

IV

ИТОГИ 2023 ГОДА И ПЛАНЫ НА 2024 ГОД

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «РАЗРАБОТКА
НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА «РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

| | | |
|----------|--|-----------|
| I | Федеральный проект «Новая атомная энергетика, в том числе малые атомные реакторы для удаленных территорий» | |
| II | Федеральный проект «Создание современной экспериментально-стендовой базы для разработки технологий двухкомпонентной атомной энергетике с замкнутым ядерным топливным циклом» | |
| III | Федеральный проект «Разработка технологий управляемого термоядерного синтеза и инновационных плазменных технологий» | |
| IV | Федеральный проект «Разработка новых материалов и технологий для перспективных энергетических систем» | |
| 1 | Цели четвертого федерального проекта РТТН | 3 |
| 2 | Новые материалы и технологии | 5 |
| 2.1 | Новые материалы _____ | 6 |
| 2.2 | Цифровое материаловедение _____ | 8 |
| 2.3 | Аддитивные технологии _____ | 10 |
| 3 | Синтез сверхтяжелых элементов и исследования экстремальных состояний вещества | 15 |
| 4 | Разработка технологических решений для создания исследовательского жидкосолевого реактора (ИЖСР) | 21 |
| V | Федеральный проект «Проектирование и строительство референтных энергоблоков атомных электростанций» | |



1 / ЦЕЛИ ЧЕТВЕРТОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА РТТН

1. Разработка новых материалов и технологий для существующих и перспективных энергоустановок, а также создание технологий и оборудования, ускоряющих производственные процессы в 1,5–2 раза.

2. Разработка технологий, оборудования и материалов для синтеза сверхтяжелых элементов (СТЭ) и изучения свойств вещества в экстремальном состоянии — при сверхвысоких давлении и температуре.

- Создание экспериментальной установки для синтеза новых элементов таблицы Менделеева и проведение исследований для более глубокого понимания строения ядерной материи, процессов образования сверхтяжелых элементов во Вселенной.
- Получение новых знаний о физических процессах и свойствах материалов в условиях сверхвысокого давления, плотности и температуры. Эти знания дадут научную основу для реализации перспективных проектов в энергетике, судостроении и ракетостроении. Они помогут усовершенствовать свойства материалов, которые должны работать в условиях мощных потоков излучения.

3. Разработка и демонстрация ключевых технологических решений для создания первого в России исследовательского жидкосолевого реактора (ИЖСР) с модулем переработки отработавшего ядерного топлива. На установке отработают эффективный способ дожигания долгоживущих радиоактивных отходов (минорных актинидов).

~40 организаций задействованы в выполнении проекта: это не только отраслевые компании, но и академические институты, вузы. Такая кооперация дает нужный



Алексей ДУБ,

научный руководитель федерального проекта «Разработка новых материалов и технологий для перспективных энергетических систем» РТТН, первый заместитель генерального директора АО «Наука и инновации»



НАМ ВАЖНО СОЗДАВАТЬ НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ БЫСТРО, ТОЛЬКО ТАКИМ СПОСОБОМ МЫ МОЖЕМ ОБЕСПЕЧИТЬ ПРЕИМУЩЕСТВО. ПРОСТО ПОЛУЧИТЬ ОБРАЗЦЫ МОГУТ МНОГИЕ ПРОФИЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ ИЛИ УНИВЕРСИТЕТЫ. НАМ ВАЖНО, ЧТОБЫ ЭТИ МАТЕРИАЛЫ БЫЛИ ПРИГОДНЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ. МЫ ИХ ОРИЕНТИРУЕМ НА ТРЕБУЕМЫЙ КОМПЛЕКС СВОЙСТВ. НАПРИМЕР, ВЫСОКОПРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОБЛЕГЧАЮТ КОНСТРУКЦИЮ. НО ПРОЧНОСТЬ НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ИХ ЕДИНСТВЕННЫМ СВОЙСТВОМ. ВАЖНО, ЧТОБЫ МАТЕРИАЛ ОБЛАДАЛ РАДИАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ. МЫ СРАЗУ ПОКАЗЫВАЕМ ИЗДЕЛИЕ, В КОТОРОМ В НАИЛУЧШЕМ, ОПТИМАЛЬНОМ ИЛИ МАКСИМАЛЬНОМ СОЧЕТАНИИ КОМПЛЕКС СВОЙСТВ ЭТОГО МАТЕРИАЛА МОЖЕТ БЫТЬ ПРОЯВЛЕН.

