

# ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№2 | март | 2023

*Главная тема*

## Горизонты науки

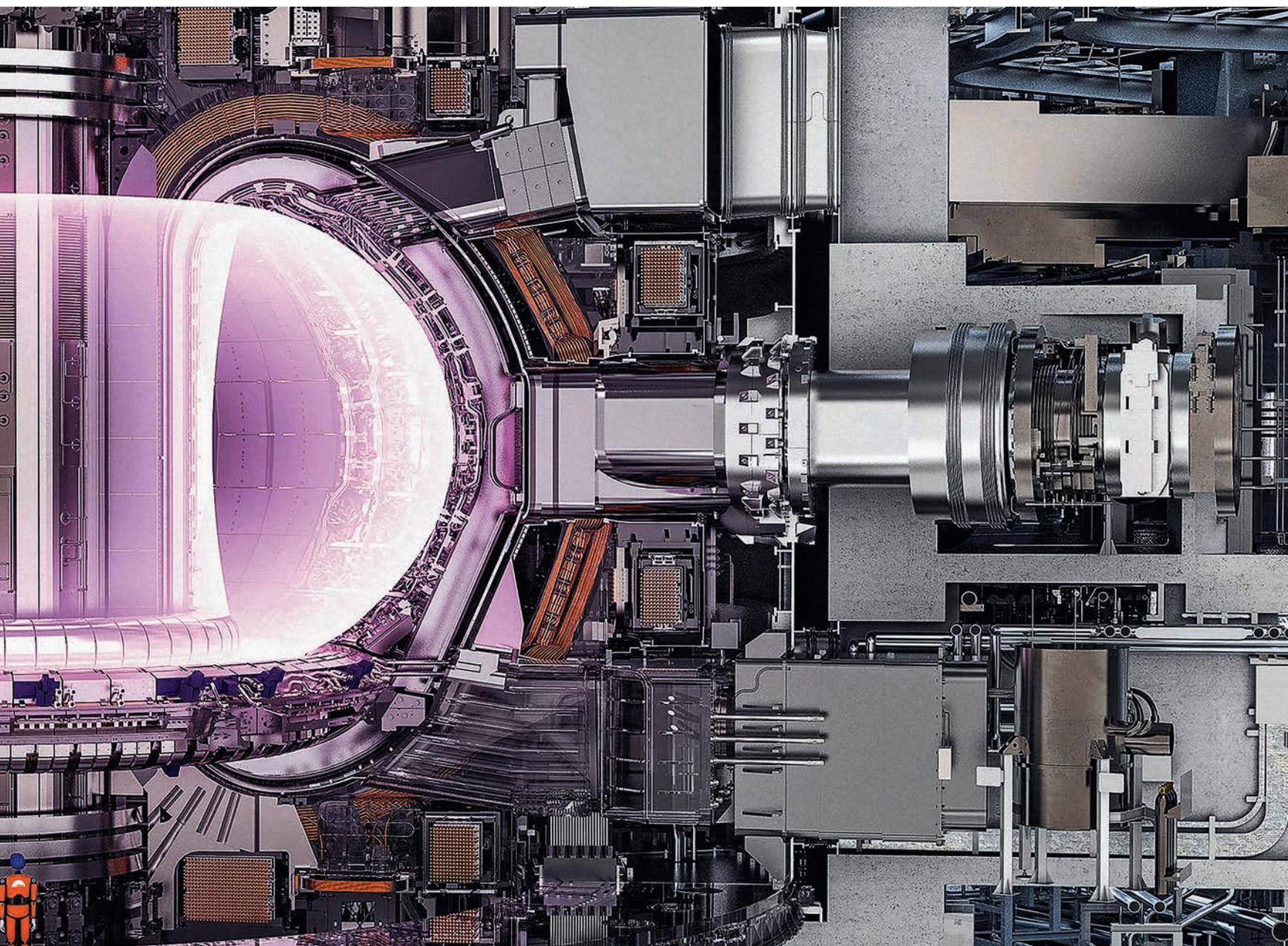
*Научные проекты Росатома:  
направления и перспективы*

*В номере*

Актуально: стройплощадка «Аккую» 42

Итоги форума «Чистая страна» 46

Мировой рынок электроэнергии — 2023 48



## Уважаемые читатели!

Атомная отрасль в нашей стране появилась благодаря фундаментальным научным открытиям, и сегодня успехи российских атомщиков во многом базируются на мощной научной основе. Росатом рассматривает научное и инновационное развитие как одно из важнейших условий обеспечения конкурентоспособности отрасли. Прошедший год показал, насколько велико значение фундаментальных исследований и прикладных разработок для сохранения и углубления технологической независимости России.

Материалы главной темы номера рассказывают о научных проектах, над которыми предприятия и организации Росатома работают сегодня. Это создание исследовательской и экспериментальной базы для фундаментальной науки и развития двухкомпонентной платформы атомной энергетики, разработка и применение новых технологий и материалов, в том числе сверхпроводников, создание аппаратуры для космических спутников и др. Важные направления работы — подготовка нового поколения ученых и популяризация научных знаний.

Также вы узнаете о мерах по обеспечению сейсмобезопасности площадки строительства турецкой АЭС «Аккую», итогах экологического форума «Чистая страна» и основных положениях отчета Международного энергетического агентства о текущем состоянии и перспективах мирового рынка электроэнергии. А еще о том, может ли вычислительная система мыслить и испытывать эмоции.

**ВЕСТНИК  
АТОМПРОМА**

№ 2, март 2023 года

Информационно-аналитическое издание

Фото на обложке  
ITER

**Главный редактор**  
Юлия Долгова

**Выпускающий редактор**  
Ольга Еременко

**Дизайн и верстка**  
Анна Бабич, Валерий Балдин

**Корректор**  
Алина Бомбенкова

**Учредитель, издатель  
и редакция**  
Общество с ограниченной ответственностью «НВМ-пресс»

**Адрес редакции**  
129110 Москва,  
ул. Гиляровского, д. 57, с. 4

**Отдел распространения  
и рекламы**  
Татьяна Сазонова  
sazonova@strana-rosatom.ru  
+7 (495) 626-24-74

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации СМИ  
ПИ №ФС77-59582  
от 10 октября 2014 года

Тираж 2000 экземпляров.  
Цена свободная.  
Подписано в печать: 20.03.2023

При перепечатке ссылка на «Вестник Атомпрома» обязательна. Рукописи не рецензируются и не возвращаются

Суждения и выводы авторов материалов, публикуемых в «Вестнике Атомпрома», могут не совпадать с точкой зрения редакции

Журнал отпечатан:  
ООО «АртФормат»  
115477, г. Москва, ул. Кантемировская, д. 65.  
Тел.: +7 (495) 504-88-16  
№ заказа: Аф-002/23.

## Содержание

Главная тема ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ БАЗА	<b>База для развития</b>	<b>4</b>	Главная тема КОСМОС	<b>Пополнение в созвездии российских спутников</b>	<b>40</b>
	<i>МБИР откроет новые возможности для развития международного научного сотрудничества</i>			<i>Космический аппарат, созданный при участии Росатома, поможет мониторить глобальные климатические изменения и точнее прогнозировать погоду</i>	
МАТЕРИАЛЫ	<b>Материалы нового века</b>	<b>10</b>	Международное сотрудничество	<b>Проверка на прочность</b>	<b>42</b>
<i>Как в Росатоме идет разработка новых технологических решений для развития наукоемких отраслей</i>		<i>Сотрудники проекта АЭС «Аккую» помогли пострадавшим от землетрясения</i>			
ПЕРСПЕКТИВЫ	<b>Центр притяжения</b>	<b>16</b>	Экология	<b>Зеленый курс</b>	<b>46</b>
<i>Почему НЦФМ привлекает ученых со всей страны</i>		<i>В Москве состоялась IV Международный форум-выставка «Чистая страна»</i>			
ПРОЕКТ «ПРОРЫВ»	<b>На порядок ниже пороговых значений</b>	<b>20</b>	Мировые энергетические рынки	<b>Глобальный рынок электроэнергии: точки роста</b>	<b>48</b>
<i>Ученые ПН «Прорыв» оценили потенциальные радиологические последствия для населения при эксплуатации ОДЭЖ</i>		<i>По прогнозам МЭА, мировая потребность в электроэнергии будет расти, а дополнительный спрос будет в основном удовлетворяться за счет возобновляемых источников и ядерной энергетики</i>			
СВЕРХПРОВОДНИКИ	<b>Пионеры сверхпроводимости</b>	<b>22</b>	ИЦАЭ	<b>Атомный сторителлинг</b>	<b>52</b>
<i>Сверхпроводники, которые разрабатывают и производят в России: вчера, сегодня, завтра</i>		<i>Как в ИЦАЭ рассказывают о науке и технологиях детям и взрослым</i>			
ФОТОРЕПОРТАЖ	<b>200 тонн высоких технологий</b>	<b>32</b>	Особое мнение	<b>Антропология ИИ</b>	<b>56</b>
<i>Основные этапы производства катушки PF1 для ИТЭР</i>		<i>Мир на пороге смены парадигмы в области технологий мышления</i>			
ПРАКТИКА	<b>Пройти тропой мюонов</b>	<b>36</b>			
<i>Элементарные частицы помогают ученым увидеть, что происходит внутри ядерного реактора</i>					

**Текст:** Ольга Ганжур  
**Фото:** НИИАР, «Страна Росатом» / Алексей Башкиров

На стройплощадке МБИР: установка корпуса реактора в проектное положение



## База для развития

*Инновационный реактор МБИР откроет новые возможности для развития международного научного сотрудничества*

**В январе сооружение самого мощного в мире быстро исследовательского реактора МБИР вышло на финишную прямую: в проектное положение установили корпус реакторной установки. Стройка идет с опережением графика, так что уже в 2027 году мир может получить уникальную экспериментальную базу для фундаментальных научных исследований и дальнейшего развития ядерной энергетики.**

Еще в начале 2010-х годов стало ясно, что российской атомной отрасли нужен новый исследовательский реактор. Большинство действующих установок вводили в строй более 35 лет назад, их ресурс близок к выработке. Так появился проект многоцелевого быстрого исследовательского реактора МБИР. Росатом держит

курс на замыкание ядерного топливного цикла и создание двухкомпонентной ядерной энергетики. Соответственно, для разработки и обоснования инновационных технических решений нужен именно быстрый исследовательский реактор.

МБИР должен заменить постепенно выработывающий свой срок службы реактор БОР-60. Но он станет не просто заменой БОРа: проект МБИР предполагает уникальные возможности. Во-первых, МБИР мощнее: его тепловая мощность составит 150 МВт, электрическая — 55 МВт. Во-вторых, у него очень высокая плотность потока нейтронов, что позволит гораздо быстрее проводить ресурсные и радиационные исследования различных материалов. В-третьих, проектом предусмотрена возможность размещения в МБИР уникального экспериментального оборудования, в том числе нескольких независимых петлевых

### Технические характеристики МБИР

**Тепловая мощность** — 150 МВт  
**Мощность электрическая** — 55 МВт  
**Теплоноситель** — натрий  
**Топливо** — смешанное оксидное уранплутониевое  
**Проектный срок службы** — 50 лет

установок с разными видами теплоносителей (натрий, свинец, свинец-висмут, газ и др.). Это позволит одновременно моделировать режимы реакторов с разными теплоносителями.

Строить решили на площадке НИИ атомных реакторов (ГНЦ НИИАР, входит в научный дивизион Росатома) в Дмитровграде Ульяновской области. Проект МБИР разработал НИКИЭТ. Генеральным подрядчиком строительства изначально стал «Урал-энергострой».

### Проблемы и решения

Судьба у проекта непростая. Сооружение МБИР началось в 2014 году в рамках федеральной программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года». Финансирования, предусмотренного в ней, не хватало на строительство исследовательской установки под ключ. Несмотря на это, было принято решение начать сооружение ядерного острова: реакторного здания с системами жизнеобеспечения — дренажной насосной станцией, станцией пожаротушения и т. д. Рассчитывали со временем найти недостающие средства и завершить проект. 11 сентября 2015 года на площадке НИИАР в Дмитровграде был залит первый бетон в основание реакторного блока.

Но уже в 2018 году в результате завершения большей части научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ возникла необходимость корректировки ранее утвержденной проектной документации. Стройку приостановили, корректировкой проекта занялись специалисты Государственного специализированного проектного института (ГСПИ).

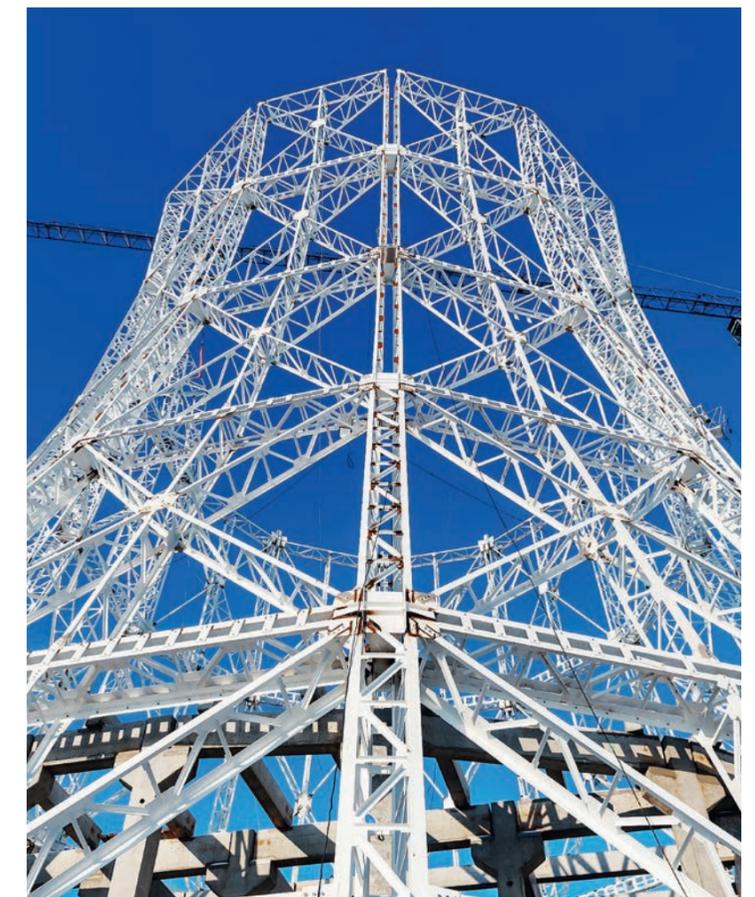
В связи с досрочным прекращением реализации ФЦП «Ядерные энерготехнологии нового поколения...» и корректировкой сроков ее осуществления, продолжение сооружения реактора МБИР решили включить в комплексную программу «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года» (РТТН).

