конструкций	ООО «Орлан Диджитал»
7	Отечественные мембраны на основе ароматических полиамидоимидов для разделения метанол-содержащих смесей жидкостей при производстве высокооктановых присадок к топливу	ИВС РАН
8	Разработка пленочных нанокомпозиционных материалов для защиты металлопродукции от коррозии	ФИЦ ПХФ и МХ РАН
9	Аморфные металлические сплавы	НИЯУ МИФИ
10	Программно-аппаратные средства комплексного проектирования изделий синтезируемых из металлических порошковых материалов в процессе лазерного аддитивного производства	ДВФУ
11	Разработка подходов к дизайну функциональных материалов на основе графовых нейронных сетей	МГУ
12	Цифровое материаловедение под управлением искусственного интеллекта: разработка рентгеновских резистов для элементной базы наноэлектроники нового поколения	ЮФУ

Проект «Цифровая платформа»

Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы

Объекты инфраструктуры:

Комплекс «Цифровое моделирование материалов»:
- Лаборатория молекулярного моделирования
- Лаборатория моделирования на основе искусственного интеллекта
- Лаборатория инженерных расчетов

Продукты:
- База данных структур и свойств полимеров
- Программы и методики испытаний образцов изделий из ПКМ и их компонентов
- Дескрипторы для цифрового представления структуры и свойств полимерных материалов
- Программный модуль для прогнозирования свойств полимеров
- Программный модуль интеллектуального поиска и классификации материалов, основанный на машинном обучении

Области применения:
- Конструкционные материалы и материалы для техники
- Умные материалы
- Энергетические и топливные технологии
- Электрические, магнитные, электромагнитные и оптические системы
- Устройства очистки и фильтрации
- Полимерные материалы из возобновляемого сырья
- Эластомеры специального назначения
- Медицинские технологии

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	252,4
2024	784,3
2025	874,8
2026	55,6
Итого	**1 967,1**

Ключевые партнеры:
проект реализуется на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана

Потенциальные заказчики:
ГК «Росатом», «Газпромнефть - Промышленные инновации», ПАО «Сибур-Холдинг», АО «Тяжмаш» и др.

Проект «Термопласты»

Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства

Объекты инфраструктуры:

Комплекс «Разработка новых конструкционных материалов»:
- Лаборатория конструкционных материалов и сплавов
- Лаборатория цифровых двойников материалов
- Лаборатория разработки перспективного оборудования для обработки материалов
- Лаборатория «Сложные композиты»
- Лаборатория «Адгезионные взаимодействия»
- Лаборатория «Моделирование прочностных характеристик»

Продукты:
- Суперконструкционные термопласты с повышенными свойствами
- Порошки различного фракционного состава из полученных суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами
- Гранулы полимеров
- Тестовые изделия, изготовленные методом литья под давлением
- Филамент для 3D печати
- Препреги на основе суперкомпозиционных материалов с повышенными свойствами и композиционные материалы на их основе

Области применения:
- Авиастроение
- Ракетостроение
- Машиностроение
- Двигателестроение
- Приборостроение и электроника

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	100
2024	170
2025	170
2026	65
Итого	**505**

Ключевые партнеры:
проект реализуется на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана

Потенциальные заказчики:
АО «Препрег СКМ», ООО «Татнефть-Пресскомпозит», АО «Композит», ОАО «Завод «Исеть» и др.

Разработка единой цифровой технологической платформы инженерного программного обеспечения (в части PDM/CAD/CAE/CAPP/CAM) для проектирования, анализа и автоматизированного изготовления изделий из полимерных композиционных материалов

ЦЕНТР НТИ

Результат реализации проекта:

Разработана импортонезависимая кроссплатформенная единая цифровая технологическая платформа инженерного программного обеспечения (в части PDM/CAD/CAE/CAPP/CAM) для проектирования, анализа и автоматизированного изготовления изделий из полимерных композиционных материалов

№	Конечный потребитель	Решаемая проблема конечного потребителя
1	Предприятия автомобильной и сельскохозяйственной техники	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве автомобилей, модернизированной автомобильной техники и др.
2	Предприятия железнодорожного машиностроения	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве подвижных локомотивов (электровозов, тепловозов), вагонов метро, водоотводных лотков, шпал, изолирующих накладок и др.
3	Предприятия строительного сектора	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве композиционной арматуры, светопрозрачных конструкций, стеклопластиковых труб и др.
4	Предприятия кораблестроения	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения в судостроении
5	Предприятия авиационной промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве изделий авиастроения
6	Предприятия космической промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве космических ракет и аппаратов
7	Предприятия двигателестроительной промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве изделий двигателестроения
8	Предприятия оборонной промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения в военном судостроении, стеклопластиковой тары для боеприпасов, при производстве изделий для военной авиационной техники, стрелкового вооружения и др.

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	0
2024	380
2025	280,3
2026	0
Итого	**660,3**

Ключевые партнеры:

ПО ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»

Разработка пленочных нанокомпозиционных материалов для защиты металлопродукции от коррозии

ЦЕНТР НТИ

Результат реализации проекта:

Созданы инновационные типы композиционных полимерных материалов, обеспечивающих пролонгированную эффективную защиту металлических изделий в условиях их хранения и транспортировки от воздействия агрессивных газообразных веществ окружающей среды по механизму «жертвенной защиты»

Разработаны принципиальная технологическая схема и модели технологических процессов получения и применения пленочных нанокомпозиционных материалов

№	Конечный потребитель	Решаемая проблема конечного потребителя
1	Компании производители металлопродукции, в том числе и компонентов электроники, осуществляющие их хранение или транспортировку.	Временное хранение и транспортировка металлопродукции морским путем или в районы с повышенной влажностью при воздействии экстремальной влажности, солености и различных температурных условий. Замена традиционных процессов консервации и расконсервации, отличающихся значительной трудоемкостью и стандартизация сроков переконсервации техники с учетом действительного коррозионного состояния.
2	Компании производители и проектировщики композиционных материалов	Одностадийный способ получения полимерного композиционного материала упрощает технологию получения композиционного материала, а также позволяет получать материалы с улучшенными механическими и барьерными свойствами, обеспечивает повышенную термическую и химическую стабильность и негорючесть.
3	Компании производители упаковочных пленочных материалов	Применение упаковочных материалов нового поколения позволит усовершенствовать технологию производства упаковочных материалов противокоррозионного действия и отказаться от использования летучих ингибиторов коррозии, что будет способствовать расширению рынка защитных материалов, включая область электронных устройств и их компонентов.

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	0
2024	27
2025	96,6
2026	40
Итого	**163,6**

Ключевые партнеры:

ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Потенциальные заказчики:

ГМК «Норильский никель», ЗАО НПО «Вектор», АО «Ангстрем», ФГУП «ВИАМ», ООО «ИНТЕХЭКО» и др.

Приложение 9.

ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ ВТН «ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ»

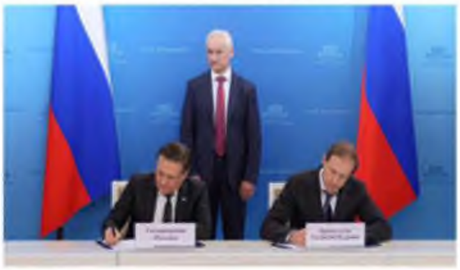
Директор по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» А. Б. Шевченко

РОСАТОМ

Дорожная карта развития ВТН
«Технологии новых материалов и веществ»

Соглашение в целях развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ»

РОСАТОМ



Соглашение о намерениях от 16.01.2023 между Правительством Российской Федерации и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» в целях развития в Российской Федерации высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ».

Цель Соглашения: достижение Российской Федерацией позиции **одного из лидеров на глобальных технологических рынках** в высокотехнологичном направлении «Технологии новых материалов и веществ»

Механизм реализации Соглашения:

Разработка и реализация дорожной карты развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ»*

Периметр дорожной карты:

- Полимерные композиционные материалы;
- Аддитивные технологии;
- Редкие и редкоземельные металлы.
- Цифровое материаловедение и перспективные материалы**

Целевые показатели:

- Количество зарегистрированных РИД;
- Объем выручки от реализации продукции/сервисов;
- Доля продуктов (технологий), по которым создан лабораторный образец;
- Доля продуктов (технологий), по которым подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности
- Доля продуктов (технологий), по которым запущены опытно-промышленное производство и сертификация

* - утверждена 21.12.2023

**- соглашение о намерениях от 08.11.2023 между Правительством РФ и центрами компетенций НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана и «Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами» на базе НГУ

Новое типовое Соглашение и структура Дорожной карты

РОСАТОМ

Принципы актуализированных Соглашений:

«Открытый формат» Соглашения дает возможность реализации «дорожной карты» неограниченному количеству компаний

Фиксация обязательств по паритету финансирования бюджет и внебюджет

«Дорожные карты» - инструмент реализации соглашений

Технологическая карта
описание продуктов, динамика УГТ

Паспорт «дорожной карты»
набор базовых сведений о реализации «дорожной карты, ответственные лица, показатели, перечень поднаправлений, объем финансирования

Развитие стартапов

Показатели и индикаторы

План финансирования
объемы и источники по годам

План мероприятий
по годам с указанием вех

Компании-лидеры – организации, подписавшие Соглашения. Любая организация, подписавшая Соглашение становится компанией-лидером.

Участники реализации «Дорожной карты» - любые организации, реализующие Соглашения в рамках мероприятий «дорожной карты»

ВТН «Технологии новых материалов и веществ» (Минпромторг России)

РОСАТОМ

КОМПАНИИ – ЛИДЕРЫ

По распоряжению Правительства РФ от 31 декабря 2022 г. № 4403-р:

- Госкорпорация «Росатом»
- Центр компетенций НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Центр компетенций НТИ «Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами» на базе НГУ

КОМПАНИИ – УЧАСТНИКИ

- Организации Госкорпорации «Росатом», ООО «ИТЕКМА», НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, МГУ им. М.В. Ломоносова, МАИ, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ФГАОУ ВО «СПбПУ», НИТУ «МИСиС», ООО «Эмзиор», МГТУ им. Баумана, АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО «ОСК», ПАО «Газпром», ООО «Скайград Инновации», АО «УХК «Уралхим», ПАО «Норильский никель» и др.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Разработка и производство современных конструкционных и функциональных материалов, а также изделий на их основе, являющихся основой для передовых технологических решений

ПОДНАПРАВЛЕНИЯ:

1. *Полимерные композиционные материалы*
2. *Аддитивные технологии*
3. *Редкие и редкоземельные металлы*
4. *Перспективные материалы и цифровое материаловедение*

ОБРАЗ РЕЗУЛЬТАТА К 2030 ГОДУ

Потребности российской промышленности в современных материалах (полимерные композиты, РМ и РЗМ, материалы для аддитивных технологий) и технологиях цифрового материаловедения будут обеспечены за счет отечественных разработок (технологический суверенитет)

ПРОДУКТОВАЯ ЛИНЕЙКА

97 ПРОДУКТОВ, ВКЛЮЧАЯ:

1. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Полимерные композиционные материалы» – 19 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- ПАН-прекурсор, УВ, ПКМ на его основе
- Среднемодульное УВ (5,5 ГПа)
- Аппретирующие составы
- Эпоксидный биндер
- Изделия ПКМ для авиакосмической промышленности

2. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Аддитивные технологии» – 40 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- Трехосевой сканатор с возможностью подключения систем контроля
- Лазерные источники мощностью 200-1000
- Серийный SLM 3D-принтер (3Д принтер СЛМ с камерой построения 300х300 и дальнейшие модификации, 3Д принтер СЛМ с камерой построения 600х600 и дальнейшие модификации)
- Серийный DMD 3D-принтер
- Комплекс ПО «Виртуальный 3D-принтер. 2.0»
- Порошки для 3D-печати из сплавов на основе никеля, кобальта, железа, титана, молибдена и алюминия
- 3D-принтер по технологии EBAM

3. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Редкие и редкоземельные металлы» – 10 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- Коллективные концентраты редкоземельных металлов
- Оксиды редких и редкоземельных металлов
- Перспективные химические соединения редких и редкоземельных металлов
- Высокоэнергетические постоянные редкоземельные магниты системы неодим-железо-бор (Nd-Fe-B)
- Лигатуры, сплавы с содержанием редких и редкоземельных металлов
- Автокатализаторы
- Литиевая продукция

4. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» – 28 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:
- Единая цифровая технологическая платформа инженерного программного обеспечения «Цифровое материаловедение»
- Новые функционально-ориентированные 2D и 3D композиты
- Новые конструкционные термопластичные материалы
- Керамические стержни сложной геометрии для литья лопаток ГТД
- Аморфные металлические сплавы

НИОКР в рамках ВТН «Технологии новых материалов и веществ»

РОСАТОМ

Количество реализуемых НИОКР в 2023 году

Наименование поднаправления ВТН		Ед. изм.	План	Факт
Полимерные композиционные материалы		шт.	5	5
Аддитивные технологии		шт.	48	16
Редкие и редкоземельные металлы		шт.	3	2
	Всего:	шт.	56	23

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ:

- **отсутствие в необходимом объеме бюджетных ассигнований федерального бюджета на реализацию КНТП «Аддитивные технологии. Новые материалы и технологические процессы» в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 19 февраля 2019 года №162 «О порядке разработки и реализации комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла»;**
- **отсутствие финансирования проектов в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 16.12.2020 № 2136 «Об утверждении Правил предоставления в 2023 году из федерального бюджета субсидий российским организациям на финансовое обеспечение мероприятий по проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области средств производства электроники»;**
- **отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты;**
- **сложная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, которая дублирует действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств;**
- **мероприятия, требующие выделения средств из Федерального бюджета, включены в федеральные проекты в рамках национального проекта «Новые материалы и химия», что в свою очередь приведет к дополнительной отчетности;**
- **необходима проработка совместных действий по легитимизации аддитивных и других инновационных технологий для обеспечения возможности их применения в различных отраслях (нормативные правовые акты, документы по стандартизации, аттестации и сертификации и пр.).**

Приложение 10.