2/

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

В ядерной энергетике будущего центральное место займут энергетические системы с замкнутым топливным циклом IV поколения, отличающиеся повышенным уровнем безопасности, высокой надежностью и экономической эффективностью.

Российские ученые разрабатывают новые конструкционные материалы, которые обеспечат необходимые характеристики для успешной эксплуатации реакторов IV поколения, а также снижение удельной металлоемкости и продление ресурса основного оборудования. Ученые также создают экспериментальные инструменты, позволяющие в несколько раз сократить цикл разработки новых материалов, активно развивают аддитивные технологии для атомной промышленности.

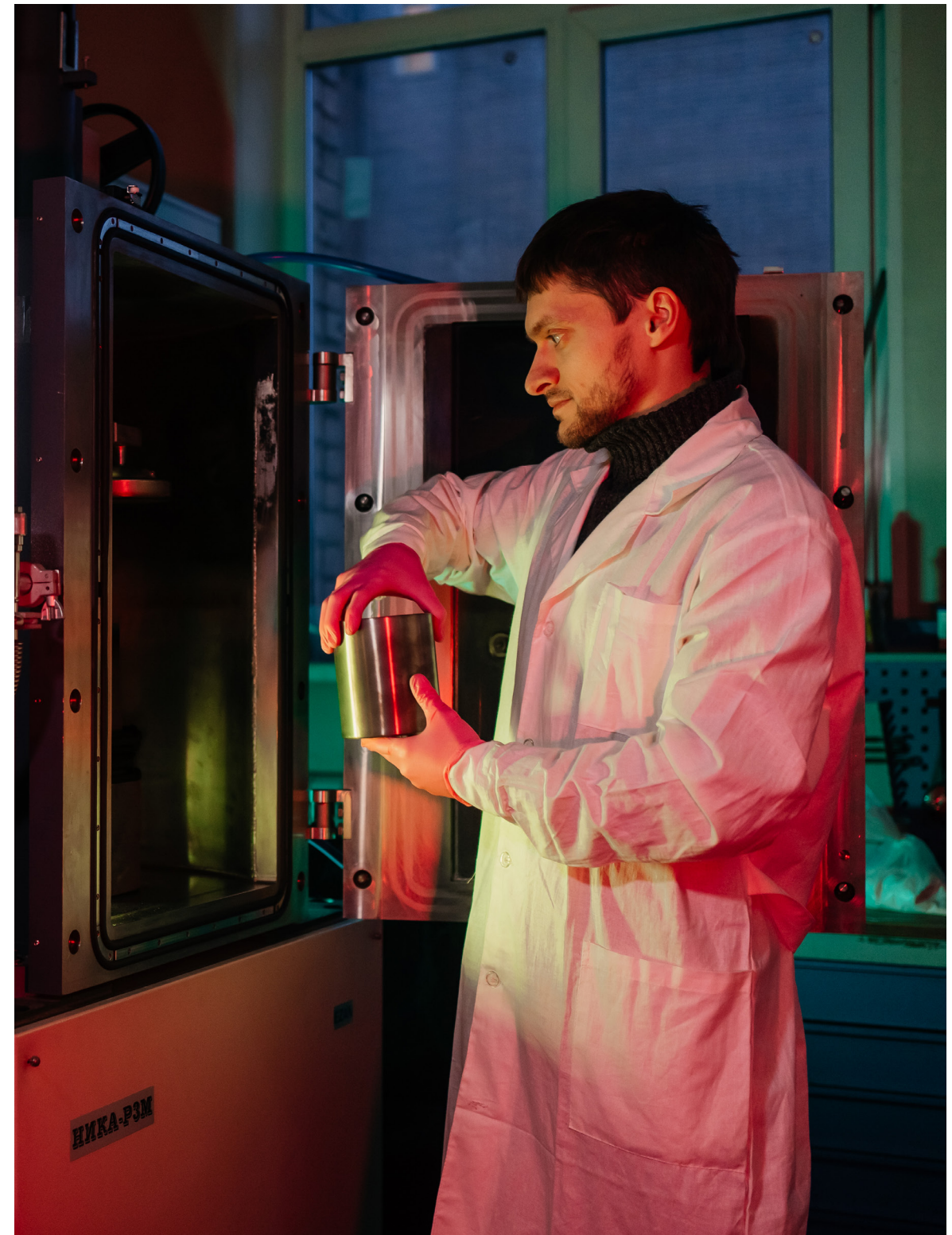
2.1 НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Результаты 2023 года:

- Получены новые дисперсно-упрочненные оксидами (ДУО) стали и сплавы (на базе систем Fe-Cr-Al и Ni-Cr-Mo), нужные для создания оболочек ядерного топлива, а также образцы карбидо-кремниевых (SiC) волокон длиной не менее 5 м и макеты элементов тепловыделяющих сборок на основе карбида кремния. Новые конструкционные материалы создаются для быстрых реакторов, которые наравне с водо-водяными реакторами составят основу двухкомпонентной атомной энергетики.
- Получены промышленные образцы элементов корпуса реакторов, внутри-корпусных устройств и сварных элементов из новых конструкционных сталей. Таким образом, обеспечены характеристики и возможность производства корпусов реакторов со стенками меньшей толщины: ВВЭР-С (толщиной до 210 мм) и ВВЭР-СКД (275 мм) — на существующих технологических мощностях машиностроительных заводов Российской Федерации.
- Получены промышленные образцы изделий из новой марки коррозионно-стойкой стали с повышенными прочностными свойствами. Материал позволит на четверть сократить вес реакторной установки АСММ.

Планы на 2024 год:

- Завершение разработки высокопрочной, коррозионно-стойкой стали, облегченной не менее чем на 20%, технологии промышленного изготовления изделий из нее для атомных станций малой мощности и судостроения.



▲ Лаборатория технологии разделения редкоземельных металлов и соединений, химико-технологический кластер научного дивизиона Росатома (Москва)

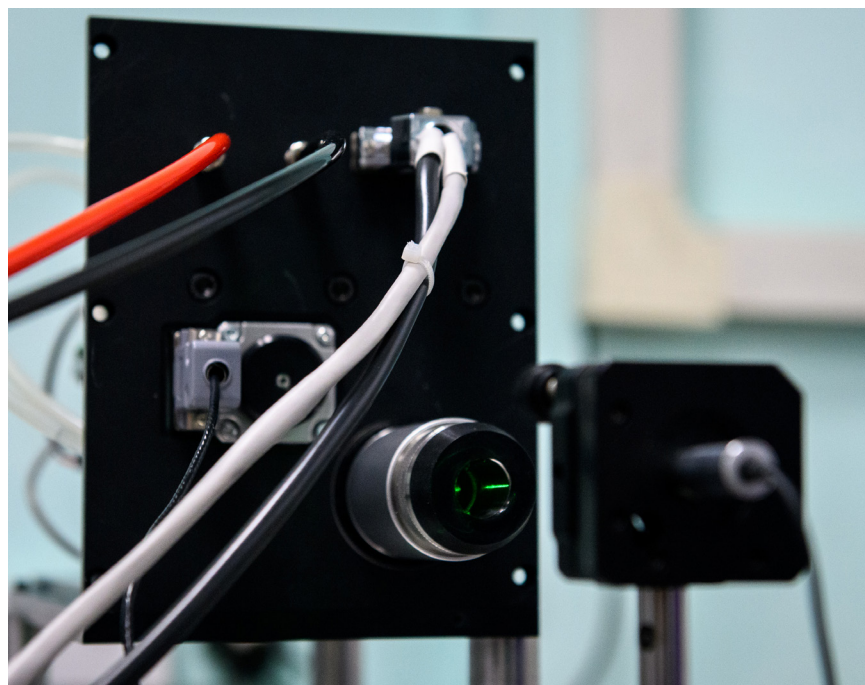
2.2 ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Результаты 2023 года:

- Создана количественная методика ускоренных испытаний (ионного облучения). Ее успешное внедрение позволит значительно сократить сроки разработки и обоснования кандидатных материалов для реакторных установок — с нескольких лет до 1–3 месяцев.
- **10 материалов успешно прошли исследования по этой методике.**
- Разработан проект ГОСТа методики ускоренных испытаний

Планы на 2024 год:

- Создание платформы цифровых инструментов компьютерного материаловедения (программные коды и базы данных) для поиска, предсказания свойств и разработки новых материалов.



► Гибридная сканирующая лазерная система, НИИ НПО «ЛУЧ» (Подольск)



Павел КОЗЛОВ,

руководитель направления частного учреждения по обеспечению научного развития атомной отрасли «Наука и инновации»



У РОСАТОМА ШИРОКАЯ ЛИНЕЙКА ИННОВАЦИОННЫХ УСТАНОВОК: ЭТО ВОДО-ВОДЯНЫЕ, ЖИДКОСОЛЕВЫЕ, БЫСТРЫЕ РЕАКТОРЫ. РАЗВИТИЕ ЛЮБЫХ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НАПРЯМУЮ СВЯЗАНО С ДОСТУПНОСТЬЮ МАТЕРИАЛОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ДОСТИЖЕНИЕ ЗАДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО СРОКА СЛУЖБЫ ОБОРУДОВАНИЯ. АТОМНАЯ ОТРАСЛЬ — ОДНА ИЗ САМЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ, И ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ, ОСОБЕННО ТОПЛИВНЫХ И МАТЕРИАЛОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ, МОЖЕТ ТРЕБОВАТЬСЯ НЕ ОДНО ДЕСЯТИЛЕТИЕ. ПОЭТОМУ ОСОБОЕ МЕСТО В ФЕДЕРАЛЬНОМ ПРОЕКТЕ ЗАНИМАЮТ РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ УСКОРЕННОЙ РАЗРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ»

2.3 АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Результаты 2023 года:

- Созданы два 3D-принтера для печати изделий из керамических и полимерных композиционных материалов, необходимых в атомной энергетике. Данные установки позволяют производить геометрически сложные изделия с высокой термостойкостью и способностью долговечной работы в агрессивных средах. Более того, они позволяют получать изделия, которые ранее невозможно было производить с использованием традиционных методов.
- Собрана первая отечественная установка электронно-лучевой аддитивной наплавки для изготовления крупногабаритных изделий из тугоплавких жаропрочных ниобий-молибденовых сплавов (в том числе из монокристаллических прутков). Такие изделия используются в космических реакторных установках. За счет применения новой технологии трудозатраты и время производства нужных деталей могут быть сокращены в 3–4 раза.
- Разработана установка горячего изостатического прессования с системой ускоренного охлаждения рабочей зоны. Это позволяет объединить операции прессования и интенсивной термической обработки сталей и сплавов, а также значительно сократить технологическое время процесса. Изготовленные аддитивным методом изделия прочнее и имеют однородную структуру.
- Создан высокотемпературный 3D-принтер (установка ВТСЛП) с отечественными системами сканирования лазерного излучения и управления (на базе российского программного и аппаратного обеспечения). Особенностью установки ВТСЛП является подгрев зоны построения до температуры 800 °С и наличие систем контроля за процессом печати. Применение высокотемпературного подгрева, в том числе, позволяет синтезировать изделия из материалов, склонных к трещинообразованию, а наличие систем контроля обеспечит повторяемость при серийном аддитивном производстве.