В 2020 году был выбран новый генподрядчик сооружения — член Ассоциации организаций строительного комплекса атомной отрасли институт «Оргэнергострой». У компании большой опыт: она участвовала в сооружении АЭС «Руппур» в Бангладеш, Белорусской АЭС и еще ряда объектов атомной отрасли.

С «Оргэнергостроем» атомщики снова обновили проектную документацию, благополучно прошли госэкспертизу. Кстати, МБИР стал первым энергетическим проектом атомной отрасли, который был представлен и прошел госэкспертизу в формате BIM (Building Information Model — информационная модель объекта). Впоследствии цифровую модель также использовали для план-фактного анализа, определения необходимых объемов земельных работ,

координации перемещения строительной техники по площадке, а также для осуществления дистанционного контроля хода работ на стадии возведения. Такой подход позволяет более эффективно использовать ресурсы и значительно снизить временные издержки и стоимость проекта.

В конце 2020 года российское правительство одобрило программу РТТН, было открыто финансирование, началась вторая фаза проекта — полное развитие. Стройка оживилась. «С того момента как мы заключили договор с «Оргэнергостроем», на площадке произошли значительные перемены, — отметил





заместитель директора НИИАР по сооружаемым объектам Сергей Киверов. — Компания развернула здесь свой филиал. Появился штаб строительства, бетонно-растворное хозяйство, временный арматурный склад, бытовой городок».

### Стройка с опережением

Сейчас на стройке работает 1,4 тыс. человек и более 80 единиц строительной техники. Работа ведется круглосуточно, сооружение идет с опережением графика почти на год. Самая большая активность развернулась на реакторном блоке: там в середине января монтировали корпус реактора. Монтаж

проходил в торжественной обстановке: собрались представители НИИАР, Росатома, «Оргэнергостроя», Отраслевого центра капстроительства, администрации Димитровграда, регионального правительства и др.

Корпус реактора изготовили в Волгодонске на «Атоммаше». Это изделие длиной 12 м, максимальным диаметром 4 м и весом более 83 тонн. Толщина стенок — всего 25–50 мм (для сравнения: у ВВЭР-1200 — 300 мм). Такие уникальные характеристики создают дополнительный риск изменения геометрии оборудования во время обработки. Для точного соблюдения параметров на протяжении всего производства корпуса на «Атоммаше» использовали специализированную оснастку собственной разработки. Контрольную сборку корпуса провели в январе прошлого года. В Димитровград его доставили в апреле 2022 года.

«В декабре корпус был раскантован в вертикальное положение и установлен на стапель, на страховочном кожухе были смонтированы тензодатчики и термомпары, — рассказал главный инженер дирекции сооружаемых объектов НИИАР Святослав Новиков. — Затем установили теплоизоляцию, и корпус реактора отправился в шахту. 18 января мы установили защитную крышку на корпус реактора. Она нужна для консервации до монтажа внутрикорпусных устройств — надеюсь, к нему мы приступим с опережением срока. В графике эти работы запланированы на следующий год».

«Установка корпуса реактора в проектное положение — значимый результат работы большой команды единомышленников: ученых, инженеров, конструкторов и строителей, — подчеркнул заместитель генерального директора госкорпорации «Росатом» по науке и стратегии Юрий Оленин. — Это важный этап всего проекта сооружения реактора МБИР, открывающий фронт работ по установке оборудования реактора и позволяющий существенно приблизить завершение строительства, которое уже идет с опережением графика. Это значит, что не только наша страна, но и мировая атомная индустрия в скором времени получат передовую и технологически совершенную исследовательскую инфраструктуру, позволяющую расширить изучение технологий двухкомпонентной ядерной энергетики и замыкания топливного цикла, ускорить и обосновать создание безопасных ядерных энергетических установок четвертого поколения, совершать абсолютно прорывные исследования фундаментального и прикладного характера в ближайшие 50 лет. Исследовательский реактор МБИР Росатома и российский мегасайенс-проект — реактор ПИК Курчатовского института — являются взаимодополняющими и обеспечивают весь возможный спектр нейтронных исследований как в части энергии нейтронов, так и в части возможных объектов исследования».

«Среди ключевых событий 2022 года можно выделить бетонирование шахты реактора, строительные работы по возведению дренажной насосной станции,

завершение устройства фундамента турбоагрегата, — отметил Геннадий Сахаров, директор по капитальным вложениям, государственному строительному надзору и государственной экспертизе госкорпорации «Росатом». — Все эти этапы пройдены с опережением плана благодаря применению современных цифровых инструментов: технологий BIM, отраслевой системы комплексного управления стоимостью и сроками сооружения TCM NC, дистанционного мониторинга с цифровыми и беспилотными технологиями, а также консорциумной модели управления сооружением».

Сейчас на стройплощадке готовятся к возведению купола МБИР. Все строительные работы планируется завершить в 2026 году. Пуск исследовательского реактора намечен на 2027 год.

### Научная программа

В 2015 году началась разработка научной программы исследований на МБИР. Головной организацией выступает Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского (ГНЦ РФ — ФЭИ). На сегодня готова уже третья версия программы, документ насчитывает более 100 страниц.

МБИР должен прежде всего стать экспериментальной базой для создания энергоблоков четвертого поколения и технологий замыкания ядерного топливного цикла. В нем будут исследовать инновационное топливо и конструкционные материалы для быстрых,

жидкосольевых, высокотемпературных газовых, гибридных реакторов. Эксперименты на МБИР позволят обосновать безопасность перспективных установок в стационарном, переходных, циклических и аварийных режимах.

«Большой раздел программы посвящен исследованию новых материалов для перспективных реакторов, — рассказывает Дмитрий Клинов, заместитель научного руководителя по перспективным тематикам ФЭИ. — Предусмотрены эксперименты для разработки перспективных жидкометаллических теплоносителей. На периферии реактора имеются закорпусные горизонтальные и вертикальные каналы. Их планируется использовать для бор-нейтронзахватной терапии, наработки радиоактивных изотопов, радиографии, легирования кремния».

МБИР также станет базой и для фундаментальных исследований. В частности, Физико-энергетический институт Росатома и Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) готовят общую программу фундаментальных исследований на реакторах МБИР и «Нептун». «Нептун» — импульсный быстрый реактор, который планируют построить в Дубне, он заменит действующий ИБР-2. Идут предпроектные работы для уточнения технических и экономических параметров. «Нептун» — реактор циклического действия, МБИР — стационарный. При исследованиях на выведенных пучках нейтронов источники

### Цифры

**16 га**

площадь застройки МБИР

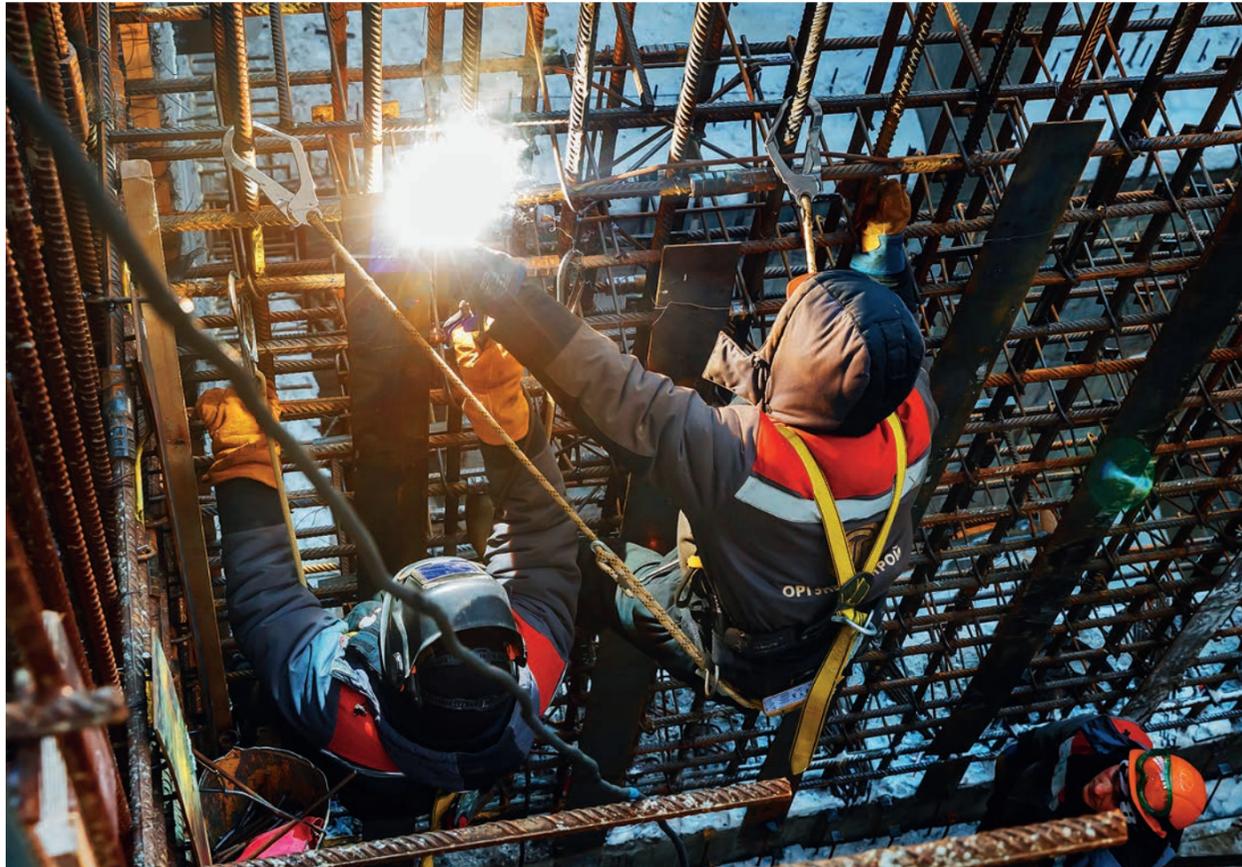
**240 тыс. м³**

бетона уйдет на сооружение

**53 объекта**

будет в реакторном комплексе





таких типов дополняют друг друга», — объясняет Валерий Швецов, директор Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Одно из перспективных направлений исследований — ядерная астрофизика. «Метеориты, кометы, космические излучения подчас таят в себе тайны, раскрыть которые вполне возможно с помощью нейтронных экспериментов в земных условиях», — говорит Дмитрий Клинов. Интересный проект — изучение состава звезды Пшибыльского в созвездии Центавра. Ученые предполагают, что она состоит из сверхтяжелых элементов, которые на Земле живут лишь доли секунды.

Еще одно направление — поиск новых видов радиоактивного распада. В экспериментах с нейтронами на тандеме МБИР — «Нептун» ученые надеются зафиксировать предсказанное, но пока не доказанное явление пионного распада тяжелых ядер.

«Большие перспективы откроет создание источника ультрахолодных нейтронов на одном из каналов МБИР, — считает Валерий Швецов. — Именно такой источник позволит, например, ставить эксперименты по поиску нейтрон-антинейтронных осцилляций, электрического дипольного момента нейтрона,

измерять время жизни свободного нейтрона». Такие эксперименты могут ответить на многие вопросы о происхождении Вселенной.

Другие научные проблемы, на которые могут пролить свет эксперименты на реакторной паре, — мультифрагментация холодных ядер, нарушение законов сохранения в ядерных реакциях, ядерные данные по проблематике нуклеосинтеза во Вселенной, границы нуклонной стабильности ядер, сосуществование агрегатных состояний ядерной материи, нейтронные кластеры.

### МБИР на весь мир

Проект МБИР изначально задуман как международный. «Международный парк исследовательских реакторов устаревает, они выводятся из эксплуатации, — отмечает заместитель генерального директора госкорпорации «Росатом» по науке и стратегии Юрий Оленин. — В мировой атомной индустрии возникает серьезная потребность в мощных высокопоточных реакторных установках. Росатом принял стратегическое решение о предоставлении иностранным партнерам доступа к реактору МБИР». По словам Юрия Оленина, МБИР имеет все шансы стать одним из самых востребованных исследовательских реакторов, а НИИАР, в котором он сооружается, — точкой притяжения для ученых и исследователей со всего мира.

Руководство проекта довольно долго искало оптимальную форму взаимодействия с российскими и зарубежными партнерами. В итоге было решено создать на базе МБИР международный центр исследований (МЦИ). Доступ российских и зарубежных партнеров к реактору реализован через уникальную для российского рынка юридическую платформу — консорциум МЦИ МБИР. Директор международных научно-технических проектов госкорпорации «Росатом» Василий Константинов поясняет: «За последние полтора года мы провели более 40 раундов консультаций с потенциальными зарубежными партнерами проекта МБИР. Среди них научные организации из стран — участниц СНГ, БРИКС, а также регионов Ближнего Востока и Латинской Америки. Пул партнеров проекта уже насчитывает более 20 иностранных и международных организаций, с рядом из них договоренности о сотрудничестве уже перешли в практическую плоскость. Основная платформа взаимодействия — Консультативный совет МЦИ МБИР, который объединяет экспертов и руководителей из ведущих научных центров России, Китая, Индии, Казахстана, Узбекистана, Вьетнама, Алжира, Армении, международных организаций МАГАТЭ и ОИЯИ».

Консорциум подразумевает две формы сотрудничества: основные и ассоциированные участники. Те, кто захочет стать основными участниками, должны уже на стадии сооружения реактора внести часть суммы за используемый ресурс. Они получают преимущества в формировании национальных научных программ, смогут вносить изменения в план проведения исследований под свои потребности в приоритетном

МБИР вошел в число участников международной платформы GRAIN (Global Research Advanced Infrastructure Network).

