



**ОТЧЕТ
О РАБОТЕ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН
ПО МАТЕРИАЛАМ И НАНОМАТЕРИАЛАМ**

2025 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 № 178 от 28 октября 2025 г.

Состав Научного совета РАН по материалам и наноматериалам

Бюро Совета

1. Алдошин Сергей Михайлович, академик РАН, председатель
2. Каблов Евгений Николаевич, академик РАН, заместитель председателя
3. Цивадзе Аслан Юсупович, академик РАН, заместитель председателя
4. Бадамшина Эльмира Рашатовна, доктор химических наук, ученый секретарь
5. Алымов Михаил Иванович, член-корреспондент РАН
6. Антипов Евгений Викторович, академик РАН
7. Бражкин Вадим Вениаминович, академик РАН
8. Гветадзе Рамаз Шалвович, академик РАН
9. Дуб Алексей Владимирович, профессор, доктор технических наук
10. Леонтьев Леопольд Игоревич, академик РАН
11. Ляхов Николай Захарович, академик РАН
12. Рудской Андрей Иванович, академик РАН
13. Юлгушев Шамиль Рюстемович

Члены Совета

1. Бойнович Людмила Борисовна, академик РАН
2. Боровков Алексей Иванович, профессор, кандидат технических наук
3. Бузник Вячеслав Михайлович, академик РАН
4. Буланов Андрей Дмитриевич, член-корреспондент РАН
5. Валиев Руслан Зуфарович, профессор, доктор физико-математических наук
6. Волова Татьяна Григорьевна, профессор, доктор биологических наук
7. Вошкин Андрей Алексеевич, член-корреспондент РАН
8. Гудилин Евгений Алексеевич, член-корреспондент РАН
9. Дорохов Алексей Семенович, академик РАН
10. Жданев Олег Валерьевич, доктор технических наук
11. Иванов Виктор Владимирович, член-корреспондент РАН
12. Иванов Владимир Константинович, академик РАН
13. Иванов Виктор Петрович, кандидат технических наук, президент Российского Союза химиков
14. Иванов Дмитрий Анатольевич, профессор, доктор химических наук
15. Колобов Юрий Романович, профессор, доктор физико-математических наук
16. Краснянский Михаил Николаевич, профессор, доктор технических наук
17. Куличихин Валерий Григорьевич, член-корреспондент РАН
18. Лысак Владимир Ильич, академик РАН
19. Максимов Антон Львович, академик РАН

20. Мерзликин Александр Михайлович, член-корреспондент РАН
21. Мулюков Радик Рафикович, академик РАН
22. Новаков Иван Александрович, академик РАН
23. Оганов Артем Ромаевич, профессор РАН, доктор физико-математических наук
24. Озерин Александр Никифорович, член-корреспондент РАН
25. Пономаренко Сергей Анатольевич, член-корреспондент РАН
26. Разумов Владимир Федорович, член-корреспондент РАН
27. Рощупкин Дмитрий Валентинович, член-корреспондент РАН
28. Санин Владимир Николаевич, профессор, доктор технических наук
29. Солдатов Александр Владимирович, профессор, доктор физико-математических наук
30. Ткачев Алексей Григорьевич, профессор, доктор технических наук
31. Федин Владимир Петрович, академик РАН
32. Федюшкин Игорь Леонидович, академик РАН
33. Хаширова Светлана Юрьевна, член-корреспондент РАН
34. Чвалун Сергей Николаевич, член-корреспондент РАН
35. Шайтан Константин Вольдемарович, профессор, доктор физико-математических наук
36. Шикин Александр Михайлович, доктор физико-математических наук
37. Якобовский Михаил Владимирович, член-корреспондент РАН
38. Ярославцев Андрей Борисович, академик РАН

**Работа Научного совета РАН по материалам и наноматериалам
в 2025 г.**

В 2025 г. было проведено одно заседание Бюро и три заседания Научного совета РАН по материалам и наноматериалам (далее – Совета).

3 февраля 2025 г. состоялось Расширенное заседание Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам Бюро Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования с участием представителей Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Федерального агентства по недропользованию (Роснедр), посвященное обсуждению производственно-технологически цепочек дефицитного стратегического минерального сырья, разработанных Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Министерством промышленности и торговли Российской Федерации.

На заседании присутствовали:

Члены Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам:

Алдошин Сергей Михайлович, вице-президент РАН, академик РАН, председатель
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
Гветадзе Рамаз Шалвович, член-корр. РАН
Дуб Алексей Владимирович, д.т.н., АО «Наука и инновации» ГК «Росатом»
Леонтьев Леопольд Игоревич, академик РАН

Члены Бюро Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования:

Алдошин Сергей Михайлович, вице-президент РАН, академик РАН, председатель,
Бортников Николай Стефанович, академик РАН, заместитель председателя, академик-секретарь ОНЗ РАН,
Волков Александр Владимирович, член-корр. РАН, ученый секретарь,
Захаров Валерий Николаевич, академик РАН

Участники заседания:

Российская академия наук:

Егоров Михаил Петрович, академик РАН, академик-секретарь ОХНМ РАН
Михайлов Валентин Олегович, член-корреспондент РАН, начальник Центра РАН по сопровождению научно-технических программ и проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития
Степанов Алексей Романович, помощник-вице-президента РАН

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации:

Тетенькин Дмитрий Дмитриевич, заместитель министра
Темнов Александр Викторович, департамент государственной политики и регулирования в области геологии и недропользования

Министерство промышленности и торговли Российской Федерации:

Марков Иван Александрович, директор Департамента металлургии и материалов
Калабский Игорь Сергеевич, заместитель начальника отдела развития промышленности редких, редкоземельных, драгоценных металлов и драгоценных камней

Казанов Олег Владимирович, руководитель Федерального агентства по недропользованию

Левин Борис Владимирович заместитель руководителя Аппарата ПАО «ФосАгро»

Машковцев Григорий Анатольевич, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М.Федоровского

Рогожин Александр Алексеевич заместитель генерального директора ФГБУ ВИМС

Рубан Татьяна Владимировна, заместитель начальника отдела Департамента координации деятельности научных организаций Минобрнауки России

Сарычев Геннадий Александрович Советник генерального директора Госкорпорации «Росатом»

Спиридонов Игорь Геннадьевич генеральный директор ФГБУ ИМГРЭ

По результатам обсуждения принято решение создать при Президиуме РАН три рабочие группы для детального рассмотрения производственно-технологических цепочек дефицитных и импортозависимых видов минерального сырья, выявления существующих проблем и разработки предложений по их преодолению:

- группа для решения проблемы обеспечения Российской Федерации литием под руководством академика РАН А.Ю. Цивадзе,
- группа для решения проблемы обеспечения титаном под руководством академика РАН Л.И. Леонтьева и
- группа для решения проблемы обеспечения рением под руководством академика РАН Е.Н. Каблова.

Решено также в состав рабочих групп кроме ведущих ученых из институтов, находящихся под научно-методическим руководством РАН, пригласить представителей Минприроды России, Минпромторга России, Госкорпорации «Росатом», ОА «Объединённая двигателестроительная корпорация», АО «Гиредмет», НИЦ «Курчатовский институт» и др. организаций.



11 марта 2025 г. прошло 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 обсуждению производственно-технологически цепочек дефицитного стратегического минерального сырья.

На заседании присутствовали:

Алдошин Сергей Михайлович, академик РАН, председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Бортников Николай Стефанович, академик РАН, заместитель председателя Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Егоров Михаил Петрович, академик РАН, заместитель председателя Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Каблов Евгений Николаевич, академик РАН, заместитель председателя Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Цивадзе Аслан Юсупович, академик РАН, заместитель председателя Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Леонтьев Леопольд Игоревич, академик РАН, председатель Научного совета по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН, член Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Бадамшина Эльмира Рашатовна, профессор, ученый секретарь Научного совета РАН по материалам и наноматериалам
Волков Александр Владимирович, член-корреспондент РАН, ученый секретарь Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Скринский Николай Александрович, заместитель председателя Научного совета по металлургии и металловедению при ОХНМ РАН, ответственный секретарь рабочей группы по титану
Александрова Татьяна Николаевна, член-корреспондент РАН, член Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Алымов Михаил Иванович, член-корреспондент РАН, член Бюро Научного совета по металлургии и металловедению
Бражкин Вадим Вениаминович, академик РАН, член Бюро Научного совета по металлургии и металловедению
Брылев Константин Александрович, профессор, директор Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Бузник Вячеслав Михайлович, академик РАН, член Научного совета по материалам и наноматериалам
Вошкин Андрей Алексеевич, член-корреспондент РАН, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
Занавескин Константин Леонидович, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН
Захаров Валерий Николаевич, академик РАН, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Иванец Дмитрий Васильевич, заместитель директора по технологическому развитию - начальник отдела развития технологий новых материалов и веществ Госкорпорации «Росатом»

Иванов Владимир Константинович, член-корреспондент РАН, член Научного совета по материалам и наноматериалам
Иванов Виктор Петрович, член Научного совета по материалам и наноматериалам
Калабский Игорь Сергеевич, заместитель начальника отдела развития промышленности редких, редкоземельных и драгоценных металлов и драгоценных камней Министерства промышленности и торговли РФ
Крук Николай Николаевич, член-корреспондент РАН, член Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Лаломов Александр Валерьянович, доктор г.-м.н, ведущий научный сотрудник ИГЕМ РАН, член рабочей группы по титану
Лопатко Сергей Владимирович, эксперт
Макеев Александр Борисович, доктор г.-м.н., ведущий научный сотрудник ИГЕМ РАН, член рабочей группы по титану
Машковцев Григорий Анатольевич, профессор, научный руководитель ВИМС, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Михайлов Валентин Олегович, член-корреспондент РАН, начальник Центра РАН по сопровождению научно-технических программ и проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития
Петров Владислав Александрович, член-корреспондент РАН, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Похиленко Николай Петрович, академик РАН, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Рассказов Игорь Юрьевич, член-корреспондент РАН, член Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Рогожин Александр Алексеевич, заместитель генерального директора ВИМС
Садыхов Гусейн Бахлулович, д.т.н, заведующий лабораторией Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
Сарычев Геннадий Александрович, Советник генерального директора Госкорпорации «Росатом», член Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Славянцев Виктор Васильевич, руководитель проектов инновационного развития ГК «Ростех»
Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корреспондент РАН, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Хромова Елена Андреевна, руководитель проектного офиса Ассоциации производителей и потребителей редких и редкоземельных металлов (Ассоциация РМ и РЗМ)
Чантурия Валентин Алексеевич, академик РАН, член Бюро Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию
Чвалун Сергей Николаевич, член-корреспондент РАН, член Научного совета по материалам и наноматериалам
Арбузов Олег Александрович, заместитель начальника Центра РАН по сопровождению научно-технических программ и проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития

Повестка заседания:

1. Вступительное слово председателя Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования, вице-президента РАН академика Алдошина Сергея Михайловича.
2. Результаты рассмотрения актуального состояния и возможных путей решения вопроса обеспечения Российской Федерации литием и продуктами его переработки (академик РАН Аслан Юсупович Цивадзе руководитель Рабочей группы).
3. Результаты рассмотрения актуального состояния и возможных путей решения вопроса обеспечения Российской Федерации рением и продуктами его переработки (академик РАН Евгений Николаевич Каблов, руководитель Рабочей группы).
4. Результаты рассмотрения актуального состояния и возможных путей решения вопроса обеспечения Российской Федерации титаном и продуктами его переработки (академик РАН Леопольд Игоревич Леонтьев, руководитель Рабочей группы).
5. Обсуждение и дискуссия.

Академик РАН **С.М. Алдошин** в своем вступительном слове отметил, что по поручению Президента Российской Федерации В.В. Путина, а также в рамках исполнения постановлений и распоряжений Правительства Российской Федерации относительно формирования и реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года в Российской академии наук с привлечением заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, подведомственных им организаций и государственных корпораций организована работа по анализу, экспертной оценке и выработке предложений для решения проблемы обеспечения Российской Федерации критически важным минеральным сырьем и продуктами его переработки, включая внедрение промышленных технологий, представляющих полный цикл производственно-технологических цепочек добычи, переработки и получения готовой продукции. Для этих целей созданы рабочие группы по литию, рению и титану, которые провели соответствующую работу.



Академик РАН **А.Ю. Цивадзе** (руководитель Рабочей группы по литию) доложил, что Рабочей группой по литию выработаны следующие рекомендации:



- возложить на Российскую академию наук научно-методологическое руководство и сопровождение предлагаемого Комплекса «Технологические цепочки. Литий 2.0»,
- учесть в «Технологической цепочке. Литий», представленной Минприроды России, решения, разработанные научными и образовательными организациями,
- включить в Комплекс «Технологические цепочки. Литий 2.0» переработку отработавших литий-ионных аккумуляторов в качестве альтернативного источника лития с учетом имеющихся научного и технологического заделов Институты ОХНМ РАН,
- принять меры для обеспечения технологической независимости от иностранных государств в литиевых проектах путём поддержки отечественных технологических решений в качестве основных для создаваемых предприятий,
- принять в качестве ценового ориентира себестоимость получаемых Li_2CO_3 и LiOH ниже 6 тыс. долл. за тонну LCE для отнесения планируемых к созданию литиевых производств к категории перспективных и конкурентоспособных,
- представить на государственную экспертизу с привлечением Российской академии наук внедряемые и планируемые к внедрению технологии добычи лития и др.

Академик РАН **Е.Н. Каблов** сообщил, что Рабочей группой по рению установлено, что в настоящий момент:



- разработчики месторождений не извлекают и не используют присутствующий рений,
- необходимо разработать отечественные технологии сорбционно-экстракционного извлечения рения на отечественных материалах и реагентах,

- в Российской Федерации отсутствует производство сорбентов, селективных к рению,
- необходимо организовать подготовку специалистов и повышение квалификации сотрудников на базе РХТУ им. Менделеева,
- добавить в технологическую цепочку металлургическую переработку вторичного сырья (отходы железорудного сырья) по технологии НИЦ «Курчатовский институт»- ВИАМ с получением сплавов рения,
- разработать оборудование для высокотемпературной (до 1500 С) вакуумной термической обработки лопаток для двигателей из никелевых сплавов рения и рутения,
- предусмотреть постановку ряда НИОКР и др.

Академик **Л.И. Леонтьев** отметил, что Рабочей группой по титану (определен перечень перспективных месторождений, на базе которых может быть сформирован и реализован полный цикл производственно-технологических цепочек добычи, переработки и получения готовой продукции.



Для отработки технологических и инвестиционных аспектов освоения месторождений членам Рабочей группы по титану разосланы паспорта производственно-технологических цепочек добычи, переработки и получения готовой продукции из сырья, которые необходимо заполнить по каждому месторождению до 19.03.2025 г. После этого Рабочая группа рассмотрит полученные паспорта и сможет разработать рекомендации по очередности освоения месторождений и др.



В обсуждении и дискуссии приняли активное участие академики РАН С.М. Алдошин, Н.С. Бортников, В.М. Бузник, Е.Н. Каблов, Н.П. Похиленко, В.А. Чантурия, член-корреспондент РАН Н.Н. Крук, профессора А.В. Лаломов, Г.А. Машковцев, Г.Б.

Садыхов, участники заседания К.Л. Занавескин, С.В. Лопатко, А.А. Рогожин, Г.А. Сарычев, В.В. Славянцев.



В частности, выступающие отметили, что:

Н.С. Бортников – при разработке предложений необходимо исходить из реальной потребности Российской Федерации в минеральном сырье и продукции из него, сформировав балансы добычи и переработки сырья и его потребления.

Г.А. Сарычев – разработки институтов Российской академии наук по литью не применяются в промышленности из-за того, что отсутствует эффективный и своевременный обмен информацией между институтами и промышленными предприятиями и недропользователями.



А.В. Лаломов – необходимо разрабатывать месторождения исходя из выполнения задач по покрытию текущих и перспективных потребностей Российской Федерации в титановом сырье и продукции.

К.Л. Занавескин – Ярегское месторождение является наиболее перспективным месторождением, разработка которого позволит покрыть потребности Российской Федерации в титане на ближайшие сотни лет. Вместе с тем, инвестиционный цикл позволит выйти на первую полученную продукцию только к 2032-2035 годам.

В.В. Славянцев – ведущаяся РАН работа должна финансироваться за счет государственных программ, и рекомендовал прорабатывать данный вопрос.

С.В. Лопатко выразил особое мнение относительно производства рения (особое мнение в Приложении № 4).



На основании заслушанных докладов, их обсуждения и дискуссии РЕШИЛИ:

1. Рекомендовать возложить на Российскую академию наук научно-методологическое руководство и сопровождение формирования и внедрения производственно-технологических цепочек добычи и переработки дефицитного стратегического минерального сырья.

2. В связи с тем, что целью Рабочих групп по литию, рению и титану является выработка геологически, технологически, экономически и экологически обоснованных предложений по обеспечению Российской Федерации минеральным сырьем и продукцией из него в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе, признать целесообразным вести данную работу в рамках Рабочих групп на постоянной основе.

3. В целях формирования (проведение НИР и ОКР, лабораторные испытания, опытно-промышленные испытания, промышленное масштабирование) промышленных технологий (полный цикл производственно-технологических цепочек добычи, переработки и получения готовой продукции), включить в состав Рабочих групп представителей основных недропользователей, в т.ч. потенциальных, готовых инвестировать собственные средства в создание технологий, и потребителей промежуточной и конечной продукции.

4. Поручить Рабочим группам:

4.1. разработать по годам балансы на кратко-, средне- и долгосрочный период поставок и потребления минерального сырья и продукции с формированием запасов в государственном резерве на 3-летний период (в случае необходимости).

4.2. разработать предложения по источникам финансирования создания промышленных технологий за счет бюджетных и внебюджетных источников.

4.3. организовать сбор и проведение экспертизы технологий (лабораторных, опытно-промышленных и промышленно применяемых) для формирования полного цикла производственно-технологических цепочек, разработанных институтами РАН и иными разработчиками, для отбора наиболее перспективных.

4.4. организовать формирование полного цикла производственно-технологических цепочек добычи, переработки и получения готовой продукции с проведением оценки их экономичности, технологичности, готовности к промышленному внедрению и экологичности.

4.5. разработать предложения по осуществлению территориального планирования размещения производственных мощностей по добыче, переработке и получению готовой продукции из минерального сырья.

5. Рабочим группам при Президиуме РАН по разработке предложений для решения проблемы обеспечения Российской Федерации литием, рением и титаном и продуктами их переработки организовать проработку указанных в п. 4 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.

2 июля 2025 года состоялось совместное заседание Научного совета Отделения нанотехнологий и информационных технологий (далее – ОНИТ) РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Межведомственного совета главных технологов и главных конструкторов по электронной компонентной базе по теме «Материалы для микро- и радиоэлектроники: текущее состояние, проблемы и перспективы»

Председательствовали:

Председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», председатель Межведомственного совета главных технологов и главных конструкторов по электронной компонентной базе президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников.

Председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президент РАН, академик РАН С.М. Алдошин.

Участники заседания:

От Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания»

Члены Бюро Совета

- | | |
|--|--|
| 1. Красников Геннадий Яковлевич, академик РАН | председатель Совета, президент РАН, руководитель приоритетного технологического направления «Электронные технологии», научный руководитель АО «НИИМЭ» (очно) |
| 2. Горнев Евгений Сергеевич, академик РАН | заместитель председателя Совета, заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии» АО «НИИМЭ», советник президента РАН (очно) |
| 3. Кведер Виталий Владимирович, академик РАН | научный руководитель ИФТТ РАН (онлайн) |
| 4. Никитов Сергей Аполлонович, академик РАН | директор ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (очно) |
| 5. Чаплыгин Юрий Александрович, академик РАН | президент НИУ МИЭТ (онлайн) |
| 6. Бородин Владимир Алексеевич, член-корр. РАН | научный руководитель АО «ЭЗАН», гнс ИФТТ РАН (очно) |
| 7. Левченко Александр Алексеевич, член-корр. РАН | директор ИФТТ РАН (онлайн) |
| 8. Рошупкин Дмитрий Валентинович, член-корр. РАН | заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии», директор ИПТМ РАН (очно) |
| 9. Зацаринный Александр Алексеевич, дтн | главный научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН (очно) |
| 10. Тельминов Олег Александрович, ктн | ученый секретарь Совета, начальник отдела перспективных исследований АО «НИИМЭ», доцент базовой кафедры микро- и нанoeлектроники МФТИ (очно) |

Члены Совета

11. Горбачевич Александр Алексеевич, академик РАН	заведующий лабораторией ФИАН, заведующий кафедрой квантовой физики и наноэлектроники НИУ МИЭТ, заведующий лабораторией АО «НИИМЭ» (онлайн)
12. Латышев Александр Васильевич, академик РАН	директор ИФП СО РАН (очно)
13. Сауров Александр Николаевич, академик РАН	директор ИНМЭ РАН (онлайн)
14. Сигов Александр Сергеевич, академик РАН	президент, заведующий кафедрой наноэлектроники РТУ МИРЭА (онлайн)
15. Иванов Виктор Владимирович, член-корреспондент РАН	директор Института квантовых технологий МФТИ (очно)
16. Кузнецова Ирен Евгеньевна, профессор РАН, д.ф.-м.н	заместитель директора по научной работе, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (очно)
17. Абгарян Каринэ Карленовна, д.ф.-м	руководитель отдела ФИЦ ИУ РАН, профессор факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова (очно)
18. Бадамшина Эльмира Рашатовна, дхн	советник научного руководителя ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ученый секретарь Научного совета РАН по материалам и наноматериалам (очно)
19. Бездидько Сергей Николаевич, доктор технических наук	профессор кафедры прикладной оптики МИИГАиК (очно)
20. Воротилов Константин Анатольевич, дтн	директор НОЦ «Технологический центр», профессор РТУ МИРЭА (онлайн)
21. Зломанов Владимир Павлович, доктор химических наук	профессор кафедры неорганической химии МГУ имени М.В. Ломоносова (очно)
22. Мальцев Петр Павлович, доктор технических наук	ведущий научный сотрудник МЦАИ РАН (очно)
23. Попов Владимир Павлович, доктор физико-математических наук	заведующий лабораторией ИФП СО РАН (онлайн)
24. Соболев Николай Алексеевич, доктор физико-математических наук	ведущий научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе (онлайн)
25. Якимов Евгений Борисович, доктор физико-математических наук	главный научный сотрудник ИПТМ РАН (очно)
26. Кобелева Светлана Петровна, кандидат физико-математических наук	доцент кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ МИСИС (очно)

От Научного совета РАН по материалам и наноматериалам

Члены Бюро Совета

27. Алдошин Сергей Михайлович, академик РАН	председатель Совета, вице-президент РАН, научный руководитель ФИЦ ПХФ и МХ РАН (очно)
28. Каблов Евгений Николаевич, академик РАН	заместитель председателя Совета, советник Президента НИЦ «Курчатовский институт» (очно)

29. Цивадзе Аслан Юсупович,
академик РАН
30. Бадамшина Эльмира
Рашатовна, дхн
31. Алымов Михаил Иванович,
член-корреспондент РАН
32. Гветадзе Рамаз Шалвович,
академик РАН
33. Дуб Алексей Владимирович,
доктор технических наук
34. Леонтьев Леопольд Игоревич,
академик РАН
35. Юлгушев Шамиль Рюстямович

заместитель председателя Совета, научный
руководитель ИФХЭ РАН (очно)
ученый секретарь Совета, советник научного
руководителя ФИЦ ПХФ и МХ РАН (очно)
директор ИСМАН (очно)

директор НИИ стоматологии ФГБОУ ВО
МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава
России (очно)
первый заместитель генерального директора
«Росатом наука» (очно)
советник генерального директора
ЦНИИЧерМет им. И.П. Бардина (очно)
заместитель начальника департамента
химической промышленности Минпромторга
России (очно)

Члены Совета

36. Бойнович Людмила Борисовна,
академик РАН
37. Иванов Владимир
Константинович, академик РАН
38. Максимов Антон Львович,
академик РАН
39. Новаков Иван Александрович,
академик РАН
40. Вошкин Андрей Алексеевич,
член-корреспондент РАН
41. Иванов Виктор Владимирович,
член-корреспондент РАН
42. Куличихин Валерий
Григорьевич, член-корр. РАН
43. Мулюков Радик Рафикович,
академик РАН
44. Пономаренко Сергей
Анатольевич, член-корр. РАН
45. Разумов Владимир Федорович,
член-корреспондент РАН
46. Рошупкин Дмитрий
Валентинович, член-корреспондент
РАН
47. Федин Владимир Петрович,
член-корреспондент РАН
48. Хаширова Светлана Юрьевна,
член-корреспондент РАН
49. Чвалун Сергей Николаевич,
член-корреспондент РАН
50. Жданеев Олег Валерьевич,
доктор технических наук

главный научный сотрудник лаборатории
поверхностных сил ИФХЭ РАН (онлайн)
директор ИОНХ РАН (очно)

директор ИНХС РАН

научный руководитель ВолгГТУ (онлайн)

заместитель директора ИОНХ РАН (очно)

директор Института квантовых технологий
МФТИ (очно)

заведующий лабораторией ИНХС РАН
(онлайн)

научный руководитель ИПСМ РАН (онлайн)

директор ИСПМ РАН (очно)

заведующий лабораторией ФИЦ ПХФ и МХ
РАН, заведующий лабораторией МФТИ (очно)

заместитель руководителя приоритетного
технологического направления «Электронные
технологии», директор ИПТМ РАН (очно)

директор ИНХ СО РАН (онлайн)

проректор по научно-исследовательской работе
Кабардино-Балкарского государственного
университета им. Х.М. Бербекова (онлайн)

заведующий лабораторией НИЦ
«Курчатовский институт»

советник генерального директора –
руководитель центра компетенций
технологического развития ТЭК ФГБУ «РЭА»
Минэнерго России (очно)

- | | |
|--|---|
| 51. Иванов Дмитрий Анатольевич,
доктор химических наук | заведующий лабораторией ФИЦ ПХФ и МХ
РАН (очно) |
| 52. Колобов Юрий Романович,
доктор физико-математических наук | заведующий лабораторией ФИЦ ПХФ и МХ
РАН (очно) |
| 53. Мерзликин Александр
Михайлович, член-корр. РАН | заместитель директора по научной работе
ИТПЭ РАН (очно) |
| 54. Шайтан Константин
Вольдемарович, д.ф.-м.н. | руководитель группы молекулярного
моделирования МГУ имени М.В. Ломоносова
(онлайн) |
| 55. Шикин Александр Михайлович,
доктор физико-математических наук | профессор, заведующий кафедрой электроники
твёрдого тела кафедры физики СПбГУ (онлайн) |
| 56. Боровков Алексей Иванович,
кандидат технических наук | проректор по цифровой трансформации СПбУ
Петра Великого (онлайн) |
| 57. Иванов Виктор Петрович,
кандидат технических наук | Президент Российского Союза химиков (очно) |

*От Межведомственного совета главных технологов и главных конструкторов по
электронной компонентной базе*

- | | |
|--|--|
| 58. Красников Геннадий
Яковлевич, академик РАН | председатель Совета, президент РАН,
руководитель приоритетного технологического
направления «Электронные технологии»,
научный руководитель АО «НИИМЭ» (очно) |
| 59. Горнев Евгений Сергеевич,
академик РАН | заместитель председателя Совета —
ответственный секретарь, заместитель
руководителя приоритетного технологического
направления «Электронные технологии» АО
«НИИМЭ», советник президента РАН (очно) |
| 60. Гапонов Александр Алексеевич | заместитель председателя Совета, заместитель
начальника Департамента радиоэлектронной
промышленности Минпромторга России (очно) |
| 61. Рошупкин Дмитрий
Валентинович,
член-корреспондент РАН | заместитель руководителя приоритетного
технологического направления «Электронные
технологии», директор ИПТМ РАН (очно) |
| 62. Созинов Павел Алексеевич,
член-корреспондент РАН | генеральный конструктор — заместитель
генерального директора АО «Концерн ВКО
«Алмаз - Антей» (онлайн) |
| 63. Боков Сергей Иванович,
доктор экономических наук | заведующий кафедрой «Менеджмент в сфере
систем вооружений» РТУ МИРЭА (онлайн) |
| 64. Борисов Александр
Анатольевич, доктор технических
наук | генеральный конструктор АО «НПП «Исток»
им. Шокина», руководитель приоритетного
технологического направления «Технологии
радиоэлектроники» (очно) |
| 65. Бородин Алексей
Владимирович, доктор физико-
математических наук | заместитель руководителя приоритетного
технологического направления «Электронные
технологии», генеральный директор
АО «ЭЗАН» (очно) |
| 66. Зацаринный Александр
Алексеевич, доктор технических
наук | главный научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН
(очно) |
| 67. Исаев Вячеслав Михайлович,
доктор технических наук | директор по научно-техническому развитию и
инновациям АО «Росэлектроника» (онлайн) |

68. Итальянцев Александр Георгиевич, доктор физико-математических наук
69. Никифоров Александр Юрьевич, доктор технических наук
70. Шелепин Николай Алексеевич, доктор технических наук
71. Эннс Виктор Иванович, доктор технических наук
72. Заблоцкий Алексей Васильевич, кандидат физико-математических наук
73. Занченко Алексей Евгеньевич, кандидат технических наук
74. Иванов Владимир Викторович, кандидат физико-математических наук
75. Ким Александр Кирилович, кандидат технических наук
76. Кравцов Александр Сергеевич, кандидат технических наук
77. Критенко Михаил Иванович, кандидат технических наук
78. Куцько Павел Павлович, к.т.н
79. Левин Роман Григорьевич, к.ф.-м.н
80. Плис Николай Иванович, кандидат технических наук
81. Попов Владимир Васильевич, кандидат технических наук
82. Резванов Аскар Анварович, кандидат физико-математических наук
- заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии», начальник отдела функциональной электроники АО «НИИМЭ» (очно)
- профессор отделения нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике офиса образовательных программ НИЯУ МИФИ, заместитель директора по испытаниям Центра экстремальной прикладной электроники НИЯУ МИФИ (очно)
- генеральный директор ООО «НИИМЭ МД», руководитель научного направления «Микроэлектроника» ИМЭ РАН (онлайн)
- заместитель генерального директора по микросхемам специального и космического назначения АО «НИИМЭ» (онлайн)
- руководитель Центра перспективной электроники Фонда перспективных исследований (очно)
- заместитель генерального директора по качеству АО «Российские космические системы» (очно)
- заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии», заместитель начальника отдела проектирования фотошаблонов АО «НИИМЭ» (очно)
- генеральный директор ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», генеральный конструктор АО «МЦСТ» (очно)
- генеральный директор АО «НИИМЭ» (онлайн)
- руководитель проектов высшей категории Госкорпорации «Ростех» (очно)
- генеральный директор АО «НИИЭТ» (онлайн)
- генеральный директор АО «РНИИ «Электронстандарт» (онлайн)
- первый заместитель генерального директора АО «Ангстрем» (очно)
- президент ПАО «Светлана» (онлайн)
- заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии», начальник лаборатории атомно-слоевого осаждения отдела разработки технологических процессов АО «НИИМЭ» (очно)

83. Стешенко Владимир Борисович, кандидат технических наук	заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии», заместитель генерального конструктора АО «Российские космические системы» (очно)
84. Чалый Виктор Петрович, к.ф.-м.н.	генеральный директор АО «Светлана-Рост» (онлайн)
85. Шипицин Дмитрий Святославович, кандидат физико-математических наук	заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии», директор по развитию систем проектирования АО «НИИМЭ» (онлайн)
86. Щербаков Сергей Владиленович, кандидат технических наук	заместитель генерального директора - директор по научной работе АО «НПП «Исток» им. Шокина» (очно)
87. Буравин Андрей Евгеньевич	начальник отдела космического приборостроения Департамента перспективных программ и проекта СФЕРА Госкорпорации «Роскосмос» (очно)
88. Малышев Илья Николаевич	директор по развитию АО «НПО «ЭРКОН» (онлайн)
89. Ранчин Сергей Олегович	генеральный директор НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ (очно)
90. Рубцов Юрий Васильевич	генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон» (очно)
91. Сазонов Петр Ростиславович	заместитель генерального директора – главный инженер ПАО «НПО «Алмаз» (очно)
92. Скоркин Игорь Владимирович	заместитель генерального директора — директор НТИЦ-1 НИИ КП, филиал «ОРКК» (очно)
93. Царапкин Сергей Федорович	исполнительный директор ООО «НМ-Тех» (онлайн)

От Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, г. Москва

94. Плясунов Юрий Владимирович	директор ДРЭП Минпромторга России (онлайн)
95. Пухаев Давид Эдуардович	начальник отдела композитных и новых материалов Департамента металлургии и материалов Минпромторга России (онлайн)

От Общества с ограниченной ответственностью «Совместное предприятие «Квантовые технологии» (Госкорпорация «Росатом»), г. Москва

96. Стоянов Андрей Анатольевич, кандидат технических наук	директор по производству ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн)
97. Кремлев Юрий Викторович	советник ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно)
98. Титов Александр Александрович	заместитель генерального директора, руководитель Центра Нанофабрикации ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно)

От Федерального государственного казенного научного учреждения «Академия криптографии Российской Федерации», г. Москва

- | | |
|--|--|
| 99. Корольков Андрей Вячеславович, кандидат технических наук | начальник Научно-исследовательского центра Академии криптографии Российской Федерации, заведующий кафедрой БК-252 РТУ МИРЭА (очно) |
|--|--|

От Федерального государственного автономного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Москва

- | | |
|---|--|
| 100. Александров Ислам Александрович, кандидат технических наук | заместитель директора по научной и методической работе НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ (очно) |
| 101. Аряшев Сергей Иванович | заместитель директора по микроэлектронике и вычислительным системам НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ (очно) |
| 102. Дорофеев Владислав Петрович | научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ (онлайн) |

От Федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук», г. Москва

- | | |
|---|--|
| 103. Панченко Владислав Яковлевич, академик РАН | вице-президент, академик-секретарь ОНИТ РАН, вице-президент НИЦ «Курчатовский институт» (очно) |
| 104. Бузыканов Николай Олегович | советник президента РАН (очно) |
| 105. Константинова Юлия Александровна | сотрудник управления пресс-службы РАН (онлайн) |

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева Российской академии наук, г. Нижний Новгород

- | | |
|--|--|
| 106. Пискунов Александр Владимирович, член-корр. РАН | заместитель директора по научной работе ИМХ РАН (онлайн) |
|--|--|

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

- | | |
|---|--|
| 107. Викулова Евгения Сергеевна, кандидат химических наук | заведующий лабораторией металлорганических соединений для осаждения диэлектрических материалов ИНХ СО РАН (очно) |
|---|--|

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук, г. Черноголовка Московской обл.

- | | |
|--|---|
| 108. Карандашев Василий Константинович, кандидат химических наук | заведующий лабораторией ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа ИПТМ РАН (онлайн) |
|--|---|

109. Юнкин Вячеслав старший научный сотрудник ИПТМ РАН
Анатольевич, к.ф.-м.н. (онлайн)

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Москва

110. Сафин Ансар Ризаевич, заместитель директора по научной работе, доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, профессор ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» (очно)
111. Колесов Владимир заведующий лабораторией ИРЭ им. Владимирович, к.ф.-м.н. В.А. Котельникова РАН (очно)
112. Маширов Алексей старший научный сотрудник ИРЭ им. В.А. Викторович, к.ф.-м.н. Котельникова РАН (онлайн)

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

113. Каламейцев Александр заместитель директора ИФП СО РАН (онлайн)
Владимирович, к.ф.-м.н.

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук, г. Москва

114. Афанасьев Михаил директор НТЦ УП РАН, внс ФИРЭ им. В.А. Сергеевич, доктор технических наук Котельникова РАН (очно)

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, г. Черноголовка Московской обл.

115. Голосов Евгений директор ФИЦ ПХФ и МХ РАН (очно)
Витальевич, к.ф.-м.н.
116. Малков Георгий заведующий отделом ФИЦ ПХФ и МХ РАН
Васильевич, кхн (очно)

От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, г. Москва

117. Виноградов Сергей высококвалифицированный старший научный Леонидович, кандидат физико-математических наук сотрудник ФИАН, совместитель НИЯУ МИФИ, ассоциированный член CERN CMS Collaboration (Швейцария) (онлайн)
118. Путилин Андрей ведущий научный сотрудник, заведующий Николаевич, кандидат физико-математических наук лабораторией сверхбыстродействующей оптоэлектроники и обработки информации ФИАН (онлайн)

От Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва

119. Бажанов Дмитрий Игоревич, кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН, старший преподаватель Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (очно)

От Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

120. Поляков Сергей Владимирович заместитель директора по научной работе ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (онлайн)

От Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Фрязино Московской обл.

121. Чучева Галина Викторовна, профессор РАН, д.ф.-м.н. заместитель директора по научной работе ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (очно)
122. Гольдман Евгений Иосифович, кандидат физико-математических наук ведущий научный сотрудник ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (онлайн)

От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт органических полупроводников и красителей», г. Долгопрудный Московской обл.

123. Конарев Александр Андреевич, доктор технических наук главный научный сотрудник, руководитель отдела инновационных мембранных электрохимических технологий АО «НИОПИК» (онлайн)
124. Мельниченко Антонина Павловна генеральный директор АО «НИОПИК» (очно)

От Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва»

125. Толоконников Георгий Константинович, к.ф.-м.н. научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (очно)

От Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений», г. Москва

126. Минаев Владимир Леонидович, доктор технических наук начальник НИО ФГБУ «ВНИИОФИ» (онлайн)

От Федерального государственного унитарного предприятия «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов», г. Мытищи Московской обл.

127. Алексеев Виктор Валентинович, ктн заместитель директора центра РЭА ФГУП «МНИИРИП» (очно)

*От Федерального государственного унитарного предприятия
«Производственное объединение «Октябрь», г. Каменск-Уральский*

128. Губин Сергей Иванович первый заместитель генерального директора —
главный конструктор ФГУП «ПО «Октябрь»
(онлайн)

*От Научно-образовательного центра «Технологический центр» Федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва*

129. Вишневский Алексей старший научный сотрудник НОЦ
Сергеевич, кандидат технических «Технологический центр» РТУ МИРЭА
наук (онлайн)
130. Якушев Владислав Андреевич стажер-исследователь НОЦ «Технологический
центр» РТУ МИРЭА (онлайн)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный
университет)», г. Долгопрудный Московской обл.*

131. Витухновский Алексей заведующий лабораторией МФТИ,
Григорьевич, доктор физико- высококвалифицированный главный научный
математических наук сотрудник ФИАН (онлайн)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Н. Новгород*

132. Ежевский Александр профессор кафедры физики полупроводников,
Александрович, доктор физико- электроники и наноэлектроники физического
математических наук факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского
(онлайн)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», г. Томск*

133. Больбасов Евгений Николаевич, старший научный сотрудник Томского
кандидат технических наук политехнического университета (очно)

*От Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
г. Санкт-Петербург*

134. Бауман Дмитрий Андреевич заведующий лабораторией Университета
ИТМО (онлайн)

От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

135. Гусев Александр Сергеевич, кандидат физико-математических наук
заместитель директора Института функциональной ядерной электроники (ИФЯЭ), доцент отделения нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике офиса образовательных программ НИЯУ МИФИ (онлайн)
136. Захарченко Роман Викторович, кандидат технических наук
заместитель директора Центра радиофотоники и СВЧ технологий; директор Центра трансфера технологий НИЯУ МИФИ (очно)

От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

137. Андреева Наталья Владимировна, доктор физико-математических наук
профессор кафедры микро- и наноэлектроники; начальник лаборатории НИЛ «Нейроморфная электроника и вычисления в памяти» СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (онлайн)

От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону

138. Солдатов Александр Владимирович, д.ф.-м.н.
научный руководитель направления ЮФУ (онлайн)

От Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва

139. Лопаткин Кирилл Сергеевич, кандидат технических наук
доцент кафедры «Менеджмент в сфере систем вооружений» РТУ МИРЭА (онлайн)

От Центра коллективного пользования «Микросистемная техника и электронная компонентная база» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Москва, г. Зеленоград

140. Филиппов Николай Александрович
инженер ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ (онлайн)

От Акционерного общества "Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», г. Москва

141. Ивановских Константин Васильевич
заместитель директора АО «Гиредмет» (очно)

От Акционерного общества «Дизайн центр «Кристал»

142. Зотов Леонид Анатольевич
генеральный директор АО «ДЦ «Кристал» (очно)

*От Акционерного общества «Конструкторско-технологический центр
«ЭЛЕКТРОНИКА», г. Воронеж*

143. Юшкин Александр Юрьевич главный технолог АО «КТЦ «Электроника»
(онлайн)

*От Акционерного общества «Международный научно-технологический центр
МИЭТ», г. Москва, Зеленоград*

144. Львов Александр Сергеевич генеральный директор АО «МНТЦ МИЭТ»
(очно)

От Акционерного общества «Микрон», г. Москва, г. Зеленоград

145. Аджемова Анна Александровна директор по закупкам и развитию поставщиков
АО «Микрон» (очно)

*От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт
молекулярной электроники», г. Москва, г. Зеленоград*

146. Бокарев Валерий Павлович, начальник отдела АО «НИИМЭ», доцент
доктор технических наук базовой кафедры «Микро- и наноэлектроника»
МФТИ (очно)
147. Панасюк Виталий Николаевич, главный контролер-директор по УК и ТП АО
доктор технических наук «НИИМЭ» (онлайн)
148. Блинецов Владимир ведущий инженер-технолог отдела разработки
Николаевич, кандидат технических технологических процессов АО «НИИМЭ»
наук (онлайн)
149. Воронова Наталья ведущий научный сотрудник АО «НИИМЭ»
Владимировна, к.ф.-м.н. (очно)
150. Ганыкина Екатерина старший научный сотрудник АО «НИИМЭ»
Андреевна, к.ф.-м.н. (онлайн)
151. Колдаев Игорь Михайлович, ведущий специалист аппарата научного
к.ф.-м.н. руководителя АО «НИИМЭ» (очно)
152. Селецкий Андрей Валерьевич, начальник отдела сертификации технологий и
кандидат технических наук приборов АО «НИИМЭ» (онлайн)
153. Шарапов Андрей Анатольевич, начальник лаборатории фундаментальных
кандидат физико-математических научных исследований технологий микро-
наук и наноэлектроники АО «НИИМЭ» (онлайн)
154. Шишлянников Антон начальник лаборатории исследования
Валерьевич, к.ф.-м.н. и испытания материалов АО «НИИМЭ» (очно)
155. Варламов Денис Александрович начальник отдела специальных материалов АО
«НИИМЭ» (очно)
156. Гуторов Михаил ведущий научный сотрудник АО «НИИМЭ»
Александрович (онлайн)
157. Еремчук Анатолий Иванович заместитель начальника отдела спецматериалов
АО «НИИМЭ» (очно)
158. Жуков Анатолий Викторович главный специалист АО «НИИМЭ» (очно)
159. Литаврин Михаил научный сотрудник лаборатории исследования
Владимирович и испытания материалов АО «НИИМЭ»
(онлайн)
160. Маркин Александр Викторович начальник отдела инфраструктуры нано- и
микроэлектронных производств АО «НИИМЭ»
(очно)

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 161. Прилипко Константин Владимирович | начальник лаборатории АО «НИИМЭ» (очно) |
| 162. Резник Александр Анатольевич | научный сотрудник АО «НИИМЭ», аспирант МФТИ (онлайн) |
| 163. Репина Татьяна Васильевна | специалист отдела специальных материалов АО «НИИМЭ» (очно) |
| 164. Сеньченко Никита Сергеевич | руководитель группы по производству материалов АО «НИИМЭ» (очно) |
| 165. Фортунова Елизавета Андреевна | руководитель проектов НИОКР отдела специальных материалов АО «НИИМЭ» (онлайн) |
| 166. Щербаков Николай Александрович | заместитель генерального директора по модернизации и внедрению микросхем - главный инженер АО «НИИМЭ» (очно) |

От Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина», г. Москва

- | | |
|--|---|
| 167. Кузьмина Юлия Васильевна, кандидат технических наук | заместитель главного технолога АО «НПП «Исток» им. Шокина» (очно) |
|--|---|

От Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Радиотехника», г. Москва

- | | |
|---|--|
| 168. Обухов Илья Андреевич, доктор физико-математических наук | технический директор АО «НПП «Радиотехника» (онлайн) |
|---|--|

От акционерного общества «ОКБ–Планета», г. Великий Новгород

- | | |
|---------------------------------|--|
| 169. Рассихин Алексей Романович | заместитель начальника отдела разработки АО «ОКБ–Планета» (онлайн) |
|---------------------------------|--|

От Акционерного общества «Опτικο-механическое конструкторское бюро «Астрон», г. Лыткарино

- | | |
|---|--|
| 170. Наумов Аркадий Валерьевич, кандидат технических наук | руководитель направления АО «ОКБ «Астрон» (онлайн) |
|---|--|

От Акционерного общества «Производственный комплекс «ФИД-техника», г. Санкт-Петербург

- | | |
|--|---|
| 171. Козлов Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук | ведущий научный сотрудник АО «ПК «ФИД-техника», заместитель руководителя комплекса УНУ «Циклотрон ФТИ им. А.Ф. Иоффе» ФТИ им. А.Ф. Иоффе (онлайн) |
|--|---|

От Акционерного общества «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», г. Москва

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 172. Зайцев Александр Александрович | начальник сектора АО «Российские космические системы» (очно) |
|-------------------------------------|--|

От Акционерного общества «Фрязинский завод мощных транзисторов»

173. Ефимов Вадим Валерьевич заместитель генерального директора по экономике и перспективному развитию АО «ФЗМТ» (онлайн)

От Акционерного общества «Центр Исследований и Разработок», г. Москва

174. Чухнов Иван Александрович руководитель группы квантовой мобильной связи АО «ЦИР» (очно)

От Акционерного общества «Экспериментальное научно-производственное объединение Специализированные электронные системы», г. Москва

175. Давыдов Георгий Георгиевич, кандидат технических наук ведущий научный сотрудник АО «ЭНПО СПЭЛС», старший научный сотрудник Центра экстремальной прикладной электроники НИЯУ МИФИ (онлайн)

От Некоммерческой организации Фонд развития центра разработки и коммерциализации новых технологий, г. Москва

176. Суетин Николай Владиславович, доктор физико-математических наук заместитель председателя Правления Фонда «Сколково», ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ (онлайн)

От Группы компаний «Алмазная долина»

177. Ягудаев Юрий Вячеславович, кандидат экономических наук генеральный директор ГК «Алмазная долина» (онлайн)

От Общества с ограниченной ответственностью «Коннектор Оптикс», г. Санкт-Петербург

178. Новиков Иннокентий Игоревич, кандидат физико-математических наук директор по новым разработкам ООО «Коннектор Оптикс», старший научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе, старший научный сотрудник Университета ИТМО (онлайн)

От Общества с ограниченной ответственностью «НМ-Тех», г. Москва, Зеленоград

179. Лебедев Александр Владимирович, ктн главный конструктор ООО «НМ-Тех» (онлайн)

От Общества с ограниченной ответственностью «Поликетон», г. Нижний Новгород

180. Слиняков Альберт Юрьевич генеральный директор ООО «Поликетон» (очно)
181. Джонс Михаил Михайлович, кандидат химических наук технический директор ООО «Поликетон» (очно)

Примечание: некоторые участники входят более чем в один из трех советов, фактическое количество участников указано в разделе «Повестка дня», п. 1.

Повестка:

Вступительные слова председателей Советов президента РАН академика Г.Я. Красникова и вице-президента РАН академика С.М. Алдошина.



- (1) очно чл.-корр. РАН Рощупкин Дмитрий Валентинович (ИПТМ РАН). Особо чистые вещества для микро- и нанoeлектроники.
- (2) очно Юлгушев Шамиль Рюстямович (Минпромторг России). О работе департамента химической промышленности Минпромторга России по развитию химии для радиоэлектроники.
- (3) очно к.т.н. Щербаков Сергей Владиленович (АО «НПП «Исток» им. Шокина»). Проблемные вопросы обеспечения конструкционными и технологическими материалами производства изделий СВЧ-радио электроники.
- (4) академик РАН Алдошин Сергей Михайлович, д.х.н. Бадамшина Эльмира Рашатовна, очно к.х.н. Малков Георгий Васильевич (ФИЦ ПХФ и МХ РАН). Опыт ФИЦ ПХФ и МХ РАН в разработке материалов для микроэлектроники.
- (5) очно Львов Александр Сергеевич (АО «МНТЦ МИЭТ»). Развитие материалов и химических веществ в парадигме Комплексной программы развития электронного машиностроения.
- (6) очно к.х.н. Джонс Михаил Михайлович (ООО «Поликетон»). Опыт разработки резистивных материалов для ArF и KrF фотолитографии с проектными нормами 90-300 нм. Проблемы и найденные решения.
- (7) очно к.х.н. Викулова Евгения Сергеевна (ИНХ СО РАН), очно к.ф.-м.н. Резванов Аскар Анварович (АО «НИИМЭ»). Высокочистые металлоорганические соединения и их применение для осаждения материалов микроэлектроники.
- (8) очно Мельниченко Антонина Павловна (АО «НИОПИК»). Стратегия развития АО «НИОПИК» в области микроэлектроники до 2030 года.
- (9) академик РАН Бузник Вячеслав Михайлович (ИОНХ РАН), очно к.т.н. Больбасов Евгений Николаевич, д.х.н. Трусова Марина Евгеньевна (Томский политехнический университет). Современные подходы к производству отечественного технологического оборудования из фторполимеров для микроэлектронного производства.
- (10) очно чл.-корр. РАН Бородин Владимир Алексеевич (АО «ЭЗАН»). Тенденции развития оборудования для промышленного выращивания монокристаллов карбида кремния методом сублимации.
- (11) очно академик РАН Иванов Владимир Константинович (ИОНХ РАН). О состоянии работ в области создания суспензий диоксида церия для химико-механической планаризации (краткое сообщение).