СТАТУС ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ЗА 2023 ГОД ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

Руководитель службы технической поддержки АО «Препрег-СКМ» А.И. Лукина

Госкорпорация «Росатом»

Проект «*Разработка составов и технологий нанесения на полимерные композиционные материалы специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты*», (*2023 – 2024 гг*)

РОСАТОМ

Предпосылки проекта: *отсутствие в России высокотехнологичного продукта, выполняющего функции молниезащиты элементов конструкции авиационной техники на основе ПКМ.*

Цель проекта: *Разработка составов и технологий нанесения на полимерные композиционные материалы специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты.*

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: ТР и ТУ на *производство функциональных покрытий на основе вязано-паяной сетки и связующих с различными температурами эксплуатации, обеспечивающих функции молниезащиты композиционных материалов*

Заказчик / исполнитель проекта: *АО «Препрег-СКМ»*

Эффекты проекта для смежных отраслей / страны *импортозамещение*

Уровень готовности продукта/технологий: *план на 2023 г TRL 5/ факт на 2023 г TRL 4**

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: *повышение технологичности применения материала и экологической безопасности на производстве, благодаря оптимизации производственного процесса за счет сокращения операций по переработке материала и отсутствию в составе связующих растворителей.*

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: АО «Препрег-СКМ»

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	-	-
	Федеральный бюджет	22,00	10,82
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	42,90	42,90
	Федеральный бюджет	20,90	20,90
Дата достижения результата		31.12.2024	31.12.2024

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2023	- Разработана программа и методики предварительных испытаний экспериментальных партий металлических вязано-паяных сеток единого состава, образцов экспериментальных партий функционального покрытия и образцов ПКМ, совмещённых с функциональным покрытием; - Изготовлены и исследованы экспериментальные партии металлических вязано-паяных сеток единого состава, экспериментальные партии функциональных покрытий, образцы ПКМ, совмещенных с функциональным покрытием; - Разработаны ТУ и ТИ на изготовление металлических вязано-паяных сеток единого состава; - Разработаны ТУ и ТИ на изготовление функционального покрытия. - Исследованы молниезащитные свойства эксперименальных партий функционального покрытия, совмещенного с ПКМ.
2024	- Разработана программа и методики испытаний опытных партий функциональных покрытий; - Изготовлены и исследованы опытные и партии функциональных покрытий с воспроизводимым качеством для последующего их совмещения с ПКМ; - Разработана ТИ на совмещение партий функционального покрытия с ПКМ. - Будут исследованы молниезащитные свойства опытных партий и партий функционального покрытия, совмещенного с ПКМ;

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

** Информация о прогнозе достижения уровня УГТ на 2023 г. была подготовлена в рамках актуализации Дорожной карты в июле 2023г. на основание предварительных технических заданий на разработку технологий КНТП. В рамках подготовки документов для заключения грантовых договоров с Минобрнауки РФ (август 2023г.) были переработаны технические задания. Мероприятия по достижению УГТ5 были перенесены на 2024г.*

2

Проект «*Разработка составов и технологий нанесения на полимерные композиционные материалы специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты*», (*2023 – 2024 гг*)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2023

- проведены экспериментальные исследования по разработке составов и технологий нанесения на полимерные композиционные материалы специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты;
- разработаны проекты ТР и ТИ на изготовление металлических вязано-паяных сеток и изготовление функционального покрытия;
- изготовлены экспериментальные партии функционального покрытия и образцов ПКМ, совмещенных с функциональным покрытием, исследованы их физико-механические характеристики и молниестойкость.

Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:

- уменьшить количество стадии прикатки металлической сетки непосредственно на предприятии изготовителя изделий авиационной техники, ввиду получения готового материала, что существенно снизить трудозатраты на производство изделий из ПКМ;
- обеспечит пониженное, стабильное и эффективное электросопротивление и надежную защиту от локального разрушения ПКМ под действием заряда молнии;
- повысить экологичность материала ввиду использования в его составе проволочных вязано-паяных сеток изготовленных по бессвинцовым технологиям и отсутствия в его составе связующих с токсичными летучими органическими соединениями

Проект «Разработка технологий получения комплекса цианатэфирных олигомеров, в том числе обеспечивающих получение полимерных связующих с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия», (2023 – 2025 гг)

Предпосылки проекта: *отсутствие в России отечественных цианатэфирных полимерных композиционных материалов.*

Цель проекта: *Разработка технологий изготовления цианатэфирных связующих с температурой стеклования до 260 °С (конструкционное) и до 400 °С (высокотемпературное) для применения в силовых и размеростабильных конструкциях с высокой весовой эффективностью по сравнению с конструкциями из металлов.*

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: *ТР и ТУ на цианатэфирные связующие и препреги на их основе: цианатэфирное связующее с температурой стеклования до 260 °С (конструкционное) и цианатэфирное связующего с температурой стеклования до 400 °С (высокотемпературное).*

Заказчик / исполнитель проекта: *АО «Препрег-СКМ»*

Эффекты проекта для смежных отраслей / страны *импортозамещение*

Уровень готовности продукта/технологий: *план на 2023 гTRL 3/ факт на 2023 гTRL 2**

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: *создание двух классов цианатэфирных связующих, в настоящий момент серийно не производимых на территории РФ. Разработка этих связующих позволяет полностью обеспечить потребности авиакосмической отрасли в полимерных композиционных материалах, способных на длительную работу в температурном интервале от 220 °С до 350 °С, а также позволит сократить разрыв между российскими и зарубежными конкурентными технологиями.*

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: *АО «Препрег-СКМ»*

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	-	-
	Федеральный бюджет	20,75	2,13
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	60,00	60,00
	Федеральный бюджет	39,25	52,75
Бюджет проекта на 2025 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	40,00	40,00
	Федеральный бюджет	40,00	40,00
Дата достижения результата		31.12.2025	31.12.2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2023	- Выбраны исходные компоненты (циановые эфиры, отвердители, модификаторы) для разработки экспериментальных составов цианатэфирных связующих; - Разработаны технологические параметры синтеза мономеров для получения цианатэфирных олигомеров (связующих). Подобраны каталитические системы для синтеза. Подобраны оптимальные режимы синтеза мономеров. - Разработаны программы и методики испытаний экспериментальных партий мономера и фенолформальдегидной смолы.
2024	- Разработаны экспериментальные составы цианатэфирных связующих. - Исследованы технологические параметры изготовления экспериментальных образцов цианатэфирных связующих. Изготовлены экспериментальные образцы цианатэфирных связующих на основании технологических параметров. - Разработаны технологии синтеза мономеров и фенолформальдегидной смолы для получения цианатэфирных связующих. - Разработаны проекты ТИ на изготовление цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 260 °С (конструкционное) и с температурой стеклования до 400 °С (высокотемпературное).
2025	- Будут разработаны проекты ТИ на изготовление препрегов на основе цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 260 °С и цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 400 °С и углеродного наполнителя. - Будут разработаны проекты ТУ на препреги на основе цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 260 °С и цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 400 °С и углеродного наполнителя.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

** Информация о прогнозе достижения уровня УГТ на 2023 г. была подготовлена в рамках актуализации Дорожной карты в июле 2023г. на основание предварительных технических заданий на разработку технологий КНТП. В рамках подготовки документов для заключения грантовых договоров с Минобрнауки РФ (август 2023г.) были переработаны технические задания. Мероприятия по достижению УГТЗ были перенесены на 2024г.*

Проект «Разработка технологий получения комплекса цианатэфирных олигомеров, в том числе обеспечивающих получение полимерных связующих с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия», (2023 – 2025 гг)

РОСАТОМ

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2023

- выбраны исходные компоненты (циановые эфиры, отвердители, модификаторы) для разработки экспериментальных составов цианатэфирных связующих;
- разработаны технологические параметры синтеза мономеров для получения цианатэфирных олигомеров (связующих). Подобраны каталитические системы для синтеза. Подобраны оптимальные режимы синтеза мономеров.
- Разработаны программы и методики испытаний экспериментальных партий мономера и фенолформальдегидной смолы.

Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:

- создать класс отечественных мономеров для производства цианатэфирных связующих, способных на длительную работу в температурном интервале от 220 °С до 350 °С.
- поставлять цианатэфирные связующие и препреги на их основе предприятиям космической, авиационной и других отраслей, что позволит занять в настоящий момент свободный сегмент рынка композиционных материалов.

Проект «*Разработка технологий и организация опытного производства суперконструкционных термопластов для применения в качестве матриц полимерных композиционных материалов*», (*2023-2025 гг.*)

РОСАТОМ

Предпосылки проекта: *отсутствие в России производства суперконструкционных термопластов (полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона) в промышленном масштабе.*

Цель проекта: *исследование и оптимизация технологий синтеза суперконструкционных термопластов для создания опытного производства материалов для применения в качестве матриц ПКМ.*

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: *организация производства суперконструкционных термопластов, технологии изготовления полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона в форме порошков со средним размером частиц от 100 до 500 мкм и 150 мкм соответственно.*
Заказчик / исполнитель проекта: *АО «Препрег-СКМ».*

Эффекты проекта для смежных отраслей / страны *импортозамещение, укрепление технологического суверенитета.*

Уровень готовности продукта/технологий: *план на 2023 г TRL 5/ факт на 2023 г TRL 4**

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: *организация производства суперконструкционных термопластов - полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона в едином технологическом цикле мощностью не менее 20 т/год. Использование разработанных материалов для изготовления термопластичных препрегов и ПКМ.*

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: *производственная площадка ООО «Аргон», входящего в композитный дивизион Росатом.*

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	25,00	40,06
	Федеральный бюджет	60,00	17,27
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	68,00	52,94
	Федеральный бюджет	68,00	82,54
Бюджет проекта на 2025 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	87,00	87,00
	Федеральный бюджет	52,00	52,00
Дата достижения результата		31.12.2025	31.12.2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:*

2023	•Разработана технологическая схема получения полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полиарилсульфона (ПАСУ) в едином технологическом процессе; •Разработаны исходные данные для проектирования опытно-промышленной установки для получения суперконструкционных термопластов мощностью 20 т/год; •Проведены исследования технологических режимов синтеза ПЭЭК и ПАСУ.
2024	•Оптимизирован процесс синтеза суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ; •Исследованы теплофизические, реологические, механические свойства суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ; •Разрабатываются проекты технологических инструкций (ТИ) на изготовление ПЭЭК и ПАСУ; •Проводятся подготовительные работы для организации участка по производству суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ.
2025	•Будут разработаны составы и технологии синтеза суперконструкционных термопластов, выпущены технические условия на ПЭЭК и ПАСУ и ТИ на их изготовление; •Будет организован производственный участок изготовления суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ, выпущены опытно-промышленные партии материалов и исследованы их свойства.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

** Информация о прогнозе достижения уровня УГТ на 2023 г. была подготовлена в рамках актуализации Дорожной карты в июле 2023г. на основание предварительных технических заданий на разработку технологий КНТП. В рамках подготовки документов для заключения грантовых договоров с Минобрнауки РФ (август 2023г.) были переработаны технические задания. Мероприятия по достижения УГТ5 были перенесены на 2024г.*

Проект «*Разработка технологий и организация опытного производства суперконструкционных термопластов для применения в качестве матриц полимерных композиционных материалов*», (*2023-2025 гг.*)

РОСАТОМ

Опытный углепрепрег на основе термопластичного порошкового связующего - полиарилсульфона

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2023

- разработана технологическая схема процесса получения суперконструкционных термопластов (полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона) в едином технологическом процессе;
- разработаны исходные данные для проектирования опытно-промышленной установки мощностью 20 т в год для производства суперконструкционных термопластов;
- проведены экспериментальные исследования технологических режимов изготовления суперконструкционных термопластов и препрегов на основе термопластичных связующих (полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона) в форме порошков.

Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:

- увеличить объем производства указанных суперконструкционных термопластов с 2 до 20 т в год;
- обеспечить получение порошков полимеров с заданным размером частиц от 100 до 500 мкм;
- организовать производство суперконструкционных термопластов для использования в качестве связующих (или матриц) для изготовления термопластичных препрегов и ПКМ.

Проект «*Разработка технологий производства негорючих термореактивных связующих нового поколения*», (*2023 – 2025 гг*)

РОСАТОМ

Предпосылки проекта: *отсутствие в России безрастворных негорючих термореактивных связующих, для изготовления методом вакуумной инфузии стеклопластика*

Цель проекта: *разработка безрастворных негорючих термореактивных связующих, для изготовления методом вакуумной инфузии стеклопластика с пониженной способностью к дымообразованию и распространению пламени по поверхности и повышенной прочностью при межслойном сдвиге.*

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: *ТР и ТУ на безрастворные негорючие термореактивные связующие: однокомпонентное (бензоксазиновое) и двухкомпонентное (эпоксидное), ТР на изготовление стеклопластика*

Заказчик / исполнитель проекта: *АО «Препрег-СКМ»*

Эффекты проекта для смежных отраслей / страны *импортозамещение*

Уровень готовности продукта/технологий: *план на 2023 гTRL 4/ факт на 2023 гTRL 4*

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: *повышение экологичности связующих благодаря отсутствию в составе органических растворителей и использованию безгалогеновых антипиренов, снижение вероятности возникновения и распространения пожаров за счет создания композитных материалов с пониженной горючестью*

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: *АО «Препрег-СКМ»*

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

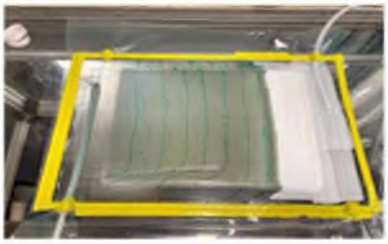
Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	-	-
	Федеральный бюджет	23,00	10,62
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	30,00	30,00
	Федеральный бюджет	22,00	22,00
Бюджет проекта на 2025 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	42,00	42,00
	Федеральный бюджет	27,00	27,00
Дата достижения результата		31.12.2025	31.12.2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2023	- Разработаны проекты ТР и ТИ получения негорючих термореактивных связующих - Изготовлены и исследованы экспериментальные партии одно- и двухкомпонентного негорючих термореактивных связующих для последующего изготовления стеклопластиков методом вакуумной инфузии
2024	- Исследованы технологические параметры изготовления методом вакуумной инфузии стеклопластиков на основе однокомпонентного и двухкомпонентного негорючего термореактивного связующего. - Разработана программа и методики испытаний образцов стеклопластика на основе однокомпонентного и двухкомпонентного негорючего термореактивного связующего. - Проводятся испытания термомеханических и физико-механических свойств образцов стеклопластика в соответствии с Программой и методиками испытаний.
2025	- Будут изготовлены по ТР и исследованы опытные партии одно- и двухкомпонентного негорючих термореактивных связующих для последующего изготовления стеклопластиков методом вакуумной инфузии для проверки соответствия требованиям ТУ - Будет разработан проект ТР на изготовление стеклопластика на основе однокомпонентного негорючего термореактивного связующего методом вакуумной инфузии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

Проект «*Разработка технологий производства негорючих термореактивных связующих нового поколения», (2023 – 2025 гг)*



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2023

- проведены экспериментальные исследования по разработке составов однокомпонентного и двухкомпонентного безрастворных негорючих термореактивных связующих для изготовления методом вакуумной инфузии стеклопластиков на их основе;
- разработаны проекты ТР и ТИ на изготовление однокомпонентного и двухкомпонентного негорючих термореактивных связующих;
- изготовлены укрупненные экспериментальные партии однокомпонентного и двухкомпонентного негорючих термореактивных связующих, исследованы их физико-химические и термомеханические характеристики.

Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:

- исключить стадии изготовления препрега и автоклавного формования, снизить затраты на производство изделий из ПКМ;
- повысить экологичность связующих и композитных изделий на их основе благодаря отсутствию в составе органических растворителей и использованию безгалогенных антипиренов;
- снизить вероятность возникновения и распространения пожара за счет создания композитных материалов с пониженной горючестью.

Проект «Разработка технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол, включая трансфер существующей технологии» *(2023 – 2025 гг)*

Предпосылки проекта: *отсутствие в России технологии переработки полимерных композиционных материалов на основе углеродных волокон*

Цель проекта: *Разработка технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол путем удаления связующего из углепластика методом пиролиза. Разработка на основе вторично переработанного углеродного волокна технологий изготовления молотых и резаных углеродных волокон, углерод-углеродных композиционных и нетканых материалов.*
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: *с технологическая инструкция на удаление связующего из углепластика методом пиролиза, стандарты организации (СТО) или технические условия (ТУ) на молотые и резаные углеродные волокна, углерод-углеродные композиционные и нетканые материалы*
Заказчик / исполнитель проекта: *ООО «ЗУКМ»*
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны *ликвидация технологического отставания*
Уровень готовности продукта/технологий: *план на 2023 г.TRL 2/ факт на 2023 г.TRL 2*

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: *В связи со стремительным развитием рынка полимерных композиционных материалов (ПКМ) в РФ в настоящее время наиболее остро стоит проблема утилизации композитных отходов. Единственным оптимальным решением проблемы утилизации композитов является их вторичная переработка. Результаты проекта будут использованы для создания первого в России промышленного технологического цикла переработки ПКМ – от отходов до продуктов на основе переработанных углеродных волокон.*
Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: *ООО «ЗУКМ»*

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	18,13	-
	Федеральный бюджет	18,13	1,32
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	52,73	70,86
	Федеральный бюджет	52,73	56,08
Бюджет проекта на 2025 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	51,76	51,76
	Федеральный бюджет	51,76	51,76
Дата достижения результата		31.12.2025	31.12.2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2023	- Проведены патентные исследования. Предпроектная проработка. - Разработаны требования (исходные данные) к технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол (связующих).
2024	- Будет разработана лабораторная технология вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол (связующих) путем удаления связующего из углепластика методом пиролиза. - Будут разработаны лабораторные технологии изготовления молотых и резаных углеродных волокон, углерод-углеродных композиционных и нетканых материалов. - Будут разработаны технологические инструкции (ТИ) на удаление связующего из углепластика методом пиролиза, на производство молотых и резанных углеродных волокон, УУКМ и нетканых материалов. - Будут изготовлены экспериментальные партии молотых и резаных углеродных волокон, углерод-углеродных композиционных и нетканых материалов.
2025	- Будут изготовлены и испытаны экспериментальные партии дискретных, молотых и резаных углеродных волокон, углерод-углеродных композиционных и нетканых материалов. - Будут разработаны стандарты организации (СТО) или технические условия (ТУ) на молотые и резаные углеродные волокна, углерод-углеродные композиционные и нетканые материалы.

Проект «Разработка технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол, включая трансфер существующей технологии» *(2023 – 2025 гг)*

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2023

- Подготовлен отчет о патентных исследованиях по определению технического уровня и тенденций развития в области технологий вторичной переработки углепластиков, который позволил установить, что по совокупности технических, технологических и экономических характеристик непрерывная технология вторичной переработки углепластиков методом пиролиза является наиболее эффективной.
- Выбраны направления исследований, позволяющие в дальнейшем установить оптимальные температурно–временные параметры процесса удаления связующего из углепластика методом двухстадийного пиролиза ;
- Разработаны требования, необходимые для реализации технологического процесса пиролиза отходов УВ, включающие характеристику сырья, вспомогательных материалов и готовой продукции, краткое описание предполагаемой технологической схемы производства, необходимого оборудования, перечень производственных инструкций и др.;
- Закуплено лабораторное и испытательное оборудование.

Дополнительно разрабатываемые технологии позволят:

- Снизить количество отходов полимерных композиционных материалов, подлежащих захоронению;
- Организовать производство линейки продуктов на основе переработанного углеродного волокна.

	В целом представленные работы	
№	**Наименование критерия**	**Оценка**
1.	Результаты реализации дорожной карты соответствуют / не соответствуют запланированным результатам (показателям) "дорожной карты"	соответствуют
2.	Мероприятия в рамках дорожной карты актуальны / не актуальны	актуальны
3.	Мероприятия в рамках дорожной карты востребованы / невостребованы	востребованы
4.	Мероприятия в рамках дорожной карты целесообразны / нецелесообразны	целесообразны
5.	Результаты реализации дорожной карты имеют / не имеют практической значимости	имеют практическую значимость
6.	Результаты реализации дорожной карты способствуют / не способствуют развитию новых рынков	способствуют развитию рынков

Приложение 11.

СТАТУС ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ЗА 2023 ГОД ПО НАПРАВЛЕНИЮ «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ

Заместитель генерального директора по науке

ООО «РосАТ» С.В. Тепаев

Госкорпорация «Росатом»

РОСАТОМ

Статус выполнения мероприятий дорожной карты развития в Российской Федерации высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ» за 2023 год

Поднаправление Дорожной карты: «Аддитивные технологии»

Наименование организации: ООО «РосАТ»
Докладчик: Тепаев Сергей Владимирович

30.08.2024

Проект Разработка модельного ряда и изготовление опытных образцов оборудования SLM (2021-2023)

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА:

Предпосылки проекта:

- стратегическая программа по направлению «Аддитивные технологии», утвержденная протоколом СС Госкорпорации «Росатом» от 06.07.2020 №№ 1-СС/10-Пр;

- решение протокола Управляющего совета стратегической программы «Аддитивные технологии» от 10.09.2021 № 1-13/188-Пр-кт об открытии инвестиционного проекта «Разработка модельного ряда и изготовление опытных образцов оборудования SLM»;

- наличие заинтересованности в реализации проекта со стороны потенциальных потребителей продукции проекта;

- несоответствие имеющегося в ООО «РусАТ» опытного оборудования предъявляемым потенциальными потребителями требованиям к коммерческой продукции;

- выполнение задач по импортозамещению высокотехнологичного оборудования.**Цель проекта:** Создание конструкторской, технологической и программной документации, а также изготовление опытных образцов модельного ряда оборудования SLM* в срок до 30.09.2025.

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: создана (до TRL7) линейка малогабаритных, среднегабаритных, крупногабаритных принтеров металлической печати по технологии SLM

Заказчик проекта: ООО «РосАТ»

Эффекты проекта: создана продуктовая линейка наиболее востребованного на рынке оборудования АТ.

Уровень готовности продукта/технологий (фактические уровень):

TRL 7 (установка среднегабаритного класса)

TRL 3 (установка крупногабаритного класса)

TRL 2 (установка малогабаритного класса)

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта:

Созданная линейка SLM-оборудования будет первым отечественным унифицированным решением в области АТ по характеристикам не хуже зарубежных и отечественных аналогов

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства:

Созданная в проекте линейка SLM-оборудования будет серийно производится ООО «РосАТ»

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	219,70	128,86
	Федеральный бюджет	-	-
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	441,91	372,24
	Федеральный бюджет	-	-
Дата достижения результата		30.12.2024	30.09.2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2021	Принято решение о запуске проекта Разработана конструкторская документация в стадии эскизного проекта на модельный ряд оборудования SLM
2022	Разработана и утверждена конструкторская документация в стадии технического проекта на оборудование среднегабаритного класса Разработан и утвержден нелитерованный комплект РКД для изготовления опытных образцов оборудования среднегабаритного класса Разработана и утверждена конструкторская документация в стадии технического проекта на оборудование крупногабаритного класса
2023	Разработан и утвержден нелитерованный комплект РКД для изготовления основного рабочего модуля опытного образца оборудования крупногабаритного класса Собран полнофункциональный опытный образец оборудования среднегабаритного класса. Достигнуты TRL4, TRL5 Разработана документация на программное обеспечение для обеспечения работоспособности оборудования среднегабаритного класса Проведены предварительные испытания опытного образца оборудования среднегабаритного класса. Достигнут TRL6 Проведены приемо-сдаточные испытания опытного образца оборудования среднегабаритного класса. Скорректирована документация на оборудование среднегабаритного класса технологии SLM с присвоением литеры "О1". Достигнут TRL7
2024	Разработан и утвержден нелитерованный комплект РКД для изготовления опытного образца оборудования малогабаритного класса СЛС-МПК-100 Отработаны режимы плавления для согласованной номенклатуры МПК на оборудовании среднегабаритного класса Проведены приемо-сдаточные испытания опытного образца основного рабочего модуля оборудования крупногабаритного класса. Скорректирована документация с присвоением литеры «О1». Достигнут TRL7 Разработан и утвержден нелитерованный комплект РКД для изготовления опытного образца оборудования малогабаритного класса СЛС-МПК-150
2025	Разработана документация о создании РИД согласно перечню узлов, подлежащих патентной защите, для оформления ноу-хау на узлы и технологические режимы плавления Проверена работоспособность опытного образца оборудования малогабаритного класса СЛС-МПК-100. Достигнуты TRL 4, TRL 5 Проверена работоспособность опытного образца оборудования малогабаритного класса СЛС-МПК-150. Достигнуты TRL 4, TRL 5

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году

РОСАТОМ

СЛС-МПК-310

- Рабочая конструкторская документация с литерой «О1» на «среднегабаритную» установку
- Опытный образец «среднегабаритной» установки

СЛС-МПК-610

- Рабочая конструкторская документация на основной рабочий модуль

СЛС-МПК-100, СЛС-МПК-150

- Принято решение о разработке

Проект «Комплексная отработка технологии изготовления элементов оборудования атомной энергетики при помощи АТ (SLM-метод), АО «ОКБМ Африкантов» (2021-2026)

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА:

Предпосылки проекта: Дорожная карта внедрения аддитивных технологий в Госкорпорации «Росатом», утвержденная распоряжением Госкорпорации «Росатом» от 07.08.2020 № 1-1/472-Р:

- Целью реализации Дорожной карты является поэтапный переход на использование аддитивных технологий в производстве продукции атомной отрасли.