Платформа БРИКС-GRAIN, основанная по инициативе России, служит для доступа ученых из стран БРИКС к проектам класса мегасайенс. В настоящее время она объединяет 30 функционирующих и строящихся исследовательских установок в странах БРИКС, позволяющих проводить исследования в области нанотехнологий, биологии, астрономии, энергетики и фундаментальной физики. В числе участников БРИКС-GRAIN экспериментальный усовершенствованный сверхпроводящий токамак EAST (КНР), импульсный быстрый реактор ИБР-2 (ОИЯИ, РФ), Лаборатория синхротронного света SIRIUS (Бразилия) и другие установки. Платформа БРИКС-GRAIN обеспечивает единую точку доступа к крупнейшим объектам исследовательской инфраструктуры, содержит исчерпывающую информацию об их возможностях и условиях участия, формирует разветвленную научную сеть для развития международного научно-технического сотрудничества.

Присоединение проекта МБИР к БРИКС-GRAIN развивает инициативу России по созданию глобальной сети научно-исследовательских инфраструктур для совместной работы международного научного сообщества, обеспечивая доступ к экспериментальным установкам класса мегасайенс и получаемым данным.

порядке и по привлекательной цене. Другой формат — ассоциированное членство. Эти участники смогут включиться в проект уже после пуска реактора, но для них цена на услуги будет выше.

Первым полноценным зарубежным участником международного центра исследований на базе сооружаемого реактора МБИР стал Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан. На форуме «Атомэкспо-2022» было подписано соглашение о юридически обязывающих условиях присоединения к консорциуму.

В прошлом году был сформирован Консультативный совет МЦИ МБИР, который составляет международную программу научных исследований на реакторе. Председатель совета — научный руководитель химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, вице-президент РАН Степан Калмыков. Главная функция — консолидация и приоритезация научных предложений и заявок. «Мы будем проводить экспертизу заявок, формулировать научно-технические проекты, распределять экспериментальное время, — пояснил Степан Калмыков. — Также Консультативный совет будет координировать многостороннюю программу исследований и контролировать выполнение проектов».

## Подробности

### ПРК — партнер МБИР

Международному научному центру на базе инновационного реактора потребуются современная база для послереакторных исследований. На площадке НИИАР планируется построить полифункциональный радиохимический комплекс (ПРК). Он станет современной экспериментальной базой для тестирования технологических решений по переработке ОЯТ, выделению минорных актинидов и коммерческих изотопов, фракционированию РАО и демонстрации в опытном масштабе замкнутого ядерного топливного цикла. Сейчас корректируется техническое задание проекта ПРК, формируется программа исследований.

## Материалы нового века

Рассказываем о том, как в Росатоме идет разработка новых технологических решений для развития наукоемких отраслей

То, что раньше казалось вымыслом писателей-фантастов, теперь стало реальностью: промышленные принтеры печатают сложные многосоставные изделия, с помощью цифровых технологий можно детально предсказать свойства еще не созданных

материалов, ученые готовятся синтезировать новые элементы таблицы Менделеева. Для Росатома направление по разработке новых материалов программы «Развитие техники, технологий и научных исследований» (РТТН) — одно из приоритетных.



**Директор проектов НИОКР по федеральному проекту «Разработка новых материалов и технологий для перспективных энергетических систем» (ФП-4 РТТН) Татьяна Тихоновская рассказывает о целях работы и уже достигнутых результатах.**

— Татьяна Александровна, расскажите об основных направлениях, которые включает в себя четвертый федеральный проект.

— Все проекты в составе РТТН дополняют друг друга. Наш проект также направлен на достижение целей других федеральных проектов. Этим объясняется и выбор основных направлений.

Первое направление — это разработка материалов, в первую очередь для нужд атомной энергетики, но также и для авиации, космоса и других стратегических отраслей.

Второе направление — разработка и демонстрация технологических решений для создания исследовательского жидкосолевого реактора (ИЖСР). Это сложный и амбициозный проект: пока ни в одной

стране мира нет промышленно эксплуатирующихся реакторов этого типа.

Третье направление — разработка технологий, оборудования и изотопов для синтеза сверхтяжелых элементов.

И последнее, четвертое, направление — это изучение свойств вещества в экстремальных состояниях, например при сверхвысоких значениях давления и температуры. Это нужно в том числе для выполнения прикладных задач при разработке конструкционных материалов для атомной энергетики.

— Вы упомянули жидкосолевой реактор. Для чего нужна эта установка?

— Жидкосолевой реактор будет необходим на последней стадии замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ). Основная задача жидкосолевого реактора — дожигание минорных актинидов, что позволит отказаться от захоронения радиоактивных отходов (РАО) и таким образом решить проблему ядерного наследия. Топливом для активной зоны ИЖСР выступает расплавленная смесь из фтористых солей легких металлов и фторидов делящихся материалов,

включая минорные актиниды, являющиеся высокоактивными отходами от переработки ОЯТ. Это сложная и малоосвоенная технология. Поэтому кроме новаторских конструкторских разработок потребуются и решение других серьезных научных задач: прежде всего разработка технологий контроля и управления окислительно-восстановительным потенциалом топливной соли при эксплуатации реактора и в ходе ее переработки, чтобы снизить коррозионную нагрузку на конструкционные материалы.

Отмечу, что разработкой ИЖСР занимается не только Россия, но и другие страны с развитой ядерной энергетикой. Специалисты рассматривают различные топливные системы, например французы — хлоридные, китайцы — фторидные, но готового промышленно освоенного решения пока нет ни у кого.

**— А какие задачи ставятся перед Фабрикой сверхтяжелых элементов?**

— Фабрика сверхтяжелых элементов — это глобальный проект фундаментальной науки. Он позволит ответить на вопрос о границе материального мира (масс ядер): 118-й элемент — сейчас последний в периодической таблице Менделеева, и ученым предстоит выяснить, могут ли существовать новые, еще более тяжелые элементы. Если удастся синтезировать 119-й и 120-й элементы, ученые смогут глубже изучить строение ядерной материи, моделировать процессы образования тяжелых элементов во Вселенной, прогнозировать их существование в природе и т. д.

Синтез 119-го элемента будет осуществляться в наиболее перспективной реакции берклиев-249 + титан-50, а синтез 120-го элемента — в реакции калифорний-251 + титан-50. 119-й элемент станет первым элементом в восьмом периоде периодической системы химических элементов. Результаты будут исключительно важны для планирования экспериментов по синтезу более тяжелых элементов.

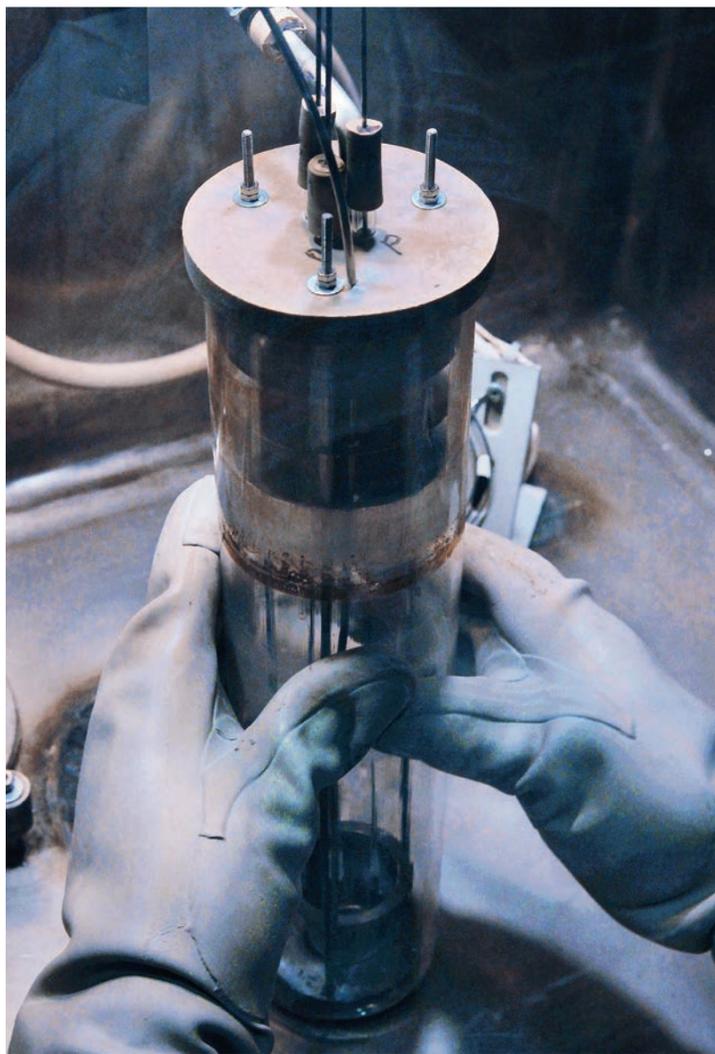
Для успешного проведения этих работ необходима глубокая модернизация имеющихся экспериментальных установок и создание Фабрики сверхтяжелых элементов. Для этого нужно будет изготовить уникальное оборудование. Это, во-первых, сверхточный инжектор многозарядных ионов на базе сверхпроводящего ионного источника электронноциклотронного резонанса с частотой СВЧ-накачки 28 ГГц. Именно он увеличит чувствительность эксперимента в 50–100 раз. Во-вторых, в саровском РФЯЦ-ВНИИЭФ построят комплекс разделения изотопов трансурановых элементов на базе электромагнитного масс-сепаратора нового поколения. Такое оборудование позволит, например, нарабатывать калифорний-251 — редкий и дорогой материал. Наши коллеги в димитровградском ГНЦ НИИАР (входит в научный дивизион Росатома) разработают технологии получения и наработают изотопы трансплутониевых элементов — кюрия, берклиев, а также изготовят из них мишени для проведения экспериментов по синтезу 119-го и 120-го элементов.

**— Поделитесь, пожалуйста, основными результатами работы по всем четырем направлениям. Какими из них вы особенно гордитесь?**

— Все поставленные на прошлый год задачи успешно выполнены. Отдельно хотелось бы отметить, во-первых, создание эскизного проекта ИЖСР. Он описывает облик всех основных систем будущего реактора. Это достаточно значимый шаг, далее следуют более детальные стадии разработки, включающие в себя, например, изготовление макетов отдельных систем, проведение экспериментов и т. д. Во-вторых, подобран коррозионно-стойкий материал, который будет использоваться в крупномасштабном жидкосолевом реакторе (он будет испытываться и для ИЖСР). Параметры этого материала по скорости коррозии не имеют аналогов в мире. В-третьих, разработаны материалы для перспективных реакторов ВВЭР.

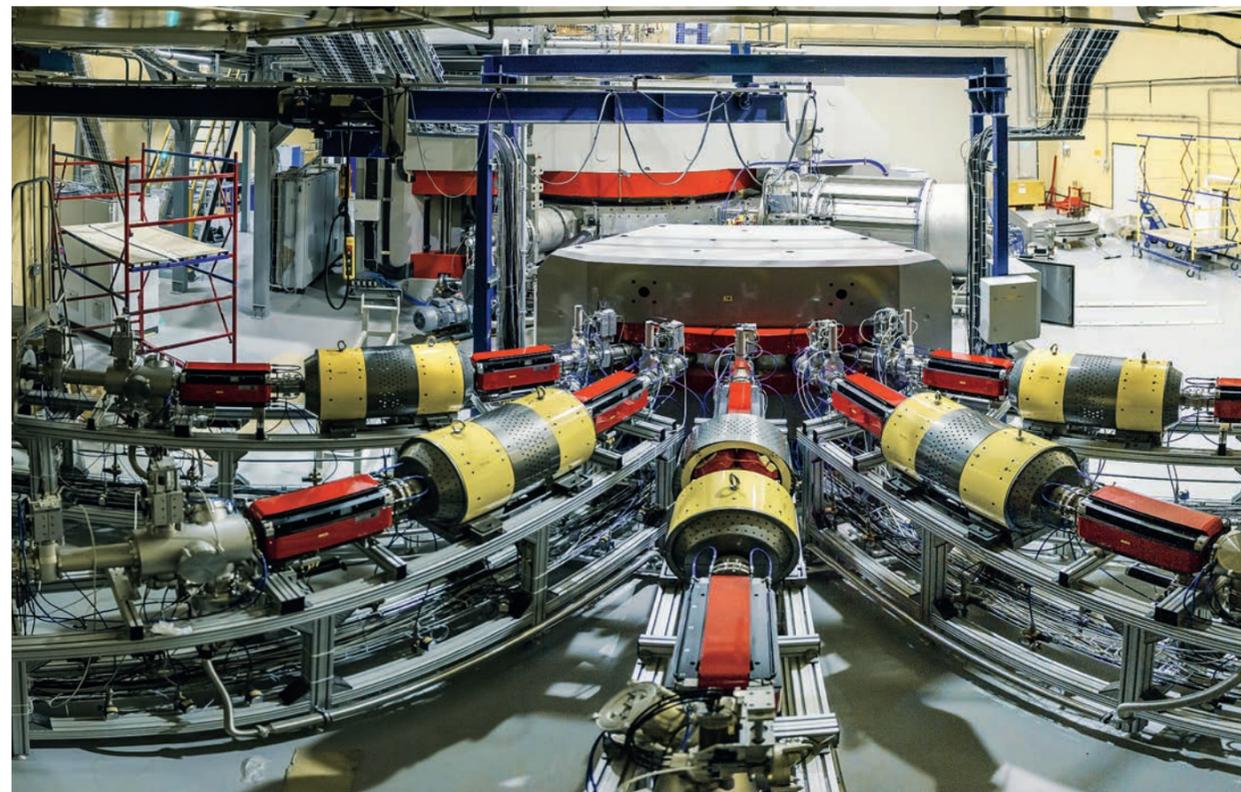
На фото

Исследование топливной соли на основе фторидов лития и бериллия для российского ИЖСР



На фото

Ускоритель ДЦ-280 на Фабрике сверхтяжелых элементов в ОИЯИ, Дубна



Кроме того, активно развивается аддитивное направление: создаются принтеры, способные работать с порошковыми и проволочными материалами и даже с монокристаллическими прутками тугоплавких металлов. Аналогов таких установок в России нет. В прошлом году специалисты НИИ НПО «ЛУЧ» изготовили крупные узлы такой установки. Задача этого года — запустить установку и напечатать на ней первые изделия, доказав эффективность этой технологии.