- (12) очно чл.-корр. РАН Разумов Владимир Федорович (ФИЦ ПХФ и МХ РАН, МФТИ). Коллоидные квантовые точки – новая элементная база нанофотоники.
- (13) очно академик РАН Горнев Евгений Сергеевич (АО «НИИМЭ», РАН). Проект решения совместного заседания советов.
- Общая дискуссия. Подведение итогов заседания Научного совета.

(академик РАН Г.Я. Красников; академик РАН С.М. Алдошин; академик РАН Е.С. Горнев; академик РАН В.К. Иванов; академик РАН Е.Н. Каблов; академик РАН А.В. Латышев; чл.-корр. РАН В.А. Бородин; чл.-корр. РАН С.А. Пономаренко; чл.-корр. РАН В.Ф. Разумов; чл.-корр. РАН Д.В. Рошупкин; проф. РАН, д.х.н. С.Ю. Хаширова; д.ф.-м.н. А.В. Бородин; д.т.н. О.В. Жданеев; д.х.н. В.П. Зломанов; д.т.н. Н.А. Шелепин; к.т.н. Е.Н. Больбасов; к.х.н. Е.С. Викулова; к.х.н. М.М. Джонс; к.х.н. Г.В. Малков; к.т.н. В.В. Попов; к.ф.-м.н. А.А. Резванов; к.т.н. С.В. Щербаков; А.С. Львов; А.П. Мельниченко; Ш.Р. Юлгушев)

1. В заседании приняли участие 26 из 50 членов Бюро и членов Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», 31 из 48 членов Бюро и членов Научного совета РАН по микроэлектронике и 36 из 46 членов Межведомственного совета главных технологов и главных конструкторов по электронной компонентной базе, а также приглашенные ученые и специалисты. Всего приняло участие 172 человека из 102 организаций и их подразделений. В обсуждении повестки дня участвовало 25 человек.



2. Во вступительном слове при открытии совместного заседания Председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», председатель Межведомственного совета главных технологов и главных конструкторов по электронной компонентной базе президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников отметил, что имеется успешный опыт проведения аналогичного совместного заседания Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания» и Научного совета РАН по материалам и наноматериалам в 2023 г. В текущем совместном заседании также участвует Межведомственный совет главных технологов и главных конструкторов по электронной компонентной базе. Минпромторгу России поручено подготовить справку о состоянии отечественного производства материалов для электронной промышленности, работающей в непрерывном цикле. Основными рисками являются сбои в поставке материалов, а также временные затраты от нескольких недель до нескольких месяцев при замене материала на аналог с

- возможными корректировками технологического маршрута и аналога материала. Определен регламент проведения совместного заседания.
3. Председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президент РАН, академик РАН С.М. Алдошин сообщил, что в ходе совместного заседания, с одной стороны, выявляются проблемы по материалам для изготовления элементной базы, с другой — раскрываются имеющиеся заделы и результаты для изготовления и производства таких материалов. В результате проведения совместного заседания в 2023 г. появились и активно развиваются несколько направлений в интересах развития микроэлектроники.
 4. Чл.-корр. РАН Д.В. Рошупкин (ИПТМ РАН) рассмотрел возможности восстановления в России процессов получения и производства чистых материалов для микро- и нанoeлектроники. Данные процессы требуют решения вопроса получения исходных материалов, чистки, создания специализированного оборудования для чистки материалов. Плюс возникает задача использования аналитических приборов для контроля чистоты материалов. Следует отметить, что материалы нужны как в аморфном, так и часто монокристаллическом состоянии. Существуют принципиальные задачи восстановления производства чистых газов, металлов, полупроводниковых материалов. Также важная задача состоит в создании материалов для технологических литографических процессов, где важно получение оптических материалов для изготовления фотошаблонов и линз для литографических процессов.



Отдельно рассмотрен вопрос создания солнечно-слепых детекторов на основе оксида галлия, где необходимо решать задачи как использования тонкопленочных структур, так и монокристаллических пластин.

В целом решение всех этих задач возможно только в условиях концентрации усилий многих организаций, начиная от институтов РАН и заканчивая предприятиями реального сектора экономики.

Докладчик ответил на вопросы: При изготовлении резиста Вы используете только отечественные компоненты или применяются и зарубежные? В каком объеме налажено производство? Какой температурный градиент должен быть для исключения боковых потерь, плоского фронта кристаллизации, получения идеального кристалла? Действительно ли для топологических норм 3 нм необходимый материал отсутствует, а перспектива его разработки и изготовления только на стадии замысла?

5. Ш.Р. Юлгушев (Минпромторг России) сообщил о трехуровневой организации работы в Минпромторге России в части развития химических материалов для микро- и радиоэлектроники. Это Совет по развитию электронной промышленности (председатель — заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации В.В. Шпак), Рабочая группа по химическим материалам Совета по развитию электронной промышленности (председатель — заместитель директора Департамента химической промышленности Минпромторга России Ш.Р. Юлгушев), Профильные секции Рабочей группы по химическим материалам Совета по развитию электронной промышленности (13 шт.), которые возглавляют, по большей части, сотрудники институтов РАН. Кроме того, взаимодействие с институтами РАН выполняется в 5 этапов: постановка НИОКР, реализация НИОКР, экспертиза, экспертная поддержка, создание центров малотоннажной химии. В 2023 г. запущено 34 НИОКР (74 материала), в 2024 г — 13 НИОКР (17 материалов).



Осуществлен запуск серийного производства 7 химических материалов, реализуемых в 2023-2024 гг. Среди задач на 2025 г. Ш.Р. Юлгушев отметил следующие:

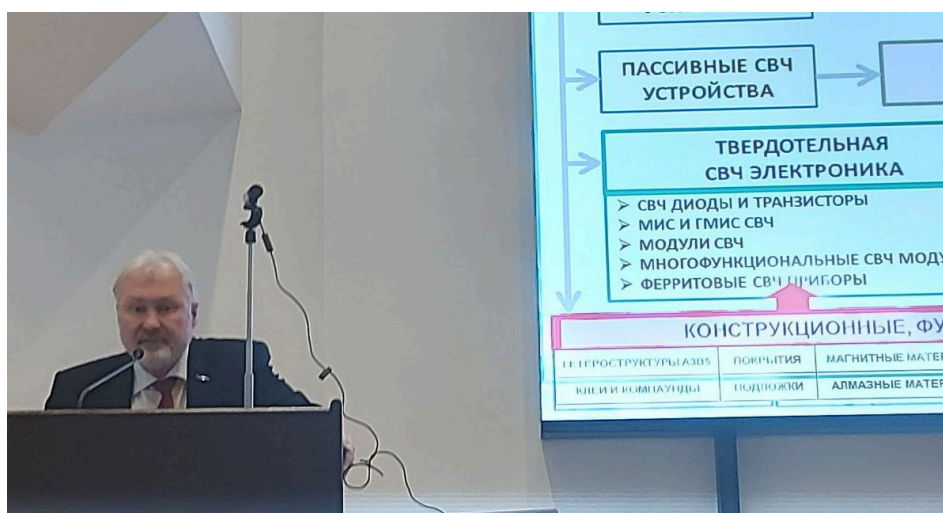
- (1) формирование баланса химических веществ по подотраслям радиоэлектроники;
- (2) организация серийного производства 56 химических материалов;
- (3) запуск новых проектов по разработке и производству 31 материала;
- (4) введение бессрочных ограничительных мер;
- (5) включение особо чистых химических веществ для радиоэлектронной промышленности в раздел «XXI «Химическая и нефтегазохимическая продукция» постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 2015 г. № 719;
- (6) разработка технических заданий и производство тары для особо чистых химических веществ и газов;
- (7) создание профильной секции для обеспечения химическими веществами перехода на топологическую норму 28 нм и разработка плана мероприятий.

В части кадрового обеспечения приведены результаты по проведенным мероприятиям, сформулированы необходимые меры по развитию и принято решение по программе переподготовки кадров для производства особо чистой химии.

Докладчик ответил на вопросы: имеется ли база данных созданных отечественных производств по материалам? Планируется ли организация их розничной продажи? Имеется ли доступ через сайт или канал к доступным производимым материалам, разработка которых выполнялась при финансировании Минпромторга России? В чем состоит идея организации обучения химиков-специалистов для электронной

промышленности в Томске, а не, например, в МИЭТе — в непосредственной близости к микроэлектронным организациям и предприятиям? Когда потребители получат электронную компонентную базу с учетом их требований, в том числе по химическим элементам и технологии производства, для скважинной аппаратуры? Имеется ли понимание о том, что организация производства высокочистых веществ и компонентов для микроэлектроники в корне отличается от классического химического производства, в том числе по подготовке специалистов, принципиально более высокой точности измерений, проверки, контроля, транспортировки? Имеются ли необходимые технологии, приборы и запланированные места постройки таких производств? Рассылается ли перечень востребованных и запланированных к разработке материалов по институтам РАН и вузам, как получить к нему доступ? Если обучение специалистов-химиков выполняется в Томске, то на каких окрестных профильных предприятиях микроэлектроники они будут работать, если таковые отсутствуют?

6. К.т.н. С.В. Щербаков (АО «НПП «Исток» им. Шокина») привел обзор текущих проблем в области критических материалов, используемых в производстве СВЧ микроэлектроники, а также критические материалов в производстве электровакуумных изделий.



Предложены пути решения — мероприятия по импортозамещению материалов, проводимые в 2025 г. и планируемые.

Докладчик ответил на вопрос: представляет ли интерес создание технологических основ получения нитрида галлия путем вырезания из монокристалла $\varnothing 3$ мм? Каково состояние дел и перспективы развития по карбиду кремния, а именно $\square$ производимых пластин, наличие дислокаций?

7. К.х.н. Г.В. Малков (ФИЦ ПХФ и МХ РАН) сообщил, что представляема им организация работает в области импортозамещения материалов, необходимых для производства микроэлектроники с 2019 г., когда по инициативе академиков РАН Г.Я. Красникова и С.М. Алдошина и чл.-корр. РАН Б.Г. Грибова был создан эффективно действующий до настоящего времени консорциум, состоящий из представителей науки (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), прикладного НИИ (АО «НИОПИК»), производственных предприятий (АО «Поликетон»), АО «Микрон» и АО «НИИМЭ»), играющего координирующую роль. В этой работе активно участвуют сотрудники двух молодежных лабораторий ФИЦ ПХФ и МХ РАН, созданных по конкурсам, объявленным Минобрнауки России.

Одним из наиболее важных является фотолитографический процесс формирования на функциональных поверхностях подложек для ИС рельефных покрытий (топологических элементов). Работа нашего коллектива сконцентрирована на создании и исследовании материалов для литографии.

Целью проведенной работы стало создание технологии синтеза полимеров для полимерных пленкообразующих композиций (антиотражающих покрытий и фоторезистов), включающей разработку и изготовление технологической оснастки для синтеза полимеров и соответствующей документации, наработку партий полимеров, их тестирование, проведение сравнительного анализа составов импортных аналогов и разрабатываемых антиотражающих покрытий и фоторезистов.

На основании обзора литературы и проведенного патентного поиска нами были определены составы многокомпонентных сополимеров, которые могли бы выполнить функцию пленкообразования в композициях АОП и ФР. Была проведена экспериментальная работа по получению этих со-, тер- и квадро-полимеров различного состава, их комплексной характеристики методами ГПХ, ДСК, ТГА, вискозиметрии, ИК-, УФ- и ЯМР-спектроскопии. В результате были наработаны партии полимеров необходимого состава в количестве, достаточном для изготовления на их основе опытных образцов литографических материалов. Полученные образцы материалов (полимерных основ для АОП193, АОП248, ФР193, ФР248, ФР365) были использованы в АО «НИОПИК» для приготовления композиций антиотражающих покрытий и фоторезистов, которые затем были успешно протестированы на технологических линиях АО «Микрон» для создания методом фотолитографии топологических элементов интегральных микросхем размером 90-250 нм. Часть продуктов уже поставлена на производство в ООО «Поликетон» (г. Нижний Новгород).



Кроме полимерных основ АОП и ФР в ФИЦ ПХФ и МХ РАН разработаны простые и масштабируемые методы получения сульфониевых и йодониевых фотосолей (фотогенераторов кислоты, ФГК), а также эфиров метакриловой кислоты на основе адамантана, бутиролактона, камфоры и пиненов – важнейших компонентов для создания фоторезистов с химическим усилением.

Выполнение требования по минимизации размера элемента возможно лишь при уменьшении ширины топологических элементов фоторезистной маски. Это возможно лишь при существенном увеличении отношения высоты линии к ее ширине (аспектного отношения), с ростом которого механическая прочность линий фоторезиста снижается, что приводит к «схлопыванию» (коллапсу) структур. Наиболее простым подходом, позволяющим предотвратить коллапс линий фоторезиста, является уменьшение капиллярных сил добавкой в проявитель поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Синтезированный нами ПАВ в составе безметалльного проявителя успешно прошёл испытания на производственной линии АО «Микрон», по своим характеристикам ПАВ полностью удовлетворяет заказчика, ФИЦ ПХФ и МХ РАН осуществляет регулярную

поставку ПАВ для обеспечения бесперебойной работы линий по производству интегральных микросхем.



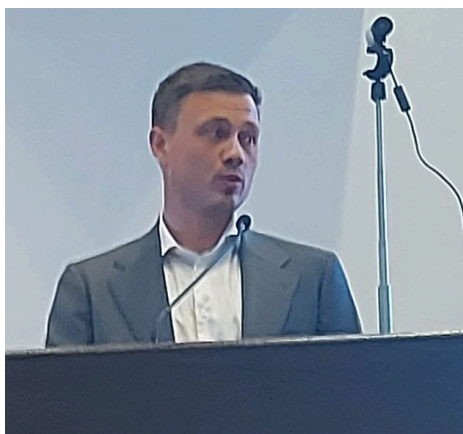
Однако нельзя не отметить существующие проблемы в области материалов для микроэлектроники. Одной из основных проблем является отсутствие отечественных исходных реагентов (мономеров, газов и др.). Серьезной проблемой является отсутствие отечественного аналитического и производственного оборудования для насыщения аналитических и исследовательских центров, а также производств материалов для микроэлектронной промышленности: литографическое оборудование, счетчики частиц, инертные материалы для аппаратов. Кроме того, проблемой микроэлектронной отрасли промышленности РФ является крайне ограниченное число предприятий, выпускающих или готовых организовать выпуск для нее материалов.

Одним из возможных путей решений является создание при поддержке Правительства комплекса Центров малотоннажной химии по разработке и микротоннажному производству материалов различного типа (литографических материалов, специальных газов, специальных жидкостей, специального оборудования, тары и т.п.) для микроэлектронной промышленности.

В настоящее время нами ведется активная совместная с Российской академией наук, Минпромторгом России работа по созданию Центра малотоннажной химии по разработке и микротоннажному производству литографических материалов для микроэлектронной промышленности на базе Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии РАН в г. Черноголовка.

Докладчик ответил на вопрос: какова временная стабильность используемых Вами литографических материалов?

8. А.С. Львов (АО «МНТЦ МИЭТ») осветил текущий статус реализации Комплексной программы развития электронного машиностроения до 2030 г. (далее — Комплексная программа) в части материалов и химических веществ, представлены организационно-методические подходы к реализации мероприятий Комплексной программы, дал общую оценку текущего статуса реализации, в том числе в части организации современных производств химических веществ и материалов. Отдельное внимание уделено вопросам кадрового, нормативного и технического обеспечения. Рассмотрены аспекты создания специальной тары для хранения и транспортировки веществ.



Затронуты вопросы существующих барьеров, замедляющих ход реализации Комплексной программы, а также сформулированы предложения по их преодолению для достижения стратегических целей развития электронной промышленности в части электронного машиностроения.

Докладчик ответил на вопрос: имеется ли возможность включения в выполняемый проект разработки графитовых материалов для теплоизоляции с требованиями высокой частоты и теплопроводностью $1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ при рабочей температуре 2000°C ?

9. К.х.н. М.М. Джонс (ООО «Поликетон») сообщил, что в результате совместной работы с АО «НИИМЭ» и ФИЦ ПХФ и МХ РАН за последние семь лет завершены ОКР «Композиция Б» и запущено производство антиотражающего покрытия для технологического процесса 90 нм , ОКР «Резист-1» по постановке производства фоторезиста, также для процесса 90 нм . Сейчас уже на стадии завершения объемная работа «Фотолиз», в результате которой в производстве будет 7 наименований материалов для KrF фотолитографии. В целом, разработка материалов для микрофотолитографии можно разделить на три больших этапа: (1) обратный инжиниринг и расшифровка импортных аналогов, (2) воспроизведение результатов расшифровки с учетом требований по качеству и масштабируемости, (3) разработка и внедрение полноценного технологического процесса гарантирующего воспроизводимость рабочих параметров материалов и их качество.

На первом этапе при расшифровке материалов и обратном инжиниринге оказалось почти невозможным определить и идентифицировать достоверно те компоненты материала, содержание которых слишком мало и находится либо на грани, либо ниже пределов обнаружения.

На втором этапе, при повторении материала согласно результатам расшифровки, закупка исходных материалов представляла определенную сложность, поскольку ни одного из составляющих импортных аналогов в России не производится, а сроки поставки из-за рубежа могли составлять до полугода. Для осуществления квалифицированного процесса разработки, и тем более для последующего производства материалов стабильного качества, необходим достаточно серьезный лабораторный комплекс и штат специалистов, способных максимально использовать возможности оборудования. Данная задача уже успешно решена силами ООО «Поликетон», на текущий момент все потребности по контролю в рамках производства и разработки удовлетворены. При получении лабораторных образцов учитывается необходимость дальнейшей повторяемости при производстве более крупного масштаба.

На третьем этапе, при постановке в производство, вся производственная технологическая оснастка, используемая при изготовлении как лабораторных образцов, так и опытных и опытно-промышленных партий должна состоять только из специализированных комплектующих из ПФА. Только в этом случае можно гарантировать требуемый уровень чистоты по примесям металлов. Также нужно

учитывать, что процесс постановки в производство таких материалов, как фоторезисты, является достаточно затруднительным, поскольку в результате каждого изменения в технологическом процессе необходимо контролировать свойства конечного материала. Основной проблемой является отсутствие доступного испытательного оборудования (стендов), максимально имитирующих производственный процесс на предприятиях. При разработке фоторезистов отсутствие лабораторного оборудования или стендов приводит к необходимости использования промышленной линии, не предназначенной для таких работ, имеющую большую загрузку или являющейся слишком затратной.



Для лабораторных нужд в ООО «Поликетон» разработан стенд с использованием автоматического шприцевого дозатора и дозирующего манипулятора. Там же изготовлен и тестируется лабораторный сканер, использующий излучение с длиной волны 255 нм. В настоящий момент реализована только контактная литография, позволяющая в автоматическом режиме получать дозовую кривую и использовать данные при отработке составов фоторезистов.

Докладчик ответил на вопросы: имеет ли смысл начать работу и сформировать команду по прогнозируемому моделированию качества фоторезистов на основании экспериментальных и производственных данных? Насколько актуальна проблема высокочистого фторполимера в микроэлектронике и какое оборудование (отечественное, зарубежное) используется при производстве?

Академик РАН Г.Я. Красников предложил А.С. Львову и М.М. Джонсу содействие в апробации нового отечественного лазерного источника на 248 нм в Филиале ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седатова».

10. К.х.н. Е.С. Викулова (ИНХ СО РАН), к.ф.-м.н. А.А. Резванов (АО «НИИМЭ»).



Они сообщили, что технологии изготовления ряда ключевых компонентов современной микроэлектроники (микропроцессоров с уменьшенными проектными нормами, новых типов элементов энергонезависимой памяти) требуют материальной базы высокочистых веществ (5-6N), включая летучие металлоорганические соединения

5. Тестирование МОС в процессах осаждения: АО «НИИМЭ»

$\text{CpZr}(\text{NMe}_2)_3 = \text{ZrO}_2$ Вариация параметров: длительность продувки, поток аргона

H_3C
 H_3C $\text{N} \begin{array}{c} \diagup \text{CH}_3 \\ \diagdown \text{CH}_3 \end{array}$
 H_3C Zr CH_3
 H_3C O_2

График: Скорость роста за цикл, Å/цикл (OPC (Алгоритм) - СИО (%)) vs Длительность продувки, с. $T_{\text{ос}} = 300^\circ\text{C}$

График: Среднеквадратичная шероховатость vs Длительность продувки, с.

Средние данные по эллипсометрии 2-х пластин

№	Средняя толщина, нм	Разброс по пластине, нм	СИО, %
1	5,05	0,12	1,2
2	5,00	0,13	1,1

15/17

Докладчики ответили на вопросы: имеется ли комплексный подход с участием нескольких организаций по таре? Не является ли отклонение в 1,5 % при толщине слоя 5 нм меньше толщины атомного слоя?

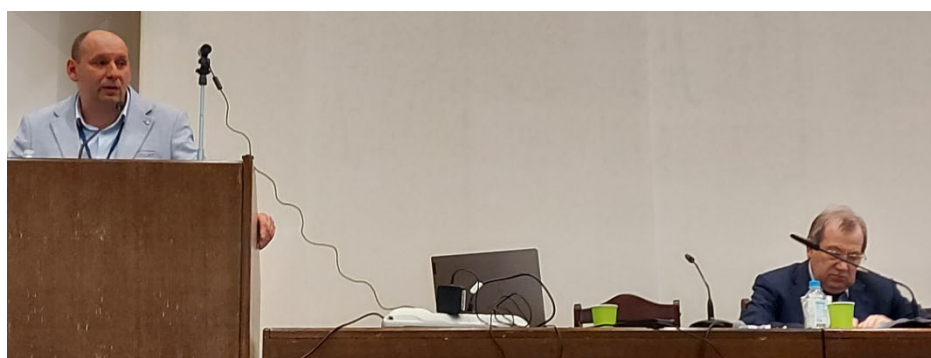
- 37



безопасных продуктов, отвечающих установленным требованиям качества и запросам потребителей. Докладчик высоко оценил сотрудничество научных и производственных организаций под руководством АО «НИИМЭ», в рамках которого были реализованы проекты: «Разработка эскизного технологического процесса получения композиции фоторезиста, чувствительного к актиничному излучению с длиной волны 193 нм», шифр «Резист-1П-НИОПИК», «Теоретическое и экспериментальное исследования процессов получения фоторезистов и антиотражающих покрытий для использования в процессе фотолитографии с длиной волны актиничного лазерного излучения 248 нм (KrF)», шифр «Фотолит-Н», «Подготовка и освоение производства ТМАГ, шифр «Гидроксид тетраметиламмония-Н». В результате сотрудничества исследовательские и научно-аналитические лаборатории предприятия оснащены современным лабораторным оборудованием, в эксплуатацию запущены чистые помещения научно-исследовательской лаборатории площадью 100 кв. м, позволяющие разрабатывать самые чистые материалы для микроэлектроники, создан производственный участок по производству ТМАГ. Среди стратегических целей развития Общества, помимо прочих, докладчик отметила такие цели как создание производства новой линейки фоторезистов i-, g-, & h-line (365-440 нм) мощностью до 270 кг/год, создание участка производства полупродуктов для фоторезистов, концентратов и проявителей для собственного производства, масштабирование производства лабораторных фоторезистов на производственные мощности цеха. Увеличение производительности с 6 до 100 кг/серия.

Докладчик ответила на вопросы: кто является основными заказчиками Вашей продукции, работает ли и в каком состоянии находится химический цех? Имеются ли у Вас предложения по созданию молодежных лабораторий совместно с МФТИ?

12. К.т.н. Е.Н. Больбасов (Томский политехнический университет) обсудил вопросы использования отечественных фторполимерных материалов для технологического оборудования, используемого в производстве микроэлектроники.



Представлены характеристики фторполимеров выпускаемых отечественной промышленностью. Представлены перспективы из использования для разработки фильтров, жидких и газообразных агрессивных сред. Дан краткий обзор отечественных фильтров из фторполимеров. Рассмотрены вопросы изготовления изделий сложной формы из фторполимеров методом 3D печати. Представлены образцы изделий, и технологической оснастки для производства интегральных схем, полученных этим методом из отечественных фторполимеров. Рассмотрены вопросы использования отечественных фторполимеров для создания защитных антикоррозионных покрытий технологических ванн, запорной арматуры и емкостей для хранения жидких и газообразных агрессивных сред.

Докладчик ответил на вопросы: Вы сами готовите порошки для аддитивных технологий? Какой объем камеры у FDM принтера?

13. Чл.-корр. РАН В.А. Бородин (АО «ЭЗАН») сообщил, что метод сублимации (метод ЛЭТИ или PVT) является основным методом получения монокристаллов карбида кремния для электронной промышленности. За последние 20 лет передовыми технологическими странами освоено коммерческое производство монокристаллов SiC для получения эпитаксиальных пластин (epi ready) диаметром 100, 150 и 200 мм. В 2025 году представлены опытные образцы пластин 300 мм. Наибольшую долю в настоящее время на рынке занимают пластины диаметром 150 мм.



В докладе приведены данные об объеме мирового рынка установок для выращивания монокристаллов SiC в период 2024-2032 года. Отдельно представлены объемы рынков в сегментах печей для получения кристаллов диаметром менее 100 мм, менее 150 мм и менее 200 мм. Показаны прогнозы отличия темпов роста объемов производства печей в зависимости от диаметров выращиваемых на них монокристаллов. Рассматриваются печи индукционного и резистивного типов нагрева, их преимущества и недостатки, а также их долевое соотношение на мировом рынке в привязке к основным производителям монокристаллов.

Проведен анализ конструктивных особенностей и технических характеристик установок основных мировых производителей. Отмечены новые опции оборудования, способствующие повышению его производительности и качеству кристаллов. Отмечены роль конструкции теплового узла и применяемых в нем материалов.

Приведены конструкция и характеристики опытной установки индукционного нагрева для получения монокристаллов SiC диаметром 150 мм, разработанной АО «ЭЗАН» в рамках соглашения с Минпромторгом России.

В заключении рассматриваются вопросы организации коммерческого производства монокристаллов карбида кремния диаметром 150 и 200 мм в России.

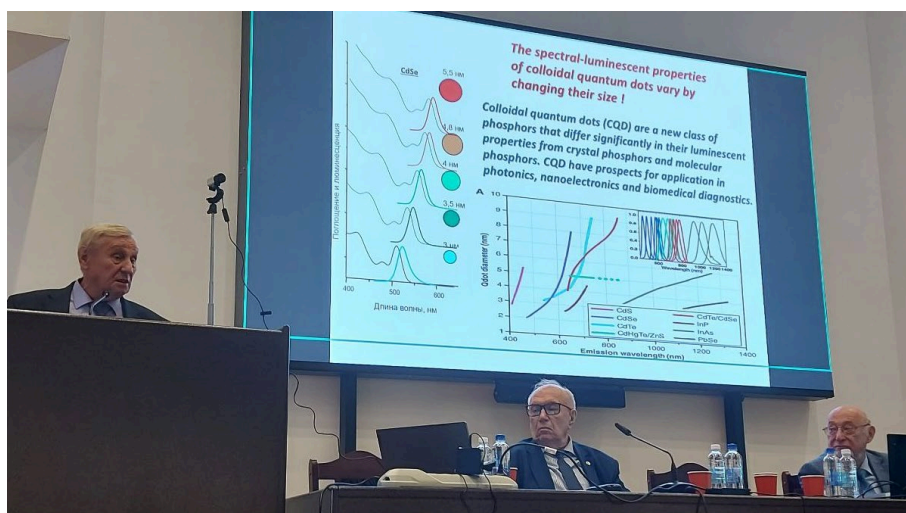
Докладчик ответил на вопрос: какой из методов (резистивный, индукционный) позволяет получать кристаллы с минимальной плотностью дефектов для микроэлектроники? Не даст ли метод Чохральского меньшую дефектность?

14. Академик РАН В.К. Иванов (ИОНХ РАН) представил результаты НИР, связанной с разработкой суспензий на основе CeO_2 для химико-механической планаризации кремниевых пластин, проводившихся в ИОНХ РАН начиная с 2024 г. Приведена информация о перспективах масштабирования предложенной ИОНХ РАН технологии для получения пригодных для испытаний лабораторных образцов, а также о методах их аналитического контроля.



Докладчик ответил на вопрос: требуется ли дополнительные компоненты для абразивной суспензии кроме оксида церия? Является ли оксид церия универсальным для планаризации разных типов материалов? Касательно чистоты вещества: кто является производителем исходного вещества, как примеси переносятся в продукт?

15. Чл.-корр. РАН В.Ф. Разумов (ФИЦ ПХФ и МХ РАН, МФТИ) сообщил, что Создание средств ИК-визуализации в ближне-волновом (0,8-2 мкм), средне-волновом (3-5 мкм) и длинно-волновом (8-12 мкм) диапазонах областей прозрачности атмосферы является одним из перспективных направлений исследований.

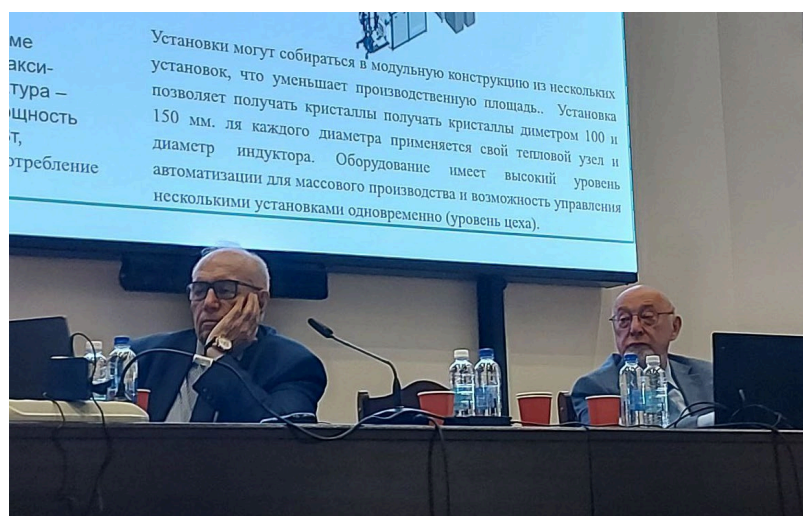


В последнее 10-15 лет в мире проводятся активные исследования по разработке систем ИК-визуализации, основанные на полупроводниковых коллоидных квантовых точках (ККТ), позволяющие существенно повысить рабочей температуры устройств (вплоть до комнатной) и при этом использовать более дешевые материалы и технологии их изготовления. Недавно на мировом рынке появились широкоспектральные полноформатные матричные видеочамеры ночные видения на основе коллоидных квантовых точек с диапазоном фоточувствительности от 0,4 до 2,0 мкм, серийно выпускающиеся компаниями SWIR Vision (США) и Quantum Solutions (Великобритания). В РФ также ведутся научно-технологические работы в этом

направлении – в НПО «Орион», МФТИ и ФИЦ ПХФ и МХ РАН созданы лабораторные образцы аналогичных устройств.

Докладчик ответил на вопрос: почему квантовые точки в последнее время приобрели популярность при том, что они были давно известны? Какие материалы находятся в дефиците? Насколько важна проблема чистоты оборудования и тары при производстве квантовых точек?

16. Академик РАН Е.С. Горнев (АО «НИИМЭ», РАН) изложил и прокомментировал проект решения совместного заседания советов.
17. При подведении итогов заседания председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», вице-президент РАН, академик РАН С.М. Алдошин выразил уверенность в усилении сотрудничества между организациями и предприятиями в области освоения и совершенствования производства материалов для микроэлектроники.



РЕШИЛИ:

1. Принять к сведению заслушанные доклады и их обсуждение.
2. Отметить основные проблемы в области производства материалов для микроэлектроники:
 - 2.1. Отсутствие отечественных исходных реагентов (мономеров, газов и др.).
 - 2.2. Отсутствие отечественного аналитического и производственного оборудования для насыщения аналитических и исследовательских центров, а также производств материалов для микроэлектронной промышленности: литографическое оборудование, счетчики частиц, инертные материалы для аппаратов.
 - 2.3. Крайне ограниченное число предприятий, выпускающих или готовых организовать выпуск материалов для микроэлектроники, что связано, с одной стороны, с небольшими объемами потребности в такого рода материалах, с другой стороны – с высокими требованиями по их чистоте и воспроизводимости характеристик, значительными капитальными затратами на создание производств, в том числе с чистыми производственными помещениями.
3. Рекомендовать АО «МНТЦ МИЭТ» совместно с Минпромторгом России организовать работу по созданию общей базы востребованных материалов для нано- и микроэлектроники, возможных производителей этих материалов. Рассмотреть возможность консолидации усилий нескольких организаций по одному выделенному направлению при создании конкретного материала.
4. Рекомендовать АО «МНТЦ МИЭТ» провести корректировку программы создания специализированного оборудования для производства чистых материалов и роста

монокристаллов (все процессы уникальны и требуют специализированного оборудования именно под свой процесс).

5. Рекомендовать вице президенту РАН академику РАН С.М. Алдошину направить предложения в Минобрнауки России по постановке НИР для получения материалов для нано- и микроэлектроники (государственное задание в рамках Минобрнауки России, РФФИ, ФПИ) с выделением финансирования не только на заработную плату, но и на приобретение исходных материалов, изготовление макетов оборудования для чистки материалов и выращивания монокристаллов. В настоящий момент востребовано более 600 наименований материалов.
6. Рекомендовать Минпромторгу России ускорить постановку НИОКР, направленных на импортозамещение исходных реагентов, используемых при производстве материалов для нано- и микроэлектроники.
7. Рекомендовать Департаменту химической промышленности и Департаменту металлургии и материалов Минпромторга России проводить обязательное согласование технических заданий на планируемые к постановке НИОКР в части создания материалов для нано- и микроэлектроники с головными организациями по направлениям.
8. Рекомендовать Минпромторгу России включать представителей головных организаций по направлениям в комиссии по приемке НИОКР, касающихся производства материалов для нано- и микроэлектроники.
9. Минпромторгу России активизировать работы по созданию центра малотоннажной химии по разработке и микротоннажному производству литографических материалов различного типа для микроэлектронной промышленности на базе ФИЦ ПХФ и МХ РАН.
10. Поставить работу по прогнозному моделированию параметров фоторезистов, необходимых и достаточных для их применения в производстве микросхем.
11. Рекомендовать, в области разработки и производства высокочистых металлоорганических соединений (МОС) для процессов газофазного осаждения, с целью реализации полного цикла импортозамещения, включать в группу «разработчиков» специалистов/профильные лаборатории в областях:
 - 11.1. органического синтеза (лиганды для МОС);
 - 11.2. металлоорганического синтеза и аналитики (синтез и контроль качества МОС);
 - 11.3. по разработке процессов осаждения (отработка режимов осаждения);
 - 11.4. по конструированию реакторов для осаждения (прототипирование установок, включая тару для МОС).
12. Скоординировать работы по созданию высокочистых металлоорганических соединений и поставить работы по разработке специальной тары и испарительных контейнеров для металлоорганических соединений.
13. Рекомендовать публиковать в журнале «Микроэлектроника» статьи по химическим соединениям и материалам для микроэлектроники и микроэлектронного производства. Рассмотреть возможность ввести в редакционную коллегию журнала специалистов по химии и материалам.
14. Рекомендовать осуществлять совместные заседания советов РАН тематическими и проводить их на базе профильных институтов с приглашением научных сотрудников.
15. Проработать вопрос возможности издания в формате дайджестов докладов, сделанных на совместных заседаниях советов.
16. Рекомендовать АО «ЭЗАН», ООО «Новатор Плюс», СПбГЭТУ «ЛЭТИ», АО «ЭПИЭЛ» сконцентрировать усилия на совместной разработке оборудования и технологий получения монокристаллов карбида кремния (в т.ч. методом Чохральского), эпитаксиальных структур Ø 200 мм.

17. Рекомендовать Минобрнауки России организовать проведение НИОКР в организациях РАН по перспективным безотходным методам механического разделения и обработки материалов для ЭКБ.
18. Отметить востребованность решаемой научно-технологической задачи разработки технологии производства суспензий на основе CeO_2 для химико-механической планаризации кремниевых пластин предприятиями электронной промышленности РФ.
19. Рекомендовать Департаменту химической промышленности Минпромторга России запланировать внедрение, под руководством АО «НИИМЭ», в ООО «Поликетон» и АО «НИОПИК» системы менеджмента качества в производстве материалов для литографии.

15 сентября 2025 года состоялось расширенное заседание 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»

На заседании присутствовали:

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, профессор, ученый секретарь
Алымов Михаил Иванович, член-корреспондент РАН
Гветадзе Рамаз Шалвович, академик РАН
Дуб Алексей Владимирович, профессор
Леонтьев Леопольд Игоревич, академик РАН
Члены Совета
Боровков Алексей Иванович, профессор
Бузник Вячеслав Михайлович, академик РАН
Валиев Руслан Зуфарович, доктор физико-математических наук – он-лайн
Жданеев Олег Валерьевич, доктор технических наук – он-лайн
Вошкин Андрей Алексеевич, член-корреспондент РАН
Иванов Владимир Константинович, академик РАН
Иванов Дмитрий Анатольевич, профессор
Колобов Юрий Романович, профессор
Краснянский Михаил Николаевич, профессор – он-лайн
Куличихин Валерий Григорьевич, член-корреспондент РАН
Лысак Владимир Ильич, академик РАН – он-лайн
Максимов Антон Львович, академик РАН – он-лайн
Муллюков Радик Рафикович, академик РАН – он-лайн
Озерин Александр Никифорович, член-корреспондент РАН
Пономаренко Сергей Анатольевич, член-корреспондент РАН – он-лайн
Рошупкин Дмитрий вальентинович, член-корреспондент РАН
Солдатов Александр Владимирович, профессор
Хаширова Светлана Юрьевна, член-корреспондент РАН
Чвалун Сергей Николаевич, член-корреспондент РАН

Шикин Александр Михайлович, профессор – он-лайн
Докладчики
Александров Евгений Викторович, директор ЦК НТИ «Цифровое материаловедение» МГТУ имени Баумана
Андреичев Андрей Леонидович, руководитель лаборатории технологии получения углеродистых волокон АО «Юматекс»
Асалханов Валерий Анатольевич, главный технолог ООО «Полярный литий»
Жедаев Александр Алексеевич, руководитель направления Проектного офиса по новым материалам и технологиям ЧУ «Наука и инновации»
Козлов Денис Владимирович, директор ЦК НТИ НГУ Технологии моделирования и разработки новых функциональных материалов с заданными свойствами»
Лукина Анна Ираклиевна, заместитель директора департамента исследований и разработок АО «Препрег-СКМ»
Тепяев Сергей Владимирович, заместитель генерального директора по науке ООО «Росатом Аддитивные технологии»
Участники совещания
Тананаев Иван Гундарович, академик РАН
<i>От Госкорпорации «Росатом»</i>
Шевченко Андрей Борисович, директор по технологическому развитию
Иванец Дмитрий Васильевич, заместитель директора по технологическому развитию – начальник отдела развития технологий новых материалов и веществ
Кулагин Алексей Николаевич, советник отдела развития технологий новых материалов и веществ
Васин Александр Александрович, руководитель направления отдела по внедрению новых технологий ЧУ «Росатом Технологическое развитие»
<i>От ЧУ «Наука и инновации»</i>
Вернигора Артем Сергеевич
<i>От АО «Юматекс»</i>
Кривицкая Ольга Александровна, руководитель направления по управлению интеллектуальной собственностью
Фокин Дмитрий Сергеевич, руководитель направления по качеству и эффективности процессов
Цыпакин Алексей Александрович, руководитель проектов
<i>От АО «Препрег-СКМ»</i>
Чурсова Лариса Владимировна, директор департамента исследований и разработок
Багинская Анна Ираклиевна, заместитель директора департамента исследований и разработок
Пушкарь Александра Николаевна, руководитель проектного управления
Гребенева Татьяна Анатольевна, начальник лаборатории связующих
Сагомонова Валерия Андреевна, старший научный сотрудник
Байков Игорь Николаевич, начальник лаборатории полимерных композиционных материалов
Шмойлов Евгений Евгеньевич, руководитель направления термостойких связующих
Шумаков Антон Алексеевич, директор проекта

От АО «Росатом Недра»
Выховская Вероника Евгеньевна, директор по развитию бизнеса
От ООО «РЭНЕРА»
Большакова Александра Николаевна, директор по науке
От центра НТИ НГУ «Технологии моделирования и разработки новых функциональных материалов с заданными свойствами»
Потемкин Дмитрий Игоревич, заместитель директора Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
От АО «Институт пластмасс»
Андреева Татьяна Ивановна, первый заместитель генерального директора

Повестка:

1. **Вступительное слово** председателя Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президента РАН академика **Алдошина Сергея Михайловича**.
2. **Вступительное слово** председателя Экспертного комитета, первого заместителя директора по науке ЧУ «Наука и инновации» профессора **Дуба Алексея Владимировича**.
3. **Вступительное слово** директора по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» **Шевченко Андрея Борисовича**.
4. **Доклады** «Статус выполнения мероприятий за 2024 год по направлению «Аддитивные технологии» ДК ТНМиВ» руководителя направления Проектного офиса по новым материалам и технологиям ЧУ «Наука и инновации» **Жедаева Александра Алексеевича** и заместителя генерального директора по науке ООО «Росатом Аддитивные технологии» **Тепяева Сергея Владимировича**.
5. **Выступление** эксперта по направлению «Аддитивные технологии» ДК ТНМиВ» член-корреспондента РАН **Хашировой Светланы Юрьевны**.
6. **Доклады** «Статус выполнения мероприятий за 2024 год по направлению «Полимерные композиционные материалы» ДК ТНМиВ» руководителя лаборатории технологии получения углеродных волокон АО «Юматекс» **Андреичева Андрея Леонидовича** и заместителя директора департамента исследований и разработок АО «Препрег-СКМ» **Лукиной Анны Ираклиевны**.
7. **Согласование изменений**, вносимых в комплексную научно-техническую программу полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства». Руководитель лаборатории технологии получения углеродных волокон АО «Юматекс» **Андреичев Андрей Леонидович**.
8. **Выступление** эксперта по направлению «Полимерные композиционные материалы» ДК ТНМиВ» член-корреспондента РАН **Пономаренко Сергея Анатольевича**.
9. **Доклад** «Статус выполнения мероприятий за 2024 год по направлению «Редкие и редкоземельные металлы» ДК ТНМиВ» главного технолога ООО «Полярный литий» **Асалханова Валерия Анатольевича**.
10. **Выступление** эксперта по направлению «Редкие и редкоземельные металлы» ДК ТНМиВ» академика РАН **Тананаева Ивана Гундаровича**.
11. **Доклад:** «Статус выполнения мероприятий за 2024 год по направлению «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» ДК ТНМиВ» директора ЦК НТИ «Цифровое материаловедение» МГТУ имени Баумана **Александрова Евгения Викторовича** и заместителя директора ЦК НТИ НГУ Технологии моделирования и разработки новых функциональных материалов с заданными свойствами» **Козлова Дениса Владимировича**.

12. Заключительные слова председателя Научного совета РАН по материалам и наноматериалам академика **Алдошина Сергея Михайловича**, председателя Экспертного комитета профессора **Дуба Алексея Владимировича**, директора по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» **Шевченко Андрея Борисовича**.

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, как и в прошлом году, проведение научно-технической экспертизы результатов реализации «дорожной карты» (ДК) высокотехнологичного направления (ВТН) «Технология новых материалов и веществ».



Он напомнил, что по высокотехнологическим направлениям были подписаны соглашения между правительством и компаниями-лидерами, которые брались за развитие утвержденных правительством направлений. Результаты этих работ проходят независимую экспертизу в экспертных комитетах, которые создавались по каждому высокотехнологичному направлению, и в научных советах Российской академии наук, которые утверждены постановлением президиума и закреплены за высокотехнологическими направлениями. При этом у многих советов выработалась практика проведения совместных заседаний научных и экспертных советов, поскольку состав специалистов во многом перекрывается. Сергей Михайлович отметил, что по каждому из четырех направлений ДК ВТН предусмотрены рецензенты, заранее ознакомившиеся с отчетными материалами. Проблема состояла в том, что, как и в прошлом году, Академия наук получила из правительства отчетные материалы, которые не пригодны для экспертизы, поскольку в них отражены только индикаторы. Поэтому были запрошены дополнительные материалы, в соответствии с которыми проводилась экспертиза.

Далее С.М. Алдошин предоставил слово **Алексею Владимировичу Дубу**, возглавляющему экспертный комитет. Он отметил, что, действительно, очень важно, чтобы обсуждение дорожной карты, в которую входят разные механизмы финансирования, проходило в Академии наук, интегрирующую всю информацию по соответствующим направлениям, именно для того, чтобы возникло совместное понимание правильности движения. С.М. Алдошиным было правильно сказано, что от компаний-лидеров формально требуется подтверждение исключительно процентов исполнения индикаторов, но, не обсуждая содержания, процент исполнения подтверждать довольно тяжело. Поэтому второй год проводятся совместные обсуждения для того, чтобы и критерии, и, соответственно, основные вопросы были одни и те же для формирования скоординированных оценок и суждений. А.В. Дуб обратил особое внимание, что будут

докладываться результаты работ 2024 года и что они финансировались по разным механизмам.

После чего С.М. Алдошин предоставил слово директору по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» **Андрею Борисовичу Шевченко**. А.Б. Шевченко отметил, 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, где компанией-лидером является ГК «Росатом» и новое направление, которое появилось со своими лидерами – МГТУ им. Баумана и Новосибирский ГУ – 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.

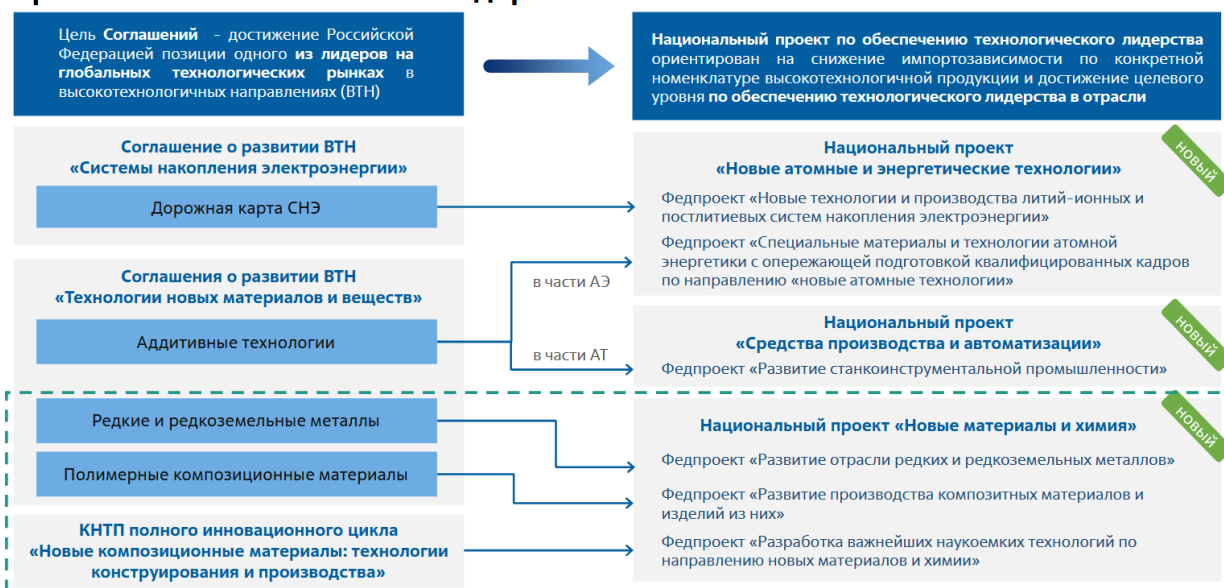
В соглашение заложен принцип открытого формата: любая компания, которая считает себя компетентной, может присоединиться к реализации этого соглашения, как это сделано по направлению цифрового материаловедения, где сейчас два лидера – два Центра компетенций. Кроме того, предполагалось, что для проведения 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. 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.