Планы на 2024 года:

- Завершение разработки программно-аппаратной платформы для автоматизированного (безлюдного) управления процессом изготовления изделий с первого раза на отечественном аддитивном оборудовании прямого выращивания проволокой, высокотемпературного селективного лазерного

плавления и электронно-лучевого плавления порошковых и прутковых материалов из тугоплавких/жаропрочных и композиционных сплавов, а также на оборудовании для изготовления изделий из полимерных и керамических материалов.

- Завершение разработки линейки 3D-принтеров для изготовления изделий из жаропрочных материалов. Один будет с мультилазерной системой сканирования изготовления крупногабаритных изделий из карбида кремния методом селективного лазерного спекания. Другой — для изготовления изделий из ниобий-молибденовых сплавов методом селективного лазерного плавления. Он также будет обладать системой воздействия на ванну расплава, что позволит модифицировать исходный материал и повысить его прочностные характеристики.
- Завершение разработки отечественных электронно-лучевых принтеров для печати изделий из тугоплавких металлов. Новое оборудование будет качественно отличаться от зарубежных аналогов, позволит повысить производительность. С вводом в эксплуатацию этих устройств у атомщиков также появится возможность получать изделия сложной геометрии. Созданные технологии печати изделий из порошков, проволоки и прутков могут применяться в атомной, авиационной и космической отраслях.
- Создание отечественного оборудования газоизостатического прессования для изготовления из металлических материалов крупногабаритных изделий для атомной энергетике, авиации и космоса без сварки, обеспечивающие повышение эффективности и безопасности их эксплуатации.



▶ 3D-принтер для печати изделий из керамических материалов



Александр ЖЕДАЕВ,

руководитель направления частного учреждения по обеспечению научного развития атомной отрасли «Наука и инновации»:



АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЙЧАС – КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОВЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАУКОЕМКИХ ОТРАСЛЕЙ. ИМЕННО ПОЭТОМУ ОДНОЙ ИЗ ГЛАВНЫХ ЦЕЛЕЙ НАШЕГО НАПРАВЛЕНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ. В РАМКАХ ЧЕТВЕРТОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА РТТН ПРИМЕНЯЕТСЯ КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ НИОКР В ОБЛАСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ОН ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ СОЗДАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, АДДИТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ»



◀ 3D-принтер, работающий по технологии прямого лазерного выращивания (ПЛВ/DMD)



▲ Экспериментальный комплекс «Ангара-5-1» — один из крупнейших на континенте комплексов для исследований быстрых самосжатых разрядов сверхтераваттной мощности, динамики излучающей плазмы многозарядных ионов, проблемы инерциального управляемого синтеза, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк, Москва)

3 / СИНТЕЗ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

Синтез новых сверхтяжелых элементов

Ученые намерены синтезировать элементы унунений и унбинилей, которые станут первым и вторым в восьмом периоде таблицы Менделеева. Это обеспечит лидерство РФ в данной области на ближайшие 20–25 лет.