**— Какие организации задействованы в ФП-4 РТТН?**

— В выполнении проекта задействованы около 40 организаций. Это не только отраслевые компании (их 17), но и порядка 10 академических институтов, а также несколько вузов. Такая кооперация компетенций дает нужный синергетический эффект и позволяет выполнять все поставленные цели.

**— Как повлияли новые геополитические реалии на выполнение целей федерального проекта?**

— Мы провели масштабную работу, в результате которой смогли заменить импортные критически важные компоненты и материалы на отечественные. Как говорится, нет хуже без добра: наша промышленность собралась и смогла изготовить вполне конкурентоспособные аналоги.

**— Программа РТТН изначально была рассчитана до 2024 года, затем ее продлили до 2030-го. Какие значимые результаты должны быть достигнуты по ФП-4 в следующем году?**

— Действительно, в 2024 году мы подводим промежуточные итоги. Прежде всего, будут подобраны конструкционные топливные материалы для активной зоны новых реакторов, в том числе для быстрых натриевых и свинцовых реакторов.

Также мы ожидаем большой прорыв по направлению аддитивных технологий. Продемонстрируем линейку из восьми установок, некоторые из них не имеют аналогов в мире. Наша гордость — высокотемпературный принтер, работающий по технологии селективного лазерного плавления, который будет работать при температурах свыше 800 °С.

Кроме того, планируем подготовить обоснование инвестиций по исследовательскому жидкосолевому реактору, оценить его воздействие на окружающую среду. Это позволит нам двигаться в сторону получения лицензии на размещение объекта.

По направлению синтеза сверхтяжелых элементов намерены полностью разработать всю инфраструктуру и технологии для Фабрики сверхтяжелых элементов, чтобы в 2025–2030 годах приступить непосредственно к синтезу.



**Иван Сафонов**

Руководитель направления по разработке новых материалов

## Новые материалы

— Направление по разработке материалов является самым объемным — сейчас это 16 НИОКР. Одна из ключевых областей — металлические материалы. Серия проектов посвящена разработке корпусных реакторных материалов для технологии ВВЭР, в частности для ВВЭР-С (со спектральным регулированием) и ВВЭР-СКД (со сверхкритическим давлением). В 2022 году по этим работам удалось перейти от лабораторных плавок к промышленным ступенчатым поковкам — изделиям с переменной толщиной металла и весом около 10 тонн. В этом году ставится задача по отработке технологии сварки этих толщин и постановке на испытания основного материала и материала сварного шва, полученного промышленным способом.

Еще одно «металлическое» направление НИОКР — разработка и обоснование применения новой марки стали аустенитного класса с повышенными прочностными свойствами для энергетических установок малой мощности. Смысл проекта в том, чтобы максимально уменьшить массогабаритные характеристики оборудования вокруг реакторной установки и тем самым получить выигрыш в массе — этот параметр весьма критичен для АСММ. В 2022 году удалось выйти на изготовление промышленного полуфабриката. В 2023 году начинаются аттестационные испытания по всему комплексу свойств новой стали.

Помимо металлических материалов, активно развивается и направление композитов. Яркий

проект — это разработка технологии получения сверхвысокопрочного углеродного волокна для специальных применений, например для крыла самолета МС-21 или для ответственных изделий атомпрома.

Другое направление НИОКР — это разработка углеволокон с применением пековых технологий. Пековые волокна обладают интересным сочетанием свойств: традиционной для композитов легкостью, высоким пределом прочности при растяжении не менее 3500 МПа и коэффициентом теплопроводности не менее 600 Вт/м·К. Это делает такое углеволокно предпочтительным кандидатным материалом для изготовления теплорассеивающих панелей радиаторов космических аппаратов. К 2024 году мы выйдем на первые образцы изделий с заданными свойствами.

К 2030 году основная часть этих проектов должна быть завершена. Поэтому в 2027–2028 годах по направлению металлических материалов мы должны будем иметь промышленные технологии, по направлению композитов — готовые изделия, прошедшие испытания.

После 2030 года, на мой взгляд, будет активно развиваться термоядерная энергетика, а значит, нужно будет разрабатывать и материалы для нее. А еще у ученых Росатома уже есть задумки по футуристичным материалам, связанным с биопечатью, и их различным применениям.



**Павел Козлов**

Научный руководитель проектов НИОКР по разработке инфраструктуры для создания новых материалов

## Цифровое материаловедение

— 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 потребоваться не одно десятилетие. Поэтому особое место в федеральном проекте занимают работы по созданию инфраструктуры ускоренной разработки материалов.

Здесь выделю два основных направления. Первое — инструменты цифрового материаловедения, которые включают в себя большой пул программ для моделирования и предсказания свойств материалов. Фундаментом является база данных свойств реакторных материалов, насчитывающая тысячи результатов экспериментов. Уже разработаны инструменты, позволяющие анализировать данные в заданных граничных условиях и предсказывать специальные свойства материалов: радиационную стойкость,

распухание, некоторые физико-механические свойства, например жаропрочность. При этом речь идет о широкой группе материалов: стали, сплавах и даже композитах. Сейчас продолжают работы по расширению функциональных возможностей этих инструментов, пополняется база данных.

Второе важное направление — разработка методик ускоренных испытаний материалов, в том числе с использованием ионных ускорителей. Это испытания, позволяющие получить высокие значения повреждающих доз путем облучения тяжелыми ионами металлов, ядрами гелия и водорода. Такие испытания на порядок быстрее и доступнее реакторных: 1–3 месяца вместо 10 лет, стоимость ниже в 10 раз. Вдобавок после испытаний мы получаем образцы, сразу готовые к исследованиям, тогда как после реакторных испытаний сборка должна до полугода «высветиться» в водяном бассейне.

В целом применение этих инструментов и методик позволит заменить дорогостоящие реакторные эксперименты на этапе выбора кандидатных материалов перед выходом на стадию промышленного

освоения и сократить время разработки в полтора-два раза. Отобранные таким образом материалы уже идут на реакторные испытания для обоснования их ресурса в условиях, максимально приближенных к эксплуатации.

## Аддитивные технологии

— 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 как ключевых компонентов при разработке технологии изготовления целевых изделий.

В 2022 году на площадке НИИ НПО «ЛУЧ» был изготовлен и успешно испытан опытный образец трехосевой лазерно-оптической системы для применения в установках селективного лазерного плавления. Устройство уникально и не имеет аналогов в мире. Оно позволяет не только управлять лазерным излучением в процессе синтеза изделия, но и контролировать температуру в жидкой ванне расплава диаметром около 100 микрометров, а также управлять кристаллизацией в короткий промежуток времени — до 500 микросекунд.

Другим достижением 2022 года является разработка и создание опытных образцов 3D-принтеров для печати изделий из керамических и полимерно-композиционных материалов, работающих по технологиям стереолитографии фотополимерной пастой, прямого нанесения керамической пасты карбида кремния, а также прямого нанесения полимерных композиционных материалов с возможностью управления армированием в объеме изделий.

Команда Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, ведя исследования в области металлической 3D-печати, разработала и изготовила два опытных образца аддитивных установок. Первый образец — установка электродугового выращивания, второй — установка плазменно-дугового выращивания. Оба образца приступят к изготовлению крупногабаритных изделий уже в первом квартале 2023 года.

Также в этом году будут изготовлены и другие образцы перспективного аддитивного оборудования. Это, например, установки высокотемпературного селективного лазерного плавления, разработанные

В 2024 году мы ожидаем отработку всех этих методик, а к 2030 году эти инструменты должны войти в регулярную практику материаловедов-исследователей, что позволит существенно ускорить темпы поиска и разработки новых материалов.



**Александр Жедаев**

Руководитель направления аддитивных технологий

НПО «ЦНИИТМАШ», а также установки прямой электронно-лучевой наплавки и селективного электронно-лучевого плавления НИИ НПО «ЛУЧ».

В 2024 году мы планируем провести испытание целевых изделий в условиях, приближенных к эксплуатационным, чтобы доказать и продемонстрировать эффективность новых технологических подходов. Цель к 2030 году — вывести наши технологии на уровень серийного производства. Для этого нужно будет решить вопрос с нормативной документацией, чтобы изделия, изготовленные с применением аддитивных технологий, можно было использовать в существующих устройствах.

Уже сейчас мы пробуем печатать модели изделий для ядерного острова, например корпуса реакторов, и изучаем, как они будут вести себя под воздействием облучения. Думаю, после 2030 года нормальной практикой будет применение аддитивных технологий не только для изготовления новых деталей, но и для оперативного ремонта вышедших из строя. Уже сейчас существуют методы обратного инжиниринга, когда деталь, вышедшая из строя, подвергается 3D-сканированию для создания 3D-модели, по которой будет изготовлена точная копия.

### На фото

Специалисты ЦНИИТМАШ разработали установку высокотемпературного селективного лазерного плавления



Текст: Марина Полякова  
 Фото: ИПФ РАН, «Страна Росатом» / Алексей Башкиров, Валерий Балдин

# Центр притяжения

Почему НЦФМ привлекает ученых со всей страны

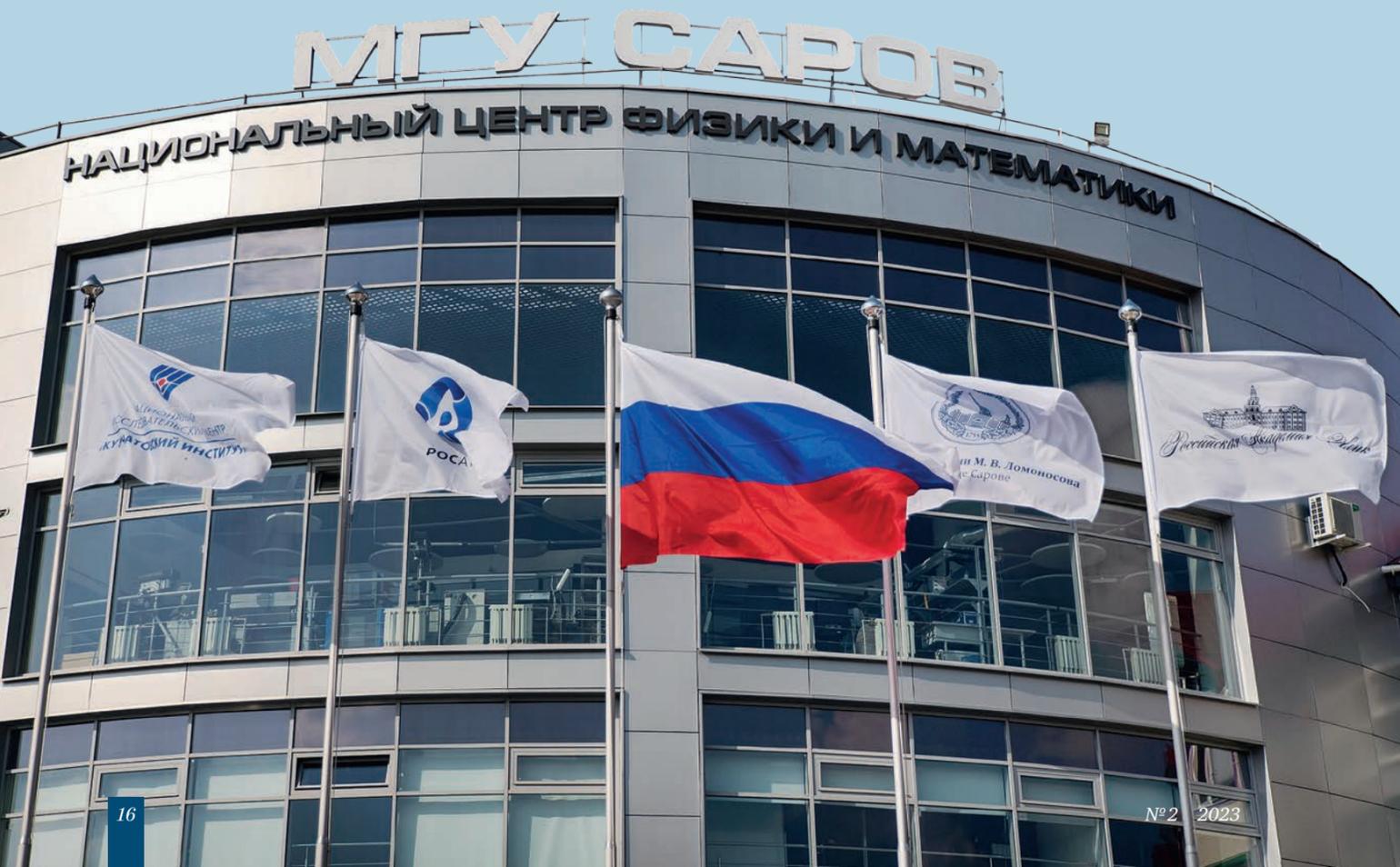
**В Национальном центре физики и математики ведущие ученые России вместе с молодыми специалистами нацелены проводить исследования на самых современных установках классов миди- и мегасайенс. В 2022 году НЦФМ провел десятки исследований и получил научные результаты, ряд из которых достигнут впервые в мире.**

## Подготовка штучных ученых

Создание Национального центра физики и математики в Сарове началось в 2020 году по поручению президента России. В этой работе участвуют специалисты Росатома, Российской академии наук, МГУ, НИЦ «Курчатовский институт», ОИЯИ, РФЯЦ-ВНИИЭФ и других российских научных и образовательных организаций и высокотехнологичных компаний.

Первым на месте НЦФМ появился филиал МГУ, где готовят магистрантов и аспирантов по следующим фундаментальным физическим и математическим дисциплинам: вычислительные методы и методика моделирования, суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных, теоретическая физика, экспериментальные электромагнитные поля, релятивистская плазма, аттосекундная физика, лазерная нелинейная оптика и фотоника.