В 2024 году задан новый формат технологического развития РФ – от соглашений перешли к национальным проектам технологического лидерства, ориентированных на снижение импортозависимости по конкретной номенклатуре высокотехнологичной продукции и достижение целевого уровня по обеспечению технологического лидерства в

отрасли. Отдельные направления ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ вошли в различные федеральные проекты национальных проектов технологического лидерства.

Участие Росатома в формировании новых национальных проектов технологического лидерства



Так направление «Аддитивные технологии» вошло в два федеральных проекта – это «Специальные материалы и технологии атомной энергетики с опережающей подготовкой квалифицированных кадров по направлению «новые атомные технологии» национального проекта «Новые атомные и энергетические технологии» и «Развитие станкоинструментальной промышленности» национального проекта «Средства производства и автоматизации». В национальный проект «Новые материалы и химия» вошли направление ДК ВТН «Редкие и редкоземельные металлы» (федеральный проект «Развитие отрасли редких и редкоземельных металлов»), направление «Полимерные композиционные материалы» (федеральный проект «Развитие производства композитных материалов и изделий из них») и КНТП полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства» (федеральный проект «Разработка важнейших наукоемких технологий по направлению новых материалов и химии»).

Возвращаясь к результатам выполнения ДК ВТН «Технология новых материалов и веществ», А.Б. Шевченко сообщил, что в 2024 году Госкорпорацией «Росатом» было реализовано следующее количество НИОКР: по поднаправлению «Полимерные композиционные материалы» 10 (план – 10), «Аддитивные технологии» 9 (план – 9) и «Редкие и редкоземельные металлы» 2 (план – 2).

Особо А.Б. Шевченко отметил имеющиеся риски и основные проблемы:

- отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты;
- отдельная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, дублирующая действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств;
- отсутствие необходимой нормативно-правовой базы для применения аддитивных и других инновационных технологий в различных отраслях промышленности (нормативные правовые акты, документы по стандартизации, аттестации и сертификации и пр.).

С решением некоторых из них А.Б. Шевченко обратился к Академии наук. Так, серьезная проблема – найти общий язык с регуляторами, например Ростехнадзором, для

быстрейшего внедрения разработанных приборов, технологий, в частности аддитивных, и др. 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»

В своем докладе руководитель направления Проектного офиса по новым материалам и технологиям ЧУ «Наука и инновации» **Жедаев Александр Алексеевич** остановился на результатах тех проектов, которые были выполнены в 2024 году в рамках Дорожной карты по направлению «аддитивные технологии».



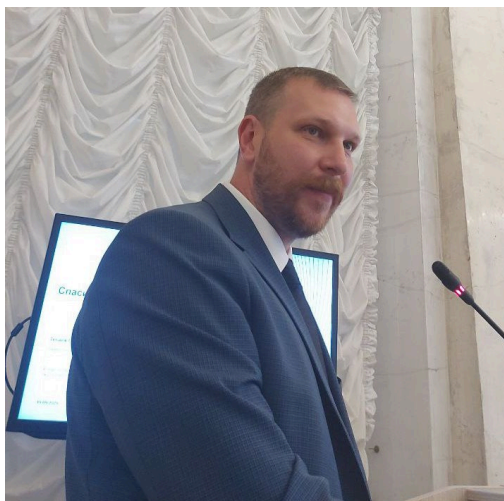
Один из них – «Разработка оборудования и технологии аддитивного производства коррозионностойких жаропрочных и интерметаллидных материалов с использованием высокотемпературного подогрева». Предпосылки выполнения проекта: отсутствие отечественных аналогов установок селективного лазерного плавления с подогревом объема рабочей до 800оС для работы с жаропрочными сплавами. Цель проекта: разработка технологии и оборудования высокотемпературного селективного лазерного плавления (Далее – ВТСЛП). Результат/продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: технология ВТСЛП для работы со сплавами 08X18H10T, ВЖ-159, ВИТ7Л. РКД и опытный образец 3D-принтера ВТСЛП. Заказчик / исполнитель проекта: РФ в лице ГК «Росатом» / АО «НПО «ЦНИИТМАШ». Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: импортонезависимость в критических технологиях, повышение конкурентоспособности отечественных решений на мировом рынке. Уровень готовности продукта/технологий: 6. Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: возможность изготавливать ответственные детали из жаропрочных сплавов с контролем качества на каждом этапе. Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: построено на основе отечественной программно-аппаратной платформы и ключевых компонентах.

Следующий проект – «Разработка и изготовление изделий из металлических и композиционных материалов для атомной энергетики методом селективного электронно-лучевого плавления с высокотемпературным подогревом рабочего объема». Предпосылки проекта: рост потребности в изготовлении изделий из тугоплавких металлов (Nb, Mo, W) для ракетно-космической и ядерной энергетики. Цель проекта: разработка технологии и оборудования высокотемпературного селективного электронно-лучевого плавления (Далее – ВТСЭЛП). Результат/продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: технология ВТСЭЛП для работы с металлами W, Mo, Nb и сплавами на их основе. РКД и опытный образец 3D-принтера ВТСЛП. Заказчик / исполнитель проекта: РФ

в лице ГК «Росатом» / АО «НИИ НПО «ЛУЧ». Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: производство деталей для аэрокосмических двигателей, производство элементов для ядерных энергетических установок и газотурбинных систем. Уровень готовности продукта/технологий: 6. Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: возможность изготавливать ответственные детали из тугоплавких металлов с контролем качества на каждом этапе. Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: проект может быть локализован на отечественных производственных площадках с интеграцией в цепочки поставок «Росатома» и смежных предприятий. Технология масштабируема для серийного выпуска установок и может быть адаптирована под нужды различных отраслей (атомная, космическая, оборонная, энергетическая).

Далее докладчик остановился на результатах выполнения проектов «Разработка технологий и аддитивного оборудования прямого выращивания заготовок элементов внеядерного острова и пространственных изделий с применением проволочных материалов» и «Автоматизированная система и методология неразрушающего контроля для изделий АТ», ключевыми особенностями которого являются: учет анизотропии свойств и ориентации поверхностей изделия относительно направления выращивания за счет корректировки параметров в процессе контроля; использование эхо-импульсного, теневого, дифракционного методов контроля; использование фокусировки ультразвуковых волн в заданную область изделия; контроль с использованием иммерсионного слоя;

Продолжил тему выполнения работ **по направлению «Аддитивные технологии»** заместитель генерального директора по науке ООО «РосАТ» **Тепяев Сергей Владимирович**. Одна из них – разработка модельного ряда и изготовление опытных образцов оборудования, по которой в настоящий момент ООО «РосАТ» осуществляет изготовление 3D-принтеров из полностью локализованных отечественных агрегатных узлов.



В рамках следующего проекта «Комплексная отработка технологии изготовления элементов оборудования атомной энергетики при помощи АТ (SLM-метод), заказчик АО «ОКБМ Африкантов» в 2024 году отработаны режимы изготовления изделий из 12X18Н10Т, напечатано сдаточное изделие «Колесо», разработана технологическая документация. Достигнуты следующие характеристики синтезированного материала сплавов марок 12X18Н10Т и ПТ-3В:

1. Отсутствуют макродефекты, 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 стандартному.

По проекту «Разработка опытного образца продуктовой линейки аддитивного оборудования прямого лазерного выращивания с применением металлических порошковых материалов (DMD)» В рамках работ 2024-2025 гг разработана технологическая и рабочая конструкторская документация 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. Получен комплект РКД по результатам приемочных испытаний. Присвоена литера «О1». Достигнут уровень TRL7. отработаны технологические параметры DMD для порошковых материалов 08X18H10T, 12X18H10T, 316L, Inconel 625. Изготовлен демонстратор.

В 2024 г. по проекту «Виртуальный 3D-принтер. 2.0» 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.

По докладу С.В. Тепаев сделал следующее заключение:

В рамках реализации мероприятий дорожной карты развития высокотехнологичного направления в 2024-2025 гг.:

- Осуществлена разработка модельного ряда установок 3D-печати методом синтеза на подложке малогабаритного, среднегабаритного и крупногабаритного классов;
- Изготовлен опытный образец установки прямого лазерного выращивания;
- Проведены научно-исследовательские работы в части применения АТ в изготовлении целевых изделий, применяемых на ОИАЭ;
- Разработан программный комплекс, обеспечивающий моделирование оптимальных технологических параметров работы аддитивного лазерного оборудования.

Он предложил поддержать актуальность выполнения проектов и рекомендовать продолжение данных работ.

Эксперт от Научного совета РАН по материалам и наноматериалам по направлению «Аддитивные технологии» член-корреспондент РАН **Светлана Юрьевна Хаширова** представила анализ отчетных материалов, включающие презентации по выполненным проектам.

Она отметила, что *выполненные ГК «Росатом» мероприятия соответствуют дорожной карте и актуальны, так как направлены на разработку отечественного оборудования с собственным программным обеспечением и материалов для аддитивных технологий.* Но имеются замечания и вопросы к содержанию представленной отчетной документации.

По результатам экспертизы отчетных материалов установлено следующее:

В рамках поднаправления «Аддитивные технологии» дорожной карты запланировано 5 общих показателей, 2 показателя государственных программ, 11 индикаторов, из них 2 – наука и технологии, 5 – кадры, 2 – экосистемы, 2 – рынок. Значения запланированных показателей и индикаторов за отчетный 2024 год достигнуты только по мероприятиям, выполненным ГК «Росатом».

Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках развития высокотехнологичного направления с участием Госкорпорации «Росатом» – 16, выполнено на 100 %.

Доля продуктов, по которым создан лабораторный образец, в том числе с участием Госкорпорации «Росатом» – 41,8 % при плане 56,1 %, выполнено на 74,5 %.

Доля продуктов, по которым подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности, в том числе с участием Госкорпорации «Росатом» 21,8 % при плане 31, 6 %, выполнено на 69 %.

Пункты 2.22 и 2.23 отсутствуют в дорожной карте, но приведены в отчете от 23.06.2025 г. Указанные работы показаны как выполненные на 75 и 100 %, хотя эти проекты

были включены в КНТП «Аддитивные технологии», который разрабатывался в 2024 году, но не был запущен. *Чем можно объяснить этот факт?*

По поднаправлению 2. «Аддитивные технологии» в дорожной карте в разделе «Поддержка и реализация НИР и ОКР» указано 9 проектов со сроком исполнения в 2024 году.



Проект 1. НИОКР по отработке 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 (САВ-1), срок исполнения 30.08.2024, ответственный исполнитель ООО «РусАТ». В отчете указано, что работа не начата. *Неясно, как тогда в отчете за 2023 год были представлены результаты по этому проекту.* По данной работе на 2024 год предусмотрено изготовление порошков для 3D печати. *Какие порошки для 3D печати были изготовлены? Получены ли на них ТУ, проведена ли их сертификация? В представленных презентационных материалах нет фотографий реальных изделий, отсутствует информация о проведении исследований микроструктуры и механических свойств изделий, полученных методом 3D-печати из разработанных порошков.*

Проект 2. «Разработка модельного ряда и изготовление опытных образцов оборудования SLM». Разработано и изготовлено 3 опытных образца аддитивного оборудования: мало-, средне-, крупногабаритного класса. Основные комплектующие производятся в организациях, входящих в ГК «Росатом». *Работа выполнена в полном объеме.*

Проект 3. Комплексная отработка технологии изготовления элементов оборудования атомной энергетики при помощи аддитивных технологий (SLM-метод), АО «ОКБМ Африкантов». Результат на 2024 год, указанный в дорожной карте: «Получен результат проведения комплексных исследований и испытаний изделий», исполнение 31.07.2024 г. Результатом проекта, согласно представленной презентации, является создание центра аддитивных технологий и технология изготовления изделий (парогенераторов и насосного оборудования), отработанная до TRL 6. *В презентации нет фотографий реальных напечатанных изделий. Для изготавливаемого элемента насоса и парогенератора приведены только модели изделий. Не приведены результаты комплексных исследований и испытаний изделий. Нет микрофотографий, подтверждающих отсутствие макро-дефектов, не сплавления, трещин как на поверхности заготовок, так и в структуре синтезированного материала.*

Проект 4. 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 (Виртуальный 3D-принтер. 2.0) ЕОТП-МТ-438 (в развитие ЕОТП-МТ-97). Приведена развернутая информация, позволяющая оценить качество выполненных работ и преимущества по сравнению с мировыми конкурентами. *Работа выполнена в полном объеме на высоком уровне.*

Проект «Разработка опытного образца продуктовой линейки аддитивного оборудования прямого лазерного выращивания с применением металлических порошковых материалов (DMD)», 12.21-10.25



КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА*:

Предпосылки проекта: Утвержденная дорожная карта реализации аддитивных технологий Госкорпорации «Росатом» (распоряжение от 07.08.2020 №1-1472-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 нержавеющей стали, а также расширена номенклатура применяемых в технологии сплавов и изготавливаемых изделий для автомобильной отрасли
- Создана конструкторская документация опытного образца установки прямого лазерного выращивания с литерой «О1»
- Разработаны и изготовлены 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/технологии: 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 база ФГУП «ПСЗ»

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/исполнители 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 Этап №3 НИОКР Решение о приеме результатов проекта и сдачи в промышленную эксплуатацию

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

* Общий объем средств, выделенных в рамках соглашения о предоставлении субсидии, составил 190,94 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.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План	Факт/ прогноз
Бюджет проекта на 2024 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	44,99	44,99
	Федеральный бюджет	133,35*	133,35*
Бюджет проекта на 2025 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	70,13	70,13
	Федеральный бюджет	-	-
Дата достижения результата		01.10.2025	01.10.2025

Проект 5. Разработка оборудования и технологии аддитивного производства коррозионностойких, жаропрочных и интерметаллидных материалов с использованием высокотемпературного подогрева (РТТН). *Работа выполнена в полном объеме.* Приведены физико-механические свойства напечатанных изделий, которые имеют значительное преимущество по сравнению с традиционными технологиями. Однако есть замечания. В презентации не приведены фото разработанных и изготовленных установок, показаны только модели. В презентации отсутствуют фотографии реальных изделий.

Проект 6. Разработка и изготовление изделий из металлических и композиционных материалов для атомной энергетики методом селективного электронно-лучевого плавления с высокотемпературным подогревом рабочего объема (РТТН). *Работа выполнена в полном объеме.* Разработаны две установки для печати порошками и проволокой. Приведены результаты испытаний образцов только по прочности. Неясно, при каких условиях испытывались образцы, прочность которых указана на слайде 7 (презентация Жедаева А.А.). Проводились ли испытания в условиях, приближенных к эксплуатационным, согласно дорожной карте? Не приведены реальные фотографии принтеров и напечатанных опытных образцов изделий.

Проект 7. Разработка технологий и аддитивного оборудования прямого выращивания заготовок элементов внеядерного острова и пространственных изделий с применением проволоочных материалов (РТТН). *Работа выполнена в полном объеме.* Разработаны две установки для печати: методом плазменно-дугового и электродугового выращивания, а также отечественная программно-аппаратная платформа управления аддитивным оборудованием (ПАП). Приведены результаты испытаний образцов, изготовленных из титанового сплава и аустенитной стали на прочность. Неясно, с помощью какого из методов изготовлены образцы, свойства которых представлены на слайде.

Проект 8. Разработка автоматизированной системы и методологии неразрушающего контроля для изделий АТ. По данному проекту возникают расхождения между дорожной картой, представленным отчетом и презентацией. В дорожной карте для работ,

связанных с неразрушающим контролем, срок завершения в 2023 году. В представленном отчете указано, что работа не начата. По результатам предварительной проработки принято решение о нецелесообразности реализации проекта. При очередной актуализации дорожной карты проект будет исключен из плана мероприятий. При этом в презентации приведен отчет о разработке автоматизированной системы и методологии неразрушающего контроля для изделий АТ. Согласно презентации, работа выполнена в полном объеме. С чем связано такое несоответствие?

Проект 9. «Создание высокотехнологичного цифрового производства прецизионных изделий для медицинской отрасли на базе аддитивных технологий», срок исполнения 01.12.2024. В дорожной карте проект присутствует со сроком исполнения в 2024 году. В отчете указано, что фактический срок исполнения в 2025 году. На какой стадии выполнения этот проект, и какие результаты достигнуты к настоящему времени? В презентации отсутствует информация, необходимая для оценки качества и полноты выполнения данной работы.

В отчете приведена работа «Технология изготовления персонализированных имплантов и медицинского инструментария из биосовместимых полимеров с использованием процессов экструзии и селективного лазерного спекания. Технология нанесения нанопокровов для улучшения остеоинтеграции костных имплантатов», выполненная частично: на 66, 7 %. В дорожной карте эта работа отсутствует. С чем это связано, и проводится ли такая работа?



В презентации Жедаева А.А. приведена информация о разработке 2 национальных стандартов в области аддитивных технологий: Проект ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Оборудование селективного лазерного сплавления с высокотемпературным подогревом рабочей зоны построения. Общие требования».

- Проект ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Оборудование селективного электронно-лучевого сплавления с высокотемпературным подогревом рабочей зоны построения. Общие требования».

В дорожной карте со сроком исполнения в 2024 году указана разработка первых редакций 4 проектов национальных стандартов в области аддитивных технологий:

- ГОСТ Р Управление жизненным циклом металлопорошковых композиций. Общие требования;

- ГОСТ Р Образцы для испытаний. Оценка геометрических способностей систем аддитивного производства;

- ГОСТ Р Композиции металлопорошковые. Определение содержания влаги;

- ГОСТ Р Композиции металлопорошковые. Определение гранулометрического состава методом лазерной дифракции. Разработаны ли эти стандарты?

Общие замечания ко всем проектам:

В отчетных материалах по всем проектам поднаправления 2. «Аддитивные технологии» за 2024 год отсутствует развернутая информация, необходимая для полной

оценки научной новизны, соответствия технологических решений мировому уровню, конкурентоспособности разрабатываемой продукции на мировом и российском рынке. В отчетной презентации практически отсутствуют данные о физико-химических и других свойствах экспериментальных образцов, реальные фото изделий, изготовленных с применением аддитивных технологий. Неясно, сколько разработано собственных материалов для 3D печати и есть ли на них паспорта? Какая доля собственных комплектующих в разработанном оборудовании?

Недостаток представленной информации не позволяет в полной мере выявить оригинальность и значимость полученных результатов, а также инновационность разработанных материалов и технологий.

Осуществленная экспертная оценка позволяет сделать следующие заключения:

- новизна полученных результатов и инновационность разработанных технологий заключается в разработке новых образцов аддитивного оборудования с отечественным программным обеспечением и материалов для 3D печати;

- согласовать отчеты в полном объеме возможно после предоставления исполнителями Дорожной карты дополнительных материалов, подтверждающих полученные результаты и их уровень по сравнению с мировыми аналогами;

- согласовать отчеты и продолжить финансирование после устранения замечаний.

Первая часть доклада по **направлению полимерные композиционные материалы**, сделан заместителем директора департамента исследований и разработок АО «Препрег-СКМ» **Лукиной Анны Ираклиевны**.

В плане выполнения проекта «Разработка технологий получения комплекса цианатэфирных олигомеров, в том числе обеспечивающих получение полимерных связующих с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия» разработаны технологические инструкции на изготовление цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 260 градусов Цельсия (АСМ 1414М) и цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия (АСМ 300);



наработаны экспериментальные и опытные партии цианатэфирных связующих; разработаны программы и методики испытаний экспериментальных и опытных партий цианатэфирных связующих; разработаны технологические условия на изготовление цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 260 градусов Цельсия и цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия; изготовлены экспериментальные образцы препрегов на основе цианатэфирных связующих АСМ 1414М и АСМ 300; подготовлена заявка на ОТР.

Второй проект «Разработка технологий и организация опытного производства суперконструкционных термопластов для применения в качестве матриц полимерных композиционных материалов» посвящен разработке технологий и организация опытного производства суперконструкционных термопластов – полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона для применения в качестве матриц термопластичных ПКМ.

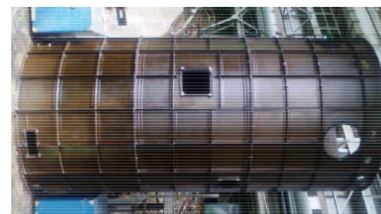
Основные результаты 2024 г.:

- Установлены оптимальные значения параметров процесса синтеза суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ (концентрация полимера в реакционной массе, соотношение мономеров (мольное), время выдержки полимера на конечном этапе).
- Отработан процесс измельчения реакционной массы, позволяющий получать порошки требуемого гранулометрического состава.
- Определен оптимальный по энерго- и трудозатратам и аппаратурному оформлению способ регенерации промывной воды.
- Разработаны проекты технологических инструкций на изготовление (синтез) ПЭЭК (ТИ № 072-2024 от 26.09.2024) и ПАСУ (ТИ № 073-2024 от 26.09.2024).
- Проведено исследование комплекса свойств полученных суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ.
- Разработана Технологическая рекомендация (ТР) «Изготовление препрегов на основе экспериментальных партий полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона». В разделе 3 ТР выявлен результат интеллектуальной деятельности – секрет производства «Технология изготовления препрега на основе экспериментальной партии полиарилсульфона» (достигнут целевой показатель КНТП).

Результаты проекта, полученные в 2024 году



- разработаны технологические инструкции на изготовление цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 260 градусов Цельсия (АСМ 1414М) и цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия (АСМ 300)
- наработаны экспериментальные и опытные партии цианатэфирных связующих
- разработаны программы и методики испытаний экспериментальных и опытных партий цианатэфирных связующих
- разработаны технологические условия на изготовление цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 260 градусов Цельсия и цианатэфирного связующего с температурой стеклования до 400 градусов Цельсия
- изготовлены экспериментальные препрегов на основе цианатэфирных связующих АСМ 1414М и АСМ 300
- подготовлена заявка на ОТР



Основные свойства разработанных цианатэфирных связующих

Показатели	Связующее АСМ 1414М		Связующее АСМ 300	
	Требования ТЗ	Результат	Требования ТЗ	Результат
Время гелеобразования при температуре 160 °С, мин	не менее 100	125	не менее 100	142
Tg, °С	не менее 260	274	не менее 390	402
Срок хранения при температуре: + 20 °С, дней	не менее 21	Соотв.	не менее 21	Соотв.

4

Следующий 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 2024 году:

- 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.
- Проведены испытания термомеханических и физико-механических свойств образцов стеклопластика в соответствии с Программой и методиками испытаний.
- Разработаны ТР и ТИ на изготовление однокомпонентного и двухкомпонентного негорючих термореактивных связующих.
- Нарботаны опытные партии негорючих термореактивных связующих.
- Разработаны программы и методики испытаний опытных партий негорючих термореактивных связующих.
- Проведены испытания опытных партий негорючих термореактивных связующих в соответствии с Программами и методиками испытаний.
- Разработаны технические условия на однокомпонентное и двухкомпонентное негорючие термореактивные связующие.

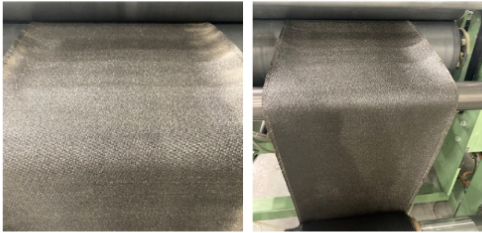
Результаты проекта, полученные в 2024 году

- Установлены оптимальные значения параметров процесса синтеза суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ (концентрация полимера в реакционной массе, соотношение мономеров (мольное), время выдержки полимера на конечном этапе).
- Отработан процесс измельчения реакционной массы, позволяющий получать порошки требуемого гранулометрического состава.
- Определен оптимальный по энерго- и трудозатратам и аппаратурному оформлению способ регенерации промывной воды.
- Разработаны проекты технологических инструкций на изготовление (синтез) ПЭЭК (ТИ № 072-2024 от 26.09.2024) и ПАСУ (ТИ № 073-2024 от 26.09.2024).
- Проведено исследование комплекса свойств полученных суперконструкционных термопластов ПЭЭК и ПАСУ:

Наименование показателя	Значение показателя
Полиэфирэфиркетон	
Температура стеклования, С	146
Показатель текучести расплава, не менее, г/10 мин.	91
Насыпная плотность, г/см³	0,36
Гранулометрический состав, %	более 500 мкм – отсутствуют 200-500 мкм – 66% менее 200 мкм – 33%
Полиарилсульфон	
Температура стеклования, С	228
Приведенная вязкость, дл/г	0,41
Насыпная плотность, г/см³	0,09
Гранулометрический состав, %	более 315 мкм – 5% 200-315 мкм – 37% 100-200 мкм – 52% менее 100 мкм – 5%



•Разработана Технологическая рекомендация (ТР) «Изготовление препрегов на основе экспериментальных партий полиэфирэфиркетона и полиарилсульфона». В разделе 3 ТР выявлен результат интеллектуальной деятельности – секрет производства «Технология изготовления препрега на основе экспериментальной партии полиарилсульфона» (достигнут целевой показатель КНТП).



Внешний вид препрега на основе ПАСУ и углеродной ткани

Основные свойства препрегов на основе суперконструкционных термопластов, изготовленных по разработанной ТР

Материал	Массовая доля связующего, %	Поверхностная плотность препрега, г/м²
Препрег на основе ПАСУ	42	495
Препрег на основе ПЭЭК	44	507

7

Следующие три проекта начаты в 2024 году. По ним получены следующие результаты.

Проект «Разработка технологий получения препрегов, углепластиков и гибридных полимерных композиционных материалов со сверхнизкой поверхностной плотностью наполнителя (от 30 г/кв.м) для создания сверхлёгких конструкций авиационного и ракетно-космического назначения»: проведены патентные исследования по определению технического уровня и тенденций развития в области получения препрегов углепластиков и гибридных материалов с плотностью наполнителя от 30 до 75 г/кв.м. Разработаны эпоксидное связующее и технические условия (ТУ) на эпоксидное связующее. Разработана проектная документация на технологическое оборудование для производства препрегов со сверхнизкой поверхностной плотностью. Разработаны проекты технических инструкций (ТИ) на производство препрегов со сверхнизкой поверхностной плотностью. Рассчитаны статическая и динамическая прочности концептуальной лопадки вентилятора газотурбинного двигателя самолета транспортной категории.

Проект «Разработка полимерных композиционных материалов нового поколения на основе углеродного волокна, обладающих повышенной стойкостью к ударным нагрузкам и вязкостью разрушения»: подготовлен отчет о патентных исследованиях по определению

технического уровня и тенденций развития в области связующих с повышенной вязкостью разрушения и температурой стеклования; изготовлены экспериментальная и опытная партии ударопрочного эпоксидного связующего, получены протоколы испытаний; подготовлен научно-технический отчет о расчетно-экспериментальном обосновании применения полимерных композиционных материалов на основе ударопрочного эпоксидного связующего и углеродных наполнителей для повышения ударопрочности деталей, математическое моделирование поведения материала; разработаны ТИ и ТУ на ударопрочное эпоксидное связующее.

Проект «Разработка новых высокопроизводительных технологий и создание оборудования для получения термопластичных препрегов с пониженным коэффициентом вариации свойств»: разработана КД на оборудование для изготовления однонаправленных препрегов; проведены патентные исследования уровня и тенденций развития объектов техники в области разработки однонаправленных препрегов на основе низкотемпературных; разработана программа и методики испытаний ТПКМ; разработана технология и оформлена ТИ на изготовление препрега на основе полиамида (ПА) и полипропилена (ПП); выпущена партия разработанной продукции – препрега АСМ РАС200UD, артикул Спт-84001 в количестве 30 п.м.

Проект «Разработка технологий получения препрегов, углепластиков и гибридных полимерных композиционных материалов со сверхнизкой поверхностной плотностью наполнителя (от 30 г/кв.м) для создания сверхлёгких конструкций авиационного и ракетно-космического назначения», (2024-2026 гг.)



ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРОЕКТЕ:

Цель работы: разработка технологии получения связующего и технологий получения препрегов со сверхнизкой поверхностной плотностью

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов работы: организация производства препрегов со сверхнизкой поверхностной плотностью (от 30 г/кв.м). Создание тонких композитов с большим разнообразием ориентацией волокон

Исполнитель/соисполнители: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Авиационный Институт (Национальный исследовательский университет)»

Сроки выполнения: 2024-2026 гг.

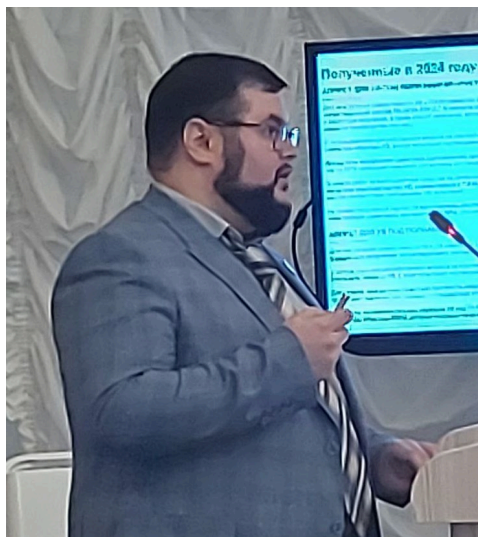
ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Наименование показателя	Требования ТЗ на НИР/ОКР (пп. 3.2)
Поверхностная плотность препрегов, г/кв.м	30-75
ПКМ на основе углеродного наполнителя	
Предел прочности при растяжении, МПа	не менее 1700
Предел прочности при изгибе, МПа	не менее 700
Остаточная прочность при сжатии после воздействия удара при укладке [0/36/72/108/144/180/-144/-108/-72/-36]10S, МПа	не менее 180

В 2024 г. завершен проект «Разработка составов и технологий нанесения на полимерные композиционные материалы специальных функциональных покрытий, обеспечивающих функции молниезащиты», его результаты: по проекту: создана программа и методика испытаний функциональных покрытий и ПКМ с ними; произведены опытные партии покрытий и ПКМ, проверено их соответствие техническим условиям; исследованы физико-механические свойства и молниестойкость образцов ПКМ с покрытиями; разработаны технологии совмещения покрытий с ПКМ и созданы прототипы агрегатов с молниезащитой, проведен анализ патентоспособности и подана заявка на техническое решение.

По продолжающемуся проекту «Разработка технологии вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол, включая трансфер существующей технологии» в 2024 году разработана лабораторная технология вторичной переработки углепластиков на основе термореактивных и термопластичных смол (связующих) путем удаления связующего из углепластика методом пиролиза. Разработаны лабораторные технологии изготовления молотых и резаных углеродных волокон, углерод-углеродных композиционных и нетканых материалов.

Доклад продолжил руководитель лаборатории технологии получения углеродных волокон АО «Юматекс» **Андреичев Андрей Леонидович** с результатами выполнения проекта НИР/ОКР «КНТП-Прекурсор».

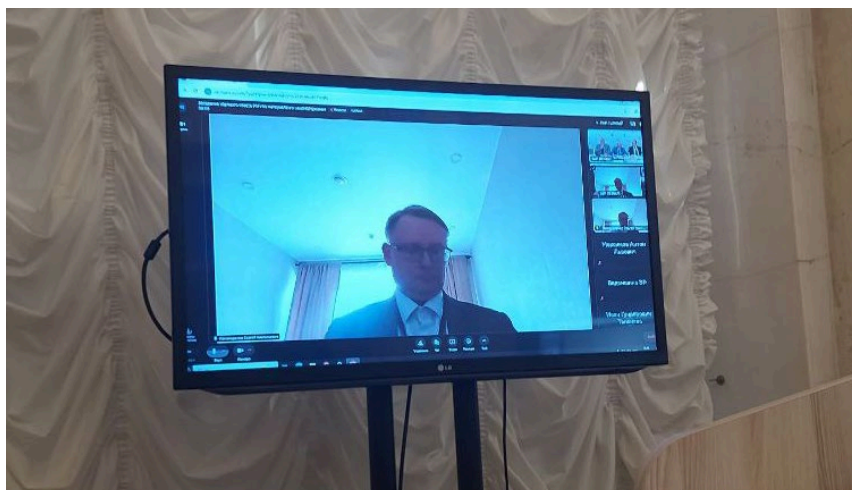


В 2024 году в плане формования волокон расплавным методом проведены синтезы и исследованы свойства сополимеров АН с различными сомономерами – внутренними пластификаторами различного состава и молекулярных масс. Исследованы реологические характеристики полимерных композиций сополимеров АН:МА:ВА (акрилонитрил:метилакрилат:винилацетат): 80:15:5, 80:18:2 и 83:15:2 и %масс., с различными внешними пластификаторами. Диэтиленгликоль определен как наиболее перспективный внешний пластификатор при его содержании в композиции 13–15 %масс. Расплавным формованием получены волокна номиналом 0,1К. Отработан процесс трощения, позволяющий получать прекурсоры номиналом 1К. Исследован процесс перевода прекурсоров в неплавкое состояние с помощью электронно-лучевой обработки (ЭЛО). Определены оптимальная среда для проведения ЭЛО (азот) и необходимые дозы облучения: от 600 кГр для сополимеров с 5 %масс. ВА и от 1000 кГр для сополимеров с 2 %масс. ВА.

В плане сухо-мокрого метода формования волокон исследован процесс сухо-мокрого формования ПАН прекурсоров. Определена оптимальная концентрация прядильных растворов для данного процесса: от 19 до 22 %. При концентрации 19 % и нагреве раствора до 60 °С возможно формование с линейными скоростями истечения до 100 м/мин. Увеличение концентрации до 22 % при 60 °С приводит к снижению предельной скорости до 15 м/мин. Разработана технологическая инструкция лабораторного процесса сухо-мокрого формования ПАН прекурсоров, которой предоставлена правовая охрана в качестве секрета производства. На основе опытных партий ПАН прекурсора, полученных по сухо-мокрому способу формования, изготовлены две опытные партии УВ, в ходе испытаний подтвердившие полное соответствие требованиям ПМ и ТЗ.

Проект: НИР/ОКР «КНТП-Аппрет». В 2024 году проведена разработка аппретирующих составов (аппретов), совместимых с термопластичными матрицами (полиамидные (ПА) и полиэфирэфиркетонные (ПЭЭК) связующие), и технологий их изготовления. Изготовлены на опытной линии экспериментальных образцов УВ с аппретами, совместимыми с ПА и ПЭЭК, и проведение их испытаний.

Отчетные материалы, включающие презентации по выполненным проектам. по направлению «Полимерные композиционные материалы» были проанализированы **экспертом** от Научного совета РАН по материалам и наноматериалам член-корреспондентом РАН **Пономаренко Сергеем Анатольевичем**. Он отметил, что *нет замечаний по существу выполненных работ по этому направлению, представленных в докладах А.И. Лукиной и А.Л. Андреева от АО «ЮМАТЕКС» и «Препрег-СКМ», соответственно.*



Много замечаний есть по представленным в РАН отчетным материалам «Ежегодная отчетность о реализации «дорожной карты» развития высокотехнологичного направления «технологии новых материалов и веществ» на период до 2030 г. за 2024 год» есть, и очень много.

1) Стр. 2 «Уровень достижения «дорожной карты» за отчетный период - 48 %» является очень оптимистичным при Проценте кассового исполнения 20 % от запланированного % на год, в том числе федеральный бюджет: 11 % от запланированного, внебюджетные средства: 21 % от запланированного. Отсюда напрашивается вывод о том, что либо стоимость работ была изначально завышена в несколько раз, либо процент исполнения является «дутым»

2) Стр. 4. 1. Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках развития высокотехнологичного направления (за отчетный год), единиц – 0 при плане 48.

3) Стр. 19 «3. Достижение показателей и индикаторов развития поднаправлений высокотехнологичного направления». Показатели поднаправления 1. "Полимерные композиционные материалы". Недостигнутые показатели: 45 Выполненные показатели: 7

4) Стр. 20 «Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках развития поднаправления (накопленным итогом), МИНОБРНАУКИ РОССИИ, план на 2024 год – 16, факт – «-» ?

5) При этом на стр. 24 читаем «1.2 Число зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности по соответствующему направлению (всего в год) МИНОБРНАУКИ РОССИИ ед (план на 2024 год) 115.0 (факт на 2024 год) 115.0.

Каким цифрам нужно верить – на стр. 4, 20 или 24 (все они противоречат друг другу)?

6) Стр. 24-25 Кадры (индикаторы). «2.1 Число специалистов, закончивших бакалавриат (магистратуру, аспирантуру) по соответствующему направлению МИНПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИИ (?)»

7) Стр. 24-25 Кадры (индикаторы). «2.4 Количество образовательных программ, реализуемых компанией совместно с вузами по всем уровням подготовки (бакалавриат, магистратура, специалитет, аспирантура) МИНПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИИ (?)»

8) Стр. 25 Экосистема «3.2 Количество созданных инжиниринговых и образовательных центров/производственных объектов/технологических полигонов МИНОБРНАУКИ РОССИИ ед (план на 2024 г) – (факт на 2024 год) 0.0 (процент выполнения) 100.0

9) Стр. 25-26 (Рынок) «4.2 Объем мирового рынка продуктов по соответствующему

высокотехнологичному направлению МИНПРОМТОРГ РОССИИ ед (план на 2024 г) 102.5 (факт на 2024 г) 25.0 (процент выполнения) 24.4

10) Стр. 37 «4. Реализация плана мероприятий поднаправления 1. "Полимерные композиционные материалы. 100% исполнения. Неисполненные КТ: 0 Исполненные КТ: 17» При этом ни одно из мероприятий (2.9, 2.10), за реализацию которых отвечал РХТУ им. Д.И. Менделеева – в 2024 году не выполнено.

11) Стр. 46. Мероприятия 3.3, 3.3.3 и 3.3.4 имеют совершенно одинаковое название «Актуализация базы данных рыночной аналитики по российскому / мировому рынкам ПКМ», сроки выполнения и комментарии. И при этом все они выполнены на 100% — вот откуда берется завышение процента выполнения показателей!

12) Стр. 82 «1.2.3 Создание базы данных структур и свойств полимеров. Центр НТИ "Цифровое материаловедение" им. Н.Э. Баумана» - выполнено на 100%. Хотелось бы ознакомиться с созданной базой данных.

13) Стр. 86-89. Для части пунктов дорожной карты (Склотех, МГТУ им. Баумана) сроки исполнения перенесены на 30.06.2025 – 31.07.2025 (вероятно, в связи с несвоевременным поступлением финансирования?)

14) Стр. 97-98. По пунктам 1.13.4 и 1.13.6 (МГТУ им. Баумана) работа не начата

15) Стр. 101. «1.15.3 Дизайн новых материалов на основе суперкомпьютерного моделирования и методов машинного обучения». Чем суперкомпьютерное моделирование отличается от компьютерного моделирования?

16) Стр. 115 «5.1 Формирование экспертного совета, выработка критериев оценки перспективных проектов (Правительство РФ, МИНПРОМТОРГ РОССИИ)» (план на 2024 год) 29.02.2024 (факт на 2024 г) «-» и вообще нет никаких комментариев.

17) Стр. 116 «5.3 Проведение экспертизы проектов, определение источников и объемов финансирования, потенциальных заказчиков МИНПРОМТОРГ РОССИИ (план на 2024 год) 29.02.2024 (факт на 2024 г) «-» и вообще нет никаких комментариев

18) Стр. 116 «5.4 Формирование управляющих, экспертных органов и нормативной базы для осуществления планирования, реализации и контроля выполнения работ Фонд (НТИ МИНПРОМТОРГ РОССИИ) (план на 2024 год) 29.02.2024 (план на 2024 год)»

19) Стр. 122-127. В рамках нормативного регулирования не выполнено практически ни одного мероприятия в 2023 и 2024 годах!

20) Стр. 133 « 2.17.4 Создание цифровой платформы взаимодействия участников дорожной карты» - работа не начата!

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

Докладчик **Асалханов Валерий Анатольевич**, главный технолог ООО «Полярный литий» рассказал о проекте «Технологические исследования получения сподуменового концентрата на сортовых пробах с разработкой технологического регламента», остановившись сначала на его краткой характеристике:

Проект «Технологические исследования получения сподуменового концентрата на сортовых пробах с разработкой технологического регламента»



КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА*:

Предпосылки проекта: отсутствие в России производств по получению сподуменового концентрата для производства карбоната/гидроксида лития батарейного качества из руд месторождений РФ.
Цель проекта: Разработка технологии получения сподуменового концентрата.
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: Сподуменовый концентрат, гидроксид/карбонат лития батарейного качества.
Заказчик / исполнитель проекта: ООО «Полярный литий» / ФГБУ «ВИМС»**.
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: замещение импортных литий-ионных аккумуляторов в РФ для потребителей высокотехнологичных отраслей, укрепление технологического суверенитета.
Уровень готовности продукта/технологий: Фактически достигнутый уровень TRL в 2024 – 7, по итогам реализации уровень TRL – 8
Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: обеспечение технологического суверенитета в области получения сподуменового концентрата
Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: строительство ГОК ООО «Полярный литий» на месторождение Колмозерское

** - Договор заключен с ООО «НН Технические сервисы»

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План, млн руб. с НДС	Факт/прогноз, млн руб. с НДС
Бюджет проекта на 2022 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	2,3	2,3
	Федеральный бюджет	0	0
Бюджет проекта на 2023 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	35,4	35,4
	Федеральный бюджет	0	0
Бюджет проекта на 2025 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	73,3	73,3
	Федеральный бюджет	0	0
Дата достижения результата		май 25	май 25

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА*:

2023	Выполнены исследования вещественного состава и технологических свойств опережающей пробы руды.
2024	Разработана модельная схема обогащения. Выполнены исследования по химико-металлургической переработке сподуменового концентрата до этапа растворения оксида лития в раствор без получения гидроксида и карбоната лития. Выполнены исследования вещественного состава и технологических свойств малых технологических проб геолого-технологического картирования, выделены 3 сорта руды.
2025	Разработан технологический регламент обогащения руды по гравитационно-флотационной схеме с технологическими показателями: извлечение Li2O в концентрат 80,25% с содержанием 4,82%. Получение попутной продукции в виде BeO, Ta2O5 и Nb2O5 не представляется возможным, BeO не концентрируется в продуктах обогащения, концентрат Ta2O5 и Nb2O5 обладает низким качеством с содержанием негативных примесей для дальнейшей реализации на рынке.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

На основании полученных материалов разработан технологический регламент для технико-экономической оценки месторождения.

2

Предпосылки проекта: отсутствие в России производств по получению сподуменового концентрата для производства карбоната/гидроксида лития батарейного качества из руд месторождений РФ.

Цель проекта: Разработка технологии получения сподуменового концентрата.

Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик:

Сподуменовый концентрат, гидроксид/карбонат лития батарейного качества.

Заказчик / исполнитель проекта: ООО «Полярный литий» / ФГБУ «ВИМС»**.

Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: замещение импортных литий-ионных аккумуляторов в РФ для потребителей высокотехнологичных отраслей, укрепление технологического суверенитета.

Уровень готовности продукта/технологий: фактически достигнутый уровень TRL в 2024 – 7, по итогам реализации уровень TRL – 8

Проект «Основные технические решения «Комплекса открытых горных работ с объектами инфраструктуры на базе Колмозёрского месторождения литиевых руд»



КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА*:

Предпосылки проекта: отсутствие в России производств по получению сподуменового концентрата для производства карбоната/гидроксида лития батарейного качества из руд месторождений РФ.
Цель проекта: Утверждение основных проектных решений для дальнейшего проектирования
Результат / продукт проекта с описанием ключевых потребительских характеристик: Сподуменовый концентрат, гидроксид/карбонат лития батарейного качества.
Заказчик / исполнитель проекта: ООО «Полярный литий» / ООО «СПб.-Гипрошахт»
Эффекты проекта для смежных отраслей / страны: замещение импортных литий-ионных аккумуляторов в РФ для потребителей высокотехнологичных отраслей, укрепление технологического суверенитета.
Уровень готовности продукта/технологий: Фактически достигнутый уровень TRL в 2024 – 7, по итогам реализации уровень TRL – 8
Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: обеспечение технологического суверенитета в области получения сподуменового концентрата
Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: строительство ГОК ООО «Полярный литий» на месторождение Колмозерское

СТАТУС РЕАЛИЗАЦИИ, КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА*:

2025	Разработан том основных технических решений Комплекса открытых горных работ с объектами инфраструктуры на базе Колмозёрского месторождения литиевых руд, выбраны оптимальные параметры системы разработки карьера с целью минимизации затрат, в т.ч. уменьшение коэффициента вскрыши, выполнен сравнительный анализ по выбору горно-транспортного оборудования
------	--

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОММЕНТАРИИ:

На основании полученных материалов ведется разработка проектной документации и технического проекта комплекса открытых горных работ Колмозёрского месторождения литиевых руд

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА:

Параметр		План, млн руб. с НДС	Факт/прогноз, млн руб. с НДС
Бюджет проекта на 2025 год, млн. руб.	Внебюджетные средства	21,4	73,3
	Федеральный бюджет	0	0
Дата достижения результата		май 25	Июнь 25

Актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта: обеспечение технологического суверенитета в области получения сподуменового концентрата.

Возможности локализации результатов проекта / организации серийного производства: строительство ГОК ООО «Полярный литий» на месторождении Колмозерское

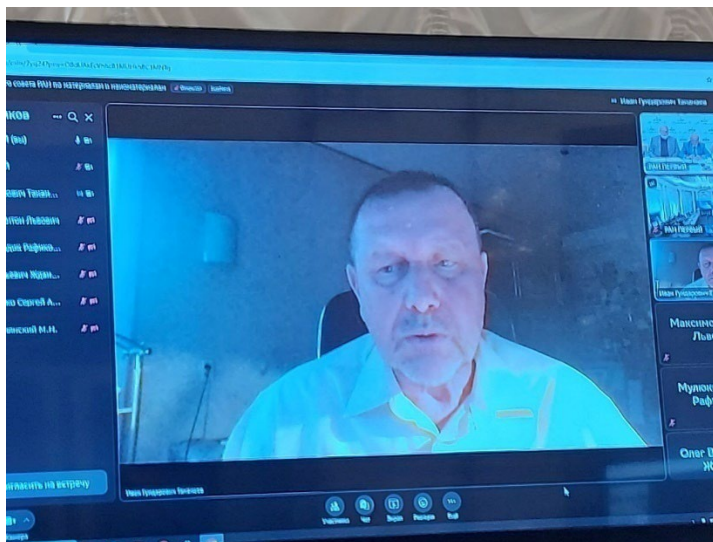
В 2024-25 гг были получены следующие отчётные документы:

- информационные отчёты по этапам 1, 2 и 3. Выполнение исследований вещественного состава и технологических свойств опережающей пробы руды;
- информационный отчёт. Выполнение исследований вещественного состава и технологических свойств малых технологических проб геолого-технологического картирования руды;
- отчёт «Петрографические и минераграфические исследования пород и руд Колмозерского месторождения»;
- Технологический регламент переработки руды Колмозерского месторождения для составления технологической части ТЭО постоянных кондиций.

Академик РАН **Иван Гундарович Тананаев**, академик РАН, заместитель генерального директора ФИЦ Кольский научный центр РАН - директор ИХТРЭМС КНЦ РАН провел экспертизу отчетных материалов по направлению «Редкие и редкоземельные металлы». Он отметил, что целевые показатели высокотехнологичного направления по поднаправлению «Редкие и редкоземельные металлы» соответствуют установленным параметрам, по практически всем технологиям на 2024 год достигнуты планируемые значения УГТ (100%), кроме работ по технологиям наработки коллективного концентрата РЗМ 60,0%, и, следовательно, по отдельным продуктам, получаемых из упомянутого концентрата.

Предложенные цифровые значения целевых показателей развития, оценка качества заполнения параметров по Дорожной карте и данные по параметрам Дорожной карты, внесенные в отчете, выполнены полностью и экспертно согласуются. Однако не все полученные результаты доведены до эксперта для экспертизы. Из полученного для работы статистического отчета очень трудно оценить достоверность результативности и соответствия с запланированными позициями дорожной карты.

Вызывает удивление приведенное в отчете количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках развития высокотехнологичного направления (за отчетный год) - всего 0 единиц. По всей видимости, вопросы планирования и свода полученных результатов от большого числа участников по всем поднаправлениям проводится либо не полностью, либо не до конца корректно. Можно полагать, что не все результаты внесены в ГАСУ. Конечно, эти моменты усложняют экспертизу программы.



По теме освоения литиевого минерального сырья на 2024 год в представленной презентации указано, что на ООО «Полярный литий» разработана модельная схема обогащения, выполнены исследования по химико-металлургической переработке сподуменового концентрата до этапа растворения оксида лития в раствор без получения гидроксида и карбоната лития.