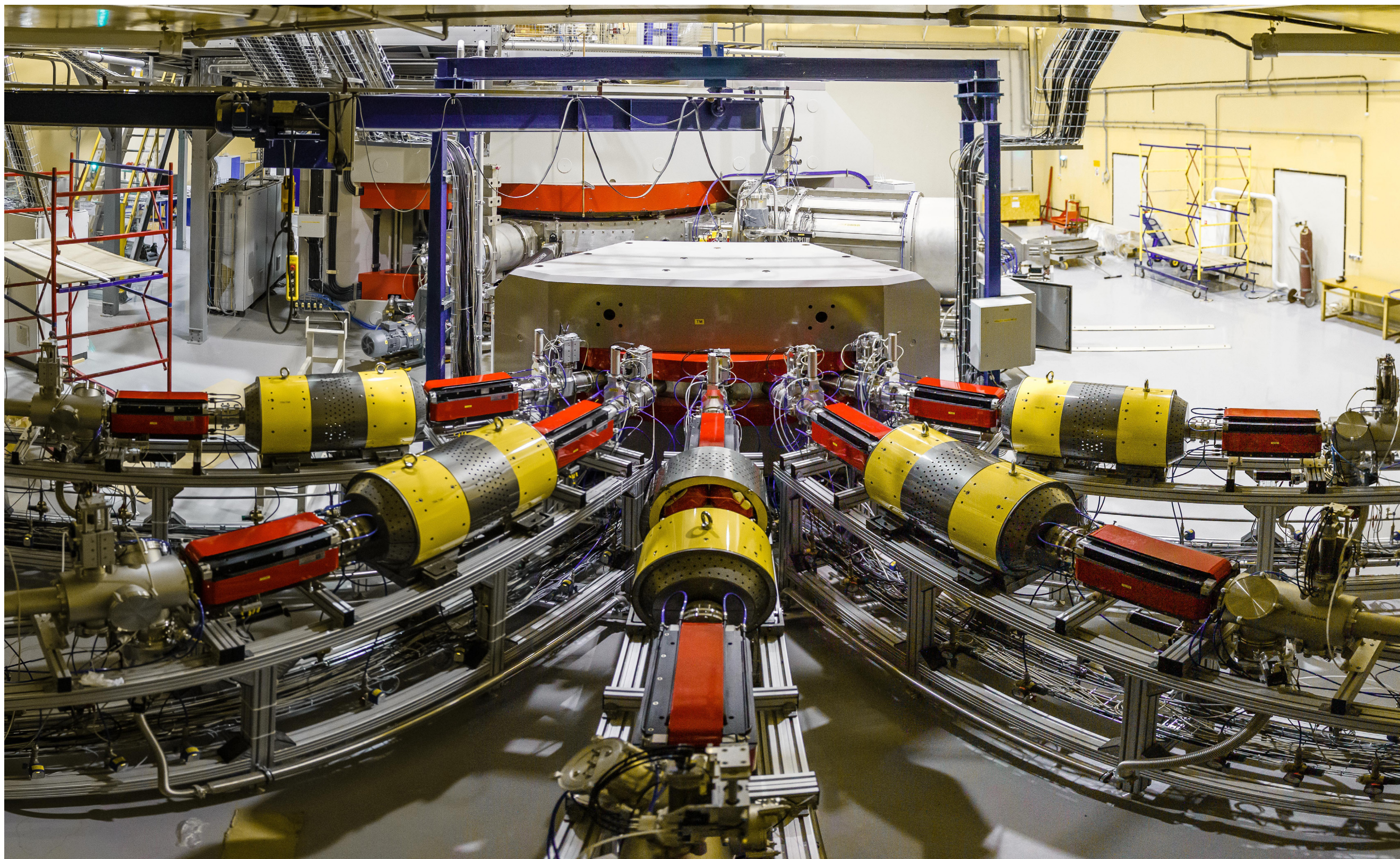
Работы ведутся совместно с Российским федеральным ядерным центром — Всероссийским научно-исследовательским институтом экспериментальной физики (РФЯЦ ВНИИЭФ, Саров), Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна), Государственным научным центром — Научно-исследовательским институтом атомных реакторов (ГНЦ НИИАР, Димитровград).