«С самого старта мы были нацелены на подготовку, что называется, штучных ученых. Поэтому привлекли к их обучению ведущих представителей российской науки, в их числе 5 академиков, 13 членов-корреспондентов и 3 профессора РАН, 42 доктора наук, 68 кандидатов наук», — отметил в феврале этого года на пресс-конференции в ТАСС научный руководитель НЦФМ Александр Сергеев.



Обучение в образовательном ядре НЦФМ основывается не только на прослушивании лекций лучших ученых страны, но и на прохождении практики на расчетно-вычислительной и экспериментальной базе ведущих научных центров, например на научных установках РФЯЦ-ВНИИЭФ. Такое объединение образования с работой над научными исследованиями дает возможность выпускать высококвалифицированных и востребованных на рынке специалистов.

Программа обучения уникальна, ее разрабатывали специально для Филиала МГУ в Сарове. «В России всего несколько преподавателей могут прочитать эти курсы. Конечно, раз мы говорим о подготовке научной элиты, должны подбираться лучшие профессора и преподаватели. Основная часть — из МГУ, но мы также подключаем специалистов из ВНИИЭФ, институтов РАН», — рассказал в интервью газете «Страна Росатом» директор Филиала МГУ в Сарове Владимир Воеводин.

Сейчас в университете учатся уже более 100 магистрантов и аспирантов, на которых приходится 126 преподавателей. В этом году будет первый выпуск — диплом магистра получают 46 физиков и математиков. Большинство из них планируют продолжить карьеру в научном контуре НЦФМ и на предприятиях Росатома: ВНИИЭФ, ВНИИА им. Н. Л. Духова и др. Планируется, что к 2030 году число обучающихся в филиале вырастет до 1000 человек.

До 2023 года проект НЦФМ реализовывался в основном за счет средств Росатома. В конце прошлого года началось строительство первых объектов центра за счет федерального бюджета. С этого года также предусмотрены федеральные средства на финансирование научной программы НЦФМ.

## От Сарова до Новосибирска

Научная программа центра состоит из 10 направлений, связанных с ядерной физикой, искусственным интеллектом, суперкомпьютерными технологиями, космологией и др. «Мы получили самые высокие магнитные поля напряженностью порядка 28 мегагаусс. Таких полей пока никто больше в мире не смог получить», — рассказал научный руководитель РФЯЦ-ВНИИЭФ Вячеслав Соловьев, сопредседатель одной из секций научно-технического совета НЦФМ. — Это направление посвящено в том числе созданию установок постоянных магнитных полей высокой напряженности и проведению специальных исследований материалов в условиях действия таких полей».

Научная работа в НЦФМ устроена так, что ученые могут реализовывать научную программу на оборудовании ядерного центра и других участников кооперации НЦФМ, не дожидаясь окончания строительства мегасайенс-установок, которые появятся в кампусе НЦФМ к 2030 году.

«За два года заметная часть установок нашего ядерного центра была задействована в этих работах.

Но работали не только на наших установках, но и на плазменной установке «Крот» Института прикладной физики РАН в Нижнем Новгороде, на лазерной установке Института лазерной физики в новосибирском Академгородке», — рассказал научный руководитель РФЯЦ-ВНИИЭФ Вячеслав Соловьев.

Кооперация НЦФМ уже получила первые научные результаты. К примеру, ученые создали шестидетекторный спектрометр заряженных частиц для получения новых данных по ядерным реакциям «зажигания» термоядерного топлива, разработали методы и алгоритмы сбора, хранения, накопления, интеграции и анализа информации о состоянии здоровья и образе жизни человека с помощью систем искусственного интеллекта, а также разработали физическую схему оптической нейронной сети на основе Фурье-коррелятора для распознавания объектов в видеопотоке.

Кроме того, ученые впервые в мире провели взрывной эксперимент, в котором одновременно были зарегистрированы сжимаемость, яркостная температура и массовая скорость неидеальной плазмы гелия при давлении 2 млн атмосфер. Эта информация о свойствах гелия нужна, чтобы повысить точность моделирования физических схем перспективных устройств для инерциального управляемого термоядерного синтеза.

Еще одна уникальная работа связана с изучением физических свойств углекислого газа при неисследованном ранее сверхвысоком давлении, созданном

## Прямая речь



**Александр Сергеев**

Научный руководитель НЦФМ, академик РАН:

— Самое важное — то, что мы за эти два года создали научную кооперацию. НЦФМ — это не локальное образование, центр должен существовать в кооперации со всей нашей наукой в области физики и математики. Сейчас в контуре нашей научной программы 55 научных организаций, включая, прежде всего, ВНИИЭФ, который является основной базой.

Плазменная установка «Крот» ИПФ РАН в Нижнем Новгороде, на которой также реализуется научная программа НЦФМ



с использованием устройства изоэнтропического сжатия на основе взрывомагнитного генератора, — около 4 Мбар.

### Мегаустановки для меганауки

К 2030 году в Сарове появится многофункциональный ускорительный комплекс для проведения экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками с энергией от 2 до 5 ГэВ. Концепция создания установки базируется на новом методе повышения светимости — Crab Waist, предложенном и разработанном специалистами Национального института ядерной физики Италии и Института ядерной физики СО РАН. Ускорительный комплекс необходим для поиска новой физики в процессах рождения очарованных кварков и тау-лептонов, а также он позволит бизнесу глубоко, на уровне кварков, изучать материалы.

Вторая мегасайенс-установка, которая появится в НЦФМ, — это фотонный суперкомпьютер с рекордной производительностью. Сейчас таких компьютеров не существует, это лишь гипотетическая технология, но ученые НЦФМ настроены оптимистично и рассчитывают достичь прогресса в этой области. «Когда мы говорим об архитектуре суперкомпьютеров, то понимаем, что строить ее надо таким образом, чтобы различные вычислительные элементы работали максимально быстро для решения тех задач, для которых они предназначены. И такое ускорение может быть связано с использованием оптических вычислительных компонентов. Фотоны будут частицами, которые и несут, и обрабатывают информацию. Здесь видится грандиозное будущее, потому что в ряде операций фотоны, будучи более легкими и быстрыми частицами по сравнению с электронами,

могут проводить определенные процедуры в огромное количество раз быстрее», — считает научный руководитель НЦФМ академик РАН Александр Сергеев.

Ученые рассчитывают создать суперкомпьютер с производительностью на уровне 10 зеттафлопсов — на четыре порядка выше, чем у самого производительного из существующих суперкомпьютеров. Эксперты уверены: чтобы продвинуться в разработке суперкомпьютеров, следует сосредоточиться на исследовании перспективных нетрадиционных подходов, создавать машины, которые показывают высокую реальную производительность при решении практически важных задач.

Третья установка, экзаваттный лазер, будет обладать очень короткой длительностью импульса — около 10–30 фемтосекунд, но высокой мощностью — на три-четыре порядка выше мощности всех электростанций на Земле. В результате можно будет достичь очень высокой пиковой мощности, создавать сверхсильные поля, которые представляют большой интерес для многих исследователей и позволяют изучить в эксперименте квантовую структуру вакуума. «В процессе создания лазера мы будем использовать новые подходы и к созданию лазеров, потому что такой установки в мире нет, и к диагностике этих лазеров, и к диагностике взаимодействия лазерного излучения с веществом. И это приводит нас к ряду интересных возможностей для трансфера технологий», — пояснил Александр Сергеев.

### Плюс семь

С 2023 по 2025 год в научном центре появятся менее масштабные установки класса миди-сайенс — они дешевле и быстрее сооружаются, но при этом

позволяют выполнять актуальные научные исследования и обрабатывать компоненты будущих мегасайенс-установок. Также в НЦФМ появятся семь научных лабораторий, в которых будут, например, развивать искусственный интеллект на базе нейроморфных технологий, проектировать фотонные вычислительные устройства и вести исследования по астро- и геофизике.

Одной из первых в НЦФМ будет запущена новая лаборатория моделирования плазменно-пылевой экзосферы — этим займутся исследователи из Института космических исследований РАН и Института прикладной физики РАН.

Основой первого стенда этой лаборатории станет установка по изучению пылевой плазмы при низких давлениях, которая позволит моделировать, например, влияние частиц лунной пыли на работу элементов и систем космических аппаратов, на функционирование костюмов астронавтов, солнечных батарей, оптики. Это поможет ученым разработать методы защиты от подобной пыли на Луне и в атмосфере Марса.

На втором стенде новой лаборатории НЦФМ ученые займутся изучением поведения растений в космических условиях. Там специалисты будут анализировать влияние гео- и астрофизических факторов на развитие растений. В основе будет установка для моделирования различных условий: света, температуры, давления, влажности почвы и воздуха, ионизирующего излучения и магнитных полей, гравитации и химического состава среды.

А группа исследователей из Курчатовского института, Физического института РАН и МФТИ планирует создать на базе НЦФМ лабораторию для моделирования астрофизических струйных выбросов на сильноточных установках типа плазменный фокус. Это позволит изучать радиационные эффекты, взаимодействие плазменного потока с фоновой средой и другие направления физики плазмы.

### Из лаборатории — в промышленность

Трансфером технологий Росатом занялся очень активно — в госкорпорации даже создали специальный Институт трансфера технологий, который входит в отраслевой интегратор в области производства техники и электроники «Русатом РДС» и занимается вводом в гражданский оборот технологий военного и двойного назначения и внедрением в промышленное производство разработок ученых НЦФМ.

«У нас есть важная миссия — научиться все то, что мы делаем, как можно быстрее внедрять в промышленность. Это обеспечение технологического суверенитета. Мы не должны ждать, пока в 2030-м построим установку мегасайенс, в 2035-м начнем получать фантастические научные результаты и к 2040-му сможем что-то предложить для нашей промышленности. Мы начинаем работать уже сейчас. Институт трансфера технологий работает в том числе и над тем,

**Александр Сергеев: «У нас есть важная миссия — научиться все то, что мы делаем, как можно быстрее внедрять в промышленность. Институт трансфера технологий работает в том числе и над тем, чтобы предложения, которые делаются на площадке НЦФМ, как можно быстрее были реализованы».**

чтобы предложения, которые делаются на площадке НЦФМ, как можно быстрее были реализованы», — пояснил Александр Сергеев. Основные направления — водородная и ветроэнергетика, накопители энергии, переработка отходов, аддитивные технологии, станкостроение, робототехника, приборостроение, цифровое моделирование, ядерная медицина, медицинское оборудование, лазерные технологии, сверхпроводимость и др.

«Фундаментальные исследования всегда были основой прикладных, без фундаментальных результатов невозможно получение прорывных продуктов и технологий. Однако сам путь от фундаментальных исследований до создания готового продукта длиннее, чем простой перенос работающего решения из одной отрасли в другую», — отметил Александр Сергеев на «Атомэкспо-2022». — Трансфер в этой части начинается с момента запуска тематик, он включает проверки рыночных гипотез, проведение экспертиз, чтобы уже на самом раннем этапе выявлять наиболее вероятные к применению новые технологии, которые можно использовать на рынке».

Развитие аддитивных технологий играет важную роль в обеспечении технологического суверенитета. Открытие ЦАТ на площадке ОКБМ, февраль 2023 года





**Виктор Иванов,**  
главный радиоэколог ПН «Прорыв»

# На порядок ниже пороговых значений

Ученые ПН «Прорыв» оценили потенциальные радиологические последствия для населения при эксплуатации ОДЭК

На территории Сибирского химического комбината возводится опытно-демонстрационный энергетический комплекс (ОДЭК). Он включает в себя энергоблок с реактором БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем и замыкающий ядерный топливный цикл пристанционный завод. Завод будет состоять из модуля переработки (МП) облученного смешанного нитридно-уранплутониевого топлива и модуля фабрикация/рефабрикация (МФР) для изготовления стартовых твэлов из привозных материалов, а впоследствии — твэлов из переработанного облученного ядерного топлива (ОЯТ).

Модуль по производству плотного нитридного уранплутониевого топлива (МФР) станет одним из основных элементов энергокомплекса с реактором БРЕСТ-ОД-300, который сооружается на СХК. Единый модуль фабрикация и рефабрикация топлива позволит работать как со «свежими» материалами, так и с продуктами переработки ОЯТ реактора БРЕСТ. Также предусматривается включение в топливо минорных актинидов для их трансмутации. Вопросы радиологической защиты населения при эксплуатации ОДЭК занимают ключевые позиции в проектном направлении «Прорыв».

В последние пять-семь лет на международном уровне был принят ряд новых принципиальных решений. Одно из них касается технологии оценки пожизненного канцерогенного риска (LAR) облученных контингентов. Если ранее метрикой радиологических последствий облучения была величина ожидаемой эффективной дозы (ОЭД), то теперь рекомендовано использовать LAR. Это объясняется тем, что величина радиационного канцерогенеза в терминах LAR определяется более точно и учитывает выводы из оценки

на протяжении 50 лет последствий атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. В 2021 году МАГАТЭ опубликовало новый технический документ с описанием технологий оценки радиационно обусловленных канцерогенных рисков, авторы этого важного международного документа в настоящее время входят в команду главного радиоэколога ПН «Прорыв».

Указом Президента Российской Федерации от 13 октября 2018 года № 585 определены цели государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности и соответствующие задачи. Ставится ключевая задача по снижению рисков отдаленных канцерогенных последствий облучения, влияющих на состояние здоровья населения.

Важно отметить, что по Нормам безопасности МАГАТЭ граничные значения по дозам облучения и рискам определяются соответствующими правительствами и регулирующими органами. В действующих в Российской Федерации Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009) установлено, что при нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения пределы доз облучения для населения в течение года устанавливаются исходя из величины индивидуального пожизненного риска  $5 \times 10^{-5}$ . Значение риска  $10^{-6}$  отнесено к пренебрежимо малому. Концепция приемлемого риска была сформулирована Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) исходя из текущих данных с учетом травматизма в мире со смертельным исходом.