Комментарии:

К результатам первого этапа - исследования вещественного состава и технологических свойств малых технологических проб геолого-технологического картирования, выполненного исполнителем в 2024 г. есть вопросы. Упомянутые данные по минералогическому, вещественному, кристаллохимическому анализу представительных проб минерального сырья (сподумена) Колмозерского месторождения были широко известны еще до старта Программы ТНМиВ. Например, последняя экспедиция по отбору проб для проведения упомянутых анализов и сам анализ состоялись совсем не давно: в 2022 году силами Геологического института КНЦ РАН. Любопытно, что эти результаты анализа были оплачены из средств АО «Наука и инновации» ГК Росатом - соучредителя ООО «Полярный литий». Нет понимания, зачем включать в отчетные документы заведомо хорошо известные данные, проплаченные дважды учредителем.

Второй этап - обогащение минерального колмозерского сырья до получения сподуменового концентрата - также был многократно изучен на ФИЦ КНЦ РАН по направлениям: (1) проведение химических, минералогических и гранулометрических анализов приповерхностной пробы руды месторождения Колмозеро, определение основных рудных минералов; (2) выбор режима предконцентрации с использованием покусковой рентгенолюминесцентной или альтернативной сепарации, обеспечивающей максимальное удаление пустой породы; (3) выбор оптимального режима рудоподготовки, обеспечивающего необходимую степень раскрытия сростков сподумена с сопутствующими минералами; (4) оценка эффективности действия различных реагентов при флотации измельченной сподуменовой руды, прошедшей с предконцентрацию и без нее, выбор оптимального реагентного режима и оценка эффективности операций доизмельчения; (5) разработка технологической схемы сподуменовой руды и определение максимально возможных показателей обогащения; и (6) опытная отработка и проверка выбранного варианта разработанной технологии обогащения сподуменовой руды на представительной пробе на опытной обогатительной установке Горного института, разработка исходных данных на проектирование участка обогащения опытно-промышленной установки по переработке сподуменовых руд Колмозерского месторождения.

По третьему этапу - вскрытие концентрата - в презентации ООО «Полярный литий» нет никакой информации, по какой технологии планируется перерабатывать сподуменовый концентрат, не указаны технологическая схема и параметры переработки. Все отчетные данные подаются для экспертизы без расшифровки содержания текста.

В рамках дискуссии на совещании в Президиуме РАН 15.09.2025 представители ООО «Полярный литий» сообщили, что на сегодня идет процесс поиска наиболее перспективной технологии химического передела сподуменового концентрата и планируется использовать технологию сернокислого вскрытия концентрата.

Несмотря на тот факт, что упомянутая сернокислая технология вскрытия широко известна и была разработана еще в прошлом веке, она на сегодня остается, на наш взгляд, наиболее перспективной с учетом имеющегося опыта по его эксплуатации и требований к быстрому сроку запуска по Дорожной карте Программы. Нельзя не сказать об экономической выгоде применения данной технологии по сравнению с другими в части наличия в избытке серной кислоты на местном рынке. Поэтому эксперт поддерживает этот выбор, невзирая на определенные сложности эксплуатации этой технологии в части экологии (наличие и возможные выбросы серной кислоты). Нужно отметить, что решение ООО «Полярный литий» основывается на решении НТС ГК Росатом секций № 4 и 5 от 13.06.2023 г. На упомянутом НТС были обсуждены подходы к применению

серноокислотной технологии, разработанной АО ВНИИХТ и ИХТРЭМС КНЦ РАН - целиком и полностью адаптированной к вскрытию Колмозерского сырья, включающей в себя: (1) опробование на сподуменовом концентрате стандартной серноокислотной схемы переработки с получением карбоната лития; (2) определение состава и количества образующихся отходов и выдача рекомендаций по их утилизации; (3) опробование на сподуменовом концентрате известкового способа переработки с использованием карбонатита Ковдорского месторождения; определение состава и количества образующихся отходов и выдача рекомендаций по их утилизации; (3) изучение возможности вскрытия сподуменового концентрата без проведения предварительной декрипитации; (4) проведение сопоставительной оценки различных способов переработки сподуменового концентрата и разработка оптимальной схемы получения карбоната лития. Выход лития - более 98% лития из минерального сырья.

Включение экстракционной стадии выделения лития по предложениям академика РАН А.Ю. Цивадзе необходимо обсуждать «на месте» в сжатые сроки совместно с ИФХЭ РАН, ИХТРЭМС КНЦ РАН и ООО «Полярный литий».

На тему выбора технологии переработки сподуменового концентрата: в Решении НТС секций № 4 и 5 ГК Росатома от 13.06.2023 г. четко указано: «Считать достаточными представленные на заседании результаты выполненных работ ГЕОХИ РАН, АО «ВНИИХТ» и ФИЦ КНЦ РАН для разработки Комплексной технологии получения лития из руд Колмозерского месторождения». Тем самым, на наш взгляд, выполненные ООО «Полярный литий» работы в рамках Программы на 2024 и 2025 гг. можно оценить как «создание велосипеда».

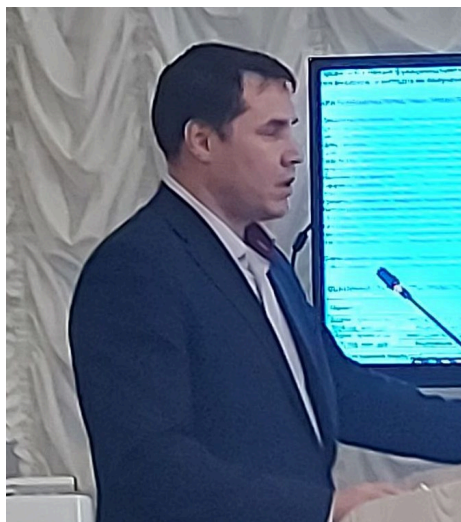
По представленной презентации ООО «Полярный литий»: так указано, что фактически в технологии переработки сподумена в 2024 достигнут уровень готовности продукта/технологий TRL 7. По определению, это значит, что в процессе освоения Колмозерского месторождения АО «Полярный литий» готов продемонстрировать прототип в составе системы в реальных условиях эксплуатации и обладает опытным образцом, изготовленным в реальном масштабе на пилотной производственной линии (!); проведена его демонстрация в реальных условиях эксплуатации. В перечисленном выше у эксперта имеются существенные сомнения.

В отчете в части позиции актуальность/новизна и практическая значимость результатов проекта предложено обеспечение технологического суверенитета в области получения сподуменового концентрата. Эта позиция кажется *не продуманной*: как и актуальность темы, так и новизна, практическая значимость проекта были очевидны еще до старта ТНМиВ, и АО «Полярный литий» никакого технологического суверенитета не продемонстрировал, так как не получил никакого продукта.

В качестве *определенной критики* должен сказать, что при обсуждении результатов Поднаправления 3 «Редкие и редкоземельные металлы» были обсуждены только редкий, и только редкий элемент (литий), тогда как ни одной работы по редкоземельным элементам представлено не было.

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 **Александров Евгений Викторович** начал свое выступление с того, что финансовые средства 2024 года по 10 проектам из 12 были доведены только в конце декабря этого года, поэтому с исполнителями в 2024 году были только заключены договоры на выполнение работ.



По продолжающемуся проекту «Разработка цифровой базы данных по материалам (ПКМ), цифровых паспортов материалов и их увязка с инженерным и научным ПО в рамках общей цифровой платформы» введен в эксплуатацию высокопроизводительный вычислительный кластер. Разработано техническое задание на уникальную цифровую платформу. Создана уникальная наиболее обширная база данных 1143557 полимеров. Сформирован перечень и ПМИ значащих параметров ПКМ и компонентов (42 входных, 25 выходных). Изготовлены 120 типов ПКМ. Впервые предложена концепция дизайна наночешуек микропористых материалов.

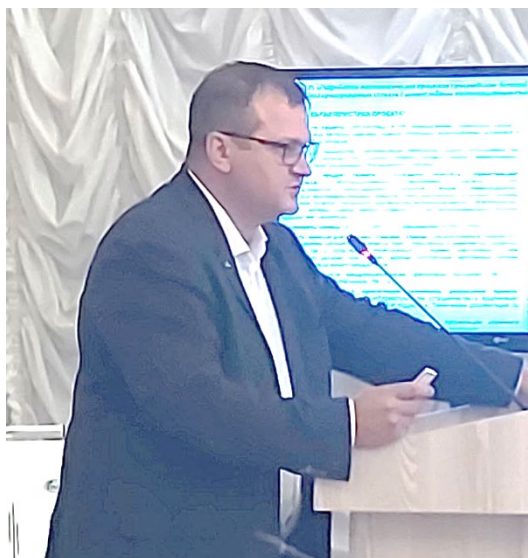
В плане выполнения проекта «Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства» разработаны техническое задание и ПМИ на технологию производства и переработки 13 новых марок СП клеевого и литьевого назначения на основе доступного сырья: бисфенола А, фенолфталеина, 4,4'-диоксифенилсульфона, 4,4'-дихлордифенилсульфона и дихлорангидрида терефталевой кислоты. Получены в килограммовых объемах и испытаны 5 марок СП для масштабирования синтеза: ПЭС-210К, ПЭС-220Л, ПЭС-230Л, ПЭС-250К, ПАР-260К.

Доклад продолжил заместитель директора ЦК НТИ НГУ Технологии моделирования и разработки новых функциональных материалов с заданными свойствами» **Козлов Денис Владимирович**. Он рассказал о выполненных в 2024 году работах по следующим проектам, по которым поступило финансирование.

Проект «Дизайн материалов для термобарьерных покрытий». Проведен первичный вычислительный скрининг веществ, потенциально пригодных в ТБП, в части отбора потенциальных кандидатов для дальнейших исследований. Составлен литературный обзор и анализ информации из существующих источников, в т.ч. зарубежных, для материалов, пригодных для создания ТБП. Выявлены перспективные классы материалов: пирохлоры, перовскиты, гранаты, магнетоплюмбиты и танталы лантаноидов. Данные классы соединений будут использованы на последующих этапах работ. Предложена методология высокопроизводительного скрининга, сочетающая вычислительные методы (DFT, молекулярную динамику) и машинное обучение для ускоренного поиска новых материалов.

Проект «Разработка технологии аддитивного производства керамических стержней сложной геометрии для лопаток ГТД». Подготовлено техническое задание на разработку опытного изделия «Керамический стержень лопатки ГТД» с применением аддитивных технологий, учитывающее особенности индустриальной специфики производства лопаток ГТД, при информационной поддержке индустриального партнера АО «ОДК Авиадвигатель»; разработаны программа и методики испытаний материалов,

предназначенных для аддитивного изготовления опытного изделия «Керамический стержень лопатки ГТД», учитывающие широкий спектр испытаний, необходимых для оценки характеристик однофазных и многофазных керамических материалов, подходящих для керамической аддитивной производственной процедуры; разработаны программа и методики испытаний для опытного изделия «Керамический стержень лопатки ГТД», учитывающее особенности индустриальной специфики производства лопаток ГТД, при информационной поддержке индустриального партнера АО «ОДК Авиадвигатель».



Проект «Умные» металлоксидные субмикронные системы». Проведены патентные исследования по технологиям получения маркеров для скрытой маркировки. Показано, что перспективными являются системы на основе композиций щелочноземельных элементов, лантаноидов, переходных и постпереходных металлов представляет для создания новых химических систем кодирования. Разрабатываемая в проекте технология синтеза таких частиц соответствует актуальному уровню техники.

Проект «Создание опытной технологической линии для производства катализаторов и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и разработка модифицированных материалов с применением углеродных нанoadдитивов». В ИК СО РАН разработаны новые катализаторы, обеспечивающих получение МУНТ с разными размерно-структурными параметрами. Создана установка для получения укрупненных партий катализаторов синтеза МУНТ. Нарботано несколько партий катализаторов синтеза МУНТ с разными размерно-структурными параметрами. Произведено несколько партий МУНТ с различной морфологией для широкого ряда технических применений (композитов, покрытий и др.). В НГУ выполнены патентные исследования на уровень техники и определение тенденций развития по базовым технологиям производства МУНТ- содержащих суперконцентратов и суспензий. Разработано задание на патентные исследования на уровень техники и определение тенденций развития в отношении технологии производства МУНТ-содержащих электродных материалов и полимер-композитов. Разработаны и исследованы МУНТ-содержащие материалы: антистатический клей на основе синтетического каучука, электропроводящий эпоксидный компаунд, антистатическое воднодисперсионное покрытие, полимерный электропроводящий состав. Разработанная в течение 2024 года интеллектуальная собственность защищена в режиме ноу-хау (секрета производства) (3 единицы) и одного патента на изобретение «Способ приготовления полимерного электропроводящего состава» (в 2025 году поданы 3 заявки на выдачу патентов РФ на изобретения на МУНТ-содержащие материалы), зарегистрированы 2 ноу-хау (секрета производства на катализаторы синтеза МУНТ).

Проект 3.25 «Разработка концепции, прототипа и программных комплексов «Цифровой паспорт материала» и «Управление жизненным циклом системы материал-конструкция с заданными свойствами»». Проведён всесторонний анализ мирового опыта и стандартов по разработке баз данных материалов и онтологий в области материаловедения. Проведён анализ перспективных направлений развития ПК «Цифровой паспорт материала» на основе обзоров и исследований. Проведён анализ отечественных решений и разработок, включая анализ возможности интеграции и объединения функционала с существующим на отечественном рынке ПО.

Профессор **Алексей Иванович Боровков** выступил в качестве **эксперта** по направлению «Перспективные материалы и цифровое материаловедение». Он отметил оба хороших доклада, прозвучавших по этому направлению, начиная от краткой характеристики работы до основных задач, целей, статуса проекта. Правда, вызывает удивление, как при непоступившем в 2024 году финансировании по ряду проектов они выполнялись.

Далее А.И. Боровков привел свои ответы для анкеты эксперта.

1. Научно-исследовательская деятельность

1.1 Оценка обоснованности выбора комплексов технологий, формирования приоритетов в рамках «дорожной карты»



Комментарий:

Выбор отдельных технологий и формирование приоритетов ДК обоснованы. Наряду с обоснованием отдельных технологий в ДК, необходимо уделить особое внимание обоснованности комплекса технологий и своевременной актуализации приоритетов

1.2 Оценка технологической новизны разрабатываемых технологий (для мирового и российского рынка). В случае если такие технологии существуют - сравнение с ними

Комментарий:

Необходимо провести детальный сравнительный анализ технологий для мирового и российского рынков по функциональным, техническим и стоимостным характеристикам

1.3 Оценка соответствия мировому уровню

Комментарий:

Оценку соответствия зарубежным аналогам и мировому уровню развития технологий следует проводить по функциональным, техническим и стоимостным характеристикам

1.4 Оценка уровня готовности разрабатываемой технологии

Комментарий:

Оценки уровня готовности технологий обоснованы и реалистичны

1.5 Оценка возможности локализации результатов научно-исследовательской деятельности

Комментарий:

Оценки локализации результатов НИД адекватны и реалистичны

1.6 Оценка возможности и условий организации серийного производства

Комментарий:

Оценки возможности и условий организации серийного производства реалистичны, однако их необходимо регулярно актуализировать в связи с динамичным развитием экономической ситуации”

1.7 Оценка обоснования компанией-лидером потребности в разрабатываемых технологиях и продуктовой линейке отечественными предприятиями

Комментарий:

Оценки обоснованности потребностей в разрабатываемых технологиях и продуктовых линейках реалистичны и отвечают настоящему времени и экономической ситуации

1.8 Оценка соответствия технического задания компании-лидера на разрабатываемые технологии потребностям отечественных предприятий

Комментарий:

Разработанные технические задания на разрабатываемые технологии потребностям отечественных предприятий отвечают времени (году) разработки и должны быть актуализированы для работ, которые еще не начаты, но предполагается их выполнение

1.9 Оценка достаточности технических и экономических возможностей компании-лидера для:

- реализации технологий и продуктов, получаемых по таким технологиям, в соответствии с техническим заданием
- серийного производства
- сопровождения, поддержки и развития технологий серийного производства в течение всего ее жизненного цикла

Комментарий:

Как правило, компании-лидеры обладают достаточными технологическими, техническими, экономическими и инфраструктурными возможностями реализации технологий и продуктов, их серийного производства и организацией сопровождения в течение всего жизненного цикла

Итого:

Стоп-фактор: отсутствует;

Требования: целесообразно согласовать форму представления Отчетов, как с требованиями ТЗ, так и с вопросами Анкеты;

Рекомендации: представлены в комментариях, а также, повторил А.И. Боровков, целесообразно согласовать форму представления Отчетов, как с требованиями ТЗ, так и с вопросами Анкеты, что, безусловно, будет полезно для объективной экспертной оценки полученных результатов.



Все прозвучавшие доклады вызвали много вопросов и замечаний, развернулась бурная дискуссия, в которой приняли активное участие члены Совета академики С.М. Алдошин, Е.Н. Каблов, В.М. Бузник, А.Ю. Цивадзе, И.Г. Тананаев, член-корреспонденты РАН М.И. Алымов, Д.В. Рощупкин, В.Г. Куличихин, А.Н. Озерин, С.Ю. Хаширова, профессор А.В. Дуб, участники заседания А.Б. Шевсенко, Л.В. Чурсова, Д.В. Козлов.

Вопросы докладчикам.

К выступлению А.Б. Шевченко.

Академик РАН *Е.Н. Каблов* отметил, что дорожная карта развития ВТН предполагала, что определённое количество средств будет бюджетных, остальную часть будет вносить бизнес. В связи с этим возникает вопрос кассового исполнения, сколько внебюджетных средств вложил Росатом как одна из крупных компаний.

К докладу А.А. Жедаева.

Академик РАН *Е.Н. Каблов*: сколько разработано материалов, порошков именно для аддитивных технологий? Была ли паспортизация и сертификация изделий? Какие разработаны новые технологии для получения сложных изделий с использованием лазера? Какие катоды использовали для электронно-лучевой пушки?

Член-корреспондент РАН *М.В. Алымов*: есть ли данные по испытаниям материалов в плане длительной и усталостной прочности?

Член-корреспондент РАН *Д.В. Рощупкин*: в какой среде изготавливаются материалы? В инертной?

Член-корреспондент РАН *В.Г. Куличихин*: мероприятий по углеродным волокнам не было?

Член-корреспондент РАН *С.Ю. Хаширова*: почему приведены только модели принтеров и нет реальных машин? Почему вместо комплекса испытаний приведены только испытания на прочность?

К докладу С.В. Тепаева.

Академик РАН *С.М. Алдошин*: какая часть работ была профинансирована государством, какая Росатомом и другими источниками?

Член-корреспондент РАН *М.В. Алымов*: какие характеристики материала по пористости после спекания и после ГИПа, какие пределы?

Академик РАН *Е.Н. Каблов*: каким образом готовится порошок перед загрузкой? Есть ли устройства для дополнительной дегазации? Почему не используется разработанный мной регламент по характеризации оборудования для аддитивных технологий?



Член-корреспондент РАН *С.Ю. Хаширова*: сколько разработано стандартов для аддитивных технологий? На какой стадии находится проект по аддитивным технологиям и изделиям, полученным по эти технологиям, для медицины?

Академик РАН *В.М. Бузник*: что такое виртуальный 3D-принтер? Какие подразделения Росатома задействованы в работах?

Профессор *Ю.Р. Колобов*: каково распределение пор по размеру? Какие величины этой пористости закладывается в модель при расчетах?

Академик РАН *Е.Н. Каблов*: непонятно, почему «Прометей» не может испытать полученные материалы и изделия?

К докладу А.И. Лукиной.

Академик РАН *С.М. Алдошин*: какая технология вторичной переработки углепластиков на основе терморективных и термопластичных связующих путем удаления связующего методом сжигания или пиролиза? При каких температурах? Не образуются ли диоксины?

Член-корреспондент РАН *С.А. Пономаренко*: почему нет коэффициентов вариативности по испытанным характеристикам?

Академик РАН *Е.Н. Каблов*: на какой базе получены коэффициенты вариативности? Почему нет всех необходимых характеристик материалов? Почему не указано, что было совместное решение с ВИАМ в отношении этих материалов? Какой объем связующего сделан?

К докладу А.Л. Андреева.

Академик РАН *Е.Н. Каблов*: какой диаметр волокна? На какой длине? Диаметр круглый? Почему основной растворитель диметилацетамид, а не диметилсульфоксид? Как в диметилацетамиде достигаются высокие стабильные характеристики? Как получается стабильные характеристики по диаметру по всей длине волокна? Отмечено, что это лучший доклад.

Член-корреспондент РАН *С.Ю. Хаширова*: какая температура разложения суперконструкционных аппретов? На сколько удорожается стоимость композита с учетом наличия аппрета?

Член-корреспондент РАН *В.Г. Куличихин*: какая прочность углеволокна, полученного по мокрому и сухо-мокрому методам формования?



К докладу В.А. Асалханова.

Академик РАН *В.М. Алдошин*: какой спрос на сподуменовый концентрат? Вывозится концентрат? Какая технология – сернокислотная? А сернокислотную технологию вы собираетесь покупать? Рассматривается ли технология Хамизова? Почему не рассматриваются альтернативные технологии, экологически чистые?

Академик РАН *А.Ю. Цивадзе*: вы собираетесь использовать сернокислотную технологию несмотря на то, что она старая? Она ведь не позволит достичь технологического лидерства. Почему не используется отечественная экстракционная технология?

Член-корреспондент РАН *А.Н. Озерин*: вы выполняете эту работу за счет собственных средств?

Профессор *А.В. Дуб*: в дорожной карте поставлены жесткие временные сроки.

Академик РАН *А.Ю. Цивадзе*: почему Росатом не консультируется с Академией наук, в том числе по временным параметрам?

Академик РАН *Е.Н. Каблов*: есть ли хоть одна новая технология получения чистого РЗМ, или надо признать, что будет использоваться старая технология?

Член-корреспондент РАН *Д.В. Рощупкин*: получаете ли вы BeO , Ta_2O_5 и Nb_2O_5 , необходимые для роста кристаллов?

К докладу Е.В. Александрова.

Академик РАН *В.М. Бузник*: по какому принципу в качестве соисполнителя одного из проектов выбран Дальневосточный университет? Что за новое поколение резистов для микроэлектроники?

Член-корреспондент РАН *М.И. Алымов*: вы применяете искусственный интеллект?

Д.В. Козлов: в связи с тем, что нет ясности с финансированием направления «Цифровое материаловедение», как вы объясняете ситуацию сотрудникам ЦК НТИ МВТУ и что предпринимаете для их трудоустройства?

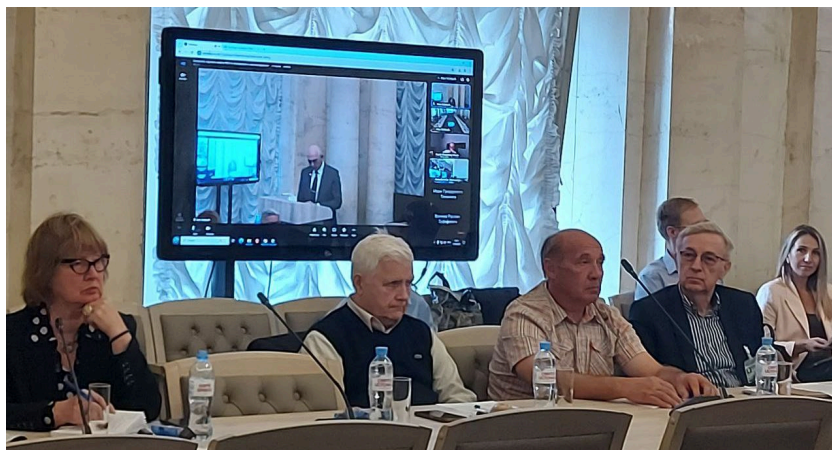
Профессор *Ю.Р. Колобов*: в проектах по моделированию, насколько целесообразно их такое большое финансирование? Насколько важны результаты цифрового материала для создания принципиально новых материалов?

К докладу Д.В. Козлова.

Член-корреспондент РАН *М.И. Алымов*: можете прогнозировать интерполировать между известными данными или экстраполировать на неизвестные данные?

Член-корреспондент РАН *Д.В. Рощупкин*: по проекту по скрытой маркировке в чем новизна вашего решения?

На все вопросы были даны развернутые ответы.



В завершение заседания в *дискуссии* выступили председатель Научного совета РАН академик **С.М. Алдошин**, председатель Экспертного комитета **А.В. Дуб**, директор по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом» **А.Б. Шевченко**.

С.М. Алдошин отметил, что несмотря на такую активную дискуссию, критику все-таки по большинству направлений Совет поддерживает заслушанные проекты, выполняемые в рамках дорожной карты. В ходе заседания были высказаны замечания, предложения, которые будут полезны для дальнейшего развития работ. При этом возникают серьезные вопросы по направлению «Редкие и редкоземельные металлы», в частности, в плане технологий извлечения лития. Исполнителям проектов и организационному лидеру необходимо обратить внимание на целесообразность ориентации на старые технологии, выполняя работы в области высокотехнологичных направлений.



А.В. Дуб еще раз обратил внимание на условия выполнения дорожной карты, сложности с точки зрения финансирования работ и сроков их выполнения, это касается и направления «Редкие и редкоземельные металлы». Но, отметил он, критика высказана правильная и необходимо рассматривать альтернативные перспективные технологии. Далее А.В. Дуб подчеркнул большую пользу проведения совещаний по заслушиванию результатов выполнения работ на профильных советах РАН, когда справедливая критика приводит к исправлению ошибок и недочетов и более эффективному выполнению проектов в рамках дорожной карты.

А.Б. Шевченко поблагодарил всех за состоявшееся обсуждение. Он заверил, что все экспертные заключения будут обязательно рассмотрены и изучены и, по возможности, будут предоставлены на все замечания грамотные, обоснованные ответы. В заключение А.Б. Шевченко отметил, что, несмотря на трудности, совместными усилиями компаний-лидеров – это Росатом и ЦК НТИ НГУ и МВТУ, и исполнителей проектов поставленные задачи будут решены и цели ДК ВТН будут достигнуты.

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.



Заслушав и обсудив доклады выступающих и сообщения экспертов по рассмотрению результатов реализации в 2024 г. дорожной карты высокотехнологичного направления «Технология новых материалов и веществ», Научный совет РАН по материалам и наноматериалам принял следующее *решение*:

1. Признать (по заслушанным на расширенном заседании Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Экспертного комитета докладам), что запланированные на 2024 год работы по выполнению дорожной карты высокотехнологичного мероприятия

«Технология новых материалов и веществ» в целом выполнены. Согласовать отчет с учетом высказанных замечаний экспертов и участников заседания.

2. Вынести итоговое экспертное заключение Научного совета РАН по материалам и наноматериалам по рассмотрению результатов реализации в 2024 г. дорожной карты высокотехнологичного направления «Технология новых материалов и веществ» с перечнем замечаний (приложение к Протоколу)

3. Обратиться в Экспертный комитет с предложением об изменении формы отчета по результатам реализации дорожной карты высокотехнологичного направления «Технология новых материалов и веществ». Наряду с индикаторами, которые, во многих случаях, вводятся некорректно, отчет должен содержать научные отчеты о реализации проектов, выполняемых в рамках дорожной карты.

4. Отметить необходимость повышения эффективности взаимодействия НИЦ Курчатовский институт и Госкорпорации Росатом путем интенсификации работы Технического комитета по стандартизации ТК 182 «Аддитивные технологии» (далее – ТК 182), в том числе по вопросу требований к центрам аддитивных технологий, которые будут/должны быть доверенными элементами создаваемого распределенного центра, требующего оперативного и централизованного решения.

5. Внести предложение о включении направления «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» ДК ТНМиВ» в национальный проект «Новые материалы и химия».

5. Внести предложение об обсуждении вопроса экстракционной стадии выделения лития в сжатые сроки совместно с ИФХЭ РАН, ИХТРЭМС КНЦ РАН и ООО «Полярный литий».

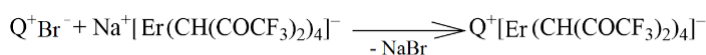
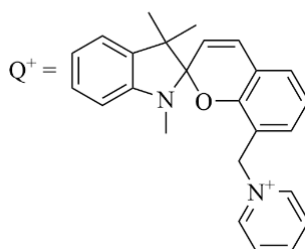
6. Рекомендовать АО «Юматекс» подать (в кооперации) работу по технологии производства отечественного углеволокна для стратегических целей после получения опытных партий со стабильными характеристиками на Премию Правительства.

**Результаты по направлению работы
Научного совета РАН по материалам и
наноматериалам,
полученные в 2025 г.**

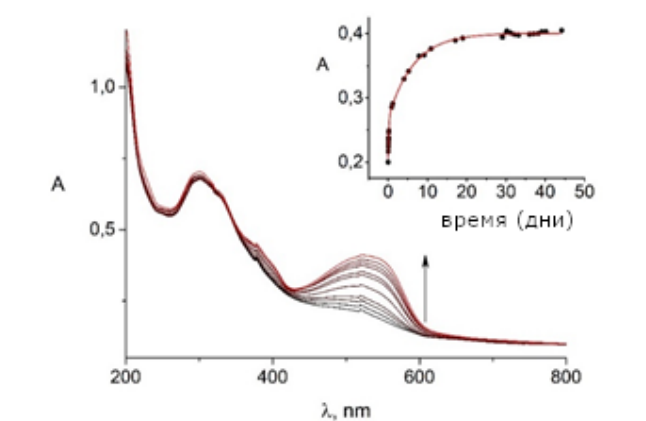
ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ФОТОХРОМНОЙ И МАГНИТНОЙ ПОДРЕШЕТОК В КРИСТАЛЛАХ СОЛИ ТЕТРАКИС(ГЕКСАФТОРАЦЕТИЛАЦЕТОНАТА) ЭРБИЯ (III) И КАТИОННОГО ФОТОХРОМНОГО СПИРОПИРАНА

В.П. Штефанец, Г.В. Шилов, Е.А. Юрьева, Н.А. Санина, С.М. Алдошин
ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН

Впервые разработан подход к получению прототипа фотомагнитных сред – получена соль тетракис(гексафторацетилацетонат) эрбия (III) с органическим фотохромным катионом – 1-[(1',3',3'-триметилспиро[2i/-1-бензопиран-2,2'-индолин]-8-ил)метил] пиридином, в которой обнаружено взаимное влияние фотохромной и магнитной подрешеток друг на друга. активность.



Замена катиона Na⁺ на объемный фотохромный катион спиропирана влияет на магнитные свойства, за счет изменения типа координационного полиэдра в анионе [Er(hfac)₄] и индуцирует в катионе твердотельную фотоактивность, отсутствующую в исходной бромидной соли.



Это связано с созданием высокополярной среды, стабилизирующей мероцианиновую форму. Обнаружено редкое взаимное влияние фотохромной и магнитной подрешеток, открывающее новые возможности для дизайна полифункциональных материалов.

1. Stefanets V.P., Gennadii V. Shilov, Elena A. Yurieva, Konstantin A. Babeshkin, Nikolay N. Efimov, Nataliya A. Sanina, Sergey M. Aldoshin, Mutual influence of photochromic and magnetic sublattices in crystals of erbium(III) tetrakis(hexafluoroacetylacetonate) salt with 1-[(1',3',3'-trimethylspiro[2i/-1-benzopyran-2,2'-indoline]-8-yl)methyl] pyridinium // Inorg. Chim. Acta. 2025. – Vol. 585. – Article Number 122755., DOI 10.1016/j.ica.2025.122755

УПРАВЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ФАЗОЙ В СОЕДИНЕНИИ $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$ ПОСРЕДСТВОМ СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И МОДИФИКАЦИИ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ

А.М. Шикин

Санкт-Петербургский государственный университет

Современные исследования в области магнитных топологических изоляторов сосредоточены на возможностях точного управления их электронными свойствами посредством химического легирования и управлением магнитной структурой. В данной работе с помощью расчётов методом теории функционала плотности исследованы топологические фазовые переходы в системе $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$ как с антиферромагнитным, так и с ферромагнитным упорядочением при варьировании величины спин-орбитального взаимодействия, а также деформации, приложенной вдоль оси с. Показано, что возникновение фазы Вейлевского полуметалла требует пересечения зон с противоположными проекциями спина s_z вдоль направления ΓZ . Модуляция величины спин-орбитального взаимодействия и деформации может приводить к аннигиляции Вейлевских точек, вызывая переходы в тривиальные или нетривиальные топологические фазы. Установлено, что в антиферромагнитной фазе увеличение концентрации Ge приводит к переходу от топологического изолятора к тривиальному изолятору через промежуточную фазу Дираковского полуметалла. В противовес этому в ферромагнитной фазе $MnBi_2Te_4$ уже находится в состоянии полуметалла Вейля, которое исчезает при увеличении концентрации Ge. Особый интерес представляет возможность возникновения Вейлевской фазы в антиферромагнитной системе при определённой концентрации Ge ($\sim 37.5\%$), в том случае, когда локальная асимметрия в распределении атомов Mn/Ge между соседними слоями приводит к подавлению межслоевого антиферромагнитного взаимодействия. Для целенаправленного управления параметрами Вейлевской фазы, такими как расстояние между точками Вейля, предложены стратегии химического замещения: замена Mn на Fe (позволяет уменьшить величину магнитного момента) и Te на Se (снижает эффективное спин-орбитальное взаимодействие).

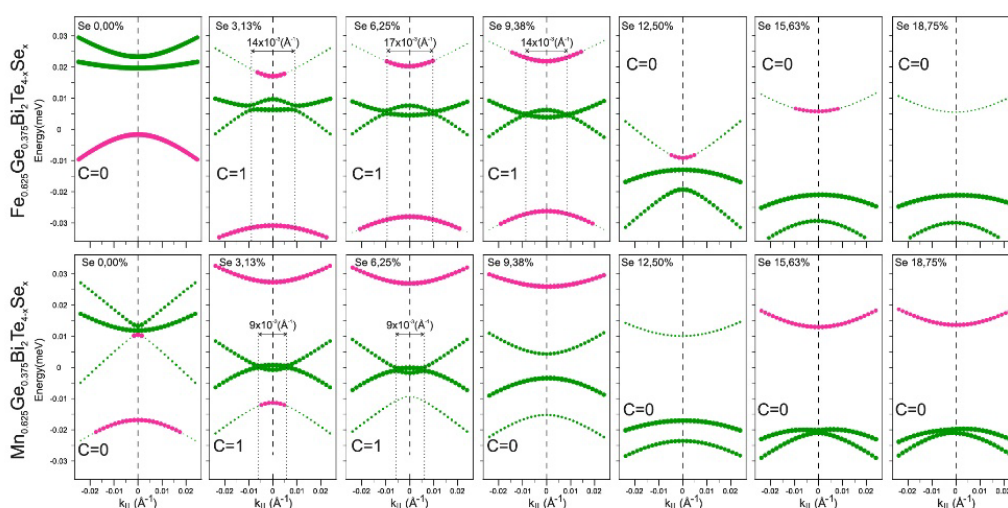


Рис. 1. Расчёты зонной структуры в направлении $Z'\Gamma Z$ для $Fe_{0.625}Ge_{0.375}Bi_2Te_{4-x}Se_x$ и $Mn_{0.625}Ge_{0.375}Bi_2Te_{4-x}Se_x$ с разной концентрацией Se; показаны изменения топологического инварианта Черна.

Эти подходы позволяют не только стабилизировать состояние Вейлевского полуметалла, но и приводят к появлению уникальных эффектов, таких как аномальный эффект Холла. Полученные результаты предоставляют детальное понимание механизмов

управления топологическими состояниями в магнитных слоистых материалах и предлагают конкретные экспериментальные стратегии для реализации управляемых Вейлевских полуметаллов на основе семейства MnBi_2Te_4 .

1. Shikin A. M., Zaitsev N. L., Eryzhenkov A. V., Makeev R. V., Estyunina T. P., Estyunin D. A., Tarasov A. V. Topological phase control in $\text{Mn}_{1-x}\text{GexBi}_2\text{Te}_4$ via spin-orbit coupling and magnetic configuration engineering. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2026. Vol. 208. P. 113042.

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СЕМЕЙСТВЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ $(\text{Mn}_{1-x}\text{Pbx})\text{Bi}_2\text{Te}_4$

Д.А. Естюнин (с участием члена Совета А.М. Шикина)
Санкт-Петербургский государственный университет

Было проведено экспериментальное исследование эволюции электронной структуры в твёрдых растворах $(\text{Mn}_{1-x}\text{Pbx})\text{Bi}_2\text{Te}_4$ при изменении концентрации Pb. Целью исследования было установить, как замещение Mn атомами Pb влияет на величину объёмной запрещённой зоны и проявление топологических поверхностных состояний, а также выявить области возможных топологических фазовых переходов, предсказанных теорией. Для решения этой задачи были применены методы фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением при различных энергиях возбуждения, а также спин-разрешённая фотоэмиссия и методы исследования циркулярного дихроизма, что позволило комплексно изучить объёмные и поверхностные электронные состояния. Показано, что при увеличении содержания Pb от 0 до ~40% объёмная запрещённая зона последовательно уменьшается и практически закрывается. В диапазоне 40–60% она остаётся крайне малой, а топологические поверхностные состояния не наблюдаются, что указывает на переход материала в состояние, отличное от топологических фаз MnBi_2Te_4 и PbBi_2Te_4 (крайние точки при 0% и 100% Pb).

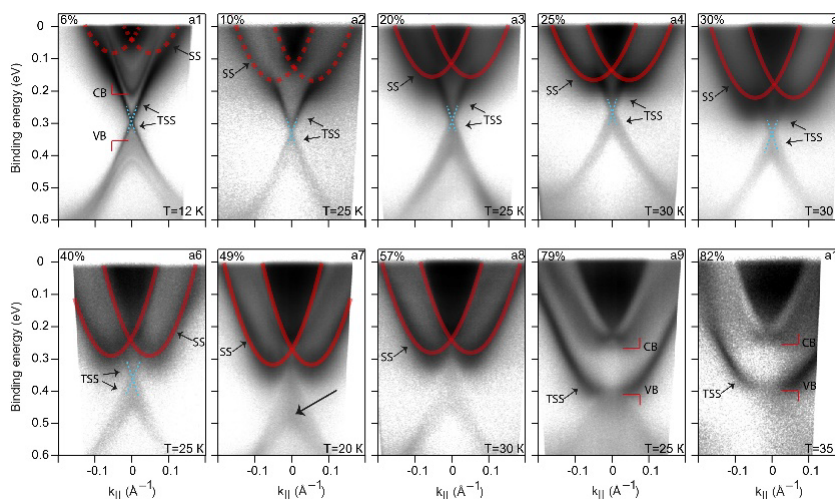


Рис. 1. Электронная структура топологических материалов $(\text{Mn}_{1-x}\text{Pbx})\text{Bi}_2\text{Te}_4$ при различной концентрации Pb, измеренная при энергии фотонов 6.3 эВ.

При концентрациях Pb выше 80% топологические поверхностные состояния вновь проявляются в фотоэмиссионных спектрах, что согласуется с повторным открытием запрещённой зоны и подтверждает наличие нетривиальной топологической фазы в данном диапазоне концентраций. Результатом работы является экспериментальное определение

области около $x \approx 50\%$, в которой в системе отсутствуют топологические поверхностные состояния и, вероятно, система находится в полуметаллической или тривиальной фазе. Таким образом, подтверждается существование топологических фазовых переходов в $(\text{Mn}_{1-x}\text{Pb}_x)\text{Bi}_2\text{Te}_4$ и демонстрируется возможность контролируемого изменения электронной структуры в данном материале путём изовалентного замещения $\text{Mn} \rightarrow \text{Pb}$.

1. Estyunin D. A., Estyunina T. P., Klimovskikh I. I., Bokai K. A., Golyashov V. A., Kokh K. A., Tereshchenko O. E., Ideta S., Miyai Y., Kumar Y., Iwata T., Kosa T., Okuda T., Miyamoto K., Kuroda K., Shimada K., Shikin A. M. Electronic structure of $(\text{Mn}_{1-x}\text{Pb}_x)\text{Bi}_2\text{Te}_4$: Experimental evidence of topological phase transition. *Physical Review Research*. 2025. Vol. 7. № 2. P. 023168.

НОВЫЕ ДИРАКОВСКИЕ ФЕРМИОНЫ В ГРАФЕНЕ И НИЖЕЛЕЖАЩЕМ МОНОСЛОЕ ЗОЛОТА С ДВУМЕРНЫМ ФЕРРИМАГНЕТИЗМОМ

А.Г. Рыбкин (с участием члена Совета А.М. Шикина)
Санкт-Петербургский государственный университет

Топологические материалы в последнее время привлекают большой интерес в области физики конденсированного состояния. Это уникальное состояние вещества обладает топологическими поверхностными состояниями (ТПС) безмассовых дираковских фермионов. ТПС были предсказаны и наблюдались в двумерных и трёхмерных топологических изоляторах, где спин и импульс взаимосвязаны и обычно образуют спиральную спиновую текстуру в конусе Дирака ТПС. Поскольку топологические монокристаллические материалы далеки от идеальной структуры и стехиометрии, всё больше исследований фокусируются на роли дефектов в полупроводниках, с одной стороны, и поверхности металлов, с другой стороны.

С помощью фотоэлектронной спектроскопии с угловым и спиновым разрешением, сканирующей туннельной микроскопии/спектроскопии и метода теории функционала плотности мы исследовали электронную структуру систем монослой $\text{Au}/\text{Co}(0001)$ как с графеном на поверхности, так и без него, и обнаружили интересные особенности, возникающие благодаря ферримагнитному порядку в графене и лежащему под ним монослою золота. В частности, в точке Γ было обнаружено спин-поляризованное дираковское состояние, непосредственно связанное с индуцированной намагниченностью в монослое золота. Было показано, что формирование ферримагнетизма в золоте и дираковского состояния тесно связаны с треугольными петлевыми дислокациями, присутствующими на интерфейсе Au/Co .

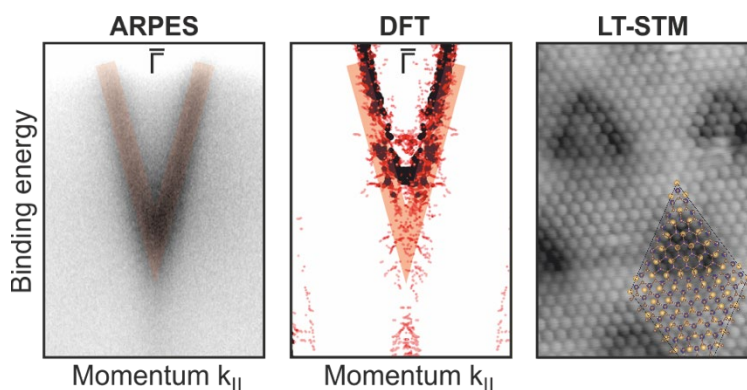


Рис. 1. Электронная структура новых дираковских состояний в области точки Γ и сеть треугольных петлевых дислокаций на границе раздела Au/Co

Измерения методом сканирующей туннельной микроскопии/спектроскопии и моделирование локальной плотности состояний выявили магнитную запрещенную зону в электронной структуре графена при намагниченности, направленной перпендикулярно поверхности. Возможность получения магнитной запрещенной зоны в перпендикулярном направлении делает графен перспективным для реализации квантового аномального эффекта Холла.

Важнейшим результатом является обнаружение фермионов Дирака в монослое Au с двумерным ферримагнетизмом как для чистой системы, так и покрытой графеном (Рис. 1). Наблюдаемые особенности электронной структуры тесно связаны с сетью треугольных петлевых дислокаций на границе раздела Au/Co. Обнаруженные состояния на поверхности Au/Co и возможность намагничивания графена перпендикулярно его поверхности открывает новые перспективы для использования в бездиссипативной топологической электронике.

1. Rybkin A. G., Tarasov A. V., Rybkina A. A., Voroshnin V. Yu., Estyunin D. A., Usachov D. Yu., Petukhov A. E., Pudikov D. A., Eryzhenkov A. V., Klimovskikh I. I., Sánchez-Barriga J., Varykhalov A., Kumar Y., Kumar S., Iwata T., Kuroda K., Miyamoto K., Okuda T., Shimada K., Frolov A. S., Stolyarov V. S., Shikin A. M. Emergent Dirac fermions in graphene and underlying Au monolayer with two-dimensional ferrimagnetism. *Nanoscale*. 2025. Vol. 17. P. 21706.

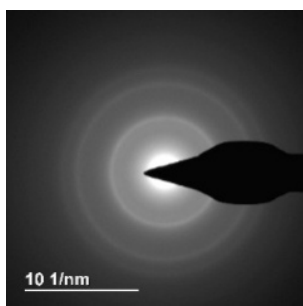
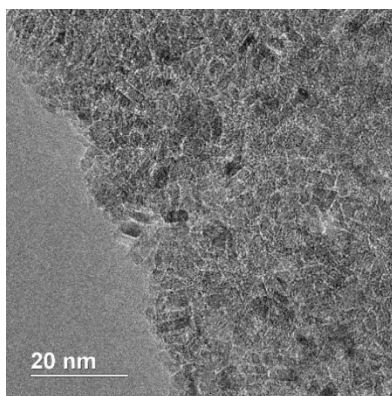
УСТОЙЧИВЫЙ ВОДНЫЙ КОЛЛОИД НА ОСНОВЕ ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ НАНОАЛМАЗОВ ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Е.А. Екимов (с участием члена Совета В.В. Бражкина)

Институт физики высоких давлений РАН

Впервые создана технология получения водных коллоидов на основе легированных бором «single-digit» наноалмазов (SD-BND). В качестве первого примера инновационных применений продемонстрированы преимущества использования SD-BND в качестве затравок при осаждении CVD плотных электродных покрытий проводящего алмаза.

Синтез SD-BND с рекордно высоким структурным совершенством осуществляется пиролизом борабициклонона $C_{15}H_{30}B_2$ при давлении 8 ГПа и температурах около 1250 С, условиях доступных для массового производства. В отличие от обычных детонационных наноалмазов, SD-BND демонстрируют высокую коллоидную устойчивость в водных растворах сразу после синтеза без дополнительной обработки поверхности. Естественная коллоидная устойчивость SD-BND связана с окислением структурно встроенной примеси бора кислородом и появлением отрицательного заряда на поверхности. Полученные коллоиды на основе SD-BND представляют интерес для использования в качестве активного элемента суперконденсаторов, наполнителя для проводящих чернил в «jet-



printing» технологиях изготовления проводящих дорожек, термотерапии раковых заболеваний, а также носителей лекарственных препаратов.

Легированные бором “single-digit” наноалмазы и водный раствор на их основе.

1. Materials Research Bulletin, 192, 113604, 2025.
2. ЖТФ, **95**(3), 489-497, 2025. DOI:10.61011/JTF.2025.03.59854.286-24
3. Nanoscale Advances, **7**(9), 2575-2584, 2025.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Н. Краснянский, А.Г. Ткачев

Тамбовский государственный технический университет

Выполнено комплексное исследование модифицирования конструкционного инфузионного эпоксидного связующего углеродными нанотрубками «Таунит-М». Повышение предельной прочности и предельной деформации при растяжении образцов отвержденного связующего составили 12,7% и 70%.



Рис. 1. Изображение поверхности углепластика, модифицированного УНТ «Таунит-М».

Синтезированы образцы высокоэффективных гибридных наноструктурированных углеродных сорбентов, в том числе, из вторичного сельскохозяйственного сырья и растительных отходов регионального АПК, в частности, отходов персика с улучшенными функциональными характеристиками. Реализация разработанной методики возможна опционально в присутствии оксида графена и/или углеродных нанотрубок в качестве структурообразующих компонентов [1].