Исследования экстремальных состояний вещества

Работы по данной тематике ведутся преимущественно в Троицком институте инновационных и термоядерных исследований (АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», входит в научный дивизион Росатома). Они необходимы для получения новых знаний о физических процессах и свойствах материалов в условиях сверхвысоких давления, плотности и температуры, составляющих основу перспективных энергетических проектов и применяемых при совершенствовании свойств материалов ядерных установок, находящихся под действием мощных потоков излучений, а также для разработки новых технологий энергетического применения.

Результаты 2023 года:

- Значимым результатом работ по созданию фабрики сверхтяжелых элементов, которая призвана стать мировой базой для будущих исследований



▲ Фабрика сверхтяжелых элементов, ускоритель ДЦ-280 в ОИЯИ

сверхтяжелых ядер — стала разработка специального оборудования. Оно нужно для создания экспериментального масс-сепаратора и сильноточного инжектора многозарядных ионов

Планы на 2024 год:

- Создание экспериментального масс-сепаратора для наработки изотопов и сильноточного инжектора многозарядных ионов, повышающего чувствительность экспериментов в 50–100 раз. Оборудование необходимо для фабрики по синтезу сверхтяжелых элементов (119 и 120 элементов Периодической таблицы Д. И. Менделеева).



▲ Фабрика сверхтяжелых элементов, ускоритель ДЦ-280 в ОИЯИ



Татьяна ТИХОНОВСКАЯ,

директор проектов НИОКР по федеральному проекту «Разработка новых материалов и технологий для перспективных энергетических систем» РТТН



ФАБРИКА СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ — ЭТО ГЛОБАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ. ОН ПОЗВОЛИТ ОТВЕТИТЬ НА ВОПРОС О ГРАНИЦЕ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА: 118-Й ЭЛЕМЕНТ — СЕЙЧАС ПОСЛЕДНИЙ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЕ МЕНДЕЛЕЕВА, И УЧЕНЫМ ПРЕДСТОИТ ВЫЯСНИТЬ, МОГУТ ЛИ СУЩЕСТВОВАТЬ НОВЫЕ, ЕЩЕ БОЛЕЕ ТЯЖЕЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. ЕСЛИ УДАСТЯ СИНТЕЗИРОВАТЬ 119-Й И 120-Й ЭЛЕМЕНТЫ, УЧЕНЫЕ СМОГУТ ГЛУБЖЕ ИЗУЧИТЬ СТРОЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР, МОДЕЛИРОВАТЬ ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ, ПРОГНОЗИРОВАТЬ ИХ СУЩЕСТВОВАНИЕ В ПРИРОДЕ И Т. Д.»



▲ Специалисты ВНИИНМ изучают взаимодействие трития с материалами, из которых будет сделан ИЖСР и его топливо

4/ РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЖИДКОСОЛЕВОГО РЕАКТОРА (ИЖСР)

Исследовательский жидкосольевой реактор (ИЖСР) необходим для отработки технологии дожигания долгоживущих отходов ядерной энергетики — так называемых минорных актинидов (МА). После отработки технологий на исследовательской установке будет создан реактор для утилизации радиоактивных отходов в промышленном масштабе и решены проблемы ядерного наследия. Исследовательский реактор планируют запустить на Горно-химическом комбинате (ФГУП «ГХК») к 2031 году. Научным руководителем проекта выступает НИЦ «Курчатовский институт».