- Задачей реализации Дорожной карты на первом этапе является проведение НИОКР по внедрению аддитивных технологий и продуктов на их основе, обеспечивающих техническую и экономическую приемлемость решений, внедрение аддитивных технологий на референтных объектах организаций отрасли, формирование отраслевой базы нормативной и технической документации для применения аддитивных технологий, развитие кадрового потенциала.

Цель проекта: к 30.09.2026 г. отработать технологию и обосновать возможность использования элементов, полученных методом селективного лазерного сплавления (SLM), в конструкции парогенераторов и насосного оборудования

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: создан участок (Центр аддитивных технологий) и отработана технология (до TRL6) изготовления изделий (парогенераторов и насосного оборудования) методом АТ

Заказчик проекта: АО «ОКБМ «Африкантов»

Эффекты проекта:

- повышение коэффициента использования материала при изготовлении парогенераторов и насосного оборудования с 5-15% до 70%;
- сокращение времени протекания процесса изготовления изделий на 20%.

Уровень готовности продукта/технологий:

- фактические уровень: TRL 4 (SLM 3D-принтер введен в эксплуатацию)

- плановый уровень: TRL6 (Техническое решение о включении технических условий в Сводный перечень документов по стандартизации в области использования атомной энергии)

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта:

Реализуемый проект является пилотным по внедрению АТ в ОКБМ, результаты проекта планируется внедрить в серийное производство основной продукции ОКБМ

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства:

Результаты проекта планируется использовать при серийном изготовлении парогенераторов и насосного оборудования в ОКБМ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	43,42	1,99
	Федеральный бюджет	-	-
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	14,00	15,82
	Федеральный бюджет	-	-
Дата достижения результата		31.12.2024	30.06.2026

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2021	Решение о начале реализации проекта
2022	Введен в эксплуатацию металлический 3D-принтер
2023	Открытие Центра аддитивных технологий ОКБМ
2024	Отработаны режимы изготовления изделий из 12Х18Н10Т, напечатано сдаточное изделие «Колесо», разработана технологическая документация
2025	Отработаны режимы изготовления изделий из сплава ПТ-3В, напечатано сдаточное изделие «Угольник», разработана технологическая документация
2026	Принято решение о завершении проекта. Принято решение об использовании результатов проекта при серийном изготовлении парогенераторов и насосного оборудования

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году

РОСАТОМ

В рамках 2023 года:

1. Выполнена настройка основного оборудования Центра аддитивных технологий;
2. Проведена отработаны режимы изготовления деталей из стали 12Х18Н10Т на опытных образцах.

Изготавливаемый элемент насоса в рамках пилотного проекта

Изделие: «Колесо рабочее» Ø 190 мм
Технология: SLM
Материал: 12Х18Н10Т

Увеличение КИМ по сравнению с существующей технологией: в 10-15 раз

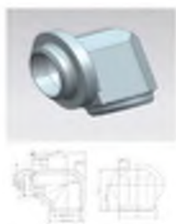
Внедрение:

- Существующее и перспективное насосное оборудование производства АО «ОКБМ Африкантов»

Изготавливаемый элемент парогенератора в рамках пилотного проекта

Изделие: Угольник
Технология: SLM
Материал: ПТ-3В (титановый сплав)
Увеличение КИМ по сравнению с существующей технологией: в 3-5 раз
Внедрение:

- Существующие и перспективные парогенераторы производства АО «ОКБМ Африкантов».



Достигнуты следующие характеристики синтезированного материала сплавов марок 12Х18Н10Т и ПТ-3В:

1. Отсутствуют макро дефекты, несплавления, трещины, как на поверхности заготовок, так и в структуре синтезированного материала.
2. Объемная пористость синтезированного материала составляет менее 0,1%.
3. Химический состав образцов соответствует ГОСТ 5632 для марки 12Х18Н10Т.
4. Физико-механические свойства напечатанных образцов – на стадии испытания.

Проект «*Оборудование и комплекс технологий и для аддитивного производства сложнопрофильных и крупногабаритных изделий атомной энергетики (ЕОТП-МТ-99)*»

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА:

Предпосылки проекта: *Утвержденная дорожная карта реализации аддитивных технологий Госкорпорации «Росатом»: (распоряжение от 07.08.2020 №1-1/472-р). Стратегическая программа по направлению «Аддитивные технологии», утвержденная протоколом СС Госкорпорации «Росатом» от 06.07.2020 № 1-СС/10-Пр*

Цель проекта: *Обоснование применения аддитивных технологий для производства элементов ядерной энергетической установки (ЯЭУ), изделий атомной энергетики, авиационной и топливной отраслей методом аддитивной технологии по типу ПЛВ*

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик:

- *Отработана технология ПЛВ для нержавеющих сталей*
- *Изготовление экспериментального образца установки ПЛВ;*
- *Печать фрагмента выгородки активной зоны атомного реактора ВВЭР-ТОИ*

Заказчик / исполнитель проекта: АО «ТВЭЛ» / ООО «РосАТ»

Эффекты проекта для смежных отраслей / страны

- *Внедрение АТ в промышленность РФ*
- *Создание высокотехнологичного конкурентного продукта*

Уровень готовности продукта/технологий: *TRL5.7 / TRL5.7*

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта:

Изготовлена первая в РФ установка ПЛВ крупногабаритного класса

Напечатан фрагмент выгородки реактора ВВЭР-ТОИ методом ПЛВ, обоснована применимость технологии ПЛВ для ОИАЭ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	67,65	67,65
	Федеральный бюджет	-	-
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	-	-
	Федеральный бюджет	-	-
Дата достижения результата		11.2023	11.2023

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2022	Разработка программы и методик испытаний экспериментального образца установки ПЛВ Разработка программы и методик испытаний образцов из стали марки 08Х18Н10Т и фрагмента ВКУ, изготовленных на установке ПЛВ Изготовление экспериментального образца установки ПЛВ Проведение испытаний экспериментального образца установки ПЛВ с изготовлением образцов из нержавеющей стали марки 08Х18Н10Т. Печать фрагмента выгородки на экспериментальном образце установки ПЛВ
2023	Проведение экспериментальных исследований фрагмента выгородки ПЛВ, в т.ч. облучение высокоэнергетическим потоком ионов и исследование свойств Корректировка технологии ПЛВ фрагмента выгородки для обеспечения достижения требуемых эксплуатационных свойств Обоснование применимости ПЛВ для ОИАЭ Транспортировка и проведение ПНР установки ПЛВ на территории ООО «РосАТ»

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году

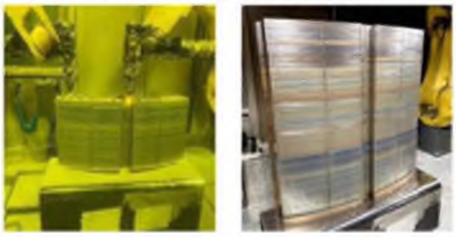
РОСАТОМ

В рамках 2023 года:

1. Разработка технологии прямого лазерного выращивания с изготовлением фрагмента выгородки активной зоны атомного реактора ВВЭР-ТОИ
2. Транспортировка и проведение ПНР установки ПЛВ на территории ООО «РосАТ»

Установка ПЛВ

Фрагмент выгородки ВКУ ВВЭР-ТОИ



Основные характеристики установки ПЛВ

Размеры участка, занимаемого оборудованием Ш х Д	мм	9000 х 6000
Максимальный размер выращиваемого изделия: Ø х В	мм	2000 х 1000
Максимальная масса выращиваемого изделия с подложкой	кг	6000
Тип лазера	Непрерывный волоконный	
Количество лазеров	шт.	2
Мощность лазера	Вт	4000
Количество 6-осевых промышленных роботов	шт.	2
Радиус действия каждого промышленного робота	мм	1853
Количество синхронно-управляемых системой управления осей	шт.	13
Количество технологических головок	шт.	2
Максимальный диаметр лазерного пятна	мм	5
Производительность	кг/ч	2,5
Защитная атмосфера	Аргон ВЧ	

Характеристика материала из стали марки 08Х18Н10Т (средние значения)

Плотность, кг/м³	Модуль упругости, ГПа	Модуль сдвига, ГПа	Коэффициент Пуассона	$\sigma_в$, МПа при T = 400°C	$\sigma_{0,2}$, МПа при T = 400°C	δ_5, % при T = 400°C	ψ, % при T = 400°C	Среднеарифм. отклонение профиля Ra
7884	192,1	77,3	0,243	439,3	228,8	37,7	62,8	10,554±0,528

Проект «*Разработка опытного образца продуктовой линейки аддитивного оборудования прямого лазерного выращивания с применением металлических порошковых материалов (DMD)*», 12.21-05.25

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА*:

Предпосылки проекта: *Утвержденная дорожная карта реализации аддитивных технологий Госкорпорации «Росатом» (распоряжение от 07.08.2020 №1-1/472-р.)*
Стратегическая программа по направлению «Аддитивные технологии», утвержденная протоколом СС Госкорпорации «Росатом» от 06.07.2020 № 1-СС/10-Пр
Цель проекта: *Разработка в 2025 году конструкторской документации с литерой «О1» и опытного образца продуктовой линейки аддитивного оборудования прямого лазерного выращивания с применением металлических порошковых материалов для последующей коммерциализации продукции*
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик:

- *Отработана технология для нержавеющих сталей, а также расширена номенклатура применяемых в технологии сплавов и изготавливаемых изделий для атомной отрасли*
- *Создана конструкторская документация опытного образца установки прямого лазерного выращивания с литерой «О1»*
- *Разработан и изготовлен опытный образец установки прямого лазерного выращивания*

Заказчик / исполнитель проекта: АО «ТВЭЛ» / ООО «РосАТ»
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны

- *Внедрение АТ в промышленность РФ*
- *Создание высокотехнологичного конкурентного продукта*
- *Снижение зависимости промышленности от импортного оборудования*

Уровень готовности продукта/технологий: TRL4 / TRL7
Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта:
Маркетинговые исследования, показывают рост применения аддитивных технологий для создания сложнопрофильных крупногабаритных изделий как в РФ, так и за рубежом. На настоящий момент серийное производство аддитивного оборудования прямого выращивания крупногабаритных заготовок с применением порошковых материалов в РФ отсутствует.
Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства:
По результатам проекта планируется организация серийного контрактного производства установок на базе ФГУП «ПСЗ»

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	212,1	25,40
	Федеральный бюджет	-	57,59 *
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	160,16	257,64
	Федеральный бюджет	-	*
Дата достижения результата		20.05.2025	20.05.2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2021	Решение о подтверждении потребности в реализации проекта принято
2022	Разработаны ТП и комплект ЭКД на опытный образец установки. Достигнут уровень TRL 3 Завершен Этап №1 НИОКР
2023	Отработана технология печати на опытной установке ПЛВ Разработана программа и методика испытаний опытного образца серийной установки DMD Завершен Этап №2 НИОКР
2024	Проведены предварительные испытания основных узлов опытного образца установки DMD. Достигнут уровень TRL4 Разработана РКД на опытный образец серийной установки DMD. РКД присвоена литера «О». Достигнут уровень TRL 5 Проведены приемочные испытания опытного образца серийной установки DMD. Достигнут уровень TRL 6 Определены площадки/соисполнители для контрактации производства (сборки) Подготовлена документация к началу коммерциализации результатов работ
2025	Получен комплект РКД по результатам приемочных испытаний. Присвоена литера «О1». Достигнут уровень TRL7 Разработка документации о создании РИД согласно перечню узлов, подлежащих патентной защите Завершен Этапа №3 НИОКР Решение о приемке результатов проекта и сдачи в промышленную эксплуатацию

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

** Общий объем средств, выделенных в рамках соглашения о предоставлении субсидии, составляет 203,13 млн руб.*
Размер компенсации определяется по итогам отчетного этапа в соответствии с условиями Соглашения между МПТ и ООО «РосАТ» № 020-11-2022-1635 от 16.12.2022 г.