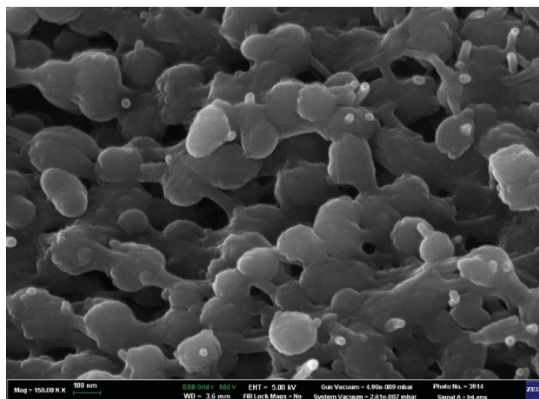


Рис. 2. СЭМ-изображение структуры биоугля, полученного с использованием метода гидротермальной карбонизации, содержащего 0,05 масс.% УНТ

По результатам предлагаемых научных решений синтезированы образцы сорбционных материалов с аномально высокой удельной поверхностью - до 3600 м²/г, объемом пор – до 2 м³/г, являющиеся эффективными сорбентами для очистки водных сред, а также перспективными носителями катализаторов и т.п. [2]

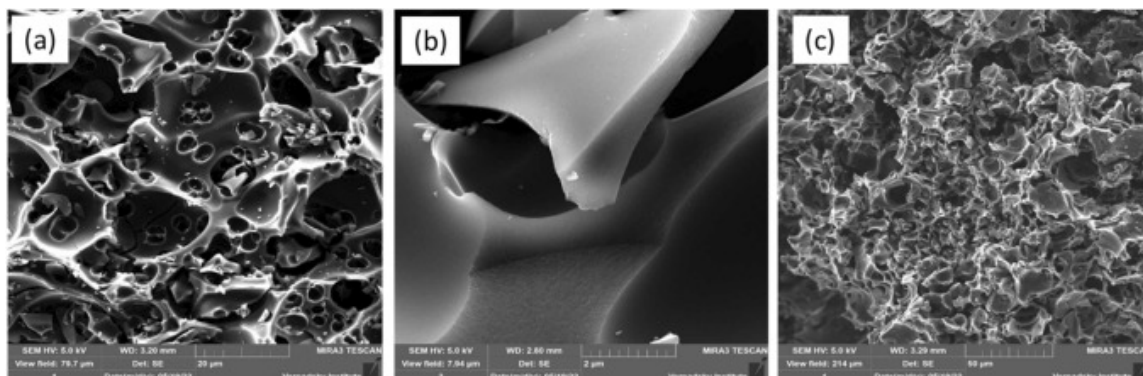


Рис. 3. СЭМ-изображение структуры ультрапористого угля, полученного при использовании различного соотношения КОН/углеродный карбонизат

Разработаны составы и методы формования электродов из новых высокопористых материалов для применения в установках емкостной мембранной деионизации воды (обессоливания до состояния питьевой чистой воды). Проведено тестирование изготовленных образцов электродов на разработанной и лабораторной установке емкостной деионизации; дана оценка эффективности использования данных электродов в процессах емкостной деионизации засоленных вод. Сорбционная ёмкость разработанных составов электродов достигает 50-60 мг/г, что выше многих мировых аналогов.

1. Sorption dynamics of organic dyes from aqueous solutions using activated carbon derived from peach modified with carbon nanotubes / A. H. K. Kadum, I. V. Burakova, D. A. Badin [et al.] // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2025. – Vol. 10, No. 2. – P. 154-166. – DOI 10.17277/jamt-2025-10-02-154-166. – EDN AXSEAQ.
2. Influence of alkaline activation on the morphology, texture, and CO₂ sorption activity of porous carbon materials / A. Memetova, I. Tyagi, N. Memetov [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2025. – Vol. 13, No. 5. – P. 117550. – DOI 10.1016/j.jece.2025.117550. – EDN KMSGSM.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ И ГРАФЕНА ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ СКРЫТОГО ТЕПЛА И ПОРТАТИВНЫЕ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

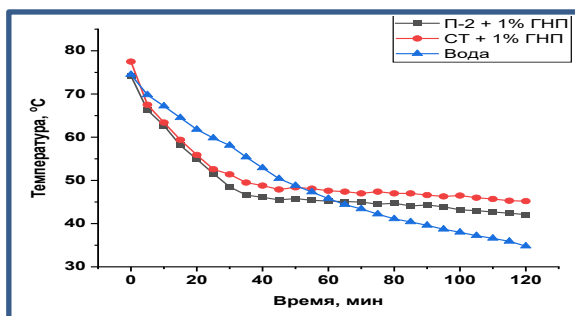
С.А. Баскаков, Ю.В. Баскакова, С.С. Красникова, Жарковская А.В., Н.Ю. Шульга, Ю.М. Шульга, Э.Р. Бадамшина

ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН

Накопление тепловой энергии с использованием материалов с фазовым переходом (МФП или РСМ – Phase Change Materials) представляет собой перспективную технологию, способную значительно повысить энергоэффективность зданий, промышленных процессов и систем теплоснабжения. В условиях сурового климата России, где большая часть территории подвержена длительным и холодным зимам, а перепады температур могут достигать экстремальных значений, эффективное управление тепловой энергией становится критически важным. Традиционные системы отопления требуют значительных энергозатрат, что приводит к высоким финансовым издержкам и повышенной нагрузке на

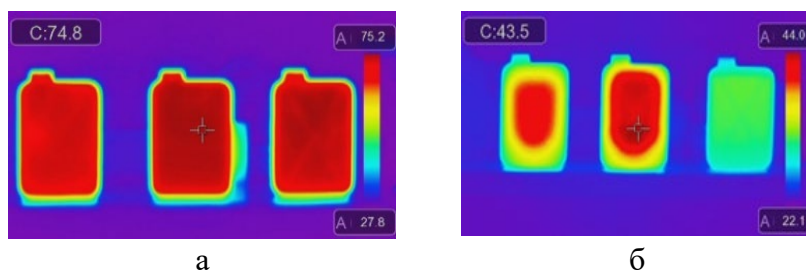
энергетическую инфраструктуру. Внедрение МФП позволяет аккумулировать избыточное тепло в периоды его генерации (например, днем или при работе промышленного оборудования) и высвободить его в моменты пиковых нагрузок или при снижении температуры, что способствует стабилизации микроклимата и снижению энергопотребления.

МФП на органической основе способны аккумулировать до 200-300 кДж/кг в процессе фазового перехода.



Кривые разряда теплоаккумуляторов

При таких преимуществах МФП имеют и ряд существенных недостатков. Обычно МФП характеризуется плохими теплофизическими свойствами: низкая теплопроводность и температуропроводность снижают скорость теплопередачи во время фазового перехода, что увеличивает общую продолжительность циклов аккумулирования тепла.

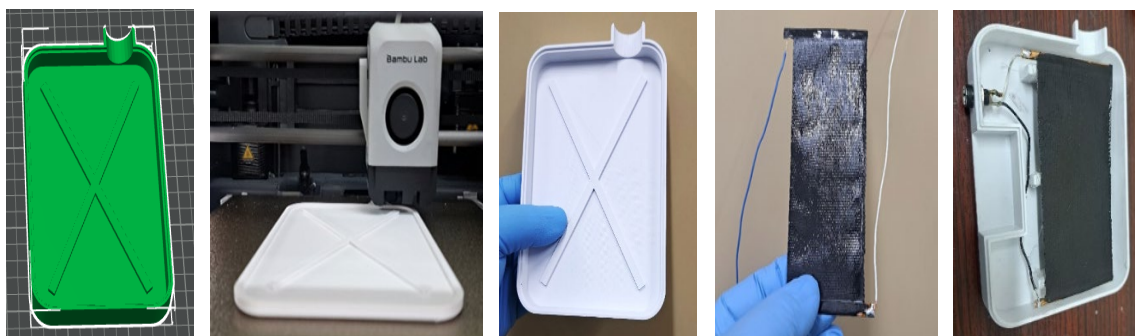


Тепловые профили устройств сразу после заряда (а) и через 2 часа работы (б)

Графеновые материалы, благодаря своим уникальным теплофизическим свойствам, становятся идеальным модификатором для улучшения теплопередачи в материалах с фазовым переходом. Добавление даже небольшого количества графена (0,1–5% по массе) позволяет увеличить теплопроводность МФП в 2–10 раз, что значительно ускоряет процессы накопления и высвобождения тепла. Это особенно важно для систем, требующих быстрого теплового отклика, таких как аккумуляторы тепла в зданиях, системы терморегуляции электроники, портативные аккумуляторы тепла для персонального использования. Кроме того, графен повышает механическую прочность и стабильность композитов, предотвращая расслаивание и деградацию МФП при многократных циклах фазового перехода.

В данной работе в качестве МФП были использованы промышленно выпускаемые материалы: твердый нефтяной парафин П-2 и стеариновая кислота (СК) марки «ч». В качестве теплопроводной углеродной добавки использовали графеновые нанопластины.

Показано, что добавка ГНП существенно увеличивает коэффициент теплопроводности. Например, добавка 5 масс. % ГНП в парафин П-2 дает прирост теплопроводности в 400%, а для СК прирост составил 530%. В тоже время графитовые добавки такого же объема приводят к увеличению теплопроводности всего от 20 до 23%.



Разработка, 3D прототипирование и сборка корпусов

Было выполнено 3D-моделирование корпусов для портативных теплоаккумуляторов двух типов: для зарядки от СВЧ-излучения и для зарядки от блока питания постоянного тока 9-12В. Модели корпусов были напечатаны с помощью 3D-принтера по технологии послойного наплавления (FDM). Для нагрева композита МФП в аккумуляторе с электрозарядом был разработан плоский нагревательный элемент мощностью 18 Вт на основе стеклотенты и токопроводной краски производства ООО «ГРАФЕНОКС». Была выполнена сборка лабораторных образцов теплоаккумуляторов двух типов. В качестве накопителя тепла использовали композиты П2-ГНП 1% и СК-ГНП 1 %



Теплоаккумулятор с зарядом от сети постоянного тока 9-12 В



Теплоаккумулятор с зарядом от СВЧ-излучения

Было выполнено длительное циклирование (100 циклов заряда/разряда) образцов аккумуляторов тепла с зарядом в СВЧ-излучении. Показано, что оба композита выдерживают циклические испытания и могут быть использованы в качестве композита в теплоаккумулирующих устройствах. В течение 2 часов теплоотдачи температура аккумуляторов не опустилась ниже 42°C.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И К ЛЕГИРОВАНИЮ ОРТО-СПЛАВОВ

Р.Р. Мулюков

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

Разработан способ формирования однородной наноострийной морфологии поверхности металла. Показано, что формирование такой морфологии на поверхности вольфрама, выбранного в качестве материала, обращенного к плазме в термоядерном реакторе ITER, существенно снижает образование волокнистой пористой структуры типа нанопух при ионно-плазменном воздействии. Важность уменьшения образования нанопуха

связана с необходимостью предотвращения попадания его в плазму, ее охлаждению и срыву.

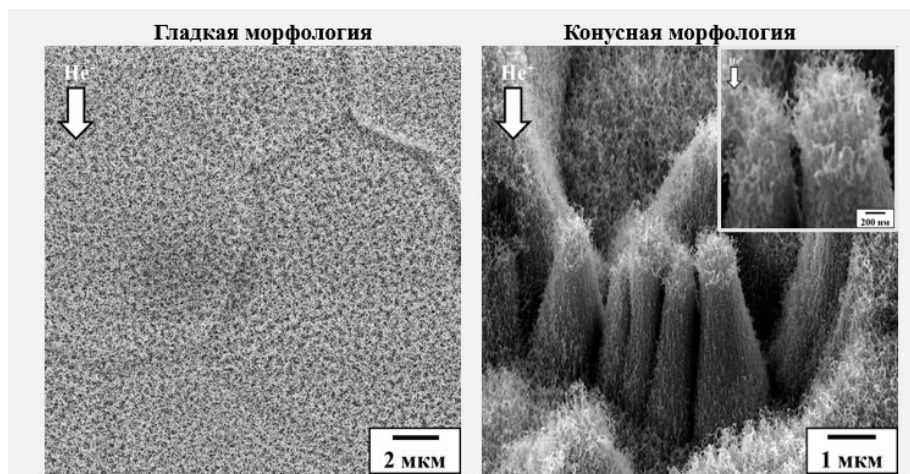


Рис.1. В результате гелиевого воздействия на гладкой поверхности образовался нанопух, покрывающий весь образец (левое изображение). На конусах нанопух образовался только на его кончиках при вершине (правое изображение)

Разработаны новые подходы к легированию орто-сплавов, основанные на идее комплексного легирования, учитывающие физико-химические свойства легирующих элементов. Для двух сплавов оптимизированных составов разработаны технологический маршрут и технологические режимы изготовления опытно-промышленных слитков и порошка для последующей 3D печати.

1. N.N. Andrianova, A.M. Borisov, A.V. Dedov, R.R. Mulyukov, M.A. Ovchinnikov, S.D. Fedorovich, R.Kh. Khisamov. The Influence of Ion-Beam Surface Treatment of Fine-Grained Tungsten on the Fuzz Structure Formation by Helium Stationary Plasma // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, Vol. 89, No. 11, pp. 2216–2220.
2. V.M. Imayev, D.M. Trofimov, R.M. Imayev, R.R. Mulyukov. Effect of ingot up-scaling on microstructure and mechanical properties of an advanced intermetallic γ -TiAl based alloy // Letters on Materials. 2025. V. 15(2). P. 91-97.

ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЕ СТАЛИ ДЛЯ АКТИВНЫХ ЗОН РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

М.В. Скупов¹, А.А. Никитина¹, А.В. Дуб²

¹АО «ВНИИНМ», ²Частное учреждение «Наука и инновации»

Дисперсно-упрочненные (ДУО) стали – это ферритно-мартенситные стали, упрочненные наночастицами (3-5 нм) оксидов, которые, в отличие от карбидов, нитридов и интерметаллидов, не коагулируют и не растворяются в матрице вплоть до 1300 °С.

В настоящее время ферритные/феррито-мартенситные ДУО стали рассматриваются как кандидатные материалы активной зоны ядерных реакторов на быстрых нейтронах, прежде всего, для оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ). 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 ТВЭЛ перспективных активных зон РБН, рассчитанным на целевые параметры твэлов БН-1200 М и БР-1200 на 2-м и 3-м этапах эксплуатации.

	на 2-м этапе	на 3-м этапе
Макс. повреждающая доза, сна	145	169
Ресурс твэла при работе на Нном, эфф. сут	до 2478	до 2970
Макс. температура оболочки (внутр.), °С	680 (700)	

Основные целевые параметры ТВЭЛ для перспективных активных зон БН-1200М

Макс. повреждающая доза, сна	169	210
Ресурс твэла при работе на Нном, эфф. сут	до 2970	до 6270
Макс. температура оболочки (внутр.), °С	670	670/700

Основные целевые параметры ТВЭЛ для перспективных активных зон БР-1200

ВНИИНМ разработаны материалы для оболочечных труб из ДУО-сталей. Оптимизирован состав. Оптимизация заключается в создании однофазных ферритных сталей, дисперсионно-упрочненных оксидными наночастицами, которые в отличие от карбидов и карбонитридов не коагулируют и не растворяются в матричной стали при термическом и радиационном воздействии. Благодаря своим свойствам применение таких материалов в качестве оболочек ТВЭЛ позволит увеличить ресурс ТВЭЛ и, соответственно, топливную кампанию реакторов на быстрых нейтронах. На текущем этапе работы была показана универсальность и масштабируемость ранее разработанной технологии изготовления оболочечных труб. Было экспериментально подтверждено, что технологическая инструкция (ТИ), созданная для одного класса сталей (Fe-Cr-Al ДУО), применима и для других, существенно отличающихся по составу марок (ЭП450 ДУО и ЭП823 ДУО). Это говорит о том, что разработанный метод является не узкоспециализированным, а представляет собой универсальный метод для производства металлопродукции из дисперсно-упрочненных сталей.

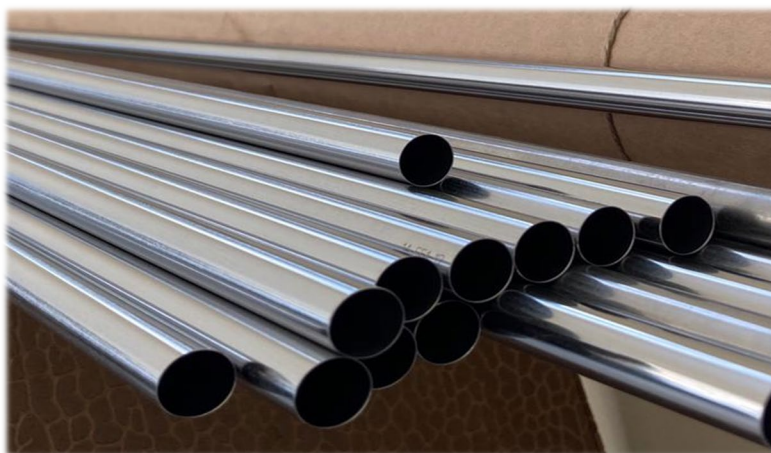


Рисунок 1. Оболочечные трубы из ДУО сталей

Разработана и опробована технология контактно-стыковой сварки для новых дисперсно-упрочненных сталей на базе системы Fe-Cr-Al. Сварка таких материалов является критически сложной задачей из-за их склонности к охрупчиванию в зоне термического влияния. Были определены оптимальные параметры (ток, давление), обеспечивающие качественное формирование шва, и создана на их основе формализованная технологическая инструкция, представляющая собой значительное научно-техническое достижение, необходимое для создания экспериментальных ТВЭЛ.

Получены комплексные научно-технические результаты для трубных образцов, прямо демонстрирующие преимущества ДУО сталей перед классическими аналогами в ключевых для эксплуатации твэла характеристиках: термическая ползучесть, усталость и трещиностойкость. Это прямое экспериментальное доказательство их высокого потенциала для применения в перспективных РУ.

Были проведены коррозионные испытания в свинце с содержанием кислорода $(1-9) \times 10^{-5}$ масс. % плоских и трубчатых образцов из стали ЭП823 ДУО и ДУО сталей на базе системы Fe-Cr-Al в течение 1000 ч. Материаловедческие исследования образцов будут проведены в следующем этапе работ и позволят получить данные необходимые для дальнейшего обоснования использования данных материалов в качестве оболочек твэлов для БРЕСТ-ОД-300 и БР-1200.

Были проведены исследования распухания ДУО сталей на базе системы Fe-Cr-Al после высокодозного (210 сна) ионного облучения. Был выполнен анализ эволюции структуры сталей Х6ЮЗС2В2Б ДУО и Х14ЮВ2СТ ДУО после циклического последовательного облучения ионами в диапазоне температур от 450 °С до 700 °С. Показано, что даже при столь высокой дозе облучения распухание сталей отсутствует. Полученные данные по эволюции структурно-фазового состояния позволят в дальнейшем более точно скорректировать состав исходных порошков данных сталей.

По результатам лабораторных исследований создается опытное производство оболочечных труб из ДУО сталей (1000 м/год). 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.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА ГОСТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ ОБОЛОЧЕК ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Марголин Б.З.¹, Фоменко В.Н.¹, Шишков Ф.Л.¹ Дуб А.В.²

Леонтьева-Смирнова М.В., Науменко И.А., Скупов М.В.³ Чертопьятов Е.В.⁴

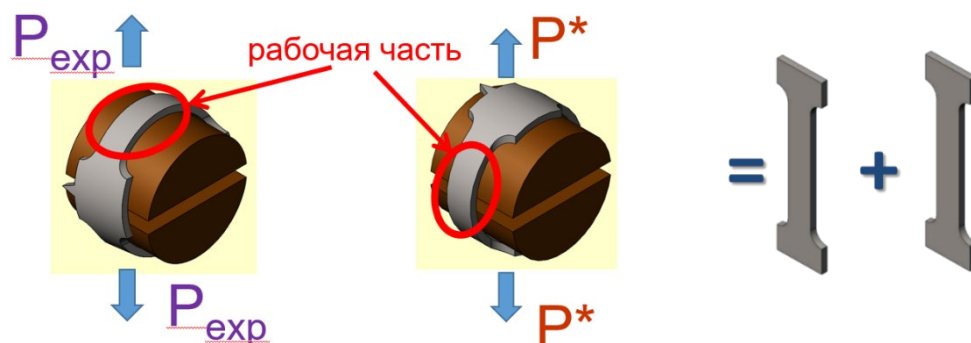
¹ НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»,

² Частное учреждение «Наука и инновации», ³ АО «ВНИИНМ», ⁴ АО «ГНЦ
НИИАР»

При обосновании срока службы тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) возникает необходимость определения реальных механических свойств оболочек ТВЭЛ в том числе в облучённом нейтронами состоянии. Оболочки представляют собой тонкостенные трубки диаметром порядка 6...10 мм с толщиной стенки от 0,3 до 1 мм, изготовленные обычно из циркония или аустенитной или феррито-мартенситной стали.

Для надёжной оценки работоспособности ТВЭЛ необходима информация о механических свойствах, диаграмме деформирования и трещиностойкости материала оболочки. Существующие методы испытаний образцов из тонкостенных трубок позволяют получать реальные свойства материала осевом направлении, и слишком консервативные – в окружном. Учитывая, что прочность оболочек твэлов контролируется свойствами в окружном направлении, важной задачей является разработка методов оценки реальных свойств оболочек твэлов в окружном направлении.

В ходе выполнения НИР предложены новые типы кольцевых образцов для определения механических свойств (рисунок 1) и трещиностойкости (рисунок 2), а также разработана процедура испытаний новых типов образцов. Основная идея разработанного метода состоит в том, что кольцевой образец может рассматриваться как пара плоских образцов на растяжение нагружаемых одновременно одной и той же нагрузкой.



MRS I

MRS II

Рисунок 1. Схема нагружения кольцевых образцов на растяжение типа MRS (с ориентацией при нагружении I и II) для определения механических свойств:

P_{exp} – нагрузка, действующая на образец с учетом сил трения;

P_{exp} – нагрузка, действующая на образец при малых силах трения.

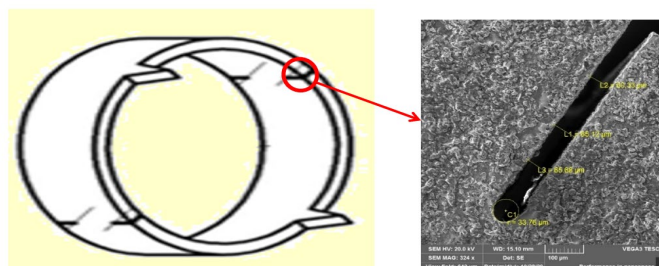


Рисунок 2. Образец типа NRS, для определения трещиностойкости, испытываемый на растяжение по схеме, представленной на рисунке 1

В рамках НИР проводится комплекс расчётных и экспериментальных исследований по моделированию разрушения образцов из оболочек ТВЭЛОВ, изготовленных из аустенитных и феррито-мартенситных сталей в исходном и облучённом состояниях с учётом особенностей их нагружения при наличии трения между нагружающим устройством и образцом.

К настоящему времени выполнены исследования по сопоставлению механических свойств, полученных при испытаниях старого (RS) и нового (MRS II) типа образцов, а также испытания для определения трещиностойкости образцов типа NRS.

В качестве примера на рисунке 2 представлено сопоставление характеристик пластичности и прочности, полученных при испытаниях старого и нового типа образцов из стали ЧС68 при температуре 600 °С. Образцы изготовлены из фрагментов оболочек, отработанных ТВЭЛОВ со СНУП топливом (смешанным нитридным уран-плутониевым топливом) после облучения в реакторе БН-600 с повреждающей дозой от 59 до 72 сна облученных в диапазоне температур от 610 °С до 670 °С.

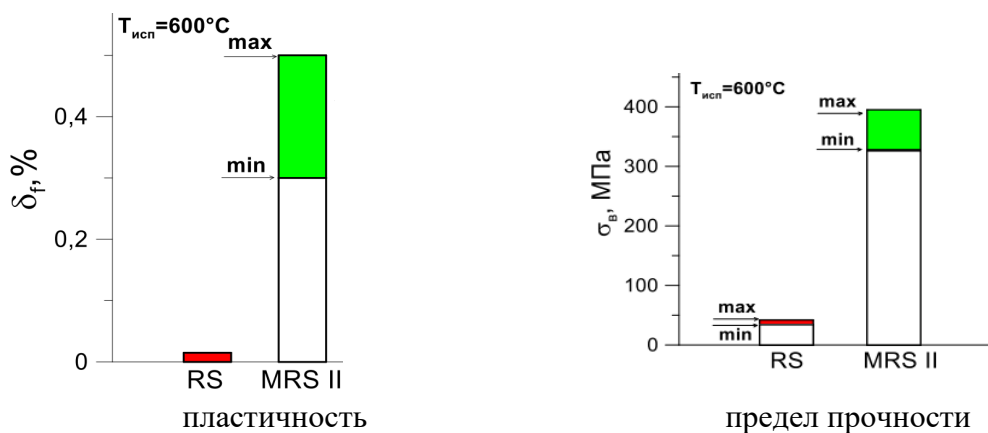


Рисунок 2. Сопоставление характеристик пластичности и прочности облучённых образцов ЧС68

При испытании новых образцов типа MRS II пластичность δ_f составляет 0,5 %, в то время как испытания образцов RS пластичность близка к нулю. Предел прочности для двух различных типов образцов различается в 7 - 10 раз: для образца RS $\sigma_b=30...60$ МПа, а для MRS II $\sigma_b=330...450$ МПа.

Таким образом, сопоставление образцов типа RS и MRS показывает, что при высоких степенях охрупчивания материала образцы типа MRS дают более адекватную и менее консервативную оценку прочности и пластичности облучённых сталей.

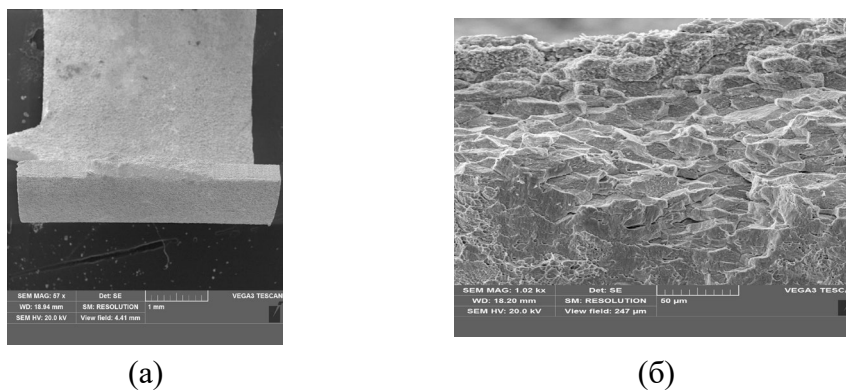


Рисунок 3. Поверхность разрушения кольцевого образца типа NRS, изготовленного из стали ЧС68. Температура испытаний 650°С. (а) – общий вид излома; (б) – типичная зона хрупкого межзеренного разрушения образца

Проведены испытания образцов на трещиностойкость типа NRS при температурах 600...650°C. Разрушение образцов из стали ЧС68 при данных температурах происходило по межзеренному механизму. Полученные значения трещиностойкости варьировались от 3 до 7 МПа√м. Во всех случаях разрушение происходило на фоне номинально упругого деформирования образца. Поверхность разрушения кольцевого образца типа NRS, изготовленного из стали ЧС68 представлена на рисунке 3.

Полученные данные в ходе выполнения НИР позволят обосновать геометрию кольцевых образцов и разработать инженерные методики определения механических свойства и трещиностойкости оболочек твэлов реакторов на быстрых нейтронах.

На основании разработанных методик планируется выпустить проект ГОСТ, который, при введении в действие, позволит обосновать увеличения срока эксплуатации твэлов, а также повысить безопасность эксплуатации твэлов посредством внедрения концепции ТПР (течь перед разрывом).

1. Марголин Б.З., Сорокин А.А., Каштанов А.Д., Петров С.Н. Дуб А.В., Печенкин В.А. Методология оценки радиационной стойкости материалов, облучённых в ионных ускорителях // Вопросы атомной науки и техники. Серия ядерно-реакторные константы, 2025, вып.4, с. 164-209.

ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОСОЛЕВОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ТРАНСМУТАЦИИ КЮРИЯ

*¹Лопаткин А.В., ¹Третьяков И.Т. ¹Клименко Д.С., ²Дуб А.В.
¹АО «НИКИЭТ», ²Частное учреждение «Наука и инновации»*

Трансмутация минорных актинидов — МА (Np, Am, Cm) — одна из ключевых задач по снижению долговременной опасности радиоактивных отходов, образующихся при работе современной ядерной энергетики. Np и Am успешно могут быть трансмутированы (переведены в продукты деления) в замкнутом топливном цикле реакторов на быстрых нейтронах (БР) [1]. Cm по причине высокого уровня радиационного излучения от распада его изотопов и как следствие высокого уровня радиационного энерговыделения (примерно 2,5 кВт/кг) практически не может быть трансмутирован в составе топлива современных и перспективных БР по причине трудностей фабрикации топлива. Можно добиться уменьшения энерговыделения рециклируемого топлива БР до приемлемого уровня за счет снижения содержания Cm, но в этом случае содержание Cm в топливе БР будет ниже равновесного и при облучении в реакторе Cm будет накапливаться, а не выгорать. Для трансмутации Cm возможны, по крайней мере 2 подхода — сжигание в специализированных установках (онлайн трансмутация) или длительная выдержка в течении 70—100 лет до распада основных излучающих изотопов с периодом полураспада 18 и 30 лет в изотопы плутония с последующим возвратом продуктов распада в топливный цикл БР (временная трансмутация). Что для ядерной энергетики предпочтительно должен решить технико-экономический анализ после детальной проработки обоих подходов. Мы же рассмотрим первый подход — трансмутацию кюрия в реакторе на расплавах солей (ЖСР) с несущей солью молярного состава 73%LiF—27%BeF₂.

Для анализа особенностей трансмутации Cm в ЖСР взята предпроектная проработка реактора ЖСР-С мощностью 2400 МВт(т) (рис. 1, 2). Предполагалось, что этот реактор может трансмутировать целевых 250 кг МА в год, выделяемых из ОЯТ тепловых реакторов (ТР), который может работать в комплексе с ОДЦ на площадке ГХК. Для поддержания критичности требуется загрузка в ЖСР-С 500 кг в год Pu (табл. 1).

Трансмутация Cm в потоке нейтронов имеет существенное отличие от трансмутации Np и Am. При облучении последних деление относительно маловероятно и основным каналом трансмутации является деление образовавшихся из них ядер плутония, что приводит образованию долгоживущих ядер, не содержащихся в стартовом составе. При

трансмутации Cm, имеющего 3 изотопа с высоким сечением деления, образования вторичных долгоживущих ядер почти не происходит (рис. 3).

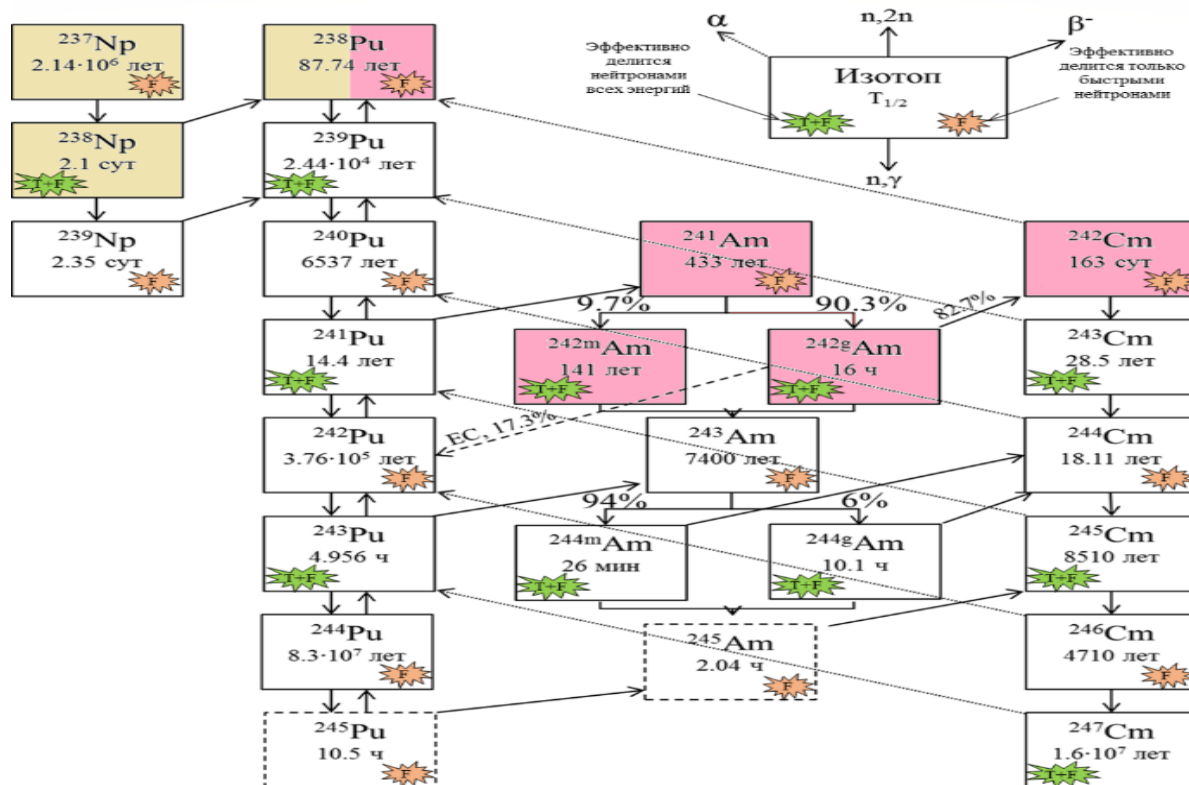


Схема изотопных переходов актинилов при облучении в потоке нейтронов (фрагмент)

Нейтронно-физические характеристики ЖСР для трансмутации Cm получены по программе MCU [2] на расчетной модели ЖСР-С. Размножающие свойства смеси изотопов кюрия существенно лучше, чем у плутония. Как следствие — для Cm критическая загрузка в ЖСР-С в 12 раз меньше, чем для плутония. Ежегодная догрузка плутония при трансмутации кюрия не требуется. Наличие большого количества легких ядер (Li, Be, F) малое удельное содержание Cm, имеющего хорошие размножающие характеристики, сдвигает спектр плотности потока нейтронов в область тепловых нейтронов — оптимальную область для сжигания Cm.

Проведенные на модели ЖСР-С расчеты показали, что в режим работы с равновесным содержанием в топливе ^{243}Cm , ^{244}Cm и ^{245}Cm реактор переходит через 3 года, равновесие по всем изотопам устанавливается примерно через 15 лет. Изотопный состав Cm в равновесном режиме работы: ^{243}Cm —0,1%, ^{244}Cm —57,99%, ^{245}Cm —3,16%, ^{246}Cm —32,8%, ^{247}Cm —1,58%, ^{248}Cm —4,38%. За 50 лет работы реактора будет трансмутировано 95% загруженного Cm практически без накопления вторичных долгоживущих актинилов. Основная «примесь» — плутоний, менее 1%.

Оценим тепловую мощность ЖСР (ЖСР-Cm — реактор для трансмутации Cm) для трансмутации всего кюрия, выделяемого из в ОЯТ тепловых и быстрых реакторов в прогнозной ядерной энергетике России. Расчеты одного из сценариев развития ядерной энергетике России, рассмотренного в проектом направлении Прорыв, показывают [3], что среднее годовое количество кюрия, выделяемое в год в период 2050—2100 годов, составит примерно 180 кг/год. Исходя из этого можно определить, что на указанный период тепловая мощность ЖСР-Cm должна быть примерно 550—600 МВт в зависимости от стратегии перегрузок топлива (табл. 1).

Такому реактору должен сопутствовать приреакторный радиохимический комплекс для регенерации (периодической или непрерывной) и корректировки состава топливной соли. Он позволит организовать топливный цикл с вводом кюрия извне и выводом плутония и продуктов деления с остатками актиноидов.

Заключение. Реактор ЖСР-См является возможным решением для трансмутации кюрия в ядерной энергетике России. Особенности нейтронных характеристик изотопов кюрия обеспечивает эффективную трансмутацию См с незначительным накоплением в топливе вторичных долгоживущих актиноидов.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ СВОЙСТВ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АДДИТИВНОМ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Шарапов И.С.¹, Алексеева Е.М.¹, Черепецкая Е.Б.², Панченко О.В.³,
Жедаев А.А.⁴, Дуб А.В.⁴**

**¹АО «НИИ НПО «ЛУЧ», ²НИТУ «МИСиС», ³ФГАОУ ВО СПбПУ, ⁴Частное
учреждение «Наука и инновации»**

Применение тугоплавких металлов (в первую очередь молибдена) и жаропрочных сплавов в ответственных конструкциях атомной техники и передовых отраслях промышленности требует формирования заданной микроструктуры и прогнозируемого комплекса физико-механических свойств.

Современные аддитивные технологии, селективное лазерное плавление (СЛП) и прямая лазерная наплавка проволоки, обеспечивают получение изделий сложной геометрии, однако управление процессами кристаллизации и микроструктурой в ходе затвердевания расплава остаётся ограниченным.

Разработка методов управляемого импульсного воздействия на ванну расплава является ключевым направлением повышения прочностных и вязкопластических характеристик синтезируемых металлических материалов.

Для решения вышеуказанной проблематики начаты работы в области технологии селективного лазерного плавления тугоплавких металлов с управляемой структурой, а также технологии прямой лазерной наплавки проволоки с импульсным лазерным воздействием для управления кристаллизацией ванны расплава масштабом не менее 500 мкм.



Рисунок 1. Макет установки прямой лазерной наплавки проволоки

В рамках работы проведено компьютерное моделирование влияния импульсного лазерного воздействия на процессы затвердевания молибдена при СЛП. Была определена требуемая для уменьшения размера зерна амплитуда акустического давления и соответствующие ей параметры импульсного лазерного излучения. Разработан эскизный проект и изготовлен макет установки прямой лазерной наплавки проволоки (Рисунок 1) с

управляющим воздействием (ЛВП-У). Выполнено моделирование технологии ЛВП-У для жаропрочных сплавов (тип ВЖЛ14Н / ВЖЛ14У), определены режимы импульсного воздействия, обеспечивающие управление структурой.

Ключевой особенностью разработанного аддитивного оборудования прямой лазерной наплавки стало наплавочное устройство (Рисунок 2), которое позволяет осуществлять лазерную наплавку с применением двух типов лазеров, для обеспечения непрерывного лазерного воздействия для плавления проволоочного материала, а также импульсного для управления процессом кристаллизации жидкой ванны.

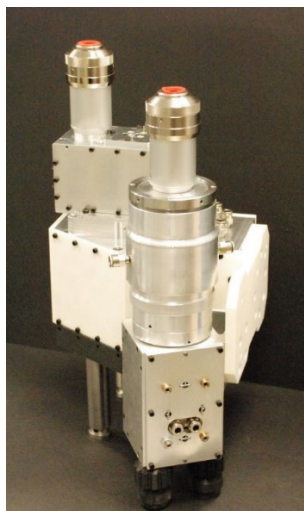


Рисунок 2. Наплавочное устройство с возможностью управления структурой наплавляемого материала.

Разрабатываемые технологии позволят обеспечить повышение предела текучести и прочности тугоплавких материалов за счет управляемого формирования микроструктуры в процессе аддитивного производства, а также расширить возможности применения аддитивных технологий в области ответственного машиностроения и сформировать научно-технический задел для перехода к промышленной апробации.

В рамках выполнения последующих этапов работ предусмотрены экспериментальная верификация прогнозируемых характеристик, оптимизация режимов СЛП и ЛВП на основе эмпирических данных исследований, а также изготовление и испытания полноразмерных изделий с управляемой структурой во всем объеме.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОМПОЗИТЫ ОКСИДНОЕ ВОЛОКНО/ВЭС, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ МЕТОДЫ СВС И ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.

В.Н. Санин¹, С.Т. Милейко^{1,2},

¹ Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, ² Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН

В рамках настоящей работы впервые были получены и исследованы высокотемпературные композиты в сочетании оксидное волокно эвтектического состава $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}_5\text{Y}_3\text{O}_{12}$ / тугоплавкие высокоэнтропийные сплавы (ТВЭС) на основе базовой системы Nb-Ta-Hf.

Работа включает два основных блока:

1) Синтез литых ТВЭС методами центробежной СВС-металлургии на основе тугоплавких металлов Nb-Ta-Hf, легированных 3d металлами (Cr, V, Zr, Ti) непосредственно (in-situ)

СВС и исследование влияния легирующей системы на окислительную стойкость синтезированных ТВЭС.

(2) Получение нового класса высокотемпературных композитов включает экспериментальное исследование совместимости оксидного волокна и высокоэнтропийной матрицы и в конечном итоге направленно на создание пилотных образцов для проведения оценки их показателей сопротивления ползучести при длительной эксплуатации, в условиях воздействия высокой температуры (1300 °С).

Исследования были ориентированы на изучение шести ТВЭС, из которых четыре состава формировались путем вводимых легирующих компонентов на основе переходных металлов (Cr, V, Ti и Zr) и два состава дополнительно были легированы введением в их состав редкоземельных металлов (РЗМ) лантаноидной группы.

Результаты РФА показали, что основной фазой синтезированных сплавов является твердый раствор, имеющий ОЦК кристаллическую структуру.

Анализ микроструктуры полученных образцов показал, что введение в базовую систему (Nb-Ta-Hf) модифицирующих элементов (Cr, V, Zr и Gd) приводит к появлению новых структурных выделений.

Анализ данных на окислительную стойкость синтезированных сплавов показал, что характер окисления не меняется в зависимости от состава сплавов, но количественно заметно отличается. Наилучшие показатели окислительной стойкости (жаростойкости) показал состав S2-3 ($\text{Nb}_{45}\text{Ta}_{20}\text{Hf}_{15}\text{Ti}_{15}\text{Cr}_5$). Данный состав был выбран как наиболее перспективный матричный материал для проведения исследований по формированию композитов оксидное волокно/ВЭС.

После серии предварительных экспериментов на исследуемом составе S2-3 оптимальным режимом спекания для получения композитов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}_5\text{Y}_3\text{O}_{12}$ / $\text{Nb}_{45}\text{Ta}_{20}\text{Hf}_{15}\text{Ti}_{15}\text{Cr}_5$ (S2-3) и изготовление серии образцов с различным объемным содержанием волокон в объеме матрицы было признано спекание в течении 20 минут при давлении 5 МПа и температуре 1450 °С.

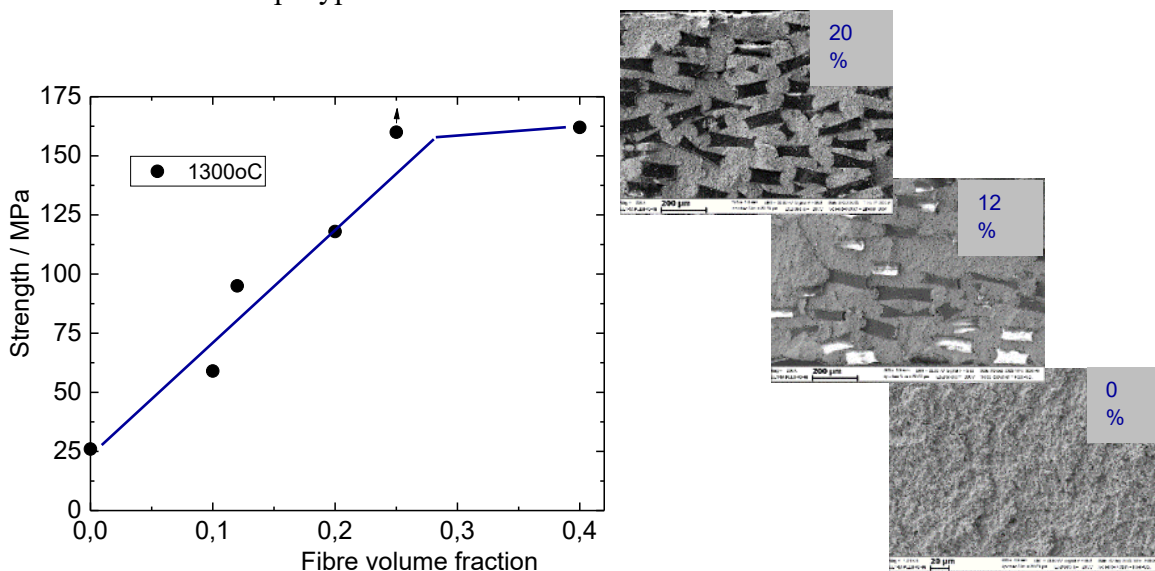


Рис. 1. Зависимость прочности от объёмного содержания волокна (*трёхточечный изгиб*) для испытуемых образцов композитов с варьируемым содержанием объёмной доли композитов в интервале 0-40 % объем.

Высокотемпературные испытания проводились при температуре 1300°C в вакууме 3-точечным изгибом. Результаты первых испытаний полученных композитов ВЭС матрица ($\text{Nb}_{45}\text{Ta}_{20}\text{Hf}_{15}\text{Ti}_{15}\text{Cr}_5$) /оксидное волокно (эвтектика $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$) при температуре 1300 °С представлены на рис.1. Видно, что наблюдается явно выраженная зависимость прочности от объёмного содержания волокна в испытуемых композитах. По сравнению с матрицей

(образец без волокна) прочность повышается в 4,5 раза достигая 118 МПа при 20 объёмных % волокна в составе композита. Оценки для образца с 20% волокна показали значения ~ 60 МПа, а аналогичные испытание образца с 25% волокна дают значения ~70 МПа.

Оценка сопротивления ползучести при растяжении 1% деформации образцов за 100 час проводилась по алгоритму Работнова, сформулированному для однородного материала с одинаковыми характеристиками ползучести при растяжении и сжатии.

Значения ~60-70 МПа для сопротивления ползучести (1% за 100 часов при 1300 °С) является недостаточно высокими для разрабатываемых материалов. Полученные результаты указывают на пути создания композитов с высоким сопротивлением ползучести вплоть до температур около 1500 °С. Для этого в качестве армирующего средства должны быть использованы имеющиеся в распоряжении авторов монокристаллические волокна граната или муллита которые как мы видим из полученных зависимостей определяют уровень прочности при высоких температурах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-13-00065.

1. Санин В.Н., Икорников Д.М., Сивакова А.О., Ковалев Д.Ю., Силяков С.Л., Панова М.Д. Синтез высокоэнтروпийных сплавов на основе тугоплавких металлов Mo–Nb–Ta–(Cr, V, Zr, Hf) методами центробежной СВС-металлургии и исследование их окислительной стойкости. Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2025;19(5):17–35.
2. V. N. Sanin, D. M. Ikornikov, D. Yu. Kovalev, O. A. Golosova, A. O. Sivakova, and S. L. Silyakov. Combined Centrifugal Casting–SHS Process of Refractory High-Entropy Nb–Ta–Hf–(Zr,Ti,Cr,V,Mn,Gd) Alloys. International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis, 2025, Vol. 34, No. 4, pp. 310–319.
3. 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.

ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СВС-МЕТАЛЛУРГИЯ - ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ FeCoNiCuCr(Me)-Al_x (Me= Mn, La, Ce) КАК ПРЕКУРСОРОВ КАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Пугачева Е.В., Икорников Д.М., Сивакова А.О., Хоменко Н.Ю.,
Ромазева К.А., Быстрова И.М., Борщ В.Н., Санин В.Н.**

***Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
им. А.Г. Мерзжанова РАН.***

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) FeCoNiCu(Cr, Mn, La, Ce)-Al были получены с помощью комбинированного процесса Центробежного литья и Самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, которые были использованы в качестве многофункциональных прекурсоров для формирования каталитически активных материалов катализаторов.

Результаты показали, что даже при содержании алюминия, достигающем 50 мас. %, типичная ОЦК-структура, присущая ВЭС, сохранялась. Легирование добавками (Cr, Mn, La и Ce) приводило к выраженным микроструктурным изменениям, включая изменения морфологии, пористости и распределения элементов, в то время как первичные фазовые составляющие сплавов на основе FeCoNiCuAl оставались неизменными (Рис.1).

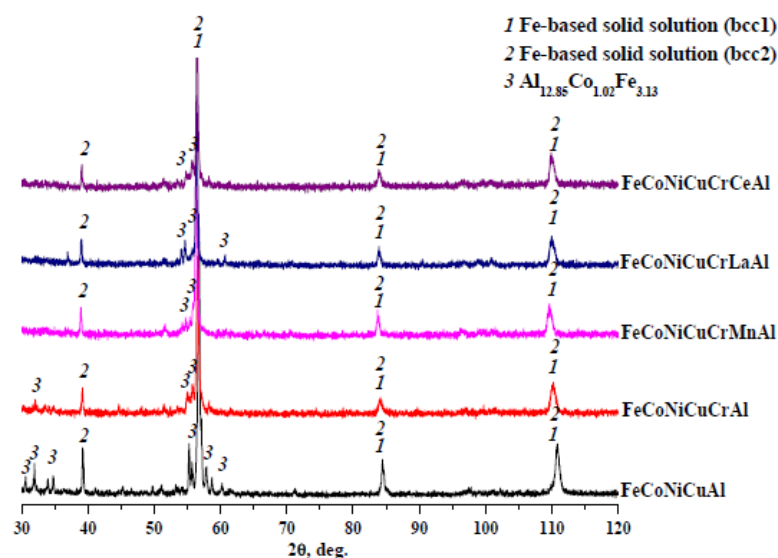


Рис. 1. Дифрактограммы синтезированных сплавов (прекурсоров).

Было установлено, что La и Ce в достаточно малом количестве от расчетного входят в состав синтезированных ВЭС, о чем свидетельствует низкое поверхностное содержание на гранулах после дробления слита.