Исходя из вышеизложенного, ключевой задачей ПН «Прорыв» была оценка пожизненного канцерогенного риска населения вблизи АО «СХК» в условиях нормальной эксплуатации ОДЭК. При этом использовались современные модели «доза — эффект» Научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН), полученные по фактическим данным наблюдения за когортой хибакусей (лиц, подвергшихся атомной бомбардировке в городах Хиросима и Нагасаки в 1945 г.). Было установлено, что

пожизненный канцерогенный риск населения, проживающего вблизи АО «СХК» в условиях нормальной эксплуатации ОДЭК, в 70 раз для мужчин и в 60 раз для женщин ниже установленного в стране порога по действующим НРБ-99/2009.

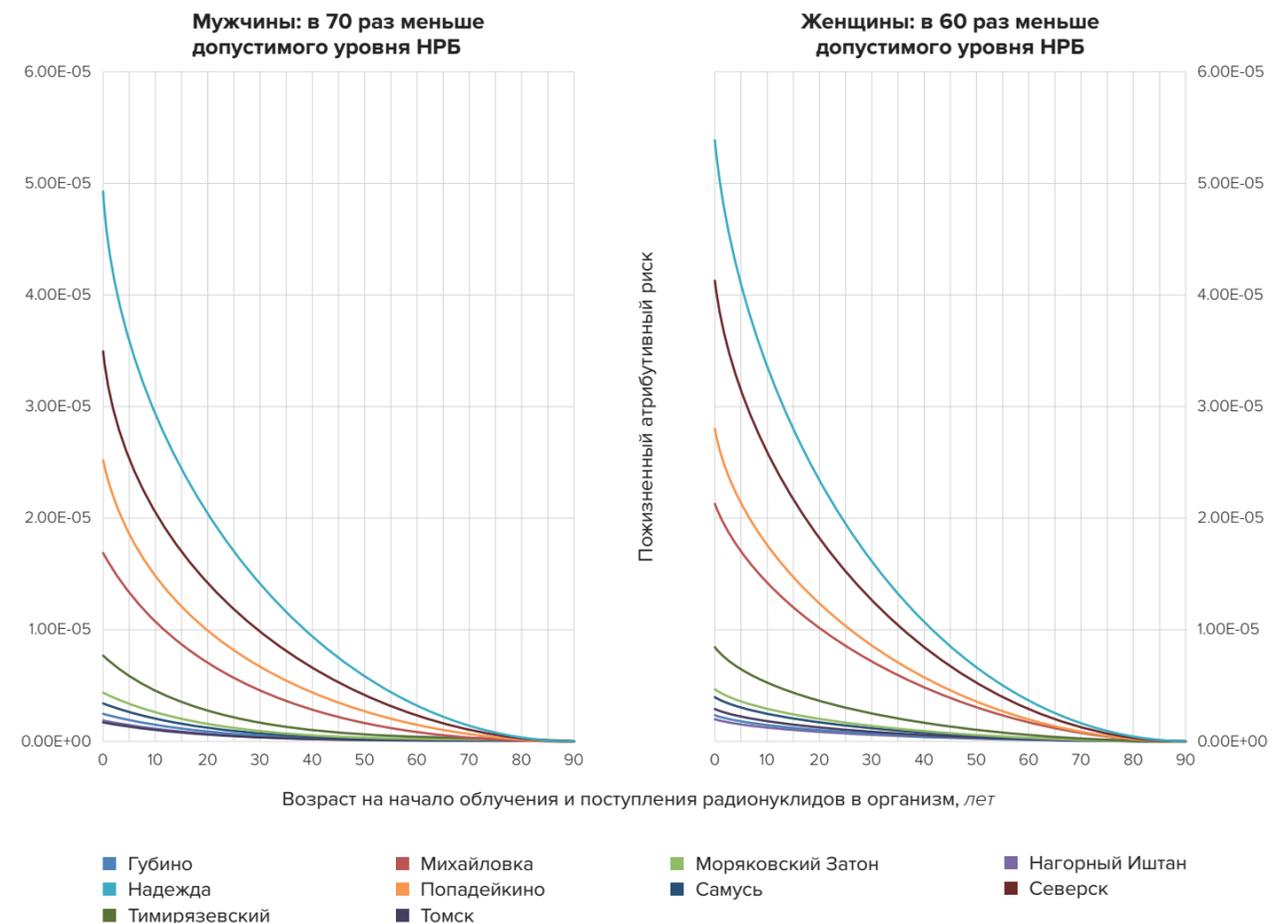
Оценка канцерогенных рисков по технологии МКРЗ проведена с использованием специально разработанного специалистами ПН «Прорыв» программного модуля «РОЗА-Н», который включен в Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД.

Кроме того, проведен анализ факторов канцерогенного риска населения страны нерадиационной природы. Показано, что риск заболеваемости раком легкого в Российской Федерации эквивалентен ежегодному радиационному воздействию в дозе 18 мГр. Поэтому вопросы контроля экологических факторов риска нерадиационной природы имеют особое значение.

Одной из целей государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности является обеспечение соответствующей современным требованиям защиты населения и окружающей среды от радиационного воздействия. Задачами в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности являются в том числе защита в соответствии с принципом приемлемого риска населения и окружающей среды от радиационного воздействия, снижение риска отдаленных последствий техногенного радиационного облучения для здоровья человека.

*(Из Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу)*

## Пожизненный атрибутивный риск онкосмертности от хронического облучения в 30-километровой зоне АО «СХК» в условиях нормальной эксплуатации РУ БРЕСТ-ОД-300, МП и МФР





**Текст:** Елена Дергунова, ведущий сотрудник АО «ВНИИНМ», доцент, кандидат технических наук  
**Фото:** «ТВЭЛ», «Страна Росатом» / Анастасия Барей, ITER, wikipedia.org



## Пионеры сверхпроводимости

*Сверхпроводники, которые разрабатывают и производят в России: вчера, сегодня, завтра*

**В конце декабря 2022 года исполнилось 50 лет с того дня, когда во ВНИИНМ по решению академика А. А. Бочвара была создана специальная лаборатория по разработке технических сверхпроводников.**

### Как все начиналось

Годом начала разработки технических сверхпроводников в мире считается 1961-й, когда был открыт

метод Кюнцлера, впервые позволивший получить длинномерную сверхпроводящую проволоку, использованную для изготовления сверхпроводящего соленоида. В том же году академик Исаак Константинович Кикоин (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова) предложил директору ВНИИНМ Андрею Анатольевичу Бочвару заняться разработкой сверхпроводящих материалов. С позиции сегодняшнего дня мы можем оценить огромную заслугу академика Бочвара: он, как выдающийся ученый, сумел увидеть перспективу и важность нового направления

и понять, какую пользу это может принести в будущем отечественной науке и технике.

До 1972 года тематикой сверхпроводимости занимались несколько групп специалистов из различных подразделений ВНИИНМ, было проведено большое количество исследований, получены опытные и промышленные образцы сверхпроводников. Эти результаты были положены в основу деятельности специальной лаборатории, созданной в отделении под руководством доктора технических наук Анатолия Дмитриевича Никулина, который был организатором и вдохновителем этого направления более 30 лет, с самого начала работ и до последнего дня его жизни. Эстафету подхватил его ученик и последователь доктор технических наук Александр Константинович Шиков, которого хорошо знали и ценили специалисты не только в нашей стране, но и за рубежом, где его даже прозвали «мистер Сверхпроводимость».

### Первые успехи

Первым успешно осуществленным проектом лаборатории в сотрудничестве с другими организациями — Институтом атомной энергии им. И. В. Курчатова (ИАЭ), Ульяновским металлургическим заводом в Усть-Каменогорске (УМЗ) и др. — стал Токамак-7 (Т-7), который был изготовлен и запущен в работу в период 1974–1978 годов. Это первый в мире токамак со сверхпроводящим магнитом тороидального поля с использованием сверхпроводников на основе сплава NbTi. Материалы для него были изготовлены на УМЗ, где была внедрена разработанная во ВНИИНМ технология. Еще через несколько лет там же были изготовлены сверхпроводники на основе Nb<sub>3</sub>Sn для магнитной системы токамака Т-15 (1988), которая также была первой в мире.

Признаюсь, в советское время было даже обидно, что направление сверхпроводящих материалов считалось у нас закрытым и мы не могли тогда публиковать свои работы в международных научных изданиях. Например, мы читали в СМИ о японских передовых разработках и понимали: мы подобные технологии уже не только придумали, но и использовали, а для японцев наш «вчерашний день» был новым научным достижением.

В 1991 году политическая ситуация изменилась, страна стала более открытой и стало возможным обмениваться научными результатами с зарубежными коллегами. После международной конференции по магнитным технологиям МТ-12 в Санкт-Петербурге об уровне разработок сверхпроводящих материалов в СССР узнали в научном мире. Начались визиты представителей зарубежных организаций во ВНИИНМ.

К нам приезжали японцы, корейцы, американцы, англичане и специалисты из других стран. Мы им показывали, как мы работаем, и они поражались тому, как все организовано. Неподдельное восхищение вызвало то, что у нас в одном месте сконцентрировано все

необходимое для разработки технологии получения сверхпроводников: от литейного оборудования, механической обработки заготовок (включая уникальный 1600-тонный пресс), термообработки и до лаборатории криогенных измерений и металловедческого комплекса с возможностью тонких структурных исследований. При этом, принимая иностранных специалистов, мы не боялись за наши технологии, так как их практически невозможно воспроизвести. Изготовление сверхпроводящих материалов — это самый сложный процесс, там много тонкостей, которые и являются определяющими.

### Создать с нуля

В те годы, благодаря правительственным приказам и самоотверженной работе сотрудников института и заводов, мы не только не отставали, но и занимали лидирующие позиции в мире по этому направлению. Это позволило коллективу нашего института вступить в международный проект создания крупнейшего в мире токамака ИТЭР, строительство которого ведется в настоящее время во Франции (г. Кадараш).

После старта проекта ИТЭР был проведен тендер по выбору производителей сверхпроводников, в котором участвовали 16 организаций, но из них выбрали только восемь. И в их число попали мы. Почему мы так смело приняли участие в этом тендере? Потому что до этого мы приобрели огромный опыт при разработке и промышленном выпуске таких материалов, изготовили сверхпроводники для токамака Т-15. На момент проведения тендера у нас еще не было материала с необходимым уровнем свойств, и нам пришлось разработать новую конструкцию и технологию получения провода, который отвечал бы высоким требованиям, соответствующим спецификации ИТЭР.

Для выполнения обязательств, взятых на себя нашей страной, было необходимо создать российское

### На фото

На ЧМЗ разработана система качества для контроля сверхпроводниковой продукции



производство сверхпроводников, поскольку производство на УМЗ отошло Казахстану после распада СССР. И благодаря участию топливной компании «ТВЭЛ» такое производство было создано на Чепецком механическом заводе (ЧМЗ, г. Глазов). Завод является первым в России и одним из немногих в мире уникальных предприятий, где производят сверхпроводники.

Когда создавался цех для производства сверхпроводников на ЧМЗ, специалисты ВНИИНМ и «ТВЭЛ» разрабатывали для него технические задания. Оборудование закупали по всему миру: в США, Польше, других странах. Иногда, если нам, например, нужна была печь, которую выпускала какая-то фирма, но ее нужно было модифицировать под наши нужды, изменить детали конструкции, то приходилось вести переговоры, оформлять техзадания, их согласовывать. Была проделана огромная работа, требующая высокой квалификации и глубокого понимания задачи. Работали круглыми сутками, даже не смотря на время, это был настоящий подвиг.

На ЧМЗ при участии ВНИИНМ и ИАЭ была также создана измерительная криогенная лаборатория для определения электрофизических характеристик проводов. Была разработана система качества (Quality Assurance) для контроля сверхпроводников, выпускаемых на ЧМЗ. Мы постоянно ездили в командировки, участвовали в авторском контроле производства, делали доклады, консультировали

и проверяли соответствие стандартам качества. Главная сложность при производстве сверхпроводников — это неукоснительное соблюдение регламентов всех технологических операций. Необходимо следить, чтобы на заводе не было отклонений как по температурным режимам, так и по режимам деформации композиционных полуфабрикатов. Если, например, при промежуточных термообработках композиционных прутков температура будет превышена, то начнется образование хрупкого интерметаллида и проволока просто порвется.

В эти годы шла огромная работа по разработке конструкций и технологии получения технических сверхпроводников, которые представляют собой сложную композиционную систему, состоящую из разнородных материалов, отличающихся химическими, механическими и физическими свойствами. В этой системе волокна из сверхпроводящего интерметаллида (хрупкого, как стекло) расположены в матрице из меди или ее сплавов с диффузионными барьерами и другими вспомогательными элементами. Как правило, это длинномерные провода (иногда до 30–50 км) диаметром 0,5–1,5 мм, содержащие несколько тысяч тончайших волокон, равномерно распределенных в пластичной матрице.

В результате проведенных работ до 2014 года на ЧМЗ был выпущен весь объем сверхпроводников с требованиями для ИТЭР характеристиками (более 220 тонн — это почти 56 000 км, достаточно, чтобы полтора

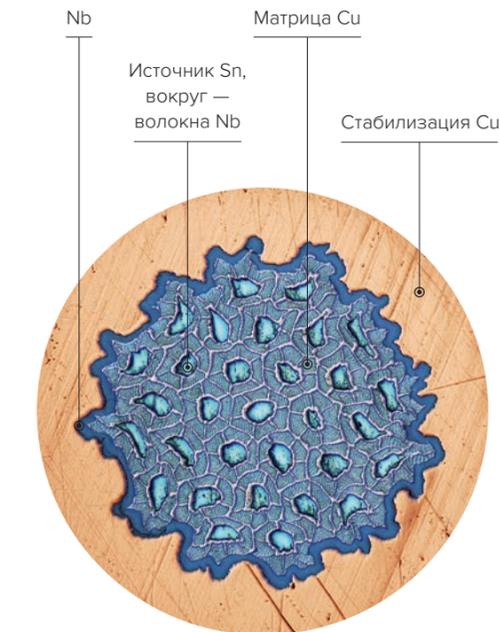
раза обернуть земной шар!). В установленные сроки сверхпроводники были доставлены на предприятие ВНИИКИП (г. Подольск) для дальнейшего изготовления токонесущих элементов для магнитных систем тороидального и полоидального полей, а затем изготовленная продукция отправилась во Францию на площадку строительства ИТЭР.