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году

РОСАТОМ

В рамках 2023 года:
1. Отработана технология печати на опытной установке ПЛВ
2. Разработана программа и методика испытаний опытного образца серийной установки DMD
3. Разработан дизайн проект внешнего вида установки

Установка DMD ООО «РусАТ»

Размеры участка, занимаемого оборудованием ШхДхВ	мм	4500x5500x3300
Максимальный размер выращиваемого изделия ШхДхВ	мм	1500x1500x900
Максимальная масса выращиваемого изделия с подложкой	кг	не менее 900
Тип лазера		непрерывный волоконный
Количество лазеров	шт.	1
Мощность лазера	Вт	4000
Количество сопел подачи порошка	шт.	4
Количество управляемых осей системы перемещения	шт.	6+2
Диаметр лазерного пятна	мм	от 1 до 4
Производительность	кг/ч	до 1,2
Количество линий подачи рабочего газа	шт.	5
Герметизируемый объем технологической кабины	$м^3$	не менее 12
Защитная атмосфера		Аргон ВЧ

Расходные материалы - металлический порошок (фракция 40-150 мкм):
Стали, титановые сплавы, никелевые сплавы, кобальтовые сплавы.

Максимальная потребляемая мощность установки не более: 50 кВт

Проект «Разработка технологии изготовления фланца электрохимического генератора / электролизера с низкой газопроницаемостью стенок по отношению к водороду методом селективного лазерного сплавления из порошка сплава 12Х18Н10Т» (2021-2023)

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА:

Предпосылки проекта: Внедрение аддитивных технологий в производство НПО «Центротех» по двум направлениям водородной тематики: в рамках программы ГК «Росатом» по разработке продуктов Электролизер-ЭХГ и дальнейшего серийного выпуска; НИОКР ЭХГ для НПО «Концерн «Аврора» и АО «ЦКБ МТ «Рубин».

Основания:

- утвержденная дорожная карта реализации аддитивных технологий в Госкорпорации «Росатом» Распоряжение от 07.08.2020 №1-1/472-р.
- «Стратегическая программа по направлению «Аддитивные технологии» ООО «РусАТ» (№ 066-000-017)», протокол заседания Стратегического совета ТК № 4-07.5/153-Пр от 28.04.2020.

Цель проекта: Отработка технологии 3D-печати и изготовление фланцев на 3D-принтере в 2021-2023 гг. для продукции Водородной энергетики – ЭХГ и Электролизеров производства НПО «Центротех» с постановкой на производство с 2024 года не менее 12 шт. в год.

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: разработаны КД, ТД на опытный образец, разработана технология и отработан техпроцесс, изготовлен опытный образец фланца и проведены испытания

Заказчик проекта: НПО Центротех

Эффекты проекта: снижение стоимости материалов в 5 раз; снижение стоимости оснастки в 4 раза; повышение коэффициента использования материала при изготовлении продукции до 30%; снижение массы изделия на 20%; сокращение трудоемкости изготовления на 50%; сокращение цикла изготовления оснастки на 87%.

Уровень готовности продукта/технологий:

- фактические уровень: TRL 6 (изготовлены опытные образцы фланцев для испытаний в изделиях (ЭХГ/электролизеров)

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта:

Реализуемый проект является пилотным по внедрению АТ в серийное производство изделий атомного машиностроения НПО Центротех

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства:

Результаты проекта планируется использовать при серийном изготовлении фланцев в НПО Центротех

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	1,38	1,38
	Федеральный бюджет	-	-
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	-	-
	Федеральный бюджет	-	-
Дата достижения результата		29.12.2023	26.12.2023

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2022	Изготовлены и проведены испытания опытных образцов фланцев на стенде
2023	Изготовлены опытные образцы фланцев для испытания в изделиях (ЭХГ/электролизеров)

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году

РОСАТОМ

Мероприятие	Фактический срок	Документ
Изготовлены опытные образцы фланцев для испытания в изделиях (ЭХГ/электролизеров) достигнут TRL 6.	24.05.2023	Подготовлен отчет о выполнении НИР. Фланец ТРЛ 6_1 от 24.05.2023 №16-65/1471-УД
Проведение патентных исследований в отношении РФ	30.05.2023	Подготовлен отчет о патентных исследованиях от 30.05.2023 №16-65/12451-ВК
Принято решение о приемке результатов проекта и сдачи в промышленную эксплуатацию	29.12.2023	Решение по проектной деятельности №4/49-РП-кт от 26.12.2023

План использования результатов проекта:

- Комплексные испытания ЭХГ и электролизера в составе опытных образцов изделий (2023-2025);
- Принятие решения по результатам испытаний о включении ЭХГ и электролизера в штатное изделия, начало серийного производства (2025)

Проект «*Виртуальный 3D-принтер. 2.0*», (*18.01.2023-30.11.2024*)

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА*:

Предпосылки проекта: *Утвержденная дорожная карта реализации аддитивных технологий Госкорпорации «Росатом»: (распоряжение от 07.08.2020 №1-1/472-р.).*
Стратегическая программа по направлению «Аддитивные технологии», утвержденная протоколом СС Госкорпорации «Росатом» от 06.07.2020 № 1-СС/10-Пр.
Цель проекта: *Разработка комплекса программного обеспечения для моделирования физических процессов лазерных аддитивных технологий (селективное лазерное плавление и прямая наплавка металла) с целью прогнозирования структуры, свойств материалов, а также получения изделий с заданными свойствами*
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: опытный образец программного обеспечения, обеспечивающий моделирование и прогнозирование свойств изделий
Заказчик / исполнитель проекта: АО «ТВЭЛ» / ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны

- *Внедрение АТ в промышленность РФ*
- *Создание высокотехнологичного конкурентного продукта*
- *Снижение зависимости промышленности от импортного ПО*

Уровень готовности продукта/технологий: достигнут уровень TRL4, планируемый уровень по завершению проекта – TRL6
Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: *В настоящий момент в РФ отсутствует программное обеспечение, обладающее функционалом CAD/CAM/CAE, адаптированное для работы с процессами лазерных аддитивных технологий. Программный комплекс позволит моделировать физические процессы лазерных аддитивных технологий для прогнозирования структуры и свойств получаемых материалов, а также получения изделий с заданными свойствами.*
Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: *по результатам проекта будет запущен проект по коммерциализации и доведению УГТ до TRL9.*

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	316,87	316,87
	Федеральный бюджет	-	-
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	139,75	139,75
	Федеральный бюджет	-	-
Дата достижения результата		2024	2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:*

2021	
2022	
2023	Разработаны программные модули (ПМ) первой и второй очереди, начата интеграция ПМ под единой оболочкой, осуществлена верификация программных модулей, разработанных в 2023 году.
2024	Разработаны программные модули (ПМ) третьей очереди, окончена интеграция ПМ под единой оболочкой, осуществлена верификация программных модулей, разработанных в 2024 году, осуществлена экспериментальная верификация программного комплекса в целом
2025	
2026	

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

** приводится информация, релевантная оценочным разделам анкет (экспертных заключений)*

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году*

1.6.1	Доработана функциональность программных модулей (далее – ПМ) применительно к технологии СЛП, разработаны первые ПМ применительно к технологии ПЛВ, осуществлена верификация программных модулей, разработанных на 1м этапе НИОКР, продемонстрирован промежуточный дистрибутив	АО "ТВЭЛ"	Минпромторг России	30.03.2023	Выполнено Акт выполненных работ
1.6.2	Продемонстрированы промежуточные результаты разработки программных модулей	АО "ТВЭЛ"	Минпромторг России	30.06.2023	Выполнено Протокол промежуточной демонстрации с рекомендациями (в случае наличия)
1.6.3	Продемонстрированы промежуточные результаты разработки программных модулей	Госкорпорация "Росатом", АО "ТВЭЛ"	Минпромторг России	30.09.2023	Выполнено Протокол промежуточной демонстрации с рекомендациями (в случае наличия)
1.6.4	Разработаны ПМ второй очереди, начата интеграция ПМ под единой оболочкой, осуществлена верификация программных модулей, разработанных в 2023 году.	Госкорпорация "Росатом", АО "ТВЭЛ"	Минпромторг России	31.12.2023	Выполнено Протокол комиссионной приемки Акт выполненных работ

**Приводятся сведения о полученных в 2023 году результатах, их уровне (в том числе с учетом контрольных точек/мероприятий Дорожной карты), созданных РИД, разработанной документации и пр. При необходимости, может размещаться иллюстративный материал.*

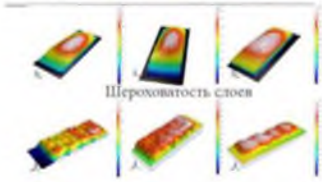
Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году

РОСАТОМ

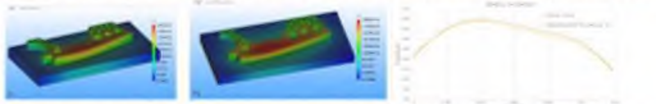
Экспериментальные работы для верификация ПМ.

Треки

Коробление образцов



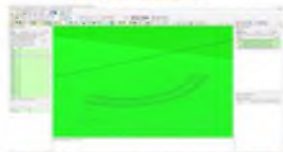
Блок «Моделирование» Верификация ПМ «Тепло и прочность макроуровень ПЛВ»



«Виртуальный 3D принтер. 2.0» «Логос Тепло» Сходимость составляет 98.72%

Блок программ «Производство ПЛВ»

Загрузка машины

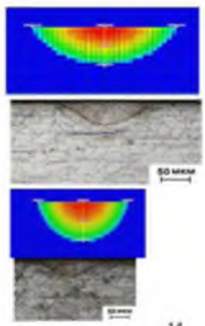


Создание траектории движения робота

Блок программ «Производство СЛП»

Исходная деталь — Зоны поддержек — Поддержки — Разрез детали с поддержками

Верификация ПМ « АТМП » с экспериментом



Проект «Отработка технологии 3D-печати изделий сложной геометрической формы, проведение исследований микроструктуры и механических свойств, сплавленных методом 3D-печати материалов: изготовление образцов методом селективного лазерного сплавления для определения свойств полученного материала», *04.22-08.23*

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА:

Предпосылки проекта: *Договор от 28.04.22 г. № 21/9624*
Цель проекта: *Подтверждение механических свойств материала и технологических факторов, значимых для изготовления элементов ИТВС, получаемых методом селективного лазерного сплавления из порошковой композиции алюминиевого сплава САВ1.*
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик:
- *Отработана технология изготовления алюминиевого порошка из сплава САВ1 целевой фракции +20-63 мкм;*
- *Отработана технология изготовления алюминиевых образцов из сплава САВ1 методом 3D-печати;*
- *Изготовлены образцы и проведены механические испытания*

Заказчик / исполнитель проекта: ПАО «НЗХК» / ООО «РосАТ»
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны
- *Внедрение АТ в промышленность РФ*
- *Определение возможности применения технологии SLM для изготовления концевых элементов ИТВС*

Уровень готовности продукта/технологий: *TRL2*
Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта:
- *Маркетинговые исследования, показывают рост применения аддитивных технологий для создания сложнопрофильных изделий как в РФ, так и за рубежом. Проведены патентные исследования, подтверждающие, что результаты НИОКР обладают патентной чистотой на территории РФ*

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства:
По результатам проекта выданы рекомендации по дальнейшему повышению качества и уровня механических свойств синтезируемого методами аддитивных технологий материала на основе САВ1.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

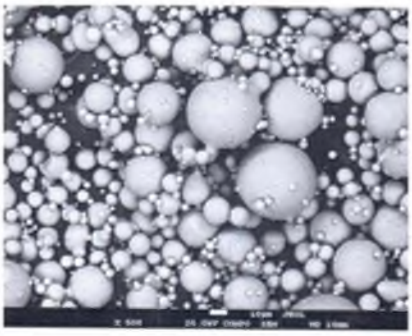
Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	-	5,21
	Федеральный бюджет	-	-
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	-	-
	Федеральный бюджет	-	-
Дата достижения результата		30.11.2022	28.08.2023

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:

2022	Решение о подтверждении потребности в реализации проекта принято
2022	Отработана технология изготовления алюминиевого порошка из сплава САВ1 целевой фракции +20-63 мкм
2023	Отработана технология изготовления алюминиевых образцов из сплава САВ1 методом 3D-печати
2023	Изготовлены образцы и проведены механические испытания.
2023	Проведены патентные исследования, подтверждающие, что результаты НИОКР обладают патентной чистотой на территории РФ Принято решение о завершении НИОКР

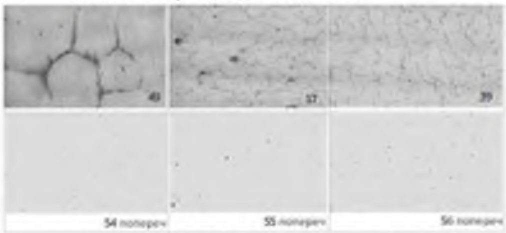
Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году

В рамках 2023 года:
1. Отработана технология изготовления алюминиевого порошка из сплава САВ1 целевой фракции +20-63 мкм;
2. Отработана технология изготовления алюминиевых образцов из сплава САВ1 методом 3D-печати;
3. Изготовлены образцы и проведены механические испытания.