Последующее выщелачивание алюминия и стабилизация перекисью водорода превратили обработанные гранулы в каталитически активные материалы. Полученные катализаторы, на основе обработанных ВЭС, продемонстрировали высокую активность в глубоком окислении пропана и СО (Рис.2). Катализатор FeCoNiCu показал наилучшие результаты в окислении СО, достигнув 100% конверсии СО при 250 °С. В окислении пропана наиболее активным оказался катализатор FeCoNiCuCrMn, обеспечивший 100% конверсию СО при 300 °С и 97% конверсию пропана при 400 °С.

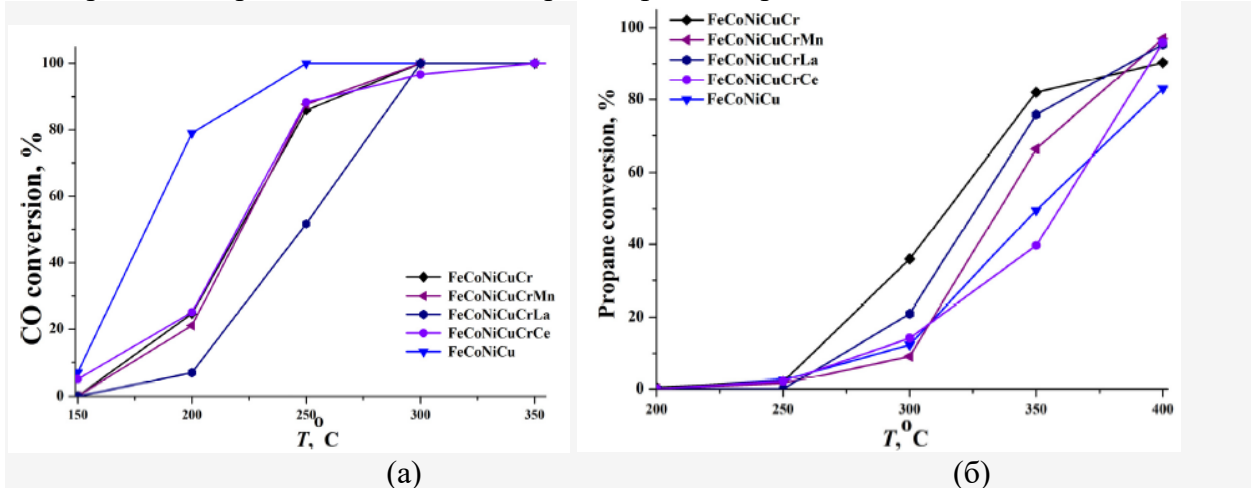


Рис.2. Степень глубокого окисления СО (а) и пропана (б) на исследуемых катализаторах в зависимости от температуры.

1. Pugacheva, E.; Ikornikov, D.; Sivakova, A.; Romazeva, K.; Andreev, D.; Golosova, O.; Borshch, V.; Sanin, V. Combined Centrifugal Casting–Self-Propagating High-Temperature Synthesis Process of High-Entropy Alloys FeCoNiCu(Me)Al (Me = Cr, Cr + Mn, Cr + La, and Cr + Ce) as Precursors for Preparation of Deep Oxidation Catalysts. *Metals* 2025, 15, 1381. <https://doi.org/10.3390/met15121381>

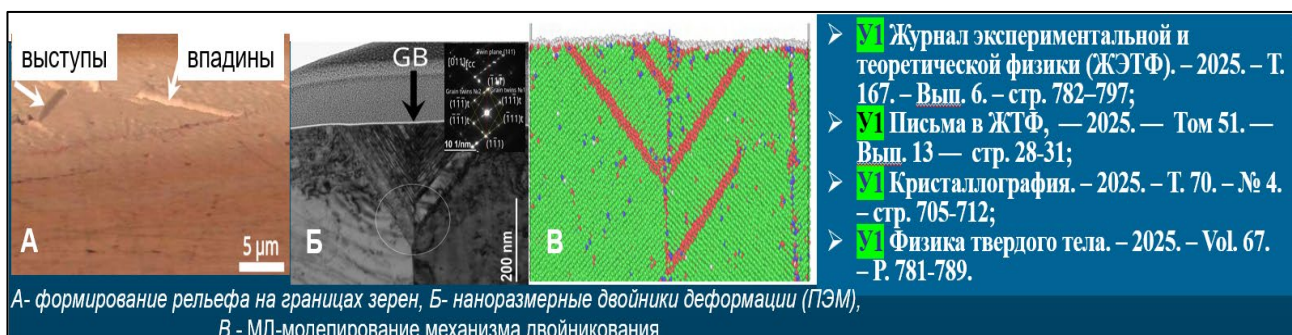
МЕХАНИЗМЫ СТРУКТУРНОЙ МОДИФИКАЦИИ И ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ МЕДИ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Колобов Юрий Романовича

ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

Проведено детальное исследование изменений рельефа и микроструктуры приповерхностных слоев полированных образцов бескислородной меди при многократном наносекундном лазерном воздействии в режиме, имитирующем жесткое термоциклирование.

С использованием комплекса методов, включающего оптическую металлографию, просвечивающую электронную (ПЭМ) и конфокальную лазерную микроскопию выявлено формирование специфического рельефа и деформационной субструктуры: вблизи границ зерен обнаружено формирование пакетов наноразмерных двойников деформации (толщиной несколько нанометров и длиной 5–250 нм) и дислокационных стенок, симметрично расположенные относительно плоскости залегания границ зерен.



Сравнение экспериментальных данных с результатами молекулярно-динамического моделирования цифровых двойников одиночных границ зерен в бикристалле меди позволило установить природу наблюдаемых явлений. Показано, что циклические термомеханические напряжения, возникающие на границах зерен вследствие анизотропии теплового расширения соседних зерен, релаксируют посредством механического двойникования и дислокационной перестройки.

На макроуровне накопление таких дефектов проявляется в необратимом изменении рельефа поверхности — формировании выступов и впадин вблизи границ зерен. Временной масштаб исследований при компьютерном моделировании позволил подтвердить наблюдаемый экспериментально накопительный характер эффекта: перепад высот выступов и глубины впадин увеличивается с ростом плотности энергии и числа лазерных импульсов, задающих количество циклов нагрев-охлаждение поверхности медных образцов.

Полученные результаты имеют важное значение для прогнозирования эксплуатационной деградации металлооптических элементов и компонентов теплоотводов, работающих в условиях интенсивных циклических тепловых нагрузок.

1. Неласов И.В., Манохин С.С., Колобов Ю.Р., Жаховский В.В., Перов Е.А., Петров Ю.В., Хомич Ю.В., Малинский Т.В., Иногамов Н.А., Роголин В.Е. Эволюция микроструктуры приповерхностного слоя меди при термоциклировании лазерными импульсами наносекундной длительности // Журнал экспериментальной и теоретической Физики. — 2025. — Том 167. — Вып. 6 — стр. 782-797.
2. Манохин С.С., Неласов И.В., Ашитков С.И., Ситников Д.С., Колобов Ю.Р. Исследование механизма полиморфного превращения в титане при воздействии лазерного импульса фемтосекундной длительности // Письма в ЖТФ, — 2025. — Том 51. — Вып. 13 — стр. 28-

3. Васильев А.Л., Криштал М.М., Григорьев Ю.В., Полунин А.В., Родин А.О., Колобов Ю.Р. Микроструктурные изменения в магниевом сплаве Mg–Zn–REE после облучения лазерными импульсами наносекундной длительности // Кристаллография, — 2025. — Том 70. — № 4 — стр. 705-712
4. Нарыкова М.В., Манохин С.С., Бетехтин В.И., Колобов Ю.Р., Кадомцев А.Г., Амосова О.В. Микроструктурные изменения и механизмы разрушения в титане BT1-0 в суб- и микрокристаллическом состояниях после обработки высоким давлением и усталостных испытаний // Физика твердого тела. - 2025. - Vol. 67. - P. 781-789
5. Manokhin S.S., Kolobov Yu.R., Gusakov M.S., Beresnev A.G., Butrim V.N., Kondratiev D.M. Investigating the Structure and Phase Composition in Cr-Ta-W Alloy // Inorganic Materials: Applied Research. - 2025. - Vol. 16. - №3. - P. 852-855.
6. Barinov V.Yu., Manokhin S.S., Kolobov Yu.R. Combination of Methods of Self-Propagating High-Temperature Synthesis and Infiltration to Obtain W-Cu Pseudo-Alloy // Inorganic Materials: Applied Research. - 2025. - Vol. 16. - №3. - P. 877-880.
7. Vasiliev A. L., Krishtal M. M., Grigoriev Yu. V., Polunin A. V., Rodin A. O., Kolobov Yu. R. Microstructural Changes in Magnesium Alloy Mg–Zn–REE after Irradiation with Nanosecond Laser Pulses // Crystallography Reports. - 2025. - Vol. 70, No. 4. - P. 672-679.

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-СТОЙКИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С ШИРОКОЙ ОБЛАСТЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ

Емельяненко А.М., Емельяненко К.А., Кузина Е.А., Теплоногова М.А., Домантовский А.Г., Бойнович Л.Б.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН

С применением импульсной лазерной обработки разработаны долговечные супергидрофобные покрытия на различных металлах (рис. 1) с уникальными противокоррозионными, механическими и противообледенительными свойствами [1,2].

Впервые показана роль температуры обрабатываемой поверхности и плотности потока лазерного излучения для обеспечения требуемых функциональных свойств. Дан детальный анализ механизмов ингибирования коррозии на коррозионно-активных металлах в агрессивных средах и противообледенительных свойств получаемых покрытий при длительной эксплуатации в суровых климатических условиях [3].



Рис. 1 – Лазерное текстурирование поверхности металла и примеры областей эффективного применения получаемых супергидрофобных покрытий

Сформулирована стратегия лазерной обработки поверхности для обеспечения противообледенительных свойств в зависимости от условий эксплуатации покрытий. Показано, что для обеспечения минимальной адгезии сразу после формирования льда, необходимы покрытия, имеющие высокий угол смачивания водой, но низкую шероховатость. При инициированных внешних условиях длительного сохранения контакта между льдом и супергидрофобным покрытием, адгезия льда будет тем ниже, чем выше угол смачивания водой, независимо от шероховатости покрытия [3].

2. Boinovich L.B., Domantovsky A.G., Emelyanenko A.M., Emelyanenko K.A. Synergism of Arc Spraying, Laser Processing, and Hydrophobization for Long-Lasting Corrosion Protection of Magnesium Alloys. *Advanced Engineering Materials* 27 (2025) 2401708.
3. Kuzina E.A., Teplonogova M.A., Emelyanenko A.M., Boinovich L.B. Superhydrophobic Epoxy Coatings via Pulsed Laser Processing. *Progress in Organic Coatings* 204 (2025) 109172.
4. Teplonogova M.A., Emelyanenko K.A., Emelyanenko A.M., Boinovich L.B., Balancing Heat and Pulse Width in Laser Texturing of Al-Mg Alloy: Superhydrophobicity with Wear, Icing, and Corrosion Control. *Surface & Coatings Technology* 518 (2025) 132876.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ И ГАЗОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

К.В. Ивановских¹, Д.И. Васильев¹, А.В. Дуб² М.Е. Фоминов² Д.А. Намеев³
¹АО «Гиредмет», ²Частное учреждение «Наука и инновации», ³АО «ТВЭЛ»

Впервые в РФ разработана технология производства порошков титановых сплавов методом бестигельной индукционной плавки электродов с образованием перегретой струи расплава ускоряемой потоком газа в газодинамической втулке до высоких скоростей и распыления форсункой свободного падения на мелкодисперсные капли с последующим охлаждением и образованием высококачественных порошков для аддитивных технологий с высоким содержанием целевых фракций.



Рис. 1. Отечественная установка производства порошков титановых сплавов из прутков диаметром 80 и 120 мм

Реализация промышленного производства титановых порошков существенно сокращает стоимость товарных позиций порошков, полностью обеспечивает внутреннюю потребность в порошках титановых сплавов и позволяет выводить данную продукцию на

международные рынки. Снижению стоимости порошков способствует использование в качестве исходной заготовки прутка диаметром 120 мм, относительно использования прутков 50, 70 и 80 мм. Себестоимость данных прутков в производстве выше на 30-40% относительно прутка диаметром 120 мм. Технология распыления прутков большего диаметра обеспечивает уменьшение себестоимости получаемого порошка за счёт меньшей себестоимости распыляемого прутка. В результате испытаний снижение себестоимости порошков титановых сплавов может достигать от 10 до 15 % без учёта применения технологии рециклинга нетоварных фракций порошка в прутки для распыления.



Ри. 2. Распыляемый прутки из сплава ВТ-6 диаметром 120 мм

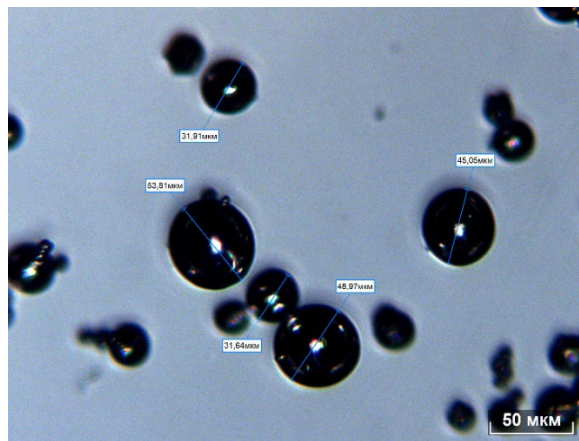


Рис. 3. Изображение полученного на установке порошка ВТ-6

ВОЛОКНО ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Л.А. Карпюк¹, А.В. Дуб², А.В. Угрюмов³

¹АО «ВНИИНМ», ² Частное учреждение "Наука и инновации", ³АО «ТВЭЛ»

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.



Рисунок 1. SiC волокно.

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.

Карбид кремния рассматривается в качестве перспективного материала для толерантных оболочек твэлов, способных значительно повысить безопасность ядерных реакторов. Ключевое требование к таким материалам - сохранение механической целостности и барьерных свойств в условиях тяжёлых аварий, сопровождающихся значительным тепловыделением, вплоть до температур 1200 °C и выше.

Основой для создания композитов SiC/SiC является высококачественное волокно. В АО «ВНИИНМ» была разработана опытная технология изготовления SiC-волокна. В лабораторных условиях получены образцы SiC-волокна длиной 5 м с содержанием кислорода < 1 %, $\sigma = 2,6-3,4$ ГПа, термостойкость 1200 °C (рисунок 1).

На текущем этапе в АО «ВНИИНМ» были успешно разработаны и изготовлены опытные образцы пучков непрерывного волокна карбида кремния длиной более 10 метров, состоящих из 500 элементарных филаментов. Критически важной задачей является масштабирование технологии с целью получения длинномерных непрерывных текстилепригодных волокон длиной сто и более метров с сохранением целевых характеристик, включая снижение содержания кислорода, прочность, термостойкость.

Параллельно разработана отечественная технология синтеза полимерного прекурсора - модифицированного металлами поликарбосилана (МПКС), который является сырьём для получения волокна SiC. Работа выполнялась при участии АО «ГНИИХТЭОС». Ключевой задачей было создание состава, обеспечивающего высокий выход керамики и управляемое спекание. Модификация определенными металлами (такими как алюминий, иттрий, магний, цирконий и др.) позволяет контролировать процессы рекристаллизации и роста зерна при высокотемпературной обработке, что в итоге снижает содержание кислорода, повышает жаропрочность и радиационную стойкость конечного волокна. Нарботана опытная партия прекурсора массой 30 кг.

В качестве перспективы планируется создание полностью отечественной технологии производства композитных оболочек твэлов на основе SiC/SiC. Это позволит перейти к изготовлению опытных твэлов, устойчивых к аварийным ситуациям, что является главной целью концепции толерантного топлива. Для достижения этого будет обеспечен полный контроль над всем технологическим процессом — от синтеза и очистки прекурсоров до получения волокна и формирования композитной структуры.

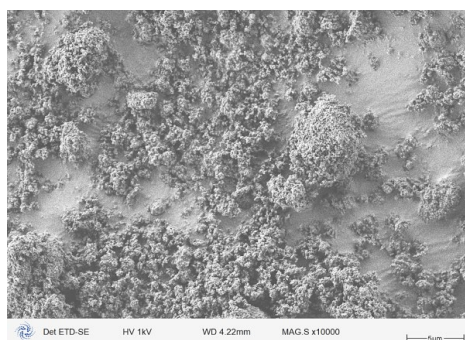
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРОШКА ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСОБОПРОЧНОЙ КЕРАМИКИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М.А. Машковцев¹, А.В. Дуб², М.Е. Фоминов², Д.С. Суглобов³

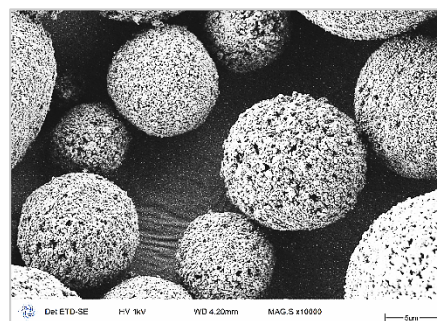
**¹ ИВТЭ УрО РАН, ² Частное учреждение «Наука и инновации», ³ ООО «Росатом
МеталлТех»**

Технология производства порошков частично-стабилизированного диоксида циркония (далее - ЧСДЦ) медицинского назначения является сложной, ввиду

многостадийности и строгих требований к условиям выполнения технологических операций, которые должны обеспечивать формирование частиц с заданным набором свойств, таких как размер и морфология, химический состав, особенно в части содержания примесей, отсутствие механических включений, размер кристаллитов и необходимый уровень удельной поверхности. Ключевая задача при разработке технологии синтеза заключается в обеспечении минимального размера частиц оксида циркония без использования стадии помола, так как помол порошков приводит к неизбежному загрязнению порошков материалами футеровки мельниц, что в конечном счете снижает свойства керамических изделий.



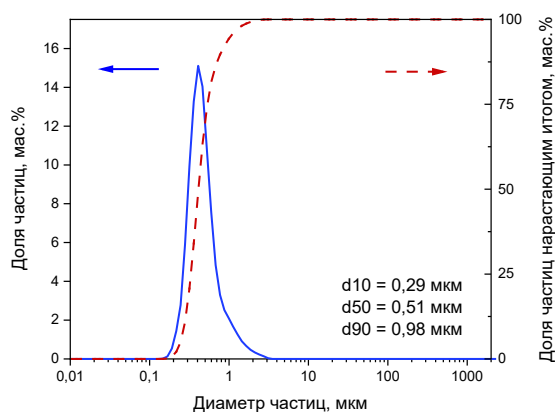
(a)



(б)

Рис. 1. Форма частиц порошков ЧСДЦ после обжига (а) и после гранулирования методом распылительной сушки (б)

При разработке технологии были выбраны и обоснованы потенциальные способы промышленного производства порошков ЧСДЦ, включающие такие технологические операции, как двухстадийный гидролиз, гидротермальная обработка и измельчение в водной среде с последующей грануляцией методом распылительной сушки. На основе экспериментального сравнения различных способов синтеза установлено, что применение двухстадийного гидролиза позволяет получать порошки ЧСДЦ с наименьшим исходным размером частиц и керамику с наиболее высокими значениями прочности, твердости и плотности. В ходе работ создана укрупненная лабораторная установка синтеза порошков с производительностью не менее 1 кг/час, наработаны опытные партии образцов, проведены независимые испытания порошков у потенциальных потребителей. Достигнуты высокие значения характеристик керамики из синтезированных порошков при температуре спекания 1500 °С без использования горячего прессования: прочность на трехточечный изгиб более 1400 МПа, твердость более 1350 HV 10, относительная плотность более 99,5 %.



(a)



(б)

Рисунок 2. Распределение частиц порошка ЧСДЦ после размол (а) и фотография распылительной сушилки (б)

НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАГНИЕВЫЕ БИОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Р.З. Валиев

Уфимский университет науки и технологий

В развитие работ по нанотитану в 2025 г. выполнены исследования и разработаны наноструктурные магниевые сплавы (Mg сплавы) с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой для имплантатов в реконструктивной хирургии и стоматологии. Данный материал обладает уникальной прочностью $\sigma_b > 400$ МПа и коррозионной стойкостью, что необходимо для изготовления имплантатов улучшенной конструкции. 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) позволит обеспечить рынок медицинских имплантатов в стране и внесет значительный вклад в импортозамещение.

Разработка новых материалов и создание перспективных имплантатов для стоматологии, ортопедии и челюстно-лицевой хирургии, имеющих повышенную биоактивность, биорастворимость и антибактериальные свойства, направлена на решение целого ряда экономических и социальных задач. Так, малоинвазивность операций по установке миниатюризированных имплантатов с повышенными прочностными свойствами и улучшенной биосовместимостью позволяет сократить срок пребывания в медицинском учреждении, а также уменьшить срок реабилитации, что снижает стоимость лечения и экономическую нагрузку на оплату временной нетрудоспособности пациента. С социальной точки зрения, реализация разработки позволит расширить круг лиц, получающих высокотехнологичную медицинскую помощь в сфере стоматологии и ортопедии за счет снижения стоимости лечения, а улучшенные эксплуатационные характеристики устройств позволят увеличить среднюю продолжительность жизни населения.

В настоящее время осваивается в г. Уфа опытное производство таких полуфабрикатов- прутков на базе малого инновационного предприятия ООО «Наномет». Актуальной проблемой является кооперация с промышленными партнерами в нашей стране, что позволит внести вклад в задачу развития реабилитационной индустрии в стране (согласно Стратегии развития производства промышленной продукции реабилитационной направленности на период до 2030 года от 06.11.2025 г.).



Рис. 1 Образцы наноструктурного материала в виде прутков

Наноструктурные Mg сплавы, в частности 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 травматологии и челюстно-лицевой хирургии, где предъявляются высокие требования к механическим и биофункциональным свойствам изделий.

Использование наноструктурных материалов в медицине открывает новые возможности для миниатюризации имплантатов и сокращения восстановительного периода после операций.

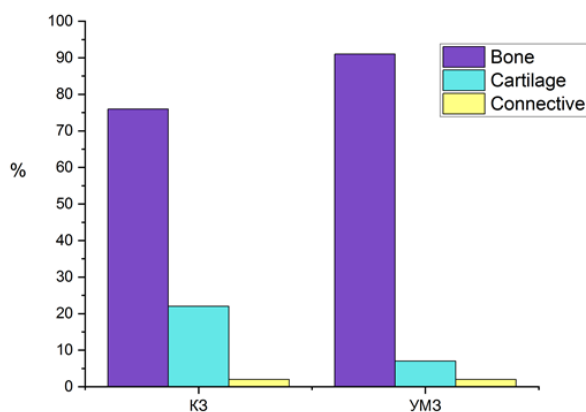


Рис.2 Процентное соотношение разных тканей: костной, хрящевой и соединительной по гистологическим исследованиям среза берцовой кости мыши, где находились имплантаты из Mg-1%Zn-0,2%Ca



Рис 3. Виды костной ткани, обнаруженные в берцовой кости мыши, где находились имплантаты из Mg-1%Zn-0,2%Ca сплава с УМЗ (а) и КЗ (б) структурой (увеличение x200)

1. Боткин А.В., Волкова Е.П., Худождова Г.Д., Кулясова О.Б., Исламгалиев Р.К., Валиев Р.З. Исследование и разработка наноструктурного магниевого сплава Mg-1%Zn-0.06%Ca для медицинского применения. НАНОИНДУСТРИЯ. 2025. Т. 18. № 1. С. 70–79
2. Hlinka J., Cvejn D., Dluhos L., Babuska V., Cabanova K., Dvorakova J., Volodarskaja A., Valiev R.Z., Faisal N.H., Peterek Dedkova K., et al. Grain size and electrochemical surface

- modification effects on corrosion, biological, and technological properties of CP Titanium implants. *J. Funct. Biomater.* 2025. Vol. 16. P. 439
3. C.C. Li, R.E. Kim, X.G. Qiao, W.T. Sun, L. Yuan, H.S. Kim, T. Sakai, R.Z. Valiev and M.Y. Zheng, Achieving exceptional roomtemperature ductility in ultrafine-grained Mg-0.8Mn alloy via high pressure torsion, *Journal of Alloys and Compounds*, (2025)
 4. A. Najafi, M. Reihanian, E. Bagherpour, C.L. Mendis, Y. Mazaheri, A. Botkin, R.Z. Valiev, R. Ebrahimi, Tailoring microstructure and mechanical behavior of Mg-1Zn-0.2Ca alloy through hot extrusion with a cosine-profile die, *Materials Today Communications*, Vol. 49 (2025) 113832
 5. Usmanov, E.I., Sharafutdinov, D.A., Valiev, R.R., Singh, S.P., Kong, Y., Valiev, R.Z. Grain boundary structure and segregation in nanostructured Ti Grade 4 for biomedical applications. *J. Mater. Res.* (2025)
 6. Выступление Валиева Р.З. с пленарным докладом «Наноструктурные металлические биоматериалы для медицинских применений» на международной конференции «Биоматериалы: от исследований к практике», 22-25 сентября, г.Москва <https://biomats.ru/>

ПОРИСТЫЙ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИЙ КАРКАС ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АНТИБИОТИКОВ И РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВ

С. Юй, Д.И. Павлов, А.А. Рядун, К.А. Коваленко, А.С. Потапов, В.П. Федин
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

Металл-органические каркасы (metal-organic frameworks, MOF) на основе лантаноидов сочетают в себе люминесцентные свойства редкоземельных элементов с возможностью структурной настройки лигандов, используемых для получения пористых каркасов, что делает их идеальными для многофункциональных применений, таких как люминесцентное зондирование и разделение газов (Рис. 1).

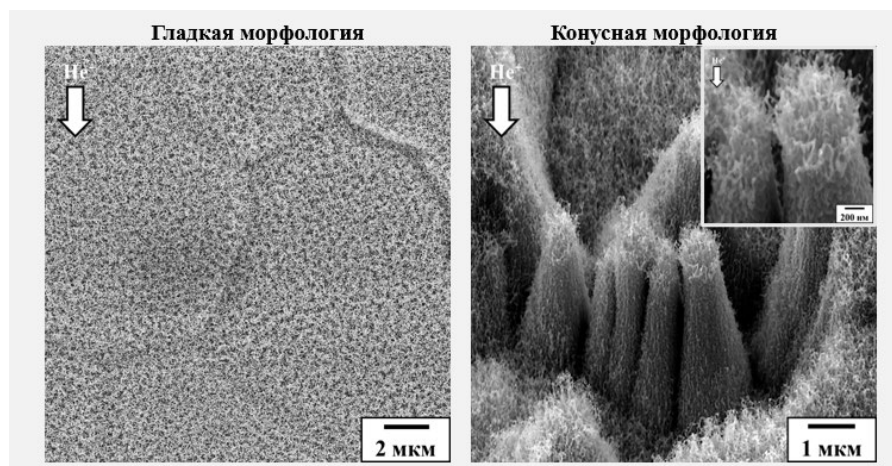


Рис. 1. Eu-MOF для определения нитрофурановых антибиотиков в водной среде и для разделения газов после активации каркаса.

В данной работе мы разработали синтез пористого Eu-MOF $\{[Eu_2(H_2O)L_3] \cdot 3H_2O\}_n$ с красной люминесценцией, используя 1,2,5-тиадиазол-3,4-дикарбоновую кислоту (H_2L) в качестве единственного лиганда. Лиганд H_2L обладает эффективным антенным эффектом для переноса энергии на ионы трехвалентного европия и структурной жесткостью, что позволяет формировать прочный микропористый каркас. Детальный рентгеноструктурный анализ выявил его высокоупорядоченную микропористость. Eu-MOF продемонстрировал превосходные люминесцентные характеристики для обнаружения нитрофурановых

антибиотиков, включая нитрофурантоин (NFN) и нитрофуразон (NTZ), показав высокую селективность по отношению к ряду других антибиотиков, низкие пределы обнаружения (пределы обнаружения составили 0.97 μM для NFN и 0.52 μM для NFZ) и короткое время отклика (в обоих случаях менее 6 с). Кроме того, микропористая структура Eu-MOF наделила его исключительными адсорбционными свойствами, обеспечивая эффективное разделение метана и ацетилена с рекордно высокими значениями факторов селективности.

1. Yu X., Pavlov D.I., Ryadun A.A., Kovalenko K.A., Potapov A.S., Fedin V.P. Microporous Eu-MOF with Short 1,2,5-Thiadiazole-3,4-dicarboxylate Linkers: Luminescence Sensing of Nitrofurantoin Antibiotics and Gas Adsorption Performance. *Inorganic Chemistry*. 2025. V. 64, P. 6356.

ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ВЕКТОРОВ И БАЗОВОЙ КЛИНИЧЕСКИ ПРИМЕНИМОЙ КЛЕТОЧНОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СОЗДАНИЯ НИЗКОИММУНОГЕННЫХ ИНДУЦИРОВАННЫХ ПЛЮРИПОТЕНТНЫХ СТЕВЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА

И.С. Захарова¹, А.И. Шевченко¹, В.А. Шевченко¹, В.А. Парфенов¹, М.А. Лагарькова²,
А.В. Дуб³

¹ АО «НИИТФА», ² ФНКЦ ФХМ им. Ю.М. Лопухина ФМБА России, ³ Частное учреждение «Наука и инновации»

Одной из проблем при разработке тканеинженерных конструкций является отторжение аллогенного клеточного материала иммунной системой реципиента. Это ограничивает распространение тканеинженерных конструкций необходимостью подготовки клеточных культур из стволовых клеток пациента, а также исключает возможность промышленного производства тканеинженерных конструкций.

Решением может быть создание линий низкоиммуногенных индуцированных плюрипотентных стволовых клеток. Эта работа выполняется в рамках Центра геномных исследований мирового уровня на базе ФНКЦ Физико-химической медицины им. Ю.М. Лопухина ФМБА России с участием АО «НИИТФА».

В 2025 году в рамках этой работы была создана базовая линия индуцированных плюрипотентных стволовых клеток от условно здорового донора.

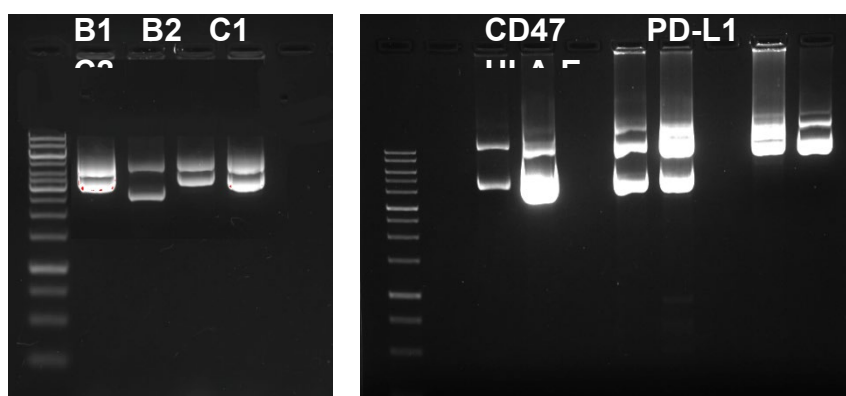


Рисунок 1. Электрофоретический анализ плазмид после препаративного выделения: конструкций regRNA (B1, B2, C1 и C2) и экспрессирующих векторов pCAGGS_CD47_attB, pCAGGS_PD-L1_attB и pCAGGS_HLA-E SCT_attB

Сформирована коллекция из 49 плазмидных векторов для получения, геномного редактирования и трансгенеза индуцированных плюрипотентных стволовых клеток

человека: 5 векторов для клонирования последовательностей ДНК; 10 программируемых нуклеаз Cas9, AsCpf1 (Cas12), векторов для направляющих РНК; 4 конструкции для редактирования оснований, 9 конструкций для прайм-редактирования: *pegRNA*, редакторы, интеграза *ееVxb1*; 8 экспрессирующих векторов для клеток млекопитающих; 2 экспрессирующих конструкций для упаковки лентивирусных векторов; 3 экспрессирующие конструкции с генетически кодируемыми биосенсорами и маркерами компартментов клетки; 3 репрограммирующих фактора; 5 эписом для репрограммирования клеток к плюрипотентному состоянию.

Созданы плазмидные конструкции, экспрессирующие направляющие РНК для нокаута генов иммунного ответа *B2M* и *СИТА* с помощью двойного праймированного редактирования, а также экспрессирующие конструкции генов иммуноtolерантности: *CD47*, *PDL1* и *HLA-E SCT*. Итого создано 7 генетических конструкций, каждая из которых представлена в виде плазмидных ДНК объёмом 100 мкл и бактериальных стоков объёмом 1000 мкл (рис. 1).

3D ПЕЧАТЬ СКАФФОЛДОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКТИВНОГО ОСТЕОГЕНЕЗА

А.В. Демиденко, Е.Г. Киселев, А.Е. Дудаев, Е.И. Кessler, Т.Г. Волова.
Институт биофизики Сибирского отделения РАН

Экструзией высокотемпературных расплавов сополимера 3-гидроксibuтирата и 3-гидроксивалерата П(ЗГБ-*co*-ЗГВ), синтезированного по авторской технологии, впервые получены механически прочные бездефектные картриджи, с применением которых технологией FDM напечатано пионерное семейство 3D скаффолдов с различной геометрией каналов (в виде треугольника, квадрата, шестиугольника, кривой Гильберта).

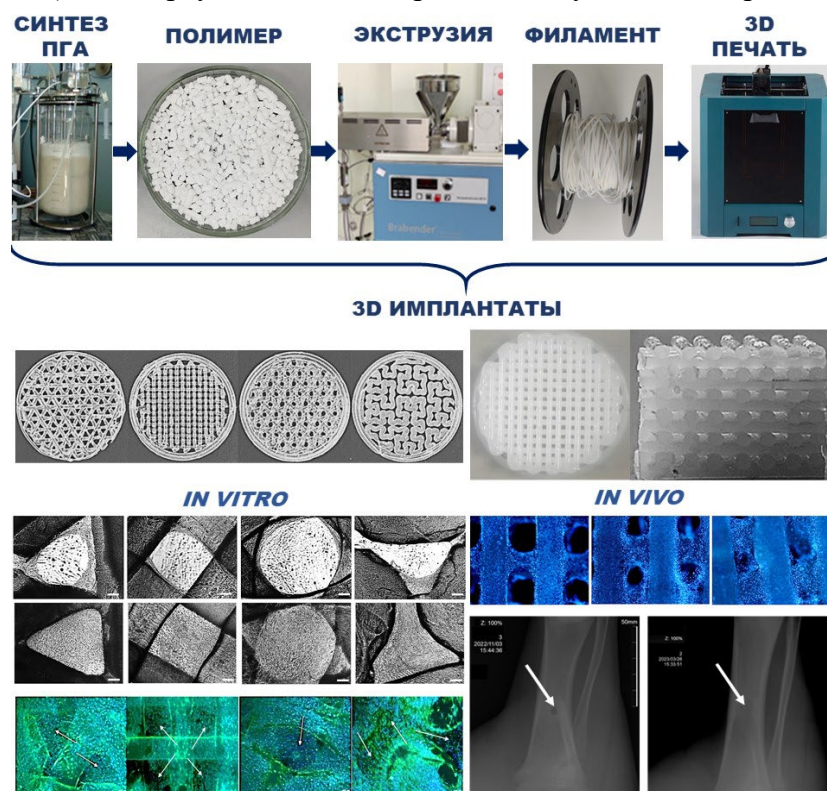


Рис. 1. 3D печать скаффолдов для реконструктивного остеогенеза, исследование *in vitro* и *in vivo*

Скаффолды имеют высокие показатели прочности: модуль Юнга не менее 200 МПа, напряжение на сжатие до 20 МПа, пористость свыше 60% и биологической совместимости. Все образцы, вне зависимости от внутренней геометрии, обеспечивают высокую пролиферативную активность культивируемых эукариотных клеток и дифференцировку МСК в остеогенном направлении. Остеопластические свойства 3D-скаффолдов доказаны в тесте сегментарной остеотомии на модельном дефекте в диафизарной зоне бедренной кости у домашних свиней породы Ландрас. Рентгенографически и гистологически подтверждено формирование зрелой костной ткани и полное восстановление дефекта под 3D скаффолдом. Резорбируемые и термостабильные сополимеры П(ЗГБ-*co*-ЗГВ) пригодны для высокотемпературной 3D печати имплантатов, перспективных для реконструктивного остеогенеза.

1. Ryltseva G.A, Dudaev A.E., A.V. Demidenko, Kisterskii K.A., Shishatskaya E.I., Volova T.G Characteristics and osteogenic potential of scaffolds with controlled pore geometry obtained by FDM 3D printing technology from resorbable bioplastics // Bioprinting – 2025 - Vol.46 - e00414. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2025.e00414>.
2. E. Kiselev, A. Demidenko, T. Volova. Change in molecular and thermal characteristics of thermoplastic biodegradable copolymer in FDM process // Plastics -2025 – №. 3 – P. 49-52. DOI: 10.35164/0554-2901-2025-03-49-52

БИОТЕХНОЛОГИИ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДАХ

Волова Т.Г., Киселев Е.Г., Демиденко А.В., К.Ю. Сапожникова, Жила Н.О.
Институт биофизики Сибирского отделения РАН

Разработаны не имеющие аналогов технологии синтеза белка одноклеточных и разрушаемых биопластиков на жировом субстрате, получаемом из отходов рыбопереработки. Синтезированы партии высокобелковой биомассы, по содержанию незаменимых аминокислот, сопоставимые со шкалой ФАО, белок превосходит по переваримости протеолитическими ферментами зерно пшеницы и близок казеину.

Биотехнологии целевых продуктов на промышленных отходах

Отходы рыбоконсервной промышленности – новый биотехнологический субстрат (WFO)



Показатели синтеза разрушаемых биопластиков на новом крупнотоннажном и возобновляемом субстрате превосходят известные данные по выходу, продуктивности и субстратным коэффициентам; удельные затраты и стоимость которого в 2,5-3,2 ниже по сравнению с сахарами и глицерином. Получены опытные образцы белка и биопластиков и Исходные данные для пилотного масштабирования технологии, необходимого для опытно-промышленной реализации технологии. Области возможного применения: белок для аквакультуры и кормопроизводства; разрушаемые биопластики биомедицинского, сельскохозяйственного и технического назначения (разрушаемые упаковка, древесно-пластиковые строительные композиты и др.).

Патентная защита: Получен патент РФ на изобретение № 2845693 «Штамм *C. necator* - продуцент разрушаемых полигидроксиалканоатов на жировых отходах рыбопереработки»

1. Volova T.G., N.O. Zhila, K.Yu. Sapozhnikova, O.Menshikova, E.G.Kiselev, A.G. Sukovaty, V. Volkov, I.Peterson, N.Ipatova, E. Shishatskaya. From Waste to Biopolymer: Synthesis of P(3HB-co-4HB) from Renewable Fish Oil.//Journal Renewable Materials – 2025.-Vol.13(3)-413-432.
2. T.Volova, E.Kiselev, A.Sukovaty, N.Zhila, K.Sapozhnikova, N.Ipatova and P.Shishatskii. Synthesis and properties of Degradable Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) [P(3HB-co-3HV)] Derived from Waste Fish Oil //Polymers-2025-Vol.17, 2171.
3. Kiselev E. G., Demidenko, A.V., Zhila N.O., Volkov V.V., Volova T.G. Waste fish oil is a promising substrate for productive synthesis of degradable polyhydroxyalkanoate.//J. Polymers and Environment. – 2025. Vol. 33(2)-p.1022-1034.

НОВЫЕ ДВОЙНЫЕ ОРТОФОСФАТЫ ЦЕРИЯ(IV) И ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

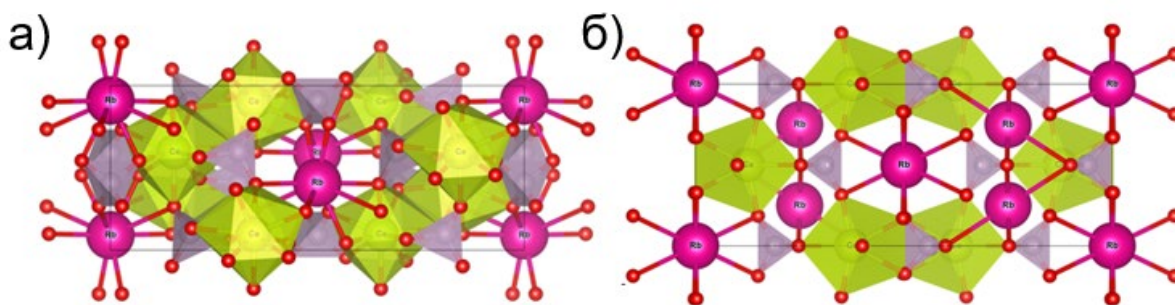
Д.Н. Васильева, Д.А. Козлов, Т.О. Козлова, В.К. Иванов

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

Двойные ортофосфаты четырехвалентных металлов с общей формулой $A_xM^{IV}_y(PO_4)_z$ демонстрируют большое структурное разнообразие, обусловленное различными способами сочленения полиэдров $M^{IV}O_n$ и тетраэдров PO_4 . Такие соединения перспективны для создания люминофоров, сорбентов, фотопротекторов и других функциональных материалов. К настоящему времени в наибольшей степени изучены соединения, в которых A – одно- или двухзарядный катион, M^{IV} – Ti(IV), Zr(IV), Hf(IV). Так, имеются надежные данные о кристаллической структуре таких фосфатов семейств $A^I M_2(PO_4)_3$, $A^I_2 M(PO_4)_2$ и $A^{II} M(PO_4)_2$. В то же время, структура соответствующих ортофосфатов церия(IV) остается практически неизученной несмотря на близость физико-химических свойств Ce(IV) и других четырехвалентных металлов, включая циркония, гафний и актиниды.

В рамках проведенного исследования предложен способ получения новых двойных ортофосфатов церия(IV)-рубидия – $RbCe_2(PO_4)_3$ и $Rb_2Ce(PO_4)_2 \cdot xH_2O$, основанный на использовании гидротермальной обработки. Продемонстрирована изоструктурность синтезированных соединений и двойных ортофосфатов церия(IV)-аммония или калия. Установлено, что объем элементарной ячейки в ряду $KCe_2(PO_4)_3$ – $NH_4Ce_2(PO_4)_3$ – $RbCe_2(PO_4)_3$ закономерно увеличивается в соответствии с ионным радиусом катиона одновалентного металла. Показано, что структуры соединений $RbCe_2(PO_4)_3$ и $Rb_2Ce(PO_4)_2 \cdot xH_2O$ достаточно устойчивы и их мотив остается стабильным до температур $\sim 500^\circ C$. Нагрев до более высоких температур приводит к формированию $CePO_4$ и $RbPO_3$ или $Rb_4P_2O_7$, соответственно. Открытие новых кристаллических ортофосфатов церия(IV) и установление особенностей их термического поведения вносит вклад в систематизацию

данных о структурных характеристиках двойных ортофосфатов четырехвалентных металлов и открывает возможности получения новых функциональных материалов.



Кристаллическая структура $\text{RbCe}_2(\text{PO}_4)_3$ вдоль оси c (а) и $\text{Rb}_2\text{Ce}(\text{PO}_4)_2$ вдоль оси a (б).

1. Васильева Д.Н., Козлов Д.А., Проценко М.Р., Симоненко Н.П., Козлова Т.О., Иванов В.К. Структура и термическое поведение новых двойных ортофосфатов церия(IV) $\text{RbCe}_2(\text{PO}_4)_3$ и $\text{Rb}_2\text{Ce}(\text{PO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ // Журнал неорганической химии. 2025. Т.70. №7. С.849-857. DOI: 10.31857/S0044457X25070012

РОЛЬ ЛИПИДНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ПОВЕРХНОСТИ В ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ

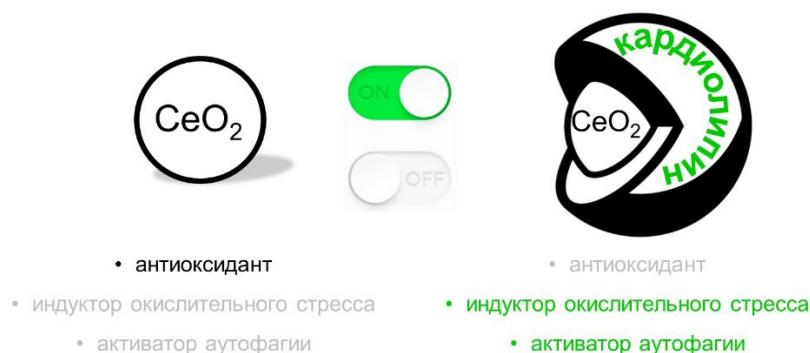
М.М. Созарукова, В.К. Иванов

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

Уникальные редокс-свойства и биокаталитическая активность нанодисперсного диоксида церия (CeO_2) делают его перспективным материалом для биомедицинских применений. Ключевым фактором, влияющим на биологическую активность наночастиц CeO_2 , является состав и физико-химические свойства поверхности. Модификация поверхности наночастиц биосовместимыми и биогенными соединениями, в частности (фосфо)липидами – ключевыми компонентами клеточных мембран, – способна существенно повысить биодоступность наноматериалов и оказать влияние на их биохимическое поведение. Известно, что во взаимодействии (фосфо)липидов с наночастицами на их поверхности происходит спонтанное образование так называемой «липидной короны», однако биологическая активность таких систем остается практически неисследованной, и влияние (фосфо)липидов, в частности, кардиолипина, на биохимические свойства нанодисперсного CeO_2 – неизученным.

В данной работе впервые проведено сопоставление влияния наночастиц CeO_2 как немодифицированных, так и функционализированных кардиолипином (фосфолипид внутренней мембраны митохондрий) на экспрессию генов оксидативного метаболизма в эмбриональных фибробластах легких человека. Результаты показали, оба типа наночастиц CeO_2 характеризуются одинаковой эффективностью интернализации клетками и обладают высокой степенью биосовместимости. В то же время, их функциональное воздействие на клетки оказалось принципиально различным. Немодифицированные наночастицы CeO_2 продемонстрировали типичную для данного наноматериала антиоксидантную активность, при этом кардиолипин выступил в роли уникального молекулярного переключателя биологической активности нанодисперсного CeO_2 и трансформировал его в индуктор кратковременного (3 ч) окислительного стресса, в результате чего в клетках произошла активация процессов аутофагии. Предположительно, такие существенные различия ассоциированы с процессами перекисного окисления кардиолипина.

Полученные результаты способствуют выявлению механизмов взаимодействия биологически активных наноматериалов на основе диоксида церия с функциональными компонентами живых клеток и могут быть использованы для конструирования нанобиоматериалов с программируемым биологическим откликом.



1. E.V. Proskurnina, M.M. Sozarukova, E.S. Ershova, E.A. Savinova, L.V. Kameneva, N.N. Veiko, M.A. Teplonogova, V.P. Saprykin, V.K. Ivanov, S.V. Kostyuk. Lipid coating modulates effects of nanoceria on oxidative metabolism in human embryonic lung fibroblasts: a case of cardiolipin // Biomolecules. 2025. V. 15(1). P. 53.

СОЗДАНИЕ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ ЩЕТОЧНЫХ СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНЫ

Д.А. Иванов^{1,2}, А.З. Умаров^{1,2}, А.И. Буглаков^{1,3}, Е.В. Дубровин¹, А.Ю. Коняхина⁴,
Г.Г. Агеев⁴, Е.Н. Субчева⁴, А.В. Добрынин⁵, С.С. Шейко⁵

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, ² ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ³ ИНЭОС РАН, ⁴ НТУ Сирius

⁵ University of North Carolina at Chapel Hill, United States

Начинающийся в настоящее время переход к персонализированной медицине, ускоряющееся развитие носимой электроники и мягкой робототехники приводит к быстро растущему спросу на синтетические материалы, которые имитируют механические свойства живых тканей. При этом востребованы материалы, имеющие самые различные механические параметры: от очень мягких, имитирующих, например, жировую ткань (механический модуль около 100 Па), до жестких, предназначенных, например, для замены хрящевой ткани (механический модуль около 1 МПа).

В последние годы активно развивается направление, связанное с созданием и изучением нового класса полимерных материалов, так называемых полимерных щеток, которые характеризуются присутствием плотно привитых боковых цепей. Основным отличием от конформации линейных полимеров является предварительная вытяжка основной цепи щеточного блока даже при отсутствии макроскопической деформации. Таким образом, боковые цепи выступают в качестве медиаторов жесткости основной цепи. Они также позволяют снизить концентрацию физических зацеплений, выступая в качестве «растворителя», что позволяет получать сверхмягкие материалы в безрастворных системах.

В 2025 году проводились работы по изучению щеточных полимеров как в виде безрастворных систем, так и в виде гидрогелей. Например, в работах [1,2] были изучены гидрогели на основе щеточных блок сополимеров с концевыми температурно чувствительными блоками на основе поли(N-изопропилакриламида) (PNIPAM), которые имеют перспективу внедрения в качестве инъектируемых имплантатов. При нагревании

раствора до температуры тела PNIPAM претерпевает фазовый переход, что создает узлы физической сетки, как показано на рисунке 1.