В дальнейшем высокое качество российских сверхпроводников было подтверждено в результате верификации образцов при перекрестном тестировании в зарубежных лабораториях. Наши сверхпроводники на основе Nb<sub>3</sub>Sn после 1000 электромагнитных циклов, которые моделируют рабочие условия магнитной системы реактора, были признаны Международной организацией ИТЭР лучшими в мире по стабильности эксплуатационных характеристик!

### Эстафета поколений

В разработки, связанные со сверхпроводниками, специалисты нашего института вложили годы жизни, свою энергию, знания, ежедневный напряженный труд. Часто проводили дни и ночи в институте, месяцы в командировках, внедряя технологию на промышленных предприятиях. Естественно, в связи с юбилейной датой возникает вопрос: а что дальше? Пригодятся ли эти знания, принесут ли эти усилия пользу будущему поколению? Будет ли продолжена эта работа, сможем ли мы передать эстафету молодым специалистам?

### Поперечное сечение сверхпроводящей проволоки на основе Nb<sub>3</sub>Sn



### Личный опыт



**Евгений Никуленков**  
Старший научный сотрудник АО «ВНИИНМ»:

— Сверхпроводники — это высокотехнологичные материалы, являющиеся важнейшей составной частью магнитных систем ускорителей и термоядерных установок и другого научного и высокотехнологичного оборудования. Темой сверхпроводников я начал заниматься в 1971 году, хотя во ВНИИНМ пришел работать еще раньше. В тот период лаборатории, специализирующейся на сверхпроводниках, еще не было. Этой темой занимались отдельные сотрудники и небольшие группы в составе различных лабораторий. Когда я перешел

в 23-ю лабораторию к Нине Петровне Агаповой, там была группа из трех человек (Валерия Дмитриевна Бородич, Альберт Павлович Голубь и Таисия Павловна Чеботарёва), которые и занимались вопросами сверхпроводников как материаловеды. В других лабораториях, например на установке У-13, также были сотрудники, которые работали над сверхпроводниками, но уже как обработчики. Внутри разных лабораторий также были группы, которые в тот период изучали два сверхпроводящих материала — это ниобий-титановый сплав (NbTi) и соединение ниобия и олова (Nb<sub>3</sub>Sn).

### Мы были или первыми, или сразу за первыми

Опытное производство сначала располагалось у нас в институте, немного позднее стало создаваться первое промышленное производство в Советском Союзе, в Усть-Каменогорске (Казахстан) — Ульбинский металлургический завод. Это было начало, мне пришлось принимать участие в запуске оборудования, его освоении

и разработке технологических процессов. Естественно, не один человек это делал, а коллектив, я был маленькой частичкой этого коллектива.

ВНИИНМ и в тот момент, и сегодня выступает как головная организация по разработке технологий получения сверхпроводников. Во времена Советского Союза в области сверхпроводников мы никогда не были последними: мы были или первыми, или сразу за первыми. И это независимо от материалов — ниобий-титан или ниобий-олово.

Мы делали длинномерные изделия: если говорить про ниобий-титан, то из одной сборки можно получить до 50 км длинной проволоки, а если про ниобий-олово, то до 30 км. Ниобий-титан достаточно пластичный, его можно деформировать, хотя это тоже нелегко. Создание токамака Т-15 в Курчатовском институте было величайшим достижением, это был первый в мире токамак на основе интерметаллического соединения Nb<sub>3</sub>Sn, которое является хрупким, как стекло. Поэтому

были разработаны специальные методы, позволяющие из хрупкого соединения сделать длинномерные изделия.

### «Научные среды»

Сотрудники нашего института разрабатывали не только проводник, но и весь технологический процесс его изготовления. Вот у нас есть медь, есть ниобий, титан и другие материалы нужного качества. Но чтобы из них сделать сверхпроводник, иногда требовалось переплавить слиток по несколько раз, чтобы очистить его — для снижения твердости и повышения пластичности. Необходимо было получить сверхпроводящие волокна диаметром несколько микрон (в 10 раз тоньше человеческого волоса) в медной или бронзовой матрице. В каждом проводнике может быть более 10 000 таких волокон, а очень тонкое волокно просто порвется, если не будет пластичным.

Чтобы решить задачу столь высокой сложности, разработчик сверхпроводя-

щего материала должен знать очень многое. Если ты не знаешь процессы плавки, то грош тебе цена, плохо ориентируешься в деталях обработки — опять минус, не знаешь материаловедение — совсем плохо. Необходимо знать все, и знать на очень высоком уровне. В этой связи я бы хотел отметить нашу техническую библиотеку. В организации нового исследования очень важно владеть научной информацией, а в библиотеке ВНИИНМ организовывались «научные среды», как мы их называли. В этот день недели выставлялись для общего использования свежие международные журналы с публикациями о научно-технических новинках других стран. На эти «среды» очень охотно ходили сотрудники, так как в то время никакого интернета не было и знания можно было получить только из печатных изданий.

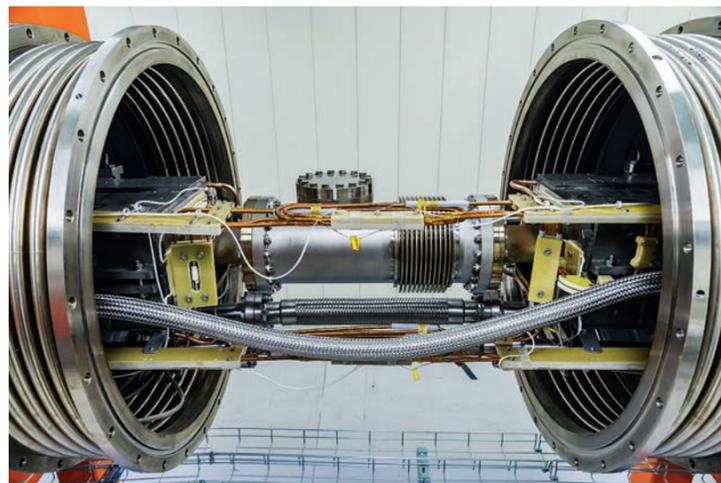
### Вечные импланты

Сегодня одно из новых и перспективных направлений в области медицины — био-

совместимые материалы. Оно связано с изготовлением имплантов для человеческого организма из ниобий-титанового сплава. Есть и другие перспективные материалы, с которыми наш институт работает, они предназначены для тзвлов, и, представьте, их можно также использовать для создания имплантов для тела человека. Сейчас в качестве материала для имплантов используют легированный титан. Это уже хорошо опробованный материал, но сегодня есть гораздо более качественные и современные сплавы.

Например, самые лучшие импланты из титана могут прослужить четверть века. И, естественно, любой здравомыслящий человек скажет: «Ну куда больше? 25 лет пройдет — выбросим, поставим новый!». А ведь можно и по-другому сказать: «Сегодня тебе заменили коленную чашечку, и она будет как новая и прослужит всю жизнь!» Но такая задача должна быть поставлена на высоком уровне госкорпорации, тогда и результат будет соответствующий.





На фото

Участок коллайдера комплекса NICA в ОИЯИ

будет продолжена. NICA позволит ученым наблюдать, как протоны и нейтроны разбиваются при столкновении на составные части (кварки и глюоны). Для магнитной системы NICA специалисты АО «ВНИИНМ» разработали конструкции и технологии изготовления длинномерных NbTi-проводников из однократной сборки увеличенного диаметра (300 мм). На ЧМЗ выпущены партии сверхпроводников диаметром менее миллиметра с пониженным уровнем энергетических потерь, содержащие более 8000 волокон в медной матрице (для бустера — 95 км, для коллайдера — 300 км и для корректирующих магнитов — 50 км).

В ближайшее десятилетие в мире планируется построить еще шесть ускорителей, в том числе три — в нашей стране.

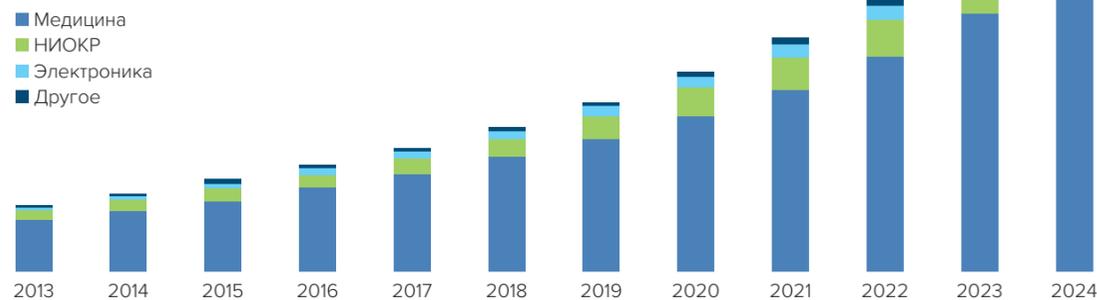
Еще одним направлением применения сверхпроводников является создание установок термоядерного синтеза. Закончить сборку реактора ИТЭР

должны в 2025 году, но сроки постоянно сдвигаются. На рабочую мощность реактор выйдет к 2035 году. Дальнейшие эксперименты покажут возможность поддержания более длительного горения плазмы с температурой более 100 млн °С. Эти эксперименты должны подтвердить возможность применения подобных установок для получения энергии, после чего и вступит в активную фазу проект ДЕМО — первая экспериментальная термоядерная станция (2045 год), где будет продемонстрировано получение энергии в результате реакции термоядерного синтеза. А в широкую коммерческую эксплуатацию такая энергетика войдет предположительно в 2060–2080 годах.

Одновременно специалисты за рубежом и в России планируют создание термоядерных реакторов меньшего размера для обеспечения энергией отдельной страны. Ученые Троицкого института инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ), не дожидаясь завершающей фазы проекта ИТЭР, разработали концепцию и создали 3D-модель токамака реакторных технологий — ТРТ. Он будет в 25 раз меньше ИТЭР, но более продвинутом в научно-техническом плане, поскольку с момента старта проекта ИТЭР технологии заметно шагнули вперед. Для защиты стенок токамака от перегрева и попадания в плазму примесей ученые используют жидкий литий. Также в конструкции реактора применяют лучшие на сегодняшний день высокотемпературные сверхпроводники, которые производят в Москве на предприятии «СуперОкс». Уникальной чертой ТРТ станет использование новейших технологий нагрева плазмы и поддержания ее агрегатного состояния.

Китай в последние десятилетия занял активную позицию в освоении сверхпроводниковых технологий. Там планируют построить прототип гибридного реактора к 2030 году, а также создать термоядерный энергетический реактор к 2050 году, уже выбран участок для его строительства и начаты подготовительные работы.

Динамика развития рынка сверхпроводников и их распределение по направлениям



## Сверхспособности сверхпроводников

### Медицина

Наибольшую перспективу с точки зрения расширения рынка сверхпроводников и их коммерческого применения имеет медицинское оборудование, в частности МР-томографы для современной диагностики. Сверхпроводники играют важную роль при создании МРТ, так как только с их помощью можно создать стабильное и однородное магнитное поле (1,5–2 Тл). В основном для МРТ со сверхпроводящими магнитами используются NbTi-сверхпроводники ( $T_c = 9,4$  К). Однако сейчас также развивается направление создания МРТ на основе и других сверхпроводящих материалов, например на основе ВТСП-лент (ВТСП — высокотемпературные сверхпроводники) второго поколения или  $MgB_2$  (диборида магния).

Проект разработки российского томографа ведется уже несколько лет, и научные предприятия активно работают в этом направлении. Например, в ФИАН им. П. Н. Лебедева был разработан томограф с магнитным полем 1,5 Тл, не нуждающийся в огромном

количестве гелия. Во ВНИИНМ есть опыт разработки технологии получения специальных конструкций сверхпроводников для МРТ, выпущены опытные образцы, что позволит принять участие в создании российского МР-томографа. Кроме того, для научных исследований создаются спектрометры на основе ядерного магнитного резонанса (ЯМР), для которых требуется достижение более высоких магнитных полей (до 21 Тл).

Другие варианты медицинского применения — SQUID (Superconducting Quantum Interference Device, сверхпроводящие квантовые интерферометры): это устройства типа МРТ в слабых полях, применяемые для магнитогастрографии и магнитокордиографии. SQUID-датчики для медицины могут изготавливаться из ВТСП-материалов, например на основе соединения  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$  (оксид иттрия-бария-меди) с  $T_c = 93$  К. В России компания «СуперОкс» изготавливает ленты ВТСП второго поколения для медицинских ускорителей и МРТ.



## Транспорт

Автомобиль или поезд на магнитной подушке — это давняя мечта человечества. Реализация такой идеи избавит движение транспортного средства от трения, возникающего при соприкосновении с поверхностью, что позволит развивать большую скорость, уменьшать выброс углекислого газа в атмосферу, снижать шум и вибрацию. Поезда с магнитной левитацией, использующие мощные сверхпроводящие магниты, дают возможность буквально лететь к месту назначения, паря над направляющим путем или колеей. В Японии между Токио и Осакой был проложен участок дороги длиной 500 км для поезда с применением сверхпроводящих материалов. По дороге курсирует так называемый поезд-пуля — «Синкансэн» — со средней скоростью 300 км/ч, а последний его рекорд составил 552 км/ч. В Китае также запустили поезд с магнитной левитацией, который достиг максимальной скорости 600 км/ч, он является самым быстрым наземным транспортом в мире.

Революцией в проектировании морских судов может стать введение в их конструкцию судовой тяги

## Космос

С самого начала космической эры к низкотемпературным технологиям для работы в космосе проявлялся большой интерес, однако их применение было осложнено необходимостью охлаждения магнитной сверхпроводящей системы до температур жидкого гелия, что серьезно ограничивало продолжительность миссии. Разработка ВТСП с температурами перехода выше 77 К сделала сверхпроводящую технологию более привлекательной и выполнимой для использования в аэрокосмических системах. Космические платформы создают наиболее комфортные условия для функционирования узлов с высокотемпературными сверхпроводниками. Существенно меньшие, чем на Земле, нагрузки и ускорения, естественный вакуум, щадящие температурные условия дают предпосылки для их эффективной работы.