Микрофотографии МПК сплава САВ1 после распыления

Комплект образцов для испытаний



Микрофотографии поперечных шлифов

Приложение 12.

СТАТУС ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ЗА 2023 ГОД ПО НАПРАВЛЕНИЮ «РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ» ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ

Руководитель направления ООО «Объединенные урановые предприятия» А.Д. Хмелёв

Госкорпорация «Росатом»

Проект «*Создание опытной установки для отработки масштабного перехода и экспериментального подтверждения технологии экстракционного разделения коллективного концентрата РЗЭ в непрерывном противоточном режиме*», *(август 2022 – март 2024) (1/1)*

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА*:

Предпосылки проекта: Отсутствие в России крупнотоннажных производств разделения и получения соединений индивидуальных редкоземельных элементов (далее РЗЭ).
Цель проекта: Создание опытной установки для отработки масштабного перехода и экспериментального подтверждения технологии экстракционного разделения коллективного концентрата РЗЭ.
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: Технология получение оксидов РЗЭ лёгкой группы лантана, церия, празеодима и неодима. Производительность опытной установки до 1,5 тонны в год по получению редкоземельных продуктов в пересчёте на оксид. Планируемая производительность при выходе на промышленные масштабы в первоначальный этап 2500 тонн в год. Потребность в РФ на 2024 год - 1500 тонн, на 2027 - 2500 тонн.
Заказчик / исполнитель проекта: ООО «Объединенные урановые предприятия» / АО «ГК «Русредмет».
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: Развитие сопутствующих отраслей в РФ, импортозамещение, повышение уровня технологического передела РЗМ
Уровень готовности продукта/технологий: Фактически достигнутый уровень TRL в 2023 – 7, по итогам реализации уровень TRL в 2027 – 9
Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: Обеспечение технологического суверенитета в области разделения и получения РЗЭ
Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: Возможно создание и локализация производства на действующем предприятии на площадке ОАО «Соликамский магниевый завод». В настоящий момент существует зависимость от иностранного компонента – экстрагент трибутилфосфат (КНР). Используемое в производстве сырье и оборудование в основном ориентировано на отечественного производителя. В части организации серийного производства работа будет продолжена по части разработки исходных данных и запуска производства на площадке СМЗ в 2027 году.
Информация по аналогам: Основой технологии разделения РЗЭ на индивидуальные элементы из суммарного редкоземельного концентрата РЗК является процесс жидкостной экстракции. В предлагаемой технологии выбрана экстракция из азотнокислых сред на экстрагенте трибутилфосфат (ТБФ). Данные технологические решения распространены в мире.
Во времена СССР данные технологические решения использовались на целом ряде предприятий, в т.ч. на заводе в Силламяэ, Эстония (в настоящее время Silmet), на Иртышском ХМЗ, Казахстан.
В 2010-х гг. данные решения были реализованы в РФ:
- на установке ПАО «Акрон», Великий Новгород;
- на установке ОАО «ФосАгро», Череповец.

** приводится информация, релевантная оценочным разделам анкет (экспертных заключений)*

Проект «*Создание опытной установки для отработки масштабного перехода и экспериментального подтверждения технологии экстракционного разделения коллективного концентрата РЗЭ в непрерывном противоточном режиме*», (*август 2022 – март 2024*) 1/2

РОСАТОМ

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА*:

2022	Создание опытной установки производительностью до 1,5 тонн в год РЗЭ (в пересчете на оксид). Разработка технологии растворения коллективного концентрата (карбонатов) РЗМ производства ОАО «СМЗ» в азотной к-те. Экспериментальные исследования по экстракции Ce (IV) в статическом и динамическом режимах.
2023	Изучение процесса электрохимического окисление церия. Экспериментальные исследования по экстракционному разделению La, Nd, Pr и РЗК СТГ в статическом и динамических режимах. Выпарка рафинатов экстракции. Осаждение карбонатов индивидуальных РЗЭ. Сушка и прокалка карбонатов РЗЭ.
2024	Отчёт о работе по теме «Разработка технологии и получение оксидов РЗМ легкой группы лантана, церия, празеодима, неодима, а также нитратных растворов лантана и неодима».

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/прогноз
Бюджет проекта на 2022 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	60,53 млн.руб.	60,53 млн.руб.
	Федеральный бюджет	0,00	0,00
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	98,76 млн.руб.	98,76 млн.руб.
	Федеральный бюджет	0,00	0,00
Дата достижения результата		Март 2024	Март 2024

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

На основании полученных материалов разрабатываются исходные данные для проектирования производства соединений индивидуальных РЗЭ лёгкой группы и коллективного концентрата среднетяжелой группы РЗЭ.

** приводится информация, релевантная оценочным разделам анкет (экспертных заключений)*

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году*

РОСАТОМ

В рамках проведённой работы были получены следующие отчётные документы:

- Паспорт на опытную установку;
- Паспорта и спецификации на оборудование;
- Программа научно-исследовательских работ;
- Руководство по эксплуатации (технологический регламент);
- Отчет о работе по теме «Разработка технологии получения легкой группы РЗЭ»;
- Отчет о работе по теме «Разработка технологии и получение оксидов РЗМ легкой группы»;
- Проект заявки на РИД.

*Приводятся сведения о полученных в 2023 году результатах, их уровне (в том числе с учетом контрольных точек/мероприятий Дорожной карты), созданных РИД, разработанной документации и пр. При необходимости, может размещаться иллюстративный материал.

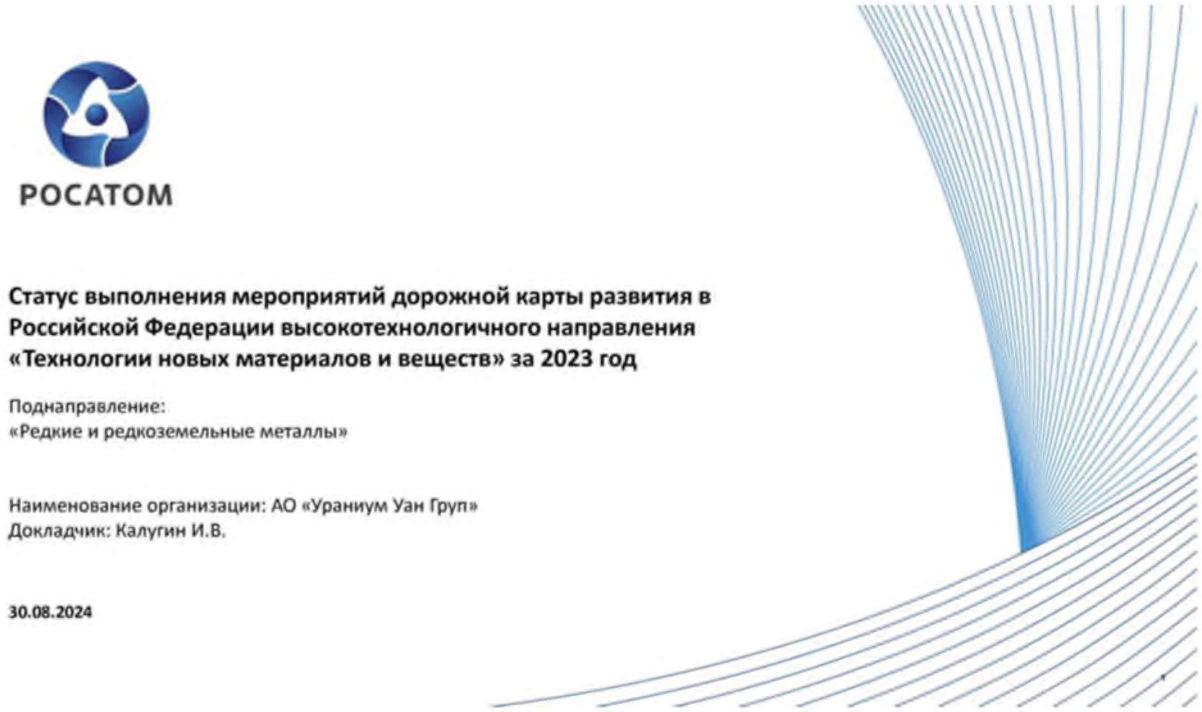
Приложение 13.

СТАТУС ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ЗА 2023 ГОД ПО НАПРАВЛЕНИЮ «РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ» ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ

Руководитель направления «Группа литиевых и гидроминеральных технологий» И.В. Калугина

АО «Ураниум Уан Груп»

Госкорпорация «Росатом»



ПРОЕКТ «Опытно-промышленная установка для отработки технологических процессов сорбционного обогащения природных рассолов по литию и производства карбоната лития из гидроминерального сырья Латинской Америки», (*2022-2025 гг.*)

РОСАТОМ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА*:

Предпосылки проекта: *отсутствие в России отработанной в промышленном масштабе технологии прямого извлечения лития из гидроминерального сырья*
Цель проекта: *верификация технологии прямого извлечения лития*
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: верифицированная по результатам опытной эксплуатации проектно-конструкторская документация на промышленную установку для прямого извлечения лития мощностью 1000 тонн карбоната лития в год
Заказчик / исполнитель проекта: ОАО «Ураниум Уан Груп»
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: опробованная в промышленном масштабе технология прямого извлечения лития применима для добычи лития из гидроминерального сырья месторождений России (в том числе, из попутных вод)
Уровень готовности продукта/технологий: технология верифицирована в лабораторном масштабе, запроектирована промышленная установка мощностью 1000 тонн карбоната лития в год
Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: прямое извлечение лития из гидроминерального сырья является особенно перспективным для условий России – наличие энергетических ресурсов, малые концентрации лития в исходном сырье
Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: после апробации в промышленном масштабе (1000 тонн) возможно создание других объектов добычи лития, в том числе в России

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/прогноз
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	257,7	183,9
	Федеральный бюджет		
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	303,3	73,7
	Федеральный бюджет		
Дата достижения результата		24.12.2024	24.12.2025

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА:*

2021	
2022	Старт проекта, выделено финансирование, заключены договоры на проектирование
2023	Разработана проектно-конструкторская документация, выполнены гидродинамические и сорбционные испытания с прототипом сорбционной колонны, разработана и испытана в Боливии мобильная лабораторная установка
2024	Получена экспертиза проектно-конструкторской документации. Приостановка проекта в связи с отсутствием площадки для размещения промышленной установки
2025	Возобновление проекта, опытно-промышленные испытания, верификация проектных решений, оценка CAPEX и OPEX и всех контрольных технологических параметров
2026	

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

* *приводится информация, релевантная оценочным разделам анкет (экспертных заключений)*

Описание результатов, полученных по проекту в 2023 году (1/4):

РОСАТОМ

Мобильная лабораторная установка - разработана, поставлена в Боливию, проведены демонстрационные испытания

- **Дата проведения: 16.01.2023 – 30.01.2023 (приглашение YLB от 11.01.2023)**
- **Место проведения: научно-исследовательский центр YLB (г.Потоси)**
- **По результатам подписаны два акта: с представителями научно-исследовательских центров YLB (г.Потоси и г.Уюни) и с научно-педагогическим персоналом Автономного университета Томаса Фриаса (г.Потоси)**

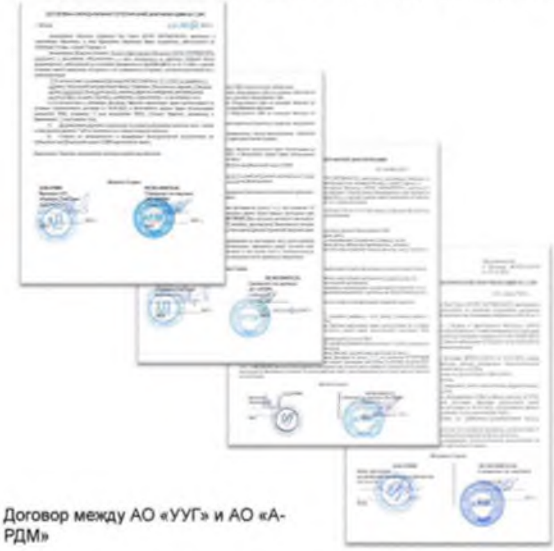
Договор между АО «УУГ» и АО «А-РДМ» от 20.04.2022

Выполненные работы (2/4):

Промышленная установка - разработана в полном объеме проектно-конструкторская документация для месторождения Пастос Грандес в Боливии (разделы ТХ, АТХ, ЭМ)

РОСАТОМ

Дата окончания разработки проектно-конструкторской документации – 29.12.2023



Договор между АО «УУГ» и АО «А-РДМ»

Договор между АО «УУГ» и ООО «7 Тех»

Выполненные работы (3/4):

Прототип сорбционной колонны – разработан, **проведены гидродинамические испытания прототипа сорбционной колонны, оптимизирована конструкция**

РОСАТОМ

Дата окончания испытаний – 08.12.2023

Договор между АО «УУГ» и АО «А-РДМ»

Выполненные работы (4/4): Основные итоги, выполненные ключевые вехи

РОСАТОМ

1. В кооперации с технологическими провайдерами АО «А-РДМ» и ООО «7 Тех» разработан комплект технической документации на промышленную установку для сорбционного извлечения лития из рассолов салара Пастос Грандес (Боливия) производительностью до 950 тонн карбоната лития в год, включая технологический раздел, автоматизацию, электрическую часть и другие разделы. Техническая документация будет использована при проектировании промышленного производства карбоната лития на саларе Пастос Грандес после выполнения геолого-разведочных работ и инженерных изысканий на выбранной площадке завода

2. Выполнена ключевая веха **В3.1 Завершены гидродинамические испытания прототипа колонны СДМ.** Проведены гидродинамические и сорбционные испытания прототипа сорбционной колонны сорбционно-десорбционного модуля. Конструкция колонны оптимизирована по результатам испытаний, подтверждено расчетное значение сорбционной емкости сорбента производства АО «А-РДМ», использованное при разработке технической документации на промышленную установку. Срок – 14.12.2023.