Для безрастворных щеточных сополимеров были разработаны формуемые полимерные пасты, позволяющие формировать материалы с заданной формой и тканеподобными механическими свойствами непосредственно в месте введения [3]. В отличие от традиционных паст, представляющих собой многокомпонентные коллоидные композиции, разработанные материалы основаны на физической сетке, образованной индивидуальными наноразмерными кристаллитами, образованными кристаллизующимися привитыми цепями на основе полилактида (ПЛА) (рис.2).

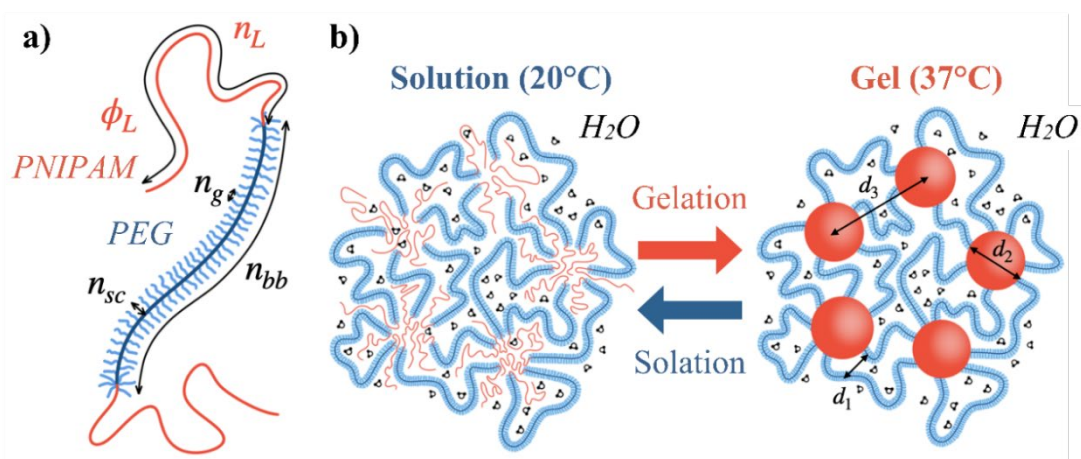


Рисунок 1. а) Схематическое изображение архитектуры щеточных триблок-сополимеров PNIPAM-bbPEG-PNIPAM, б) переход раствор-гель при нагреве. Красными линиями изображены концевые блоки PNIPAM, которые при гелировании образуют домены, синим цветом показан щеточный блок с боковыми цепями полиэтиленгликоля (PEG).

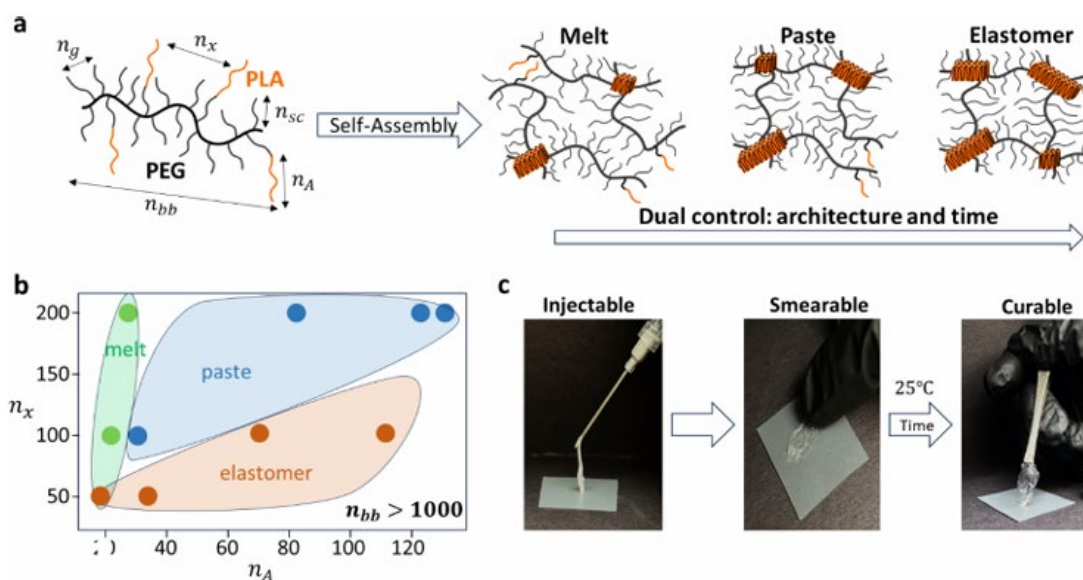


Рисунок 2. Самосборка привитых щеточных сополимеров (ПЛА-g-ПЭГ) посредством микрофазного разделения и последующей кристаллизации привитых фрагментов ПЛА.

Щеточные сополимеры также являются перспективной платформой для создания биомиметических проводящих систем [4,5], имеющих потенциал применения, например, в качестве элементов носимой электроники. При этом, например, можно использовать

привитые цепи поли(3-гексилтиофен-2,5-диилена) (РЗНТ), которые при кристаллизации образуют перколирующие проводящие игольчатые кристаллы.

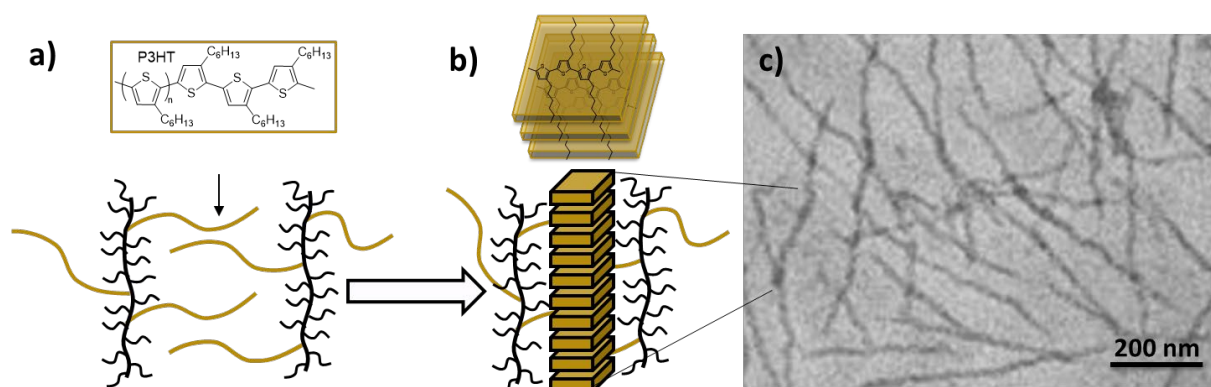


Рисунок 3. Щеточные привитые сополимеры РЗНТ-g-PDMS (а) при кристаллизации привитых цепей РЗНТ (б) формируют перколирующий каркас из игольчатых кристаллитов РЗНТ, наблюдаемый с помощью ПЭМ (с).

1. Konyakhina A.Yu., Umarov A.Z., Garcia J., Vashahi F., Dubrovin E.V., Subcheva E.N., Buglakov A.I., Sheiko S.S., Ivanov D.A. Structure and gelation properties of thermoresponsive bottlebrush hydrogels. *European Polymer Journal*. **2025**. V. 242, 114446. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2025.114446
2. Garcia J., Vashahi F., Umarov A.Z., Dubrovin E.V., Konyakhina A.Yu., Subcheva E.N., Ivanov D.A., Dobrynin A.V., Sheiko S.S. Injectable Hydrogels with Tissue-Adaptive Gelation and Mechanical Properties: Enhancing Softness and Stability. *Gels*. **2025**. V. 11, P. 996. DOI : 10.3390/gels11120996
3. Garcia J., Vashahi F., Umarov A.Z., Ageev G.G., Moutsios I., Ivanov D.A., Dobrynin A.V., Sheiko S.S. Bottlebrush Pastes as a Platform for Solvent-Free, Injectable, and Shape-Persistent Materials with Tissue-Mimetic Viscoelasticity. *ACS Applied Materials and Interfaces*. **2025**. V. 17, P. 8360–8368. DOI: 10.1021/acsami.4c19850
4. Marshall J., Wang Z., Yan L., You W., Umarov A., Moutsios I., Ivanov D.A., Dobrynin A., Sheiko S. Percolation by Brush Architecture: A Pathway toward Soft Electronics. *ACS Applied Materials & Interfaces*. **2026**. V. 18, P. 2604–2612. DOI: 10.1021/acsami.5c19739
5. Wang Z., Marshall J., Yan L., You W., Umarov A.Z., Ivanov D.A., Sheiko S.S., Dobrynin A.V. Guiding percolation by bottlebrush architecture: A pathway towards new materials for electric skin. *ACS Applied Polymer Materials*. **2025**. V. 7, P. 16273–16280. DOI: 10.1021/acsapm.5c03567

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ БИОМАТЕРИАЛОВ И ИХ НАНОКОМПОЗИТОВ

А.П. Бонарцев, В.В. Воинова, М.Ю. Кочевалина, А.М.Хоссаин, М.С.Холина, К.В. Шайтан

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Проведен критический анализ современного состояния изучения механизмов различных видов биологической и терапевтической активности альгинатов: антиоксидантной, антибактериальной, противовоспалительной, противоопухолевой, нейропротекторной, антигипертензивной, регенеративной и пребиотической. Более глубокое понимание механизмов биологической активности альгинатов позволит повысить

эффективность их применения не только в медицине и других традиционных областях (косметологии, пищевой промышленности), но раскрыть их потенциал и в таких новых направлениях как травматология, ортопедия, тканевая инженерия, нанобиотехнология и биоэлектроника [1-2].

Проведено микроскопическое исследование патоморфологических изменений, связанных с осложнениями после клинического применения препаратов гиалуроновой кислоты, что подтверждает необходимость проведения комплексных исследований биосовместимости даже уже хорошо известных полимерных биоматериалов [3].

Было проведено молекулярное моделирование процесса кристаллизации поли-3-оксибутирата (ПОБ) и структуры магнитоактивных композитов ПОБ: композита ПОБ с наночастицами магнетита (ПОБ/М) и композита ПОБ с комплексом восстановленного оксида графена (ВОГ) с наночастицами магнетита (ПОБ/М-ВОГ) с различными молярными соотношениями компонентов композитов с помощью программы Material Studio. Получена база экспериментальных данных по значениям энергии адгезии ПОБ и магнетита к ВОГ [4].

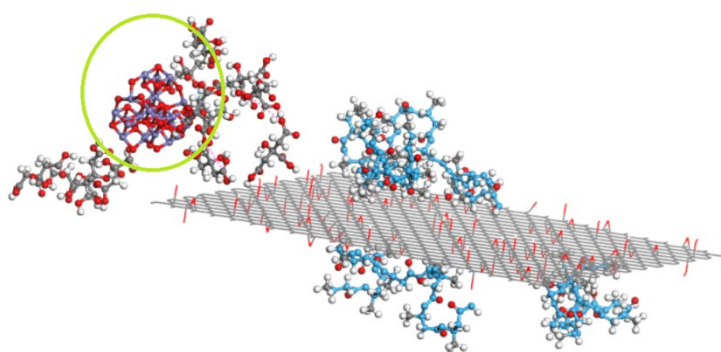


Рис.1 Энергетически выгодная конфигурация комплекса кластера магнетита с лимонной кислотой с 4 цепями ПОБ на ВОГ. Синяя цепь обозначает ПОБ; атомы О - красные, Н – белые, С – серые; кластер магнетита (Fe_3O_4) с лимонной кислотой обведен зелёным.

Полученные данные по моделированию композитов ПОБ с магнитными наноматериалами подтверждают показанное экспериментально в условиях *in vitro* на клеточных культурах проявление пьезоэлектрического эффекта и его влияние на адгезию бактерий и рост клеток млекопитающих [5].

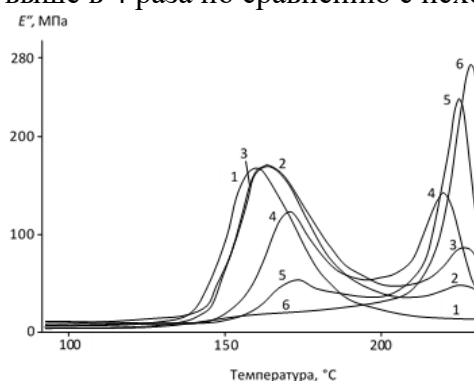
1. Akoulina E.A., Bonartseva G.A., Dudun A.A., Kochevalina M.Yu., Bonartsev A.P., Voinova V.V. Current state of research into the mechanisms of biological activity of alginates. *Biochemistry (Moscow)*. 2025. V. 90 (S.1). P. S263-S286.
2. Dudun A.A., Bonartseva G.A., Bonartsev A.P. Alginate-based biomaterials in orthopedics: What are the prospects for bacterial alginate? *World Journal of Orthopedics*. 2025. V. 16. № 10. P. 110562.
3. Lyalina V., Eshmotova G., Karavan A., Korshunov A., Zarov A., Bonartsev A., Serejnikova N., Prizov A., Airapetov G., Volkov A. Hyaluronan-related granulomatous synovitis, adipositis, and osteomyelitis in the osteoarthritic knee: a morphological case series of three patients. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025. V. 26. № 16. P. 8073.
4. Hossain M.A., Bonartseva G.A., Voinova V.V., Pryadko A.S., Surmeneva M.A., Surmenev R.A., Bonartsev A.P. Poly(3-hydroxybutyrate) Crystallization: Investigation by Physicochemical Methods and Molecular Dynamics Simulations. *ИНЭОС OPEN*. 2025. V. 8. № 1-3. P. 166-170.
5. Воинова В.В., Бонарцев А.П., Сурменев Р.А., Сурменева М.А. Способ тестирования биосовместимости *in vitro* материалов в магнитном поле низкой частоты. Патент РФ № 2849190 от 23.10.2025 г., приоритет 02.04.2024 г.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

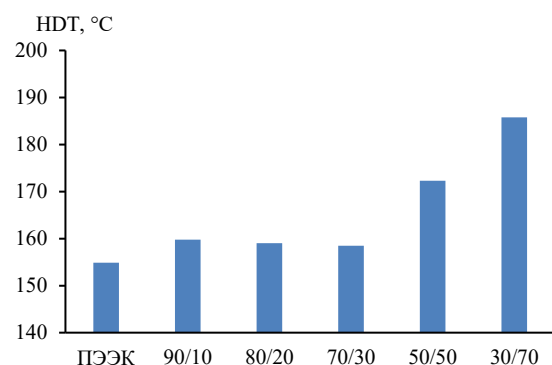
Хаширова С.Ю.

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

Впервые исследованы полимер-полимерные смеси на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полифениленсульфона (ПФСн) [1]. Установлено, что ПФСн, обладая менее выраженным эффектом псевдопластичности, способствует повышению вязкости расплава смесей при повышенных скоростях сдвига. Показано, что несмотря на термодинамическую несовместимость (см. рис. а), смеси имеют сбалансированный комплекс упруго-прочностных характеристик, включая повышенную теплостойкость. Выявлен оптимальный состав для которого механические свойства при высоких температурах (175–200 °С) выше в 4 раза по сравнению с исходным ПЭЭК.



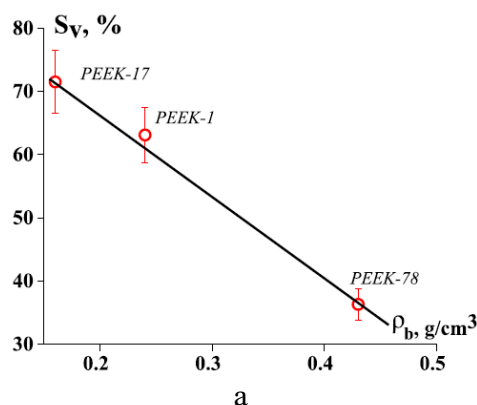
а



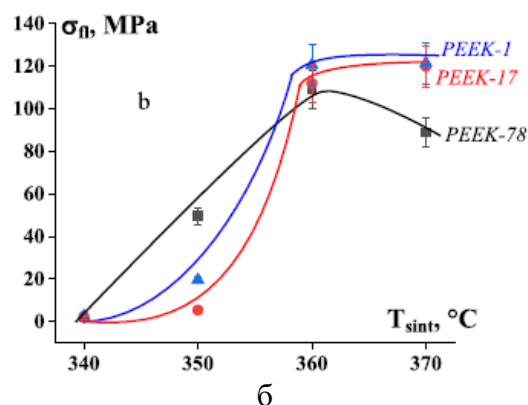
б

Модули потерь (E'') смесей ПЭЭК и ПФСн: 1 – ПЭЭК; 2 – 80/20; 3 – 70/30; 4 – 50/50; 5 – 30/70; 6 – ПФСн (а) и деформационная теплостойкость (б)

Впервые реализована технология порошкового литья под давлением (РІМ) изделий из ПЭЭК и ПФСн совместно с коллегами из ИНХС РАН [2]. Установлено влияние свойств порошков на характер спекаемости, который определяет модуль упругости и предел прочности. Выявлено, что насыпная плотность имеет критическое влияние на изготовление образцов новым методом. Установлены оптимальные значения насыпной плотности и температуры спекания, которые обеспечивают максимальные значения механических характеристик сформованных образцов.



а



б

Зависимость объемной усадки от насыпной плотности (а) и прочности при изгибе от температуры спекания порошка ПЭЭК

Установлены особенности термического удаления связующего фидстоков, представляющего собой смесь полиэтилена (ПЭ) и парафина с содержанием порошкового ПЭЭК. Выявлено, что испарение парафина при ~200 °С в среде карбоната кальция вызывает

значительный перегрев, приводящий к разложению ПЭЭК. Определены оптимальные температуры дебиндига, исключаящие разложение и коробления образцов.

Разработаны композиционные материалы на основе полибутилентерефталата (ПБТ) с углеродными и стеклянными волокнами, в том числе для аддитивных технологий. Установлена оптимальная конфигурация шнеков экструдера, обеспечивающая сохранение остаточной длины волокон, превышающей критическую, что приводит к повышению механических характеристик компаундов. Получены компаунды с использованием вторичного полиэтилентерефталата (ВПЭТФ) ООО «Титан-Полимер» с высокими механическими свойствами благодаря улучшенной адгезии к волокну и реологическим свойствами.

1. Тлупов, А.Л. Слонов, А.А. Жанситов, Е.В. Ржевская, И.В. Мусов, К.Т. Шахмурзова, Ж.И. Курданова, С.Ю. Хаширова. Исследование свойств смесей полиэфирэфиркетона и полифениленсульфона. Высокомолекулярные соединения. 2025. Т. 65. № 3.
2. Slonov A.L., Zhansitov A.A., Musov Kh.V., Tlupov A.F., Baykaziev A.E., Rzhetskaya E.V., Khashirova S.Yu., Malkin A.Ya. Powder casting of polyetheretherketone and polyphenylene sulfone: sintering. Powder Technology. 2025. Т. 451. С. 120449.

ГИБРИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ И ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ МИКРОЧАСТИЦ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ IN SITU

С.В. Борисов¹, Б.А. Буравов¹, Д.А. Кудрявцева¹, В.О. Харламов¹, А.А. Кобелев², С.А. Трубачев³, М.А. Ваниев¹, И.А. Новаков¹

¹ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет

²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

³Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского РАН

Разработаны гибридные полимерные материалы пониженной горючести на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20, триэтилентетрамина и модификатора в виде раствора сернокислого цинка 7-водного в ортофосфорной кислоте [1]. Применение указанного модификатора позволяет in situ синтезировать микрочастицы со средним размером 6-16 мкм и формой близкой к сферической.

На основании результатов СЭМ, ЭДС и ИК-спектроскопии сделано предположение о механизме формирования и структуре микрочастиц и полимерной матрицы (см. рис. 1).

Согласно рисунку 1, при взаимодействии оксирановых циклов эпоксидной смолы с ортофосфорной кислотой её содержание в модификаторе снижается, что приводит к выделению соли, которая не совместима с эпоксидной матрицей и в дальнейшем играет роль центров кристаллизации. На их поверхности происходит накопление продуктов взаимодействия ортофосфорной кислоты с эпоксидной смолой. При этом, ввиду стерических затруднений и снижения химической активности моно- и дизамещённой ортофосфорной кислоты, часть реакционноспособных групп остаётся непрореагировавшей. В этой связи рост частиц протекает также с участием триэтилентетрамина, который в свою очередь формирует химические связи между частицами и полимерной матрицей. Последняя, вероятнее всего, является продуктом взаимодействия ЭД-20, ТЭТА и некоторого остаточного количества ортофосфорной кислоты.

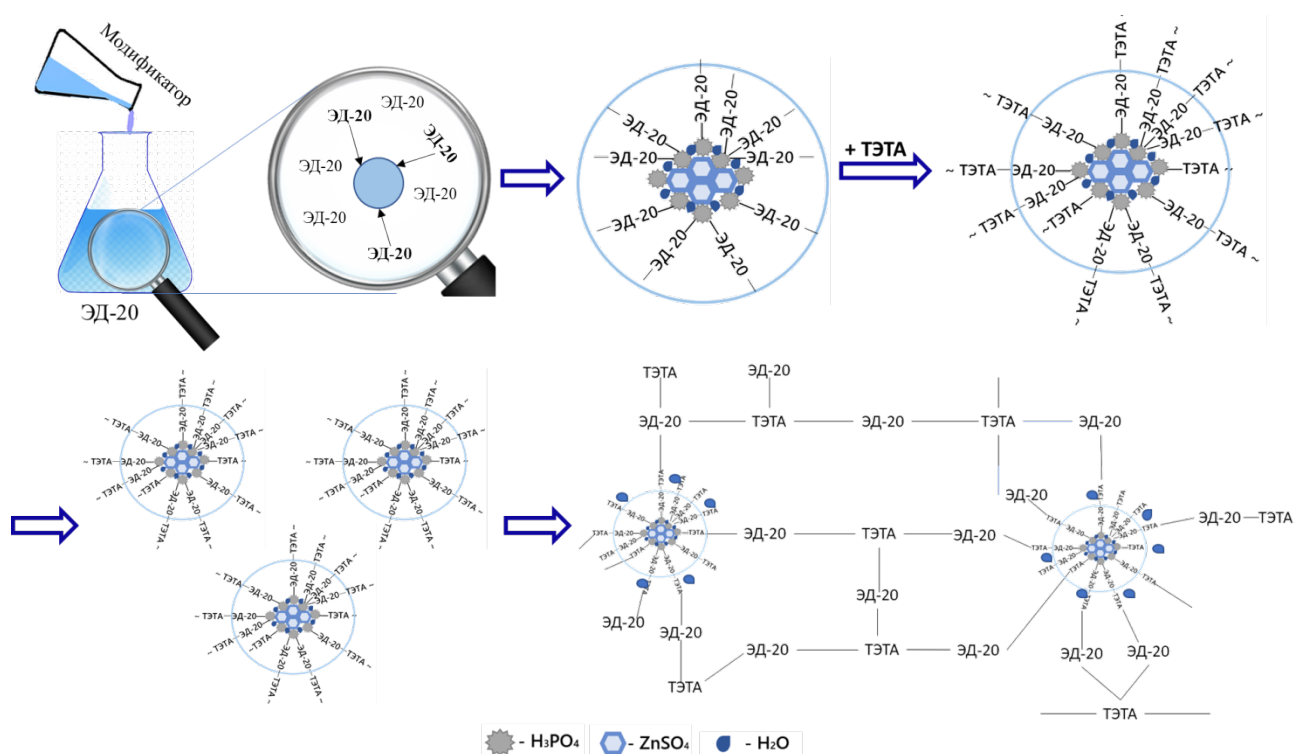


Рис. 1. *In situ* формирование микрочастиц и полимерной матрицы в результате взаимодействия раствора сернокислого цинка 7-водного в ортофосфорной кислоте с эпоксидиановой смолой ЭД-20 и триэтилентетрамин

Установлено, что разработанные эпоксидные полимеры характеризуется значениями разрушающего напряжения и модуля упругости при изгибе до 57,2 МПа и 3,3 ГПа соответственно. Исследуемая модификация приводит к увеличению коксового остатка, полученного после испытаний в конусном калориметре, примерно, в 1,7-2,2 раза по сравнению с немодифицированными образцами. Кроме того, зафиксировано снижение полного тепловыделения до 39,5 %, средней скорости тепловыделения – до 39,6% и максимальной скорости тепловыделения – до 59,8 %. Существенно снижается индекс скорости роста пожара FIGRA (в 2,4-3,1 раза), эффективная теплота сгорания (до 28,5 %) и полное дымовыделение (до 30 %). Зафиксирован некоторый рост значений пиковой скорости потери массы при термоокислительной деструкции [2]. Изменения в гранулометрическом составе формирующихся при отверждении микро частиц нашли отражение в увеличении численных значений кислородного индекса (до 23,9 % об.). Кроме того, зафиксирован некоторый рост значений пиковой скорости потери массы (PMLR) при термоокислительной деструкции с увеличением содержания сульфата цинка. Это свидетельствует об ускорении реакций термоокислительной деструкции, что приводит к более раннему формированию коксового остатка. В свою очередь это является одним из факторов, способствующим снижению горючести модифицированных полимеров.

1. Пат. 2839365 Российская Федерация, МПК C08L 63/02, C08K 3/016, C09K 21/14 Способ получения композитов пониженной горючести на основе эпоксидиановой смолы / Кудрявцева Д.А., Борисов С.В., Ваниев М.А., Буравов Б.А., Адамович А.А., Горбатенко Т.М., Новаков И.А.; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - 2025.
2. Борисов С.В., Буравов Б.А., Кудрявцева Д.А., Харламов В.О., Кобелев А.А., Трубочев С.А., Ваниев М.А., Новаков И.А. Low-Flammability Hybrid Polymer Materials Based on Epoxy Oligomers and In Situ-Synthesized Zinc-Containing Microparticles. *Polymers*. 2025. - Vol. 17, Issue 24. – Article 3291. – 21 p.

НОВЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ПОЛИМЕР-УГЛЕРОДНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-НЕЙТРАЛЬНОГО КРАСНОГО И УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Руководитель проекта к.х.н. С.Ж. Озкан (с участием члена Совета
А.Л. Максимова)

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН

Создание новых полисопряженных полимеров, обладающих высокими электрофизическими характеристиками и отвечающих требованиям современной электроники и электрохимической энергетики, является актуальной задачей материаловедения. Введение гетероатомов в полимерную цепь значительно улучшает электрохимические и фотофизические свойства таких полимеров по сравнению с полианилином. Гетероциклические полиазины можно использовать для создания электродных материалов для применения в энергетике, а также в электрокатализе и биоэлектрокатализе. Полиазинозные редокс-полимеры получили широкое применение в качестве чувствительных селективных электрохимических биосенсоров, а благодаря настраиваемым изменениям цвета и времени отклика – в электрохимических устройствах в качестве электрохромных материалов. Внедрение углеродных материалов в полимер (в частности – углеродных нанотрубок, УНТ) существенно повышает электрофизические и электрохимические характеристики получаемых композитов.

Разработана методика синтеза и впервые получены нанокомпозиты на основе поли-3-амино-6-диметиламино-2-метилфеназона (ПАММФ или полинейтральный красный, ПНК) с добавлением оксида графена и углеродных одностенных (ОУНТ) и многостенных (МУНТ) нанотрубок: ОУНТ/ПНК и МУНТ/ПНК.

Показано, что введение УНМ на стадии полимеризации существенно повышает проводимость полимера и усиливает его электрокаталитические свойства. На примере редокс-пары ферро/феррицианид показано, что химически синтезированный ПНК, так же как и большинство его композитов с УНТ, можно использовать в электрокатализе. Показано, что наиболее выраженные медиаторные свойства наблюдаются для композита ОУНТ/ПНК (рис. 1).

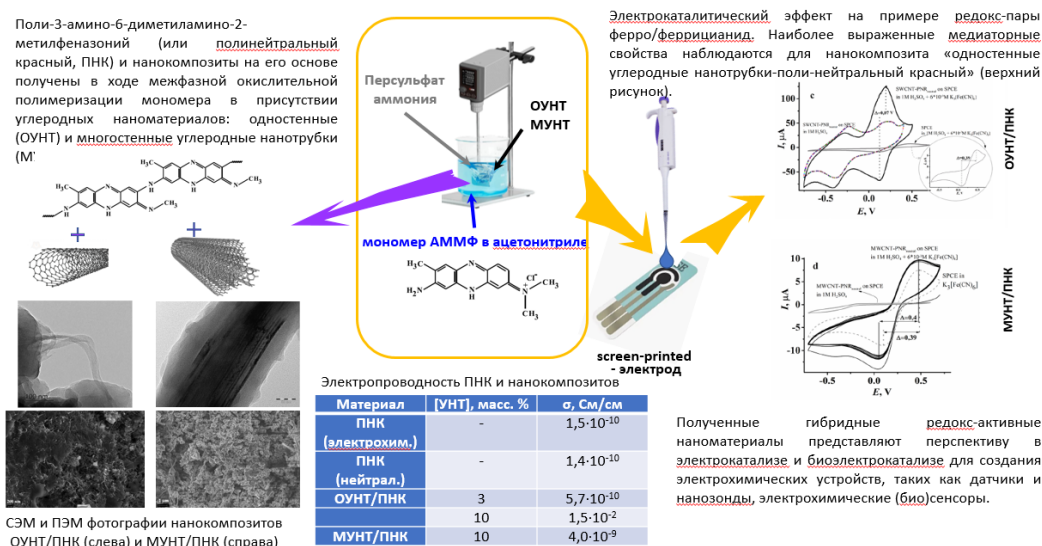


Рисунок 1 – Новые каталитически активные полимер-углеродные композиты на основе поли-нейтрального красного и углеродных наноматериалов

Кроме того, впервые выявлено, что нанокомпозиты на основе ПНК могут быть использованы в клинических исследованиях, т.к. электрохимические сенсоры на его основе

увеличивают токи окисления противотуберкулезного антибиотика изониазида, что может найти применение в медицине для идентификации таких антибиотиков.

Таким образом, полученные гибридные редокс-активные наноматериалы представляются весьма перспективными для современных технологий и могут быть использованы в энергетике, в электрокатализе и биоэлектрокатализе для создания электрохимических устройств, таких как датчики и нанозонды, электрохимические (био)сенсоры, перезаряжаемые батареи, суперконденсаторы, электрохимические источники тока, а также в медицине.

1. Pisarevskaya E.Yu, Ozkan S.Zh, Klyuev A.L., Petrov V.A., Efimov O.N., Karpacheva G.P. New catalytically active composites based on poly(neutral red) and carbon nanomaterials. // *Electrochimica Acta*. 2025. V. 540. P. 147170.
2. Ozkan S.Zh., Petrov V.A., Muratov D.G., Filatova M.P., Bondarenko G.N., Karpacheva G.P. Structural features of polyphenothiazine and polyphenoxazine heterocyclic polyazines. // *Reactive and Functional Polymers*. 2025. V. 218. 106518.

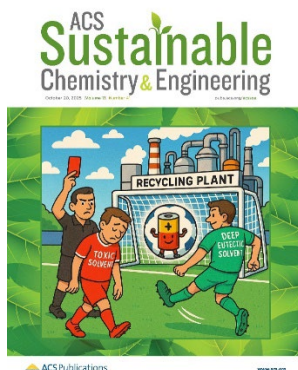
НОВЫЕ ГЛУБОКИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ТРИИЗОБУТИЛФОСФИНСУЛЬФИДА: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В ЭКСТРАКЦИИ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ

А.А. Вошкин, Ю.А. Заходяева, И.В. Зиновьева

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

В ходе работы были получены новые гидрофобные эвтектические растворители на основе триизобутилфосфинсульфида (ТБФС) в качестве акцептора водородных связей. В качестве доноров водородных связей были выбраны фенол, тимол и пара-трет-бутилфенол. Изучены зависимости экстракции ионов Li, Cu, Fe и Al из раствора смеси металлов идентичного раствору выщелачивания из реальных отработанных батарей. Были установлены зависимости экстракции металлов от концентрации соляной кислоты при разном соотношении водной и органической фаз для выбора оптимальных условий разделения ионов меди и железа. Также были подобраны эффективные и селективные экстрагенты для ионов Cu и Fe.

Полученные зависимости были использованы для разработки технологической схемы разделения ионов Cu, Fe, Li и Al из растворов соляной кислоты с помощью глубокого эвтектического растворителя ТБФС/тимол (1:1). Схема была экспериментально отработана и установлено, что чистота получаемых индивидуальных компонентов превышает 97%, а предложенный экстрагент стабилен в ходе многократных циклов экстракции-реэкстракции, что позволит использовать его в замкнутых технологических циклах.



1. Зиновьева И.В., Чикинёва Т.Ю., Заходяева Ю.А., Вошкин А.А. New Deep Eutectic Solvents Based on Triisobutylphosphine Sulfide: Physicochemical Properties and Application in the Extraction of Metal Ions. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2025. V. 13, № 41, P. 17345-17358.

НОВЫЙ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ МАКРОЦИКЛИЧЕСКИЙ ЭКСТРАГЕНТ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ СОЛЕЙ ЛИТИЯ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Закурдаева О.А.¹, Асаченко А.Ф.², Топчий М.А.², Нестеров С.В.¹(с участием членов
Совета А.Л. Максимова и С.А. Пономаренко)

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

²Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН

Разработан новый экстрагент на основе раствора стереоизомеров макроциклического полиэфира дициклогексано-14-краун-4 (ДЦГ14К4) в 1,1,7-тригидрододекафторгептаноле (рис. 1), перспективный для создания технологии селективного извлечения катионов лития из хлоридных сред, таких как соляные рассолы, пластовые воды и попутные воды нефте- и газодобычи, которые характеризуются относительно невысоким содержанием солей лития (0,01-3,0 г/л) в присутствии высоких концентраций «балластных» солей щелочных и щелочноземельных металлов. Использование фторированного спирта в качестве растворителя макроциклического лиганда позволило решить проблему стабильности экстрагента, по существу подавив его вымывание в водную фазу и, таким образом, избежать сложной процедуры введения разветвленных углеводородных заместителей в структуру макроцикла. Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность и селективность этой системы, является стереоизомерия макроциклического лиганда. Предложенная экстракционная система характеризуется высокой эффективностью извлечения хлорида лития из концентрированных водных растворов солей щелочных и щелочноземельных металлов и селективностью извлечения катионов Li^+ относительно Na^+ , K^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} .

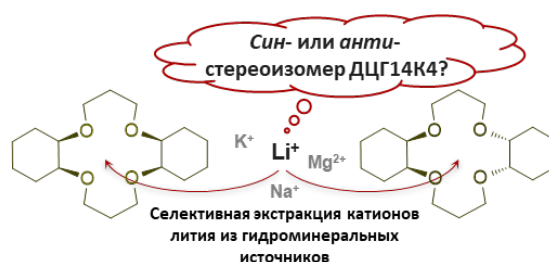


Рис. 1. Экстракция катионов лития с использованием стереоизомеров макроциклического полиэфира дициклогексано-14-краун-4 (ДЦГ14К4).

1. Zakurdaeva O.A., Asachenko A.F., Topchiy M.A., Nesterova S.V. Effect of macrocycle stereoisomerism on extraction of Li^+ cations from chloride media by solutions of dicyclohexano-14-crown-4 in 1,1,7-trihydrododecafluoroheptanol. Mendeleev Commun. 2025. V. 35(3). P. 362. DOI: 10.71267/mencom.7622

ВЫСОКОСЕЛЕКТИВНАЯ МЕМБРАНА НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ ПОЛИСИЛОКСАНА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

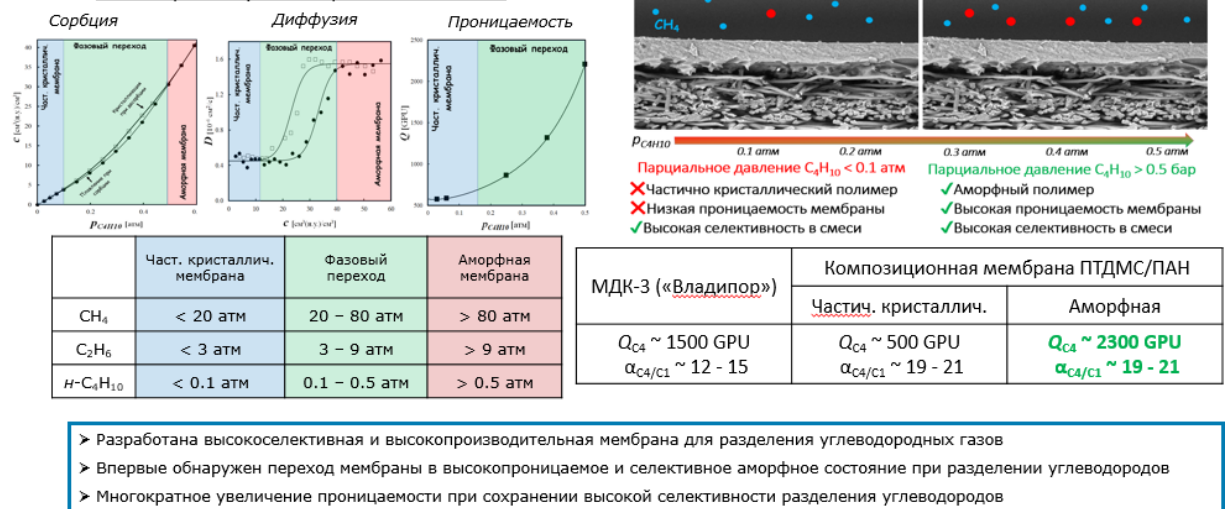
Руководитель д.х.н., проф. В.В. Волков (с участием члена Совета
А.Л. Максимова)

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН

Получена новая органофильная композиционная мембрана на основе поли(тетрадецилметил)силоксана. Особенность полученной мембраны заключается в том, что материал селективного слоя – поли(тетрадецилметил)силоксан – является частично

кристаллическим. Мембрана перспективна для выделения мономеров из отдувочного газа или рекуперации летучих органических соединений из парогазовых смесей. Результаты исследования проницаемости, сорбции и диффузии алканов и их смесей в мембране показали, что кристаллическая фаза полимера в процессе сорбции или разделения углеводородсодержащих газовых смесей трансформируется в аморфную. Этот эффект, обнаруженный впервые, сопровождается четырехкратным ростом проницаемости композиционной мембраны при сохранении высокой селективности. Именно благодаря обнаруженному эффекту полученная мембрана выигрывает не только по селективности, но и по проницаемости углеводородов по сравнению с коммерческими аналогами (Рисунок – 2).

Впервые обнаружена аморфизация мембраны при сорбции и массопереносе углеводородов и их смесей



Руководитель д.х.н., проф. В.В. Волков

S. Sokolov et al // Journal of Membrane Science, 735 (2025) 124528

Высокоселективная мембрана на основе кристаллизующегося полисилоксана для разделения углеводородных газов

1. Sokolov et al // Journal of Membrane Science, 735 (2025) 124528

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИГИДРОФОСФАТА ЦЕЗИЯ

Д.О. Дормидонова, И.Н. Багрянцева, В.В. Пономарева, Б.Б. Бохонов (с участием члена Совета Н.З. Ляхова)

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

В ИХТТМ СО РАН разработан эффективный масштабируемый синтез субмикронных частиц дигидрофосфата цезия с использованием бисерного измельчения. Кристаллическая структура CsH_2PO_4 остается неизменной, несмотря на уменьшение размера частиц вплоть до 100–200 нм при сохранении протонной проводимости на уровне $2 \cdot 10^{-2}$ См/см при 240°C. Показано дальнейшее снижение размера частиц соли, нанесенной на электрокатализатор из наночастиц платины на углероде CsH_2PO_4 - PM-40 (Pt 40% мас. Vulkan, ООО «Прометей») (рис. 1). Синтезированные наночастицы соли могут быть использованы как для синтеза тонкопленочных полимерных мембран, так и для получения электродных материалов среднетемпературных топливных элементов (ТЭ), приводя к

росту трехфазной границы, снижению поляризационных потерь на электродах и увеличению мощности ТЭ.

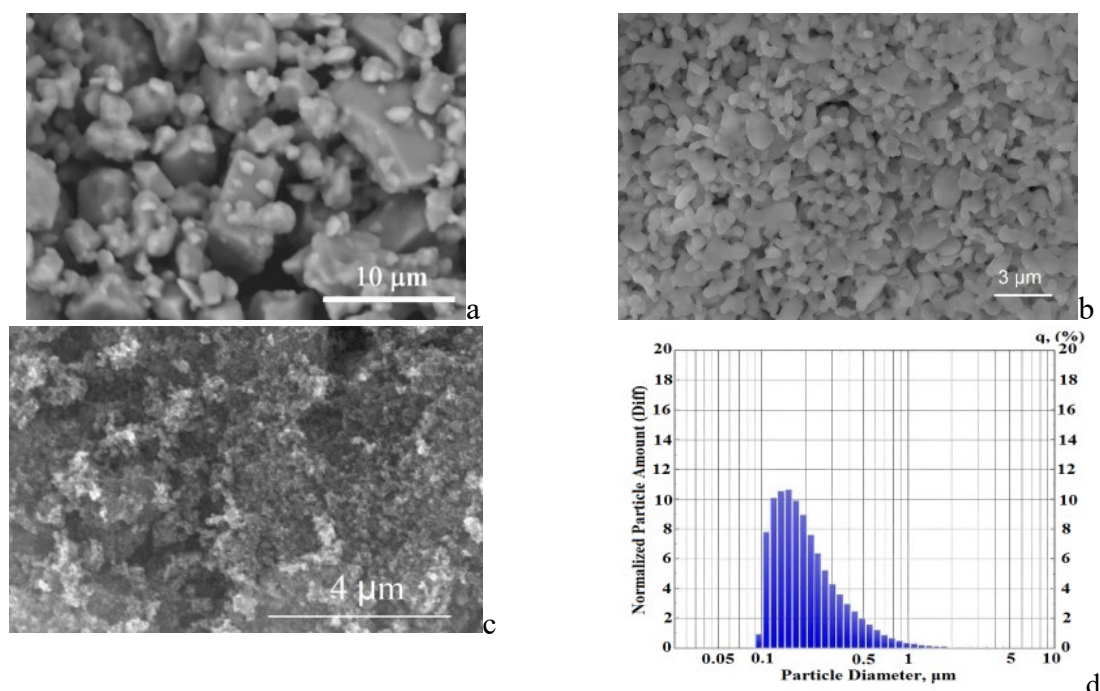


Рис. 1. Данные СЭМ синтезированного CsH_2PO_4 (a), CsH_2PO_4 после обработки в бисерной мельнице (b, c) и распределение частиц по размерам (d) электродной композиции CsH_2PO_4 - PM-40 (Pt/C)

1. Dormidonova D.O., Bagryantseva I.N., Ponomareva V.G., Bokhonov B.B. Synthesis of nanoscale cesium dihydrogen phosphate particles via bead milling for advanced electrode composites // *Membranes and Membrane Technologies*. - 2025. - Vol. 7, No. 2. - P. 104–111. DOI: 10.1134/S2517751625600578

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ С ВЫСОКОЙ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ

Стебницкий И.А., Ю.Г. Матейшина, Н.Ф. Уваров (с участием члена Совета Н.З. Ляхова)

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

В ИХТТМ СО РАН впервые синтезированы композиционные твердые электролиты на основе замещенной аммониевой соли $(\text{CH}_3)_4\text{NBF}_4$ с добавкой высокодисперсных наноалмазов (nano diamonds = ND) с удельной поверхностью $S_{\text{уд}} = 300 \pm 20 \text{ м}^2/\text{г}$ в широком диапазоне концентраций наполнителя. Показано, что наибольшими значениями электропроводности характеризуется композит $0,03(\text{CH}_3)_4\text{NBF}_4 - 0,97\text{C}_{\text{ND}}$ ($\sigma = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ См/см}$ при 300°C), электропроводность которого на 3–4 порядка выше, чем у исходной соли. Моделирование концентрационной зависимости электропроводности композитов с использованием уравнения смешения показало, что причиной увеличения электропроводности является образование аморфного солевого слоя толщиной около 5 нм, электропроводность которого на 4–5 порядков (!) выше, чем у кристаллической фазы $(\text{CH}_3)_4\text{NBF}_4$. Сравнительный анализ (рис. 1) показал, что композиты $(\text{CH}_3)_4\text{NBF}_4 - \text{C}_{\text{ND}}$ обладают наиболее высокой ионной проводимостью в ряду аналогичных систем, полученных на основе четвертичных солей.

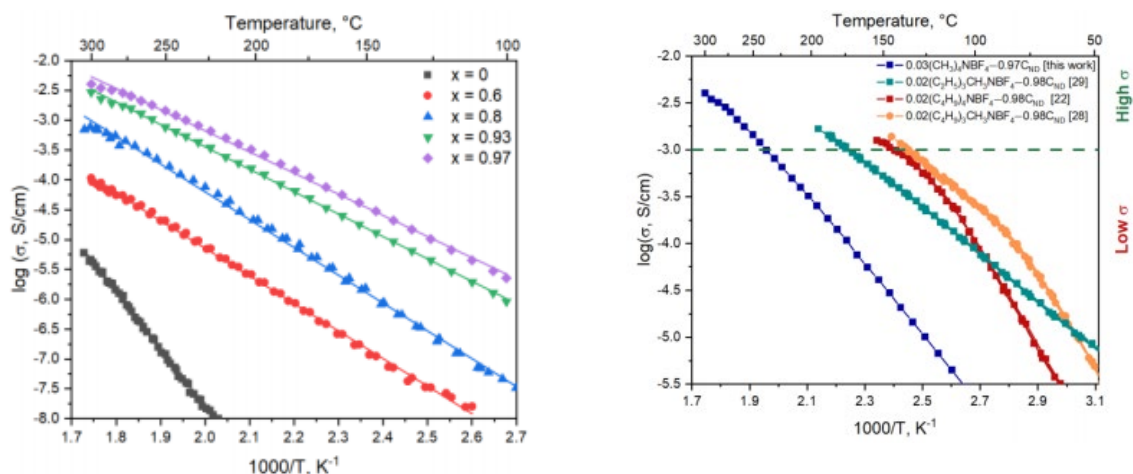


Рис. 1. Температурные зависимости проводимости композитов $(\text{CH}_3)_4\text{NBF}_4 - \text{C}_{\text{ND}}$ (слева); сравнительный график, представляющий концентрационные зависимости проводимости различных композитов с добавкой наноалмазов (справа).

1. Stebnitskii I., Mateyshina Yu., Uvarov N. Transport and structural properties of $(\text{CH}_3)_4\text{NBF}_4$ with nanodiamonds filler // *Chimica Techno Acta*. - 2025. - V. 12(2). - No. 12209. DOI: 10.15826/chimtech.2025.12.2.09.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ВОДОРОД-АККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Ti-Fe С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ТИТАНА

В.И. Лысак¹, С.В. Кузьмин¹, А.В. Крохалев¹, В.О. Харламов¹, Д.Р. Черников¹

¹Волгоградский государственный технический университет

Для получения материалов на основе интерметаллидов системы Ti-Fe использовали порошковые смеси железа и титана с содержанием последнего, превышающим стехиометрическое для TiFe (50 ат.%). Синтез осуществляли путем взрывного прессования и последующего спекания при 1100 °С (т.е. при температуре выше температуры начала контактного плавления, которая в соответствии с диаграммой состояния Ti-Fe равна 1085 °С).

В результате спекания исходные компоненты прессовок за счет контактного плавления, роста в жидкой фазе стабильного интерметаллида TiFe и метастабильного Ti₂Fe, а также эвтектического превращения при охлаждении: $L \rightarrow \text{TiFe} + \beta\text{-Ti(Fe)}$ – исходные Ti и Fe полностью растворяются и формируются двух- (TiFe + Ti₂Fe) или трехфазные (TiFe + Ti₂Fe + $\beta\text{-Ti(Fe)}$) структуры. При этом сопутствующие примеси внедрения (O, N и C) оказываются связанными в оксидной и карбонитридной фазах Ti₂O и T₂CN (рис. 1, а, б, в).

Увеличение содержания Ti с 57,3 до 67,95 ат.% позволило увеличить содержание Ti₂Fe с 17,4 до 73,3 об.% при содержании $\beta\text{-Ti}$, не превышающем 13,5 об.% (рис. 1, г), что в соответствии с данными по растворимости водорода в фазах означает возможность повышения водородной емкости материала.