Результаты 2023 года:

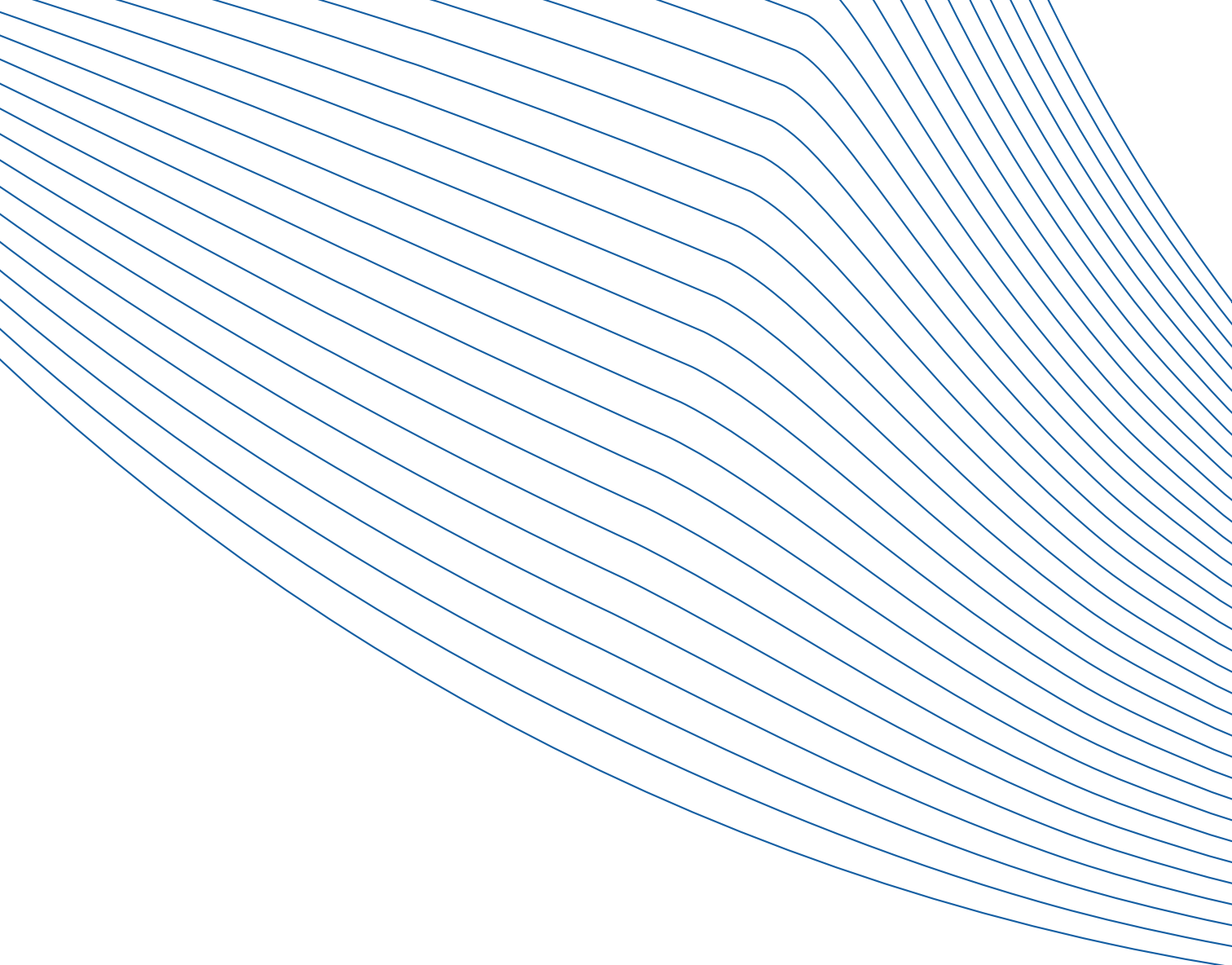
- Разработан эскизный проект, который отражает принципиальные конструктивные решения. Это важный этап на пути создания реакторной установки, который позволит отработать ключевые технологические решения трансмутации минорных актинидов, и в дальнейшем создать полномасштабный жидкосольевой реактор.

Планы на 2024 год:

- Подготовка обоснования инвестиций по исследовательскому жидкосольевому реактору, оценка его воздействия на окружающую среду. Это позволит двигаться в сторону получения лицензии на размещение объекта.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ





POCATOM