3. Выполнена ключевая веха **В3.2 Получено заключение внешней экспертизы проектной документации.** Экспертная оценка проектно-конструкторской документации на промышленную установку. Получено положительное экспертное заключение АО ВНИИХТ от 19.03.2024.

4. В течение 2023 года дважды в Боливии, в январе и ноябре, проводились демонстрационные испытания сорбционной технологии извлечения лития АО «А-РДМ» с применением мобильной лабораторной установки.

5. Выполнена ключевая веха **В3.3 Выбрана площадка в рамках доходного проекта для проведения опытно-промышленных испытаний ПУ и последующей корректировке ПД.** Подписано соглашение с YLB (Yacimientos de Litio Bolivianos) 13.12.2023 о размещении завода для производства карбоната лития, в том числе опытной промышленной установки мощностью 1000 тонн карбоната лития в год на солончаке Уюни. Данное месторождение является один из возможных мест размещения промышленной установки.

Приложение 14.

СТАТУС ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ЗА 2023 ГОД ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ

директор ЦК НТИ «Цифровое материаловедение»
МГТУ им. Н.Э. Баумана А.А. Павлов

Перечень работ Центра НТИ в 2023 году по ДК ВТН

Начато выполнение 2х проектов:

Проект № 9.2 Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы

Проект № 9.3 Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства

Выполнен показатель результативности «Количество разработанных новых, перспективных материалов (накопленным итогом)» с плановым значением 2 единицы.

Созданы следующие материалы:

1. Материал «Самовосстанавливающиеся полимерные материалы повышенной теплостойкости на основе тандемной реакции Дильса-Адлера» (патент на изобретение № 2796931 от 29.06.2023 г.)
2. Материал «Низковязкое эпоксидное связующее для армированных пластиков с высокой трещиностойкостью и теплостойкостью» (патент на изобретение № 43262 от 02.05.2023 г.)

В рамках выполнения данных проектов в 2023 году заключены 28 договоров на поставку оборудования стоимостью 351,7 млн. руб.*:

- Система синтеза и осаждения полимеров;
- Серверное оборудование;
- ИК-Фурье спектрометр;
- Для идентификации полимерных материалов по спектру поглощения инфракрасного излучения;
- Реактор для высоковязких веществ;
- Модуль для испытаний на трение;
- Климатическая камера соляного тумана;
- Химическая вакуумная станция;
- и д.р.

*средства были доведены до МГТУ им. Н.Э. Баумана 25.12.2023 г.

Перечень работ Центра НТИ в 2024 году по ДК ВТН

Продолжено выполнение 2х проектов:

Проект № 9.2 Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы

- разработано Техническое задание на цифровую платформу, предназначенную для хранения данных и прогнозирования свойств новых материалов на основе их компонентного состава;
- сформирован перечень значащих параметров и критериев ПКМ, используемых системами автоматизации инженерных расчётов, подобраны материалы для исследований и получения данных;
- разработаны программы и методики испытаний (ПМИ) образцов изделий из ПКМ и их компонентов в соответствии с перечнем значимых параметров.

Проект № 9.3 Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства

- разработано Техническое задание на опытную технологию производства и переработки суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами и композиционных материалов на их основе;
- разработаны ПМИ суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами, полученных в результате синтеза;
- разработаны ПМИ суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами, полученных при осаждении из растворов, очистки и сушки;
- разработаны ПМИ порошков суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами.

Проведены организационные мероприятия:

- соисполнители работ по ДК ВТИ включены в состав консорциума;
- актуализирована ДК ВТИ и направлена на рассмотрение в МИНПРОМТОРГ;
- создан на базе Центра НТИ «Цифровое материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана Проектный офис по экспертизе, сопровождению и администрированию высокотехнологичного направления развития № 4 «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»;
- созданы на базе Центра НТИ «Цифровое материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана 7 новых комплексов и 8 лабораторий;
- получены по итогам прикладных научных исследований и экспериментальных разработок, осуществляемых Центром, 8 охраняемых результатов интеллектуальной деятельности (3 ноу-хау, 3 программы для ЭВМ, 2 базы данных);
- поданы 5 заявок на изобретения (новые, перспективные материалы).

Приложение 15.

СТАТУС ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ЗА 2023 ГОД ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ

Председатель индустриального совета ЦК НТИ НГУ по новым функциональным материалам А.Э. Рязанцев

Новосибирский государственный университет

«РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ ПОДНАПРАВЛЕНИЯ №4 «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ВТН «ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ».

Цели и параметры ДК «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»

Цель Дорожной Карты – кратное сокращение времени разработки и внедрения новых материалов в промышленность за счет создания платформы цифровых инструментов моделирования и разработки новых материалов:

1. Создание интегрированной цифровой инфраструктуры для разработки материалов:
2. Создание исследовательской, производственной и испытательной инфраструктуры;
3. Разработка и внедрение в промышленность «материалов - демонстраторов»

Ключевые параметры Дорожной Карты:

- **Решение** о создании 4-го поднаправления Дорожной Карты было принято на совещании у А.Р. Белоусова и Д.В. Мантурова (п. 3 протокола №АБ-П7-281пр от 27.10.2023)
- Грантополучателями являются 2 ЦК НТИ по новым материалам: **НГУ** и **МГТУ**
- Средства доводятся по **Постановлению №1251** (ЦК НТИ) и **1780**
- Основное финансирование: **2024-2026**
- Основные члены консорциума: **РФЯЦ ВНИИЭФ, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ЮФУ, МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯУ «МИФИ», ДФУ, ИВС РАН, ИФХЭ РАН, ИК СО РАН, МФТИ, ВНИИА, Сколтех, ИТ СО РАН, ВолГТУ, ИК ЦТО**
- Количество проектов : **21 (все проекты достигают минимум 6 УГТ) + 1 проект по созданию проектного офиса**
- В дорожную карту будут добавлены проекты по **тематике новых материалов для отрасли БАС**

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Результаты 2023 года

ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	План	Факт
Привлечено компаний-лидеров в реализацию Соглашения	шт.	2	2
Портфель проектов ДК ВТН актуализирован. Добавлено новых продуктов	шт.	22	22
Подготовлено и утверждено Экспертным советом при Наблюдательном совете АНО «Платформа НТИ» Программ развития Центров НТИ для целей реализации Соглашения	шт.	2	2
Количество разработанных новых, перспективных материалов	шт.	4	4

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ

в 2024 году	Ед. изм.	Знач.
Изготовлены разнообразные по составу и способом производства ПКМ для проведения испытаний с целью получения данных об их свойствах для формирования расширенной БД в рамках разрабатываемой цифровой платформы.	шт.	1000
Наработаны партии катализатора синтеза МУНТ/Наработаны партии МУНТ с разными размерно-структурными параметрами	партия	2/3
Отработана технология изготовления порошков различного фракционного состава из суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами, полученных при синтезе в реакторе объемом до 20 л.	шт.	1
в 2025 году	**Ед. изм.**	**Знач.**
Разработан программный модуль интеллектуального поиска и классификации материалов, основанного на машинном обучении	шт.	1
Проведено тестирование лабораторного прототипа роботизированной системы ускоренного синтеза материалов для рентгеновской литографии	шт.	1
Разработана методика получения МУНТ суперконцентратов и суспензий	шт.	1
в 2026 году	**Ед. изм.**	**Знач.**
Разработана цифровая база данных по полимерным и композиционным материалам (ПКМ) в рамках единой цифровой платформы с инженерным и научным ПО	шт.	1
Разработана опытная технология производства и переработки суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами и композиционных материалов на их основе	шт.	1
Создана технологическая линия для производства катализаторов и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ)	шт.	1

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Количество разработанных новых, перспективных материалов (накопленным итогом) в 2023 году

Наименование РИД	Регистрационный номер РИД	Область применения РИД
Способ получения порошка гидроксид алюминия	*2023135267 (номер заявления)* *Реквизиты уведомления о приеме и регистрации заявки от 26.12.2023: входящий № W23077099*	*Новый недорогой способ синтеза высокодисперсного порошка гидроксид алюминия, отличающегося от аналогов низким содержанием химических примесей (с содержанием натрия менее 0,04 мас. % Na2O), обеспечивает возможность его использования в производстве катализаторов, используемых в нефтехимической промышленности*
Способ получения порошка альфа-оксида алюминия с размером частиц в диапазоне 1-4 мкм	*2023135256 (номер заявления)* *Реквизиты уведомления о приеме и регистрации заявки от 26.12.2023: входящий № W23077081*	*Предлагаемый способ обеспечивает получение из гидроксидов алюминия порошка альфа оксида алюминия с размерами частиц в диапазоне 1-4 мкм, полностью удовлетворяющих требованиям к носителю катализатора, применяемого в нефтехимической индустрии.*

Работы выполненные в рамках 1 части проекта «Создание опытной технологической линии для производства катализаторов и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и разработка модифицированных материалов с применением углеродных наноаддитивов» за 2023 год

1. *Подготовлен аналитический обзор на тему «Технология производства углеродных нанотрубок и области их применения»*
2. *Разработаны программа и методики экспериментальных исследований катализатора синтеза МУНТ. ПиМ необходимы для анализа качества разрабатываемых катализаторов синтеза МУНТ*
3. *Проведено экспериментальное исследование структурных и химических характеристик МУНТ других производителей. Данное исследование необходимо для корректировки дальнейшей работы над синтезом МУНТ*
4. *Проведен патентный поиск по базовым технологиям производства МУНТ. Поиск подтвердил, что технология, развиваемая в проекте существенно отличается от известных, является перспективной, масштабируемой и подходящей для промышленного производства*
5. *Разработан детализированный план НИР по созданию МУНТ-содержащих продуктов, материалов и изделий с разбивкой по временным этапам и направлениям. Данный план маломасштабная ДК проекта в рамках создания МУНТ-содержащих продуктов*
6. *Начаты закупочные процедуры оборудования, законтрактовано 27 ед. для поставки в 2024 году*

Стоимость реализации 1 этапа проекта – 23,8 млн. руб.

Инфраструктура ДК «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»

На базе ЦНФМ НГУ должна быть разработана и развернута интегрированная цифровая инфраструктура для управления процессом разработки и внедрения материалов:

- Цифровая управляющая платформа (умная фабрика);
- Цифровой паспорт материалов – единая онтология области;
- Модели микроструктуры на всех уровнях иерархии;
- Модели техпроцессов;
- Базы данных цифровых паспортов материалов;
- Интеграция с «тяжелым» инженерным CAD/CAE/CAM ПО (Росатом)
- Центр суперкомпьютерного моделирования (будет запущены следующие очереди кластера ИТ СО РАН – ЦНФМ «Оракул-Каскад»)

В НГУ будут закуплены объекты инфраструктуры как минимум на 2,5 млрд руб. Для успешной реализации проекта необходима своевременная сдача научно-исследовательского корпуса Кампуса. ЦНФМ будет интегрирован с НПЦ НСО и нацпроектом БАС.

- Литейный лабораторный центр центр;
- Лаборатория нанесения покрытий;
- Лаборатория наномодифицированных полимерных и композитных материалов;
- Лабораторный участок по керамике и керамокомпозитным материалам;
- Лабораторный участок по композитным материалам;
- Лабораторный центр по огне- и теплозащитным материалам и покрытиям.