Водородсорбционные свойства образцов полученных материалов определяли электрохимическим методом. Гидрирование проводили при температуре 20 °С и атмосферном давлении. Измерения осуществляли в трехэлектродной ячейке с 9 М водным раствором КОН в качестве электролита, Ni(OH)₂/NiOOH-противоэлектродом и Hg/HgO-электродом сравнения. Для оценки эффективных значений растворимости водорода в полученных материалах (емкости первичного гидрирования) кинетику поглощения водорода поверхностными слоями образцов (рис. 2, а) аппроксимировали моделью, основанной на втором законе диффузии Фика. Для оценки обратимости процесса гидрирования использовали отношение обратимой водородной емкости к емкости

первичного гидрирования $\frac{H_{rev}}{H}$, значение которого оценивали по вольтамперограммам циклического заряда-разряда (рис. 2, б).

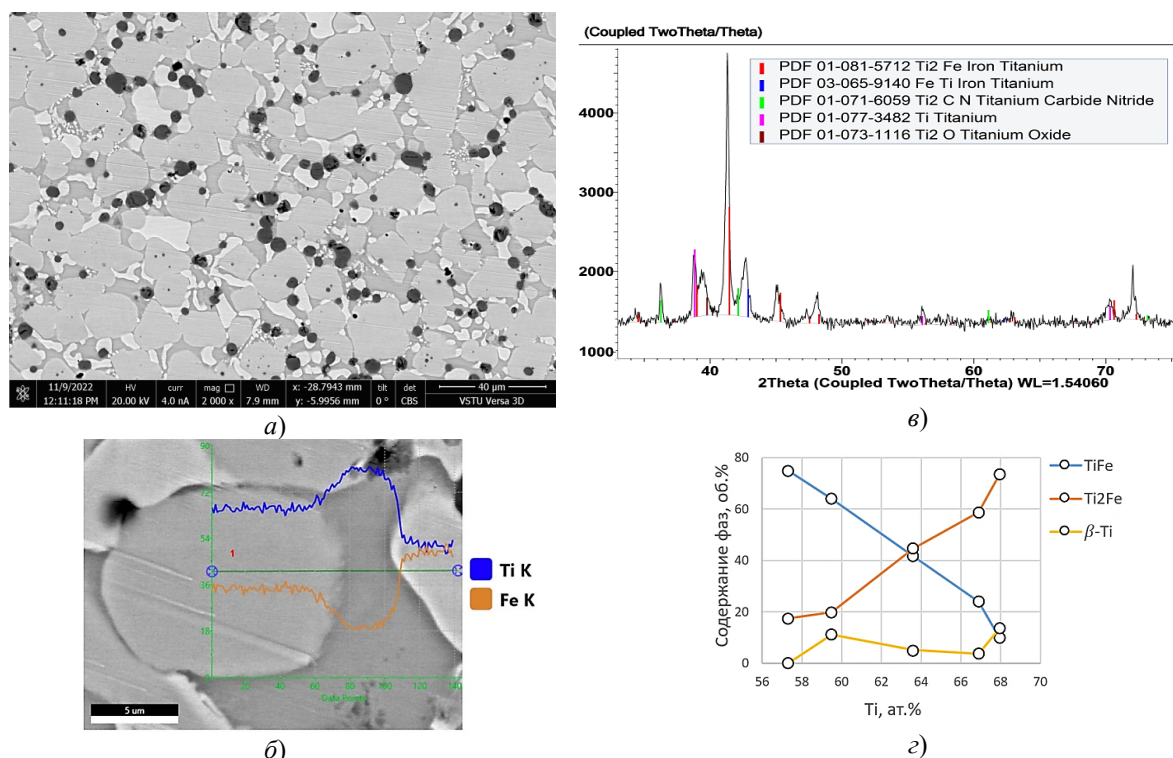


Рис.1. Структура (а), фазовый состав (в, г) и распределение элементов между фазами (б) в материалах системы Ti-Fe, полученных при помощи взрывного прессования и реакционного спекания.

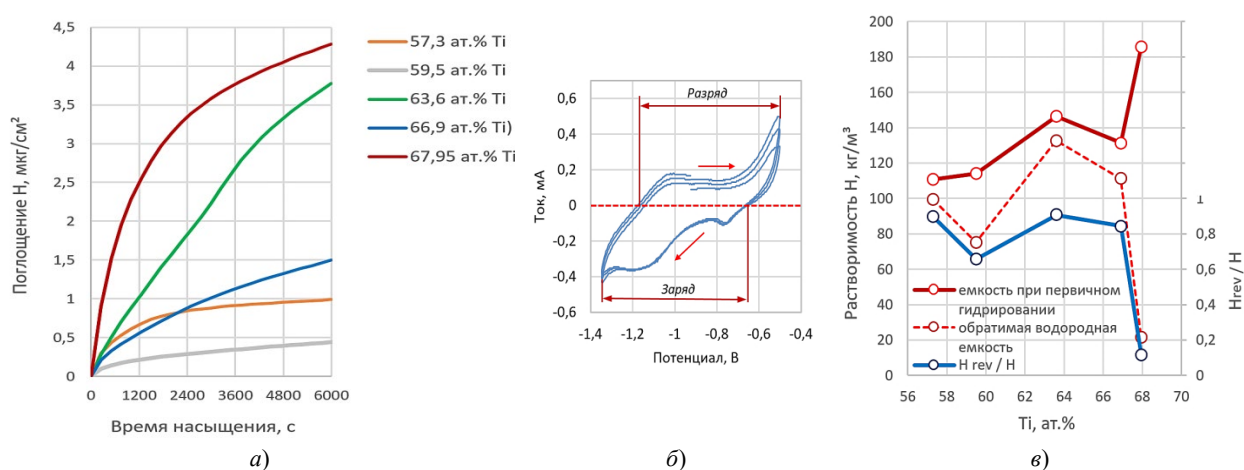


Рис.2. Кинетика поглощения водорода при первичном гидрировании (а), вид вольтамперограмм при циклическом гидрировании/дегидрировании (б) и водородная емкость (в) материалов системы Ti-Fe, полученных при помощи взрывного прессования и реакционного спекания.

Проведенные исследования показали, что максимальное значение обратимой водородной емкости может быть достигнуто при 64 ат.% Ti (рис. 2, в) и соответствует 2,16 мас.% H, что заметно выше теоретической (и практически трудно реализуемой) емкости классического материала, состоящего из TiFe (1,85 мас.%). Интересно отметить, что в

структуре материалов этого состава содержится примерно одинаковое количество интерметаллидных фаз TiFe и Ti_2Fe , близкое к 42 об. %.

1. Крохалев А.В., Черников Д.Р., Россеин Д.В., Харламов В.О., Тужиков О.О., Кузьмин С.В., Лысак В.И. / Фазовый состав и водородная емкость материалов системы «титан-железо», полученных взрывным прессованием и спеканием // Известия ВолгГТУ. Сер. Металлургия. - Волгоград, 2025. - № 7 (302). - С. 7-13. - DOI: 10.35211/1990-5297-2025-7-302-7-13.

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ АНТИСЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

А. И. Рудской¹

¹Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

Среди способов хранения энергии конденсаторные накопители занимают четко выделенную нишу, обладая уникально высокой удельной мощностью, которая достигает $10^6 - 10^7 \text{ W/kg}$. Такие характеристики имеют современные функциональные материалы с высокой диэлектрической проницаемостью и малыми потерями в процессе заряда/разряда. К таким материалам относятся антисегнетоэлектрики и релаксоры [1-8]. При этом часто возникают промежуточные, в том числе нанонеоднородные фазы [1,2], в которых наблюдается сосуществование сегнетоэлектрических и антисегнетоэлектрических смещений.

Целенаправленная разработка таких материалов была реализована нами на основании детального изучения не только традиционных физико-химических свойств этих материалов, но и получения информации о процессах, происходящих в этих материалах при приложении к ним внешних воздействий.

На основании детальных исследований впервые был выявлен механизм формирования антисегнетоэлектрического состояния в перовскитоподобных антисегнетоэлектриках, как результат взаимодействия оптических и акустических решеточных колебаний, приводящего к возникновению несоразмерной неустойчивости, стабилизируемой в соразмерной позиции, благодаря процессам переброса между различными зонами Бриллюэна [3-6] (Рис.1).

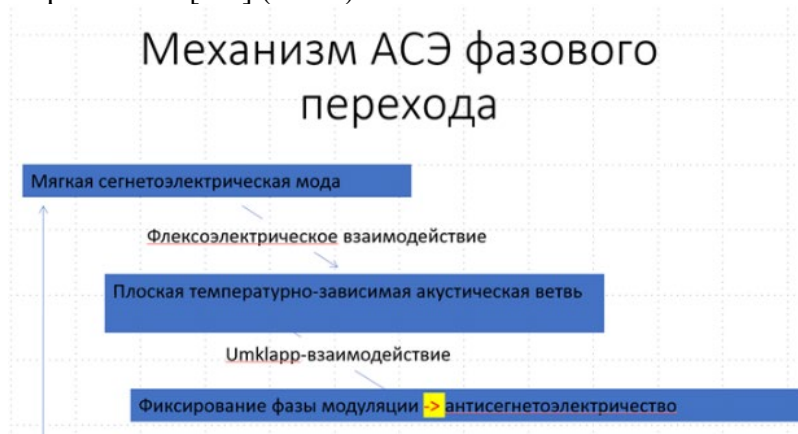


Рис. 1. Механизм формирования АСЭ состояния в перовскитоподобных сегнетоэлектриках

Тот факт, что АСЭ фаза инициируется конденсацией сегнетоактивной оптической фононной моды приводит к конкуренции сегнетоэлектрических и антисегнетоэлектрических структур. Так, например, в твердых растворах $\text{PbZr}_{(1-x)}\text{Ti}_x\text{O}_3$

(PZT) возникает промежуточная СЭ фаза, разделяющая пара- и АСЭ фазы. При этом температура перехода между промежуточной и АСЭ фазой [7,8] сильно меняется при приложении электрического поля. Легко получаемое в практических условиях поле 5kV/cm сдвигает температуру перехода на 50 К, что делает такой материал крайне эффективным для электрокалорических применений.

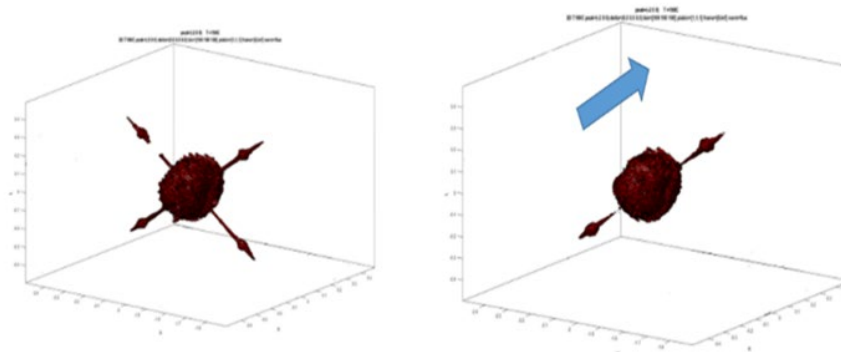


Рис. 2. 3d картина рассеяния синхротронного излучения в монокристалле $\text{PbZr}_{0.976}\text{Ti}_{0.024}\text{O}_3$ в нулевом поле (слева) и после охлаждения в поле 5kV/cm (справа)

Важной особенностью антисегнетоэлектриков является существование в них антифазных доменов, на границе которых происходит "сбой" фазы волны антиполярных смещений ионов. В такой системе доменов возникают антифазные доменные границы (АДГ), представляющие собой плоские доменные стенки шириной несколько нанометров. Эти объекты представляют принципиальный интерес, как основа для энергонезависимых запоминающих устройств со сверхвысокой плотностью записи информации. При этом возникает вопрос об управлении такими полярными объектами. Исследования поведения кристаллов PZT в приложенных электрических полях выявили возможность создать систему ориентированных АДГ, путем охлаждения в приложенном электрическом поле. На рис. 2 приведена картина рассеяния излучения в нулевом поле и после охлаждения в поле 5kV/cm. Стержни диффузного рассеяния связаны с плоскими АДГ перпендикулярными им. Хорошо видно, что после охлаждения в поле сохраняются АДГ только одной ориентации.

Таким образом, показана высокая перспективность рассмотренных материалов для хранения энергии.

1. R. G. Burkovsky, Yu. A. Bronwald, A. V. Filimonov, A. I. Rudskoy, D. Chernyshov, A. Bosak, J. Hlinka, X. Long, Z.-G. Ye, and S. B. Vakhrushev; "Structural Heterogeneity and Diffuse Scattering in Morphotropic Lead ZirconateTitanate Single Crystals"; Physical Review Letters; 109(9), 097604(1-4) ,(2012)
2. R. G. Burkovsky, A. V. Filimonov, A. I. Rudskoy, K. Hirota, M. Matsuura, S. B. Vakhrushev; "Diffuse scattering anisotropy and inhomogeneous lattice deformations in the lead magnoniobate relaxor PMN above the Burns temperature"; Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics 85(9), 094108 (1-7) (2012)
3. K. Tagantsev, K. Vaideeswaran, S. B. Vakhrushev, A. V. Filimonov, R. G. Burkovsky, A. Shaganov, D. Andronikova, A. I. Rudskoy, A. Q. R. Baron, H. Uchiyama, D. Chernyshov, A. Bosak, Z. Ujma, K. Roleder, A. Majchrowski, J.-H. Ko & N. Setter, "The origin of antiferroelectricity in PbZrO_3 " Nature Communications 4(1) 2229(1-8) (2013)
4. R. G. Burkovsky, A. K. Tagantsev, K. Vaideeswaran, N. Setter, S. B. Vakhrushev, A. V. Filimonov, A. Shaganov, D. Andronikova, A. I. Rudskoy, A. Q. R. Baron, H. Uchiyama,

- САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОЛОНЧАТЫЕ
ОРГАНОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СЕКТОРООБРАЗНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 3,4,5-
АЛКИЛОКСИ БЕНЗОЛСУЛЬФОНАТОВ ЦЕЗИЯ**

¹НИИ «Курчатовский институт», РТУ МИРЭА - Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, ³Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, ⁴Institute of Chemistry of New Materials, Germany, ⁵Institute of Technical and Macromolecular Chemistry

Chemical structure of the polyimide repeat unit: $C_nH_{2n+1}-O-C_6H_2(O-C_nH_{2n+1})_2-SO_2-O^-Cs^+$

Cs chain lengths: Cs6, n=6; Cs8, n=8; Cs10, n=10; Cs12, n=12; Cs14, n=14; Cs16, n=16; Cs18, n=18

Phase diagram (T, °C vs. Phase):

Phase	Approx. Temperature Range (°C)
Col ₀₄₀	0 - 100
Iso micellar	100 - 280
BCC	100 - 280
Col ₁₀₀	0 - 150
Col ₁₀₀	150 - 250
Iso	250 - 300

127

Среди факторов, влияющих на фазовое поведение подобных материалов, — размер и природа фокальных групп, а также длина алифатических хвостов, которая влияет на температурное фазовое поведение за счёт изменения как формы мезогенной группы, так и соотношения относительных объёмов ароматической и алифатической частей, что и стало предметом рассмотрения в настоящем исследовании. Выявлено, что двумерная колончатая упорядоченная гексагональная мезофаза, формируемая цезиевыми солями 3,4,5-трис(алкилокси)бензолсульфоновой кислоты с различной длиной алифатических окончаний, может быть описана как состоящая из трёх составляющих: центрального практически полого канала и жёсткой ароматической части, окружённой алифатической матрицей, ширина которых зависит от конкретной химической структуры дендрона (рис. 1). Указанные особенности делают изученный материал перспективным для создания управляемых температурой ион-селективных мембран.

1. Song E., Beginn U., Stupnikov A.A., Bakirov A.V., Shcherbina M.A., Möller M., Chvalun S.N. Self-assembling supramolecular columnar organogels formed by wedge shaped cesium 3,4,5-alkyloxy benzene sulfonates. *Soft Matter*. 2025. V. 21. P. 5055. DOI: 10.1039/D4SM01436G

НОВЫЕ МУЛЬТИРЕЗОНАНСНЫЕ ЛЮМИНОФОРЫ ДЛЯ СИНИХ СВЕТОДИОДОВ

**Сосоров А.Ю.^{1,2}, Михайлов М.С.¹, Дубинец Н.О.^{1,2,3}, Трубицын А.А.¹, Федоренко Р.С.¹,
Паращук Д.Ю.², Борщев О.В.¹, Константинов В.Г.^{1,2}, Маннанов А.Л.¹,
Доминский Д.И.¹, Пономаренко С.А.¹**

¹*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,*

²*Физический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова, ³НИЦ «Курчатовский институт»*

С помощью комплексного подхода, включающего квантово-химические расчёты, органический синтез, фотофизические измерения и изготовление органических светодиодов, исследовано как добавление различных заместителей влияет на свойства мультirezонансных флуорофоров. Разработана методика и синтезирован ряд новых производных дииндолофеназина (DIPz, рис. 1а). Атомы азота, внедрённые в состав полициклического аннелированного углеводородного ядра, приводят к появлению большого числа узлов на ВЗМО и НСМО (рис. 1б). В результате, два соединения обладают люминесценцией в синей области (430–445 нм в толуоле) с очень узким спектром (FWHM до 8 нм в циклогексане, что находится на уровне рекордных значений для органических соединений, рис. 1в). На основе одного из соединений изготовлены синие органические светодиоды, обладающие достаточно высокими характеристиками, в т.ч. КПД и цветовыми координатами (рис. 1г). Таким образом, синтезированные соединения являются перспективными для использования в синих светодиодах с высокой чистотой цвета, необходимых для создания дисплеев с улучшенной цветопередачей.

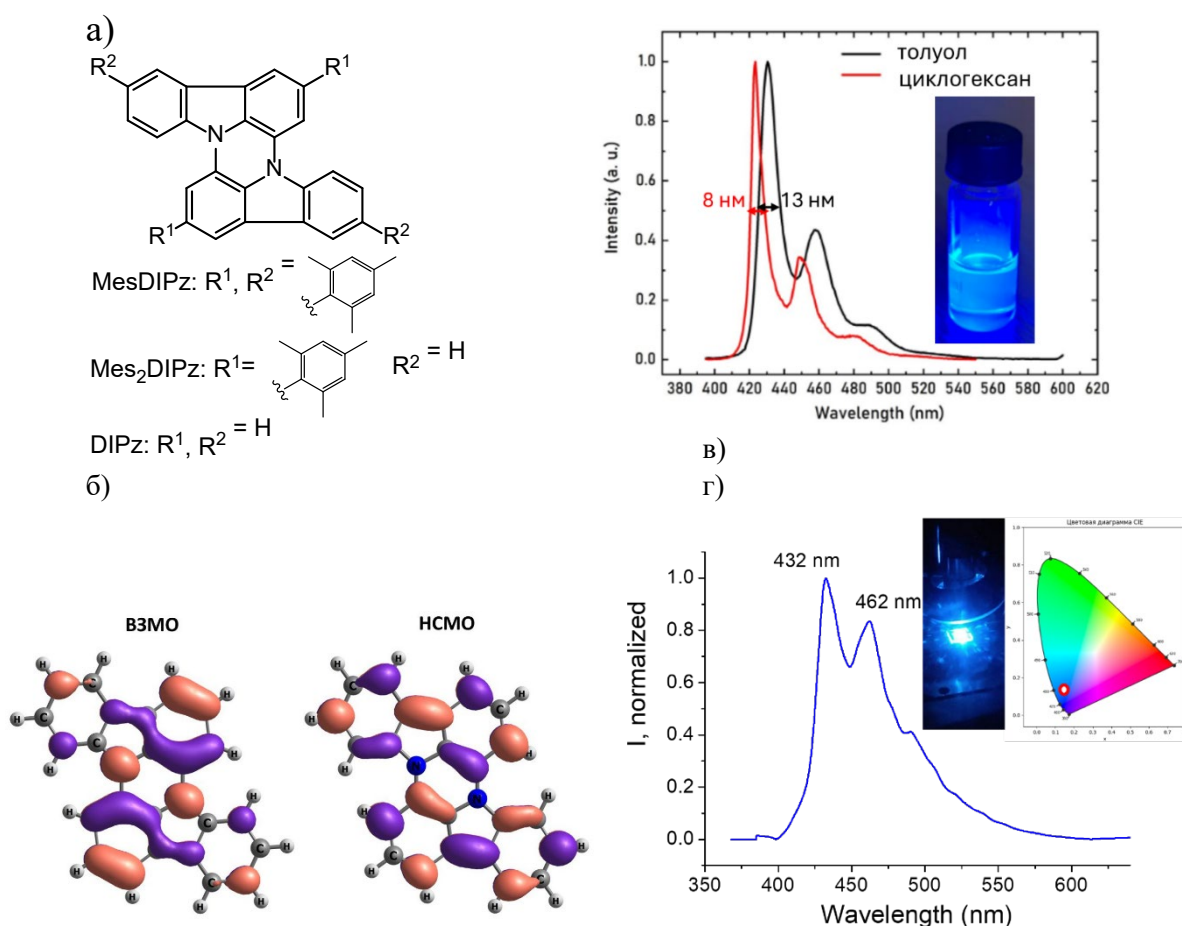


Рис. 1. (а) Структурные формулы новых синтезированных соединений. (б) Граничные орбитали DIPz. (в) Спектры фотолуминесценции Mes₂DIPz в толуоле и циклогексане. (г) Спектр электролюминесценции светодиода на основе MesDIPz.

- Mikhailov M.S., Dubinets N.O., Yulaev T.A., Konstantinov V.G., Trukhanov V.A., Borshchev O.V., Parashuk D.Yu., Ponomarenko S.A., Sosorev A.Yu. Novel multiresonant diindolophenazine fluorophore as a hole-transport organic semiconductor. Mend. Commun. 2026. V. 36 (1). P. 76. DOI: 10.71267/mencom.7779
- Dubinets N.O., Sosorev A.Yu. Fluorescence Properties of Novel Multiresonant Indolocarbazole Derivatives for Deep-Blue OLEDs from Multiscale Computer Modelling. Molecules. 2025. V. 30 (2) P. 255. DOI: 10.3390/molecules30020255

МЕТОД СИНТЕЗА СТЕКЛОКЕРАМИК GA-GE-SE-CSI С ЗАДАНЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ИЗНОСОСТОЙКОЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОПТИКИ

Благин Р.Д., Суханов М.В., Степанов Б.С., Мишинов С.В. (с участием члена Совета А.Д. Буланова)

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

Впервые синтезирована и комплексно исследована новая стеклокерамика на основе стекол системы Ga-Ge-Se с добавками иодида цезия (рисунок 1). Определен ее оптимальный состав – (Ga₂₀Ge₂₀Se₆₀)_{99.7}(CsI)_{0.3}, обладающий улучшенными механическими свойствами (твердость, устойчивость к трещинам и износу).

Изучено влияние добавок йодида цезия на структуру и свойства стеклокерамик в системе (50-0.5x)Ga₂Se₃–(50-0.5x)Ge₂Se₃–xCsI. Установлено, что образцы характеризуются

высокой исходной долей кристаллической фазы (кубический Ga_2Se_3), которая уменьшается с ростом содержания CsI . Все исследуемые механические свойства (микротвёрдость, трещиностойкость, абразивная устойчивость) снижаются при увеличении концентрации йодида цезия. Установлены количественные закономерности влияния состава на оптические и механические свойства стеклокерамик, а также предложена гипотеза, объясняющая эти взаимосвязи.

Таким образом, создан материал, из которого можно производить более прочные и износостойкие оптические детали (как линзы или защитные окна) для специальной аппаратуры, работающей в инфракрасном диапазоне, например, для тепловизоров. Его свойства конкурентоспособны по сравнению с материалами, уже используемыми в промышленности.

Перспективная сфера применения: производство готовых оптических элементов для инфракрасного диапазона (линз, окон, призм) с использованием моллирования и прессования.

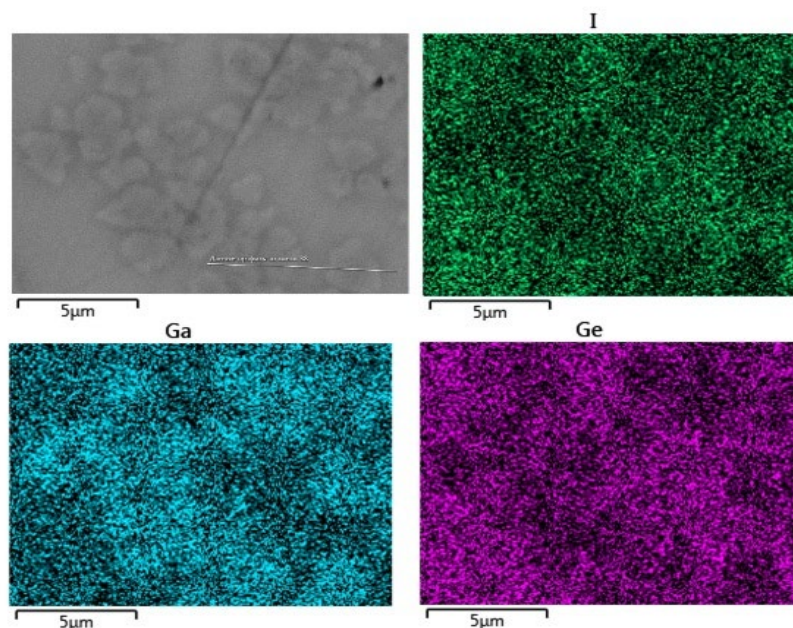


Рис. 1. Стеклокерамика $(\text{Ga}_{20}\text{Ge}_{20}\text{Se}_{60})_{99.7}(\text{CsI})_{0.3}$ микроструктура и распределение I, Ga и Ge в ней.

1. Selective doping of $\text{Ga}_{20}\text{Ge}_{20}\text{Se}_{60}$ glass-ceramic matrix with lanthanum(iii) selenide to increase its optical transparency in the 2–10 μm spectral range / M. V. Sukhanov, R. D. Blagin, A. P. Velmuzhov, D. G. Fukina, K. V. Sidorenko, B. S. Stepanov, V. S. Shiryaev // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2025. – Vol. 647. – Art. 123270. – DOI 10.1016/j.jnoncrysol.2025.123270. (FFSR-2024–0001, WoS (Q1), Scopus, РИНЦ, УБС 1)
2. Blagin R.D., Stepanov B.S., Mishinov S.V., Sukhanov M.V., Bulatov M.I. The Effect of CsI Addition on the Mechanical Properties of $(\text{Ga}_2\text{Se}_3\text{-Ge}_2\text{Se}_3)$ -Based Chalcogenide Glass-Ceramics/ Journal of the American Ceramic Society. — 2025.- JACERS-55872. [принята в печать: 3 декабря 2025]

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОСОБО ЧИСТЫХ ТЕЛЛУРИДНЫХ СТЕКОЛ И ВОЛОКОННЫЙ СВЕТОВОД ИЗ НИХ С РЕКОРДНО НИЗКИМИ ОПТИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ

Проведено комплексное исследование физико-химических свойств и разработаны способы получения особо чистых стекол систем Ge-Te-AgI и Ga-Ge-Te-AgI, включающие следующие основные этапы: 1) плавление теллура и германия с редкоземельным металлом для связывания примеси кислорода; 2) дистилляционную очистку и вакуумную загрузку шихты $\text{Ge}_x\text{Te}_{100-x}$ в реактор; 3) совмещенный химический транспорт серебра в форме йодида и металлического галлия с использованием йодида галлия(III) или йодида германия(IV) в качестве транспортирующего агента; 4) плавление полученной шихты $\text{Ga} - \text{Ge}_x\text{Te}_{100-x} - \text{AgI}$ заданного химического состава, закалку стеклообразующего расплава и отжиг стекла. С помощью разработанных способов получены образцы особо чистых стекол состава $(\text{GeTe}_{3.76})_{50}(\text{AgI})_{50}$, $(\text{Ga}_{10}\text{Ge}_{15}\text{Te}_{75})_{90}(\text{AgI})_{10}$ и $(\text{Ga}_{10}\text{Ge}_{15}\text{Te}_{75})_{88}(\text{AgI})_{12}$ с содержанием примеси кислорода, химически связанного с компонентами стекла, не более 10 ppb(масс.).

Из стекла состава $(\text{GeTe}_{3.76})_{50}(\text{AgI})_{50}$, полученного с применением двукратного химического транспорта йодида серебра, методом штабика в тигле изготовлен волоконный световод. Минимальные оптические потери в световоде составили 0.33 ± 0.05 дБ/м на длине волны 9.9 мкм (рисунок 1а). К настоящему времени это рекордный результат для известных теллуридных волокон. Спектральный диапазон с уровнем оптических потерь не более 1 дБ/м составил 6.9–11.5 мкм. Уровень оптических потерь в этом волокне на длине волны 10.6 мкм, соответствующей рабочей области CO_2 -лазера, составляет 0.5 ± 0.05 дБ/м (рисунок 1б). Это является лучшим результатом среди всех известных стеклянных волоконных световодов, работающих на принципе полного внутреннего отражения. Полученный световод может быть использован в качестве чувствительного элемента оптических сенсоров для определения химического состава веществ и в качестве проводника излучения лазеров, работающих в среднем инфракрасном диапазоне.

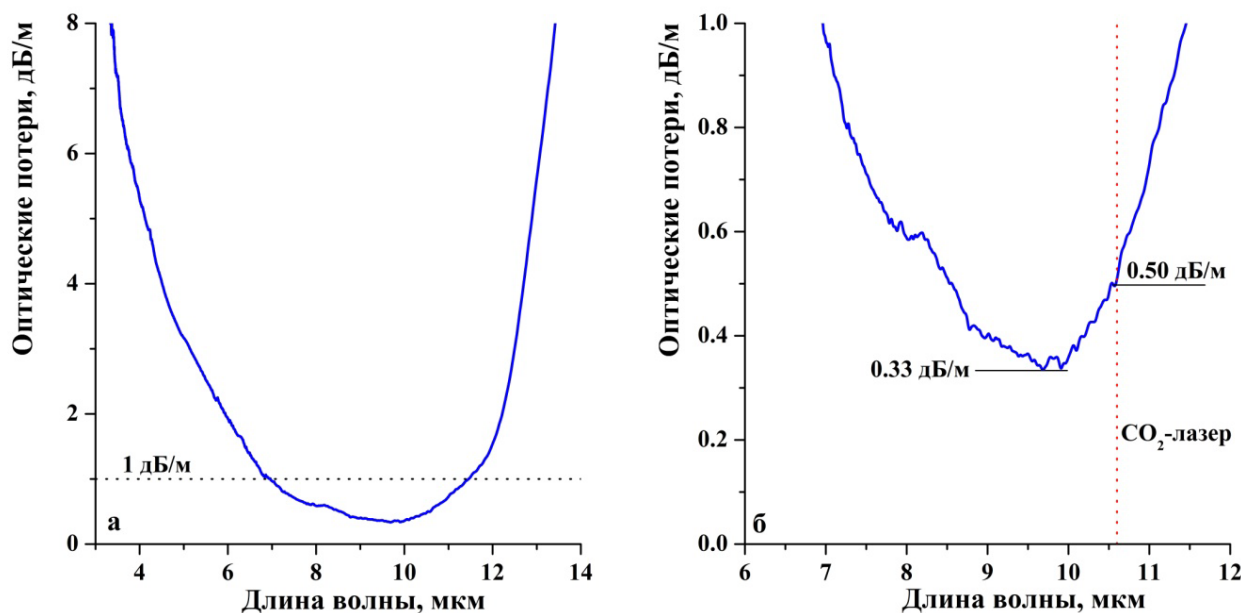


Рис. 1. Спектры оптических потерь в волоконном световоде, вытянутом из стекла $(\text{GeTe}_{3.76})_{50}(\text{AgI})_{50}$ в спектральных диапазонах 3–14 (а) и 6–12 (б) мкм

1. Velmuzhov A.P., Tyurina E.A., Sukhanov M.V., Kotereva T.V., Plekhovich A.D., Fukina D.G., Shiryaev V.S. First < 1 dB/m optical loss fiber based on germanium telluride glasses. Optics & Laser Technology 192(2025) 113727. DOI: 10.1016/j.optlastec.2025.113

2. Тюрина Е.А., Вельмузов А.П., Суханов В.М., Плехович Д.А., Фукина Д.Г., Ширяев В.С. Кристаллизационная устойчивость и оптические свойства стекол системы $(\text{Ga}_{10}\text{Ge}_{15}\text{Te}_{75})_{100-x}(\text{AgI})_x$ ($x = 0\text{--}15$ мол. %). Конденсированные среды и межфазные границы 28(1) 2026.

СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕЗИСТОВ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ, ИОННОЛУЧЕВОЙ И РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИТОГРАФИИ

**Зайцев С.И., Иржак Д.В., Ильин А.И., Князев М.А., Д.В. Рощупкин,
Грачев В.П., Курбатов В.Г., Малков Г.В.**

*Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН
ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН*

На основе полиметилметакрилата созданы отечественные позитивные резисты (CHG 1 и CHG 2) для процессов электроннолучевой, ионнолучевой и рентгеновской литографии. Структуры, сформированные методом электроннолучевой и ионнолучевой литографии с использованием резистов, представлены на рисунке 1 (а, б). Чувствительность резистов для процессов электроннолучевой литографии и ионнолучевой литографии существенно различается. В процессах ионнолучевой литографии резисты обладают более высокой чувствительностью, что позволяет существенно увеличить скорость экспонирования резистов и уменьшить время создания топологии микро- и наноструктур в резисте. Скорость процесса ионнолучевой литографии в несколько десятков раз выше процесса электроннолучевой литографии. Однако в данный момент основное ограничение процессов литографии связано с низкими скоростями перемещения экспонируемых пластин в вакууме. Сегодня это одна из краеугольных проблем создания и применения установок электроннолучевой и ионнолучевой литографии.

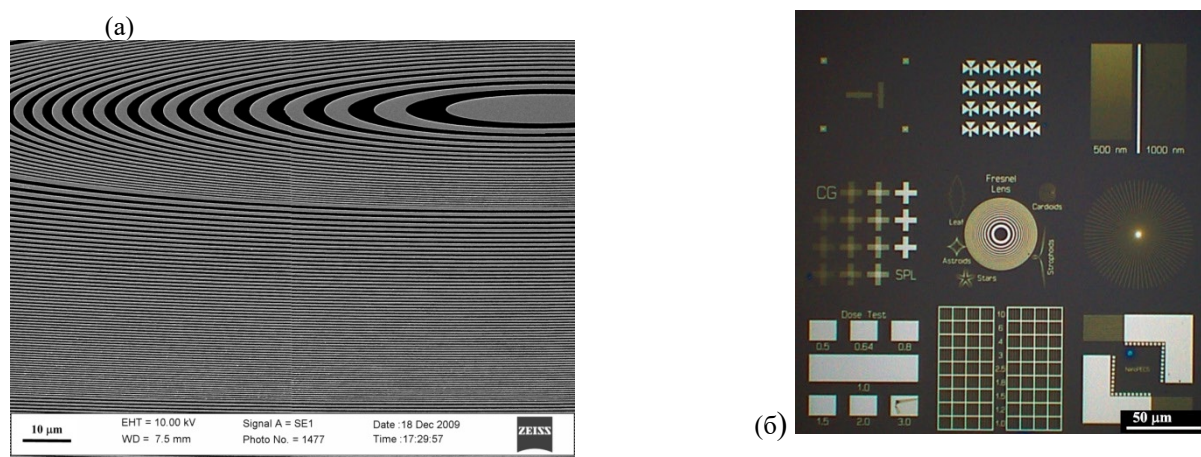


Рис. 1. (а) Структура зонной пластинки Френеля для фокусировки рентгеновского излучения, сформированная методом электроннолучевой литографии с использованием двухслойного резиста CHG 1/CHG 2. Размер крайних зон 20 нм. (б) Тестовая структура, сформированная методом ионнолучевой литографии в резисте CHG1.

1. SI Zaitsev, DV Irzhak, AI Il'in, MA Knyazev, DV Roshchupkin, VP Grachev, VG Kurbatov, GV Malkov, Prospects for the Development of Electron-Beam and Ion-Beam Lithography in Russia, Russian Microelectronics 2025 54 (4), 376-383 DOI: 10.1134/S1063739725600505

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА МАТЕРИАЛА С ЗАДАННЫМ НАБОРОМ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

П.Ю. Коротаев¹, А.В. Янилкин¹, А.В. Дуб²

¹ВНИИА имени Н.Л. Духова, ²Частное учреждение «Наука и инновации»

Существующий метод выбора химического состава материала, который должен обладать желаемым набором свойств, основан на экспертном и эмпирическом подходе. Для него характерны значительные временные и финансовые затраты, которые, при этом, не гарантируют достижения целевых характеристик материала. Предлагаемый подход к созданию новых материалов (подбора состава и технологических параметров синтеза) на базе методов цифрового материаловедения и искусственного интеллекта позволяет целенаправленно подходить к созданию материала под имеющиеся требования и анализировать множество мультимасштабных факторов, влияющих на характеристики материала. В рамках проекта будет создана технологическая линия синтеза новых материалов методом прямого лазерного выращивания.

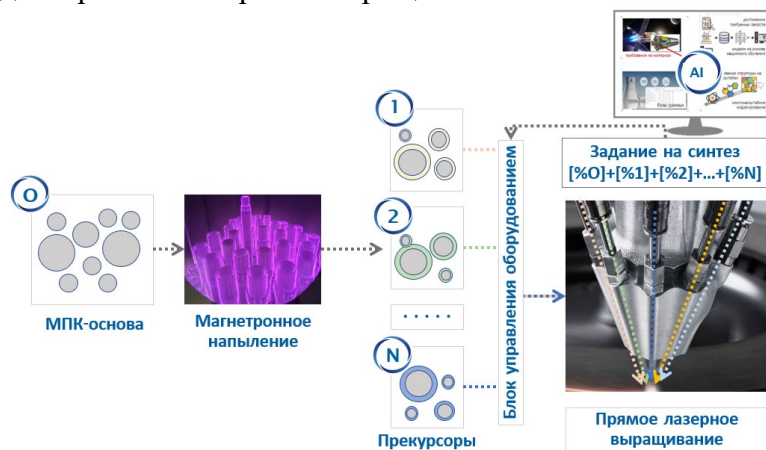


Рис. 1. Концептуальная схема процесса автоматизированного синтеза.

Предлагаемый подход к созданию новых материалов на базе методов цифрового материаловедения и искусственного интеллекта подразумевает решение прямой задачи (предсказание свойств материала) и обратной задачи (подбор химического состава материала). После этого проводится синтез подобранных материалов и измерение их свойств. Полученные данные используются для повышения качества решения прямой и обратной задач. Таким образом, поиск нового материала представляет собой цикл.

Решение прямой задачи реализовано за счёт применения методов машинного обучения в связке с термодинамическим моделированием. Для решения обратной задачи, которая заключается в оптимизации свойств, будет использован генетический алгоритм.

Модели обучались следующим образом. Исходными данными для обучения являлись экспериментальные справочные данные по свойствам аустенитных сталей. После выбора признаков данные разделялись на обучающую и тестовую выборки случайным образом в соотношении 4 к 1. Данные из обучающей выборки использовались для выбора алгоритма и оптимальных гиперпараметров, а данные отложенной выборки только для финальной оценки обобщающей способности модели.

Для выбора гиперпараметров и алгоритмов использовалась 10-мерная, 3-х кратная кросс-валидация. Рассматривались алгоритмы на основе метода опорных векторов с

ядровым трюком, гребневая регрессия с ядровым трюком, линейная гребневая регрессия и искусственная нейронная сеть. Перебор гиперпараметров проводился с помощью исчерпывающего поиска на сетке в кросс-валидации. Алгоритм и набор гиперпараметров, которые показали наименьшую среднюю абсолютную ошибку по тридцати валидационным подвыборкам, выбирался для обучения оптимальной модели. Далее оптимальная модель обучалась на всей обучающей выборке. После этого модель оценивалась, то есть вычислялись её характеристики точности на обучающей и тестовой выборках. По результатам оценки точности модели сделано заключение об предсказательной способности модели.

В качестве примера результатов моделирования на рисунках 2 и 3 приведено сравнение между предсказанными и истинными значениями механических свойств для обучающей и тестовой выборки для сплавов на основе железа. Результаты оценки точности разработанных моделей приведены в таблице 1.

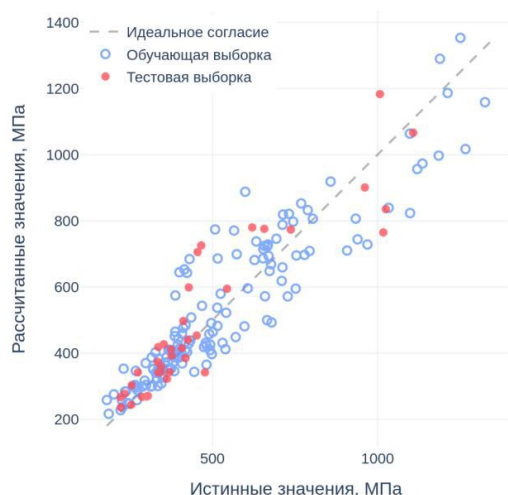


Рис. 2. Сравнение предсказанных и истинных значений предела текучести.

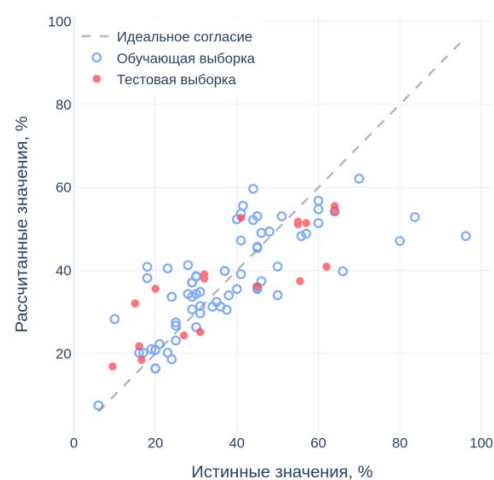


Рис. 3. Сравнение предсказанных и истинных значений максимального относительного удлинения.

Таблица 1 - Показатели точности моделей

Показатель точности	Предел текучести		Максимальное удлинение	
	Обучающая выборка	Тестовая выборка	Обучающая выборка	Тестовая выборка
Средняя абсолютная ошибка	71,0 МПа	72,9 МПа	8,0 %	8,9 %
Корень из среднего квадрата ошибки	99,0 МПа	104,0 МПа	11,5 %	10,4 %
Средняя относительная абсолютная ошибка	13,5 %	15,1 %	23,3 %	30,7 %
Коэффициент детерминации R^2	0,85	0,82	0,55	0,68

Полученные результаты свидетельствуют об удовлетворительной предсказательной способности разработанных начальных версий моделей для прогнозирования механических и физических характеристик сплавов на основе железа. По мере дообучения моделей на экспериментальных данных, полученных в результате исследований

синтезированных образцов на разрабатываемой технологической линии, качество прогнозирования свойств и подбора составов будет повышаться. Это позволит сократить длительность подбора химических составов кандидатных сплавов с целевыми значениями свойств.

ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКО

А.И. Боровков¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Изделия (конструкции) из композиционных материалов (КМ) представляют собой “конструкции в конструкциях” (композитные структуры, КС). Для детального анализа механического поведения КС необходим многомасштабный / многоуровневый анализ (MultiScale Analysis), как минимум на трех уровнях описания КМ и КС: микроуровень (μ-уровень), мезоуровень (m-уровень) и макроуровень (M-уровень).

В качестве примера российской цифровой платформы, позволяющей эффективно проводить многомасштабную разработку композиционных материалов и композитных структур, можно привести цифровую платформу по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench[®], разработанную Передовой инженерной школой СПбПУ «Цифровой инжиниринг» (ПИШ СПбПУ).

Функциональные возможности цифровой платформы CML-Bench[®] дополнены разработанными технологиями, методами и методиками по созданию цифровых двойников КМ и КС, что позволило сформировать подсистему CML-Bench.Composites, которая предназначена для разработки верифицированных и валидированных математических и компьютерных моделей композиционных материалов, обладающих высоким уровнем адекватности, которые лежат в основе цифрового двойника изделия / КС. Данный подход позволяет на этапе разработки изделия учитывать специфические особенности физико-механических свойств материалов в изделии, технологические процессы изготовления, физико-механические, технологические и эксплуатационные параметры (законы эволюции и деградации свойств), необходимые для дальнейшего цифрового обоснования новых изделий и продуктов с применением технологии цифровых двойников.

При этом основной проблемой цифрового обоснования механического поведения, прочности, несущей способности, долговечности, надежности и безопасности изделий из КМ является особенность таких изделий: все области научных знаний – материаловедение, технологии (технологические процессы изготовления, цифровые технологии моделирования и проектирования, производственные технологии) и механика деформируемого твердого тела / механика композитных структур – неделимы и формируют мультидисциплинарную триаду Материал–Технология–Конструкция, фактически представляют собой одно целое.

Для обеспечения взаимосвязей в мультидисциплинарной триаде Материал–Технология–Конструкция при использовании современных методов моделирования и проектирования изделий из композиционных материалов с применением технологии цифровых двойников согласно национальному стандарту ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» разработана технология на основе методов математического и компьютерного моделирования и инженерных расчетных методик, направленная на разработку цифрового двойника материала, способного методологически, технически и физико-механически воспроизводить свойства цифрового двойника изделия.

Благодаря такому подходу формируется однозначная и гибкая архитектура цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов для проведения цифровых

испытаний композиционных материалов, описывающая последовательность решения задач верификации и валидации моделей, эволюцию отдельных математических и компьютерных моделей, а также процессы формирования единой цифровой модели материала.

Подробнее о методологии создания цифровых двойников композиционных материалов представлено в статье [1], посвященной описанию ключевых особенностей подхода по разработке цифровых двойников композиционных материалов на цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®.

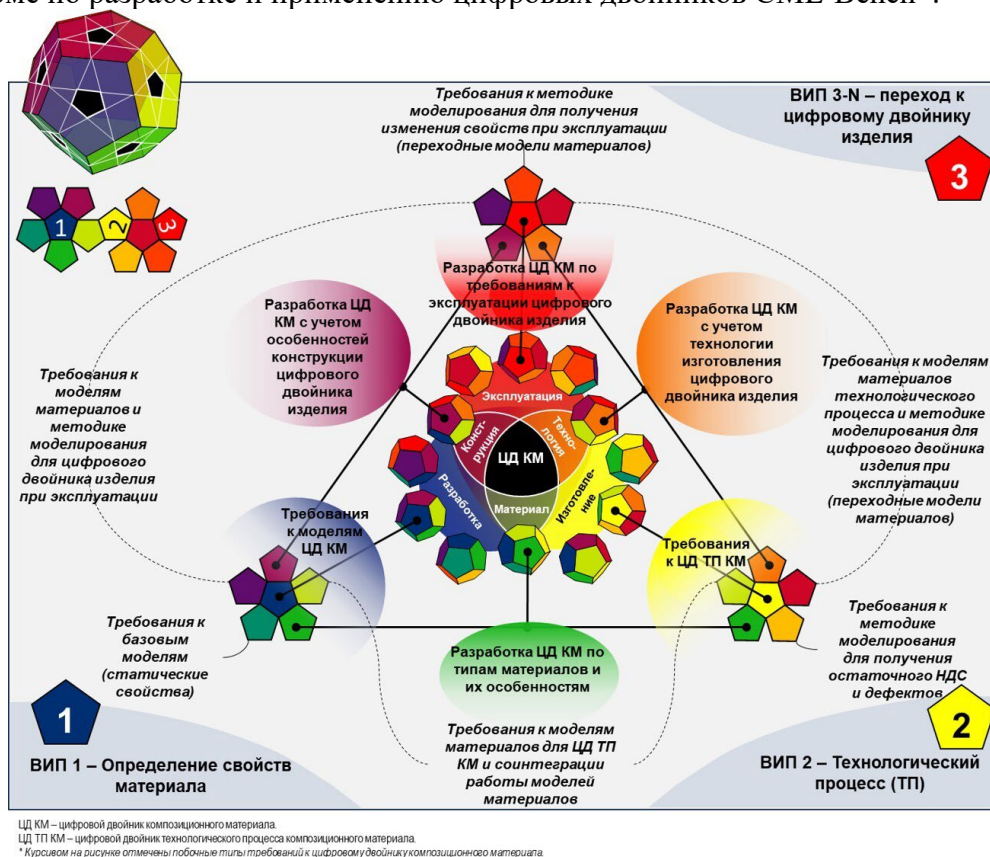


Рис. 1. Логическая схема построения цифрового двойника композиционного материала (Источник: ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»)

Это актуальное научно-технологическое направление может послужить научно-технологическим заделом и основой для любой отрасли высокотехнологичной промышленности, связанной с проектированием и производством изделий из композиционных материалов, что открывает широкие возможности для отечественных предприятий, заинтересованных в применении таких материалов и инструментов цифрового инжиниринга при разработке изделий.

1. Боровков А.И., Ожгибесова Д.Д., Глазунов А.И. [и др.]. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 7): разработка и применение цифровых двойников композиционных материалов // САПР и графика. – 2025. – № 7. – С. 4-18.