ЦНФМ

cnfm.ru

Платформа «Цифровое материаловедение»

Объекты инфраструктуры:
(200 млн. руб. – дорожная карта ВТН)

- Центр суперкомпьютерного моделирования материалов (Кампус НГУ)
- Испытательная лаборатория для верификации моделей (Кампус НГУ)

Продукты:

- Программный комплекс «Цифровой паспорт материала (ПК ЦПМ)»
- База данных цифровых паспортов материалов
- ПК «Representative Volume Element»
- ПК «Управление жизненным циклом системы материал-конструкция с заданными свойствами»
- ПК для расчета живучести

Сервисы:

- Разработка материалов «под ключ» + постановка на производство
- Полный спектр услуг по реинжинирингу материалов
- Образовательные программы

Заказчики:

ОАК

НИИГРАФИТ РОСАТОМ

ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

Год	Бюджет (млн. руб.)
2024	260
2025	365
2026	265
Итого	**780**

Ключевые партнеры:

МФТИ
Сколтех
ООО «ИК ЦТО»

ЦНФМ

cnfm.nsu.ru

Платформа «Наномодифицированные материалы»

Объекты инфраструктуры:
(651 млн. руб. – дорожная карта ВТН)

- Линия для производства МУНТ (ИК СО РАН)
- Центр разработки, исследований и испытаний нанокомпозитных материалов (Кампус НГУ)
- Центр прототипирования конструкций из нанокомпозитных материалов (Кампус НГУ)

Продукты:

- Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ)
- Мастербатчи на основе МУНТ и других углеродных наноматериалов
- Линейка наномодифицированных ПКМ

Сервисы:

- Разработка систем «материал + нанодобавка + технология»
- Разработка конструкций «под ключ»
- Образовательные программы в рамках кафедры нанокомпозитных материалов

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	30
2024	286
2025	379
2026	375
2027	215
Итого	1285

Ключевой партнер:
Институт катализа СО РАН

Заказчики:

Концерн ВКО Алмаз - Антей; НИИГРАФИТ РОСАТОМ; РЭНЕРА РОСАТОМ

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Платформа «Пожаробезопасность техногенных систем»

Объекты инфраструктуры:
(329 млн. руб. – дорожная карта ВТН, 60 млн. руб. – частные инвестиции)

- Центр разработки огнезащитных материалов (Кампус НГУ)
- Центр сертификации (Академпарк)
- Центр моделирования (Кампус НГУ)

Продукты:

- Линейка композитных и полимерных материалов и покрытий с пониженной горючестью с заданными свойствами
- ПК для моделирования распространения пламени, дыма, температур в техногенной системе
- ПК для моделирования горения материалов
- Типовые модели (цифровые двойники) пожара в самолете, корабле и вертолете
- Стандарты по испытанию и руководства по проектированию пожаробезопасных конструкций

Сервисы:

- Комплексное обеспечение пожаробезопасности техногенных систем
- Разработка материала «под ключ»
- Сертификация
- Образовательные программы

Год	Бюджет (млн. руб.)
2024	458
2025	396
2026	178
Итого	1032

Ключевые партнеры:
ООО «ИК ЦТО»
ИКиГ СО РАН
ГосНИИ ГА
ЦИАМ им. Баранова
ВНИИПО
ВолГТУ

Заказчики:

ОАК; УЗГА; ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

ЦНФМ cnfm.nsu.ru

Платформа «Жаропрочные сплавы и покрытия»

Объекты инфраструктуры:
(1 025 млн. руб. – дорожная карта ВТН)

- Центр литьевых технологий (ИТ СО РАН)
- Центр восстановительного ремонта и термообработки (ИТ СО РАН и Академпарк)
- Центр аддитивного производства (ИТ СО РАН и Академпарк)
- Центр нанесения жаропрочных покрытий (ИТПМ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, ИТ СО РАН, Академпарк)

Продукты:

- Модифицированные жаропрочные сплавы на никелевой основе;
- Жаропрочные покрытия и технологии нанесения:
- Детали газовых турбин (ГТУ) на основе разработанных сплавов и покрытий;
- Керамические стержни для отливки лопаток сложной формы;
- Комплекс технологий восстановительного ремонта деталей ГТУ;
- Керамо-керамические композиты и изделия из них.

Сервисы:

- Разработка систем «материал + покрытие + технология»;
- Разработка конструкций «под ключ»;
- Полный спектр услуг по реинжинирингу деталей;
- Образовательные программы

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	100
2024	417
2025	737
2026	568
Итого	1822

Ключевые партнеры:

Газпром Энергохолдинг
ООО «ИК ЦТО»
ИТПМ СО РАН
ИТ СО РАН
Сколтех;

Заказчики:

ГАЗПРОМ ЭНЕРГОХОЛДИНГ
УЗГА
ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

ЦНФМ

cnfm.nsu.ru

Проекты Центра НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества»

ЦЕНТР НТИ

Центр НТИ МГТУ им. Н.Э. Баумана является головной площадкой для реализации 12 проектов ДК ВТН «Перспективные материалы и цифровое материаловедение».

№	Наименование проекта	Соисполнители
1	Разработка новых функциональных ориентированных 2D и 3D ПКМ, в том числе с использованием графена и его аналогов, и методов их получения с использованием аддитивных технологий	ФИЦ ПХФ, МХ РАН МГТУ им. Н.Э. Баумана
2	Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы	МГТУ им. Н.Э. Баумана
3	Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства	МГТУ им. Н.Э. Баумана
4	Цифровизированный анализ и управление электрохимическими и защитными свойствами специальных функциональных композиционных материалов и "умных" полимерных покрытий для техногенно-природных сред	ИФХЭ РАН
5	Разработка единой цифровой технологической платформы инженерного программного обеспечения (в части PDM/CAD/CAE/CAPP/CAM) для проектирования, анализа и автоматизированного изготовления изделий из полимерных композиционных материалов	ПО ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»
6	Разработка единой цифровой платформы по строительному материаловедению с применением инструментов искусственного интеллекта и возможностью моделировать свойства строительных конструкций	ООО «Орлан Диджитал»
7	Отечественные мембраны на основе ароматических полиамидоимидов для разделения метанол-содержащих смесей жидкостей при производстве высокооктановых присадок к топливу	ИВС РАН
8	Разработка пленочных нанокомпозиционных материалов для защиты металлопродукции от коррозии	ФИЦ ПХФ и МХ РАН
9	Аморфные металлические сплавы	НИЯУ МИФИ
10	Программно-аппаратные средства комплексного проектирования изделий синтезируемых из металлических порошковых материалов в процессе лазерного аддитивного производства	ДВФУ
11	Разработка подходов к дизайну функциональных материалов на основе графовых нейронных сетей	МГУ
12	Цифровое материаловедение под управлением искусственного интеллекта: разработка рентгеновских резистов для элементной базы наноэлектроники нового поколения	ЮФУ

Проект «Цифровая платформа»

Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы

Объекты инфраструктуры:

Комплекс «Цифровое моделирование материалов»:

- Лаборатория молекулярного моделирования
- Лаборатория моделирования на основе искусственного интеллекта
- Лаборатория инженерных расчетов

Продукты:

- База данных структур и свойств полимеров
- Программы и методики испытаний образцов изделий из ПКМ и их компонентов
- Дескрипторы для цифрового представления структуры и свойств полимерных материалов
- Программный модуль для прогнозирования свойств полимеров
- Программный модуль интеллектуального поиска и классификации материалов, основанный на машинном обучении

Области применения:

- Конструкционные материалы и материалы для техники
- Умные материалы
- Энергетические и топливные технологии
- Электрические, магнитные, электромагнитные и оптические системы
- Устройства очистки и фильтрации
- Полимерные материалы из возобновляемого сырья
- Эластомеры специального назначения
- Медицинские технологии

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	252,4
2024	784,3
2025	874,8
2026	55,6
Итого	**1 967,1**

Ключевые партнеры:

проект реализуется на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана

Потенциальные заказчики:

ГК «Росатом», «Газпромнефть - Промышленные инновации», ПАО «Сибур-Холдинг», АО «Тяжмаш» и др.

Проект «Термопласты»

Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства

Объекты инфраструктуры:

Комплекс «Разработка новых конструкционных материалов»:

- Лаборатория конструкционных материалов и сплавов
- Лаборатория цифровых двойников материалов
- Лаборатория разработки перспективного оборудования для обработки материалов
- Лаборатория «Сложные композиты»
- Лаборатория «Адгезионные взаимодействия»
- Лаборатория «Моделирование прочностных характеристик»

Продукты:

- Суперконструкционные термопласты с повышенными свойствами
- Порошки различного фракционного состава из полученных суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами
- Гранулы полимеров
- Тестовые изделия, изготовленные методом литья под давлением
- Филамент для 3D печати
- Препреги на основе суперкомпозиционных материалов с повышенными свойствами и композиционные материалы на их основе

Области применения:

- Авиастроение
- Ракетостроение
- Машиностроение
- Двигателестроение
- Приборостроение и электроника

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	100
2024	170
2025	170
2026	65
Итого	**505**

Ключевые партнеры:

проект реализуется на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана

Потенциальные заказчики:

АО «Препрег СКМ», ООО «Татнефть-Пресскомпозит», АО «Композит», ОАО «Завод «Исеть» и др.

ЦЕНТР НТИ

Разработка единой цифровой технологической платформы инженерного программного обеспечения (в части PDM/CAD/CAE/CAPP/CAM) для проектирования, анализа и автоматизированного изготовления изделий из полимерных композиционных материалов

Результат реализации проекта:

Разработана импортонезависимая кроссплатформенная единая цифровая технологическая платформа инженерного программного обеспечения (в части PDM/CAD/CAE/CAPP/CAM) для проектирования, анализа и автоматизированного изготовления изделий из полимерных композиционных материалов

№	Конечный потребитель	Решаемая проблема конечного потребителя
1	Предприятия автомобильной и сельскохозяйственной техники	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве автомобилей, модернизированной автомобильной техники и др.
2	Предприятия железнодорожного машиностроения	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве подвижных локомотивов (электропоездов, тепловозов), вагонов метро, водоотводных лотков, шпал, изолирующих накладок и др.
3	Предприятия строительного сектора	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве композиционной арматуры, светопрозрачных конструкций, стеклопластиковых труб и др.
4	Предприятия кораблестроения	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения в судостроении
5	Предприятия авиационной промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве изделий авиастроения
6	Предприятия космической промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве космических ракет и аппаратов
7	Предприятия двигателестроительной промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения при производстве изделий двигателестроения
8	Предприятия оборонной промышленности	Проектирование, анализ и автоматизированное изготовление изделий из полимерных композиционных материалов для применения в военном судостроении, стеклопластиковой тары для боеприпасов, при производстве изделий для военной авиационной техники, стрелкового вооружения и др.

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	0
2024	380
2025	280,3
2026	0
Итого	**660,3**

Ключевые партнеры:

ПО ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»

ЦЕНТР НТИ

Разработка пленочных нанокомпозиционных материалов для защиты металлопродукции от коррозии

Результат реализации проекта:

Созданы инновационные типы композиционных полимерных материалов, обеспечивающих пролонгированную эффективную защиту металлических изделий в условиях их хранения и транспортировки от воздействия агрессивных газообразных веществ окружающей среды по механизму «жертвенной защиты»

Разработаны принципиальная технологическая схема и модели технологических процессов получения и применения пленочных нанокомпозиционных материалов

№	Конечный потребитель	Решаемая проблема конечного потребителя
1	Компании производители металлопродукции, в том числе и компонентов электроники, осуществляющие их хранение или транспортировку.	Временное хранение и транспортировка металлопродукции морским путем или в районы с повышенной влажностью при воздействии экстремальной влажности, солености и различных температурных условий. Замена традиционных процессов консервации и расконсервации, отличающихся значительной трудоемкостью и стандартизация сроков переконсервации техники с учетом действительного коррозионного состояния.
2	Компании производители и проектировщики композиционных материалов	Одностадийный способ получения полимерного композиционного материала упрощает технологию получения композиционного материала, а также позволяет получать материалы с улучшенными механическими и барьерными свойствами, обеспечивает повышенную термическую и химическую стабильность и негорючесть.
3	Компании производители упаковочных пленочных материалов	Применение упаковочных материалов нового поколения позволит усовершенствовать технологию производства упаковочных материалов противокоррозионного действия и отказаться от использования летучих ингибиторов коррозии, что будет способствовать расширению рынка защитных материалов, включая область электронных устройств и их компонентов.

Год	Бюджет (млн. руб.)
2023	0
2024	27
2025	96,6
2026	40
Итого	**163,6**

Ключевые партнеры:

ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Потенциальные заказчики:

ГМК «Норильский никель», ЗАО НПО «Вектор», АО «Ангстрем», ФГУП «ВИАМ», ООО «ИНТЕХЭКО» и др.