с помощью двигателя с использованием сверхпроводников. Электрические двигательные установки обеспечивают более эффективную интеграцию судовых систем, использующих энергию, поскольку они позволяют силовой установке поддерживать движение, при этом из-за снижения габаритов двигателя появляется больше пространства под палубой для пассажиров или груза.

Применение сверхпроводников в электрических двигателях для авиации, как и для морских судов, обеспечивает эффективное снижение веса и габаритов транспортных средств. Ключевое преимущество двигателей на основе высокотемпературных сверхпроводников заключается в том, что они при том же размере и весе более мощные, чем традиционные аналоги. Основными выгодами при использовании двигателей со сверхпроводниками являются снижение шума, сокращение выбросов (как загрязняющих веществ, так и парниковых газов) и расхода топлива. В настоящее время разработками электрических летательных аппаратов для гражданских и военных перевозок занимаются Airbus и NASA, которые считают, что электрический самолет будет потреблять в четыре раза меньше топлива, чем сегодняшние модели.

Созданием самолетов малой авиации на основе гибридных силовых установок с использованием сверхпроводников и альтернативных видов топлива занимается коллектив ученых МАИ. Уже изготовлен и испытан маломасштабный демонстратор уникальной, не имеющей аналогов сверхпроводниковой системы. Он представляет собой канал генерирования постоянного тока напряжением 540 В и является системой, состоящей из пяти устройств: сверхпроводящего генератора, сверхпроводящего кабеля, выпрямительного устройства, накопителя энергии и системы криогенного охлаждения. Таких систем в мире пока нет. Конкурентом можно считать проект Ascend, который реализует Airbus. Первые испытания этой системы планируются в 2023 году.

Применение ВТСП в двигателях космических кораблей позволит удовлетворить требования к массе и мощности магнитных компонентов. Магнитоплазгодинамические двигатели с приложенным полем решают эту проблему. Двигатели используют комбинацию магнитных и электрических полей для создания тяги. Исследователи считают, что потенциально они смогут стать новым решением для больших космических кораблей. Кроме того, перспективным использованием сверхпроводников является защита космонавтов от космического излучения. Например, магнитные соленоиды на основе диборида магния создают высокие магнитные поля, которые смогут отражать большинство высокоэнергетических космических лучей. Эти щиты должны позволить космонавтам проводить безопасные полеты в условиях особо дальних космических миссий.

## Энергетика

Сверхпроводящие материалы обладают большим потенциалом для внесения радикальных изменений в электроэнергетику, позволяя передавать электроэнергию с высокой пропускной способностью без потерь. Преимущество сверхпроводящих кабельных линий (СКЛ) заключается в значительно более высокой передаваемой мощности ( $10^7$ – $10^8$  Вт/см<sup>2</sup> у СКЛ против 10–100 Вт/см<sup>2</sup> у традиционных ЛЭП), при этом напряжение и потери энергии — на порядок меньше. Кроме того, у сверхпроводящих кабельных линий более долгий жизненный цикл и большая аварийная стабильность к скачкам мощности.

С самого начала XXI века разработки кабельных линий с использованием ВТСП неуклонно совершенствуются. Так, в 2000 году были только попытки включения фрагментов сверхпроводящих кабелей длиной 200 м в обычные линии. А уже в 2014 году в городе Эссене была проведена первая полностью сверхпроводящая линия длиной 1 км на основе ВТСП (YBaCuO) от компании Nexans. Сейчас существуют три крупных проекта: HYDRA (США), AmraCity (Германия) и «Санкт-Петербург» (Россия). Проект

«Санкт-Петербург», который осуществляется в настоящее время, заключается в создании кабельной линии постоянного тока на основе ВТСП (с использованием охлаждения жидким азотом) длиной 2,5 км и мощностью 50 МВт. Это позволит повысить надежность электроснабжения, снизить токи короткого замыкания (до половины токов отключения), при этом потери мощности будут не более 2% (удельная стоимость — менее 13 тыс. руб./МВт·м).

Сейчас также активно развиваются проекты создания гибридных линий. Например, в Китае создается гибридная линия, предназначенная для прокачки сжиженного природного газа, поскольку технология транспортировки газа более развита и востребована. Уже прошло испытание с током 2000 А на длине 10 м при прокачке сжиженного газа 15 л/мин (температура 90 К).

В России проводятся испытания гибридной линии на основе MgB<sub>2</sub> для прокачки жидкого водорода. При этом необходима стабилизация жидким азотом. Испытания проводят на транспортируемую эквивалентную мощность ~135 МВт на длине 30 м.

## Преимущества сверхпроводящих кабельных линий

### Обычные ЛЭП

- Р передаваемая ~ 10–100 Вт/см<sup>2</sup>
- Потери энергии ~ 10–20%
- U рабочее ~ 100–1000 кВ
- Охраняемая зона ~ 10–50 м

### Сверхпроводящие ЛЭП

- Р передаваемая ~  $10^7$ – $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>
- Потери энергии ~ 0,1–1%
- U рабочее ~ 10–100 кВ
- Охраняемая зона ~ 1–10 м

## Гибридные линии

### На основе MgB<sub>2</sub>

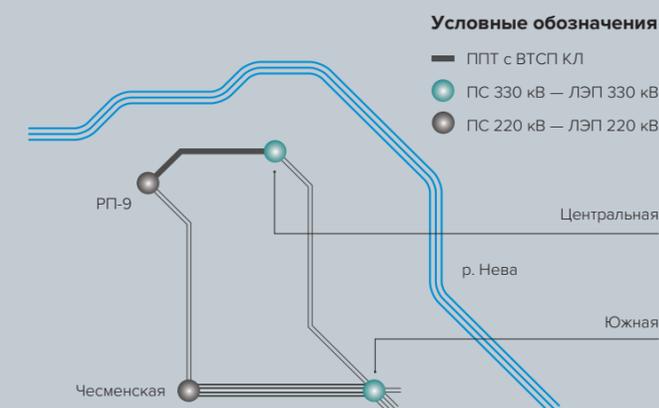
- Прокачка жидкого водорода
- Необходима стабилизация жидким азотом
- Испытания в России: транспортируемая эквивалентная мощность ~ 135 МВт на 30 м

### На основе Bi-2223

- Прокачка сжиженного природного газа
- Технология транспортировки газа более развита и востребована
- Испытания в Китае: ток 2000 А на длине 10 м при прокачке 15 л/мин сжиженного газа при 90 К

## Проект «Санкт-Петербург»

- Длина — 2,5 км
- Мощность — 50 МВт
- ВТСП КЛ постоянного тока
- Охлаждение — жидкий азот
- Повышение надежности электроснабжения
- Снижение токов короткого замыкания (до половины от токов отключения)
- Потери мощности не более 2%
- Удельная стоимость — менее 13 тыс. руб./МВт·м



Текст: «Вестник атомпрома»  
 Фото: Пресс-служба ЧУ «ИТЭР-Центр»

# 200 ТОНН ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Основные этапы производства катушки PF1 для ИТЭР — самой большой сверхпроводящей системы, которая когда-либо создавалась в нашей стране

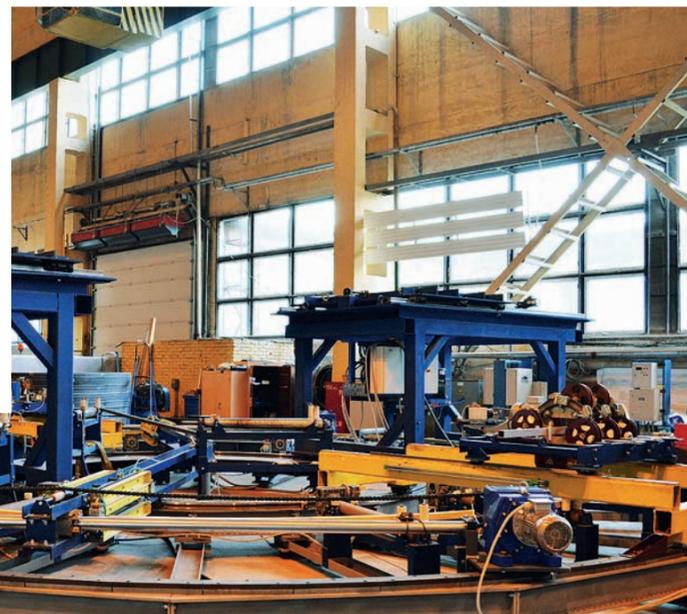
Катушка полоидального поля PF1 — это самый крупный и один из важнейших для будущей установки ИТЭР компонент, разработанный и произведенный в России. Высокотехнологичное изделие, диаметр которого составляет 9 м, а масса — около 200 тонн, является неотъемлемой частью магнитной системы ИТЭР, служащей для удержания плазмы в реакторе. Ее разработкой и изготовлением занимались лучшие отечественные специалисты, чей профессионализм и опыт позволили России в срок осуществить поставку в Международную

организацию ИТЭР. «Это событие колоссальной важности как для отечественных предприятий, которые участвовали в изготовлении этого сложнейшего компонента будущего термоядерного реактора, так и для всего проекта в целом. Это выдающийся результат многих лет плодотворной, слаженной работы ведущих российских институтов и предприятий промышленности, эффектная и эффективная демонстрация нашего научно-технологического потенциала», — отметил директор ЧУ «ИТЭР-Центр» Анатолий Красильников.

## 2011 Начало работ

9 марта 2011 года между российским Агентством ИТЭР и Международной организацией ИТЭР было подписано соглашение об изготовлении и поставке российской катушки полоидального поля. Главным исполнителем был назначен Научно-исследовательский

институт электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова (АО «НИИЭФА»). В институте разработаны важнейшие технологии изготовления катушки, а также разработана, изготовлена и испытана большая часть необходимого уникального оборудования.



## 2015 Намотка первой галеты

PF1 — сложное изделие, состоящее из восьми двухзаходных галет. Изготовление катушки осуществлялось на территории Средне-Невского судостроительного завода (АО «СНСЗ»). Для намотки использован российский сверхпроводник из NbTi, который обладает сверхпроводящими свойствами при сверхнизких

температурах, не превышающих 5 К (–268 °С). Особенность состояла в том, что намотка осуществлялась одновременно из двух длин сверхпроводника. Намотка первой двойной галеты завершилась в 2016 году, а в 2017-м была осуществлена ее пропитка компаундом горячего отверждения.



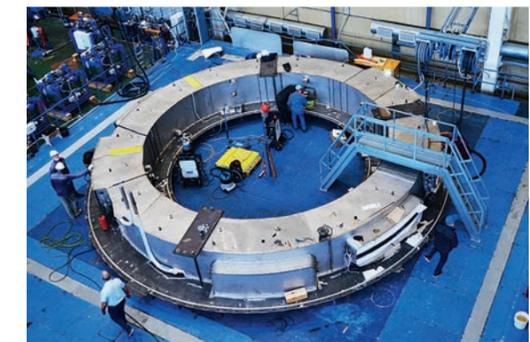
## 2019 Завершение изготовления всех галет

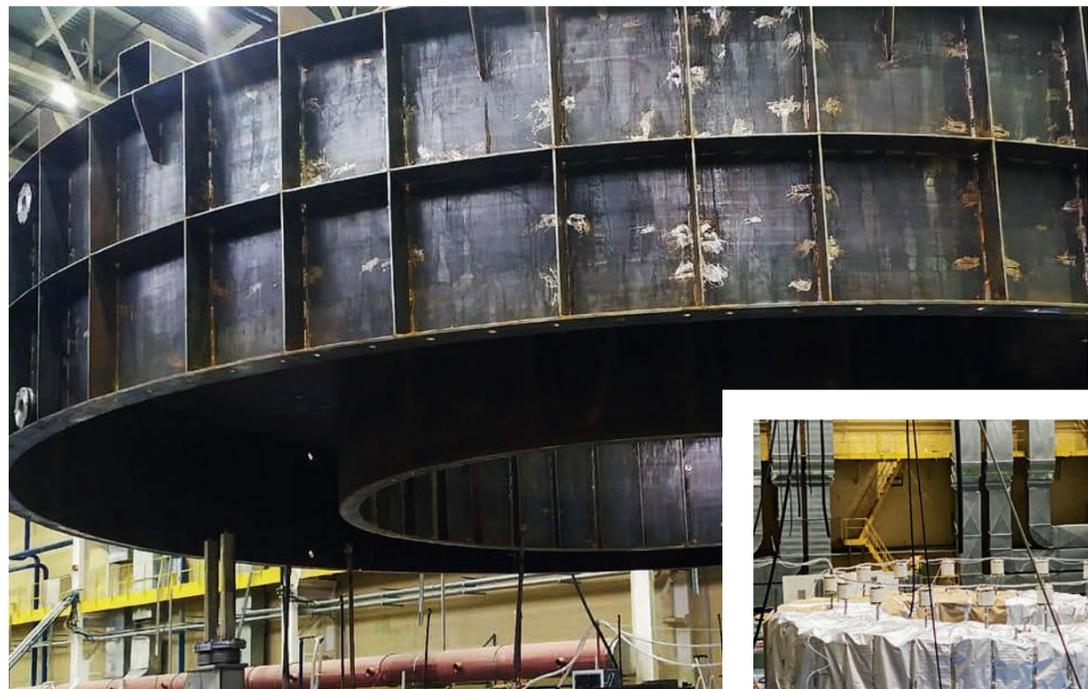
Намотка и пропитка галет — важнейший этап в изготовлении сверхпроводящего магнита. Весь процесс, с момента подписания соглашения о поставке до этого этапа, занял около восьми лет. Успешное завершение производства всех восьми «колец» позволило отечественным специалистам приступить к следующей стадии — сборке катушки. Помимо намотки и пропитки галет, изготовление катушки включало в себя и ряд других, не менее важных операций: установление низкоомных контактных соединений, приварку гелиевых вводов и др.



## 2020 Начало сборки катушки

После успешного завершения предыдущих этапов работы на территории Средне-Невского судостроительного завода в Санкт-Петербурге была начата ключевая стадия производства — сборка катушки полоидального поля. Из-за огромных размеров и массы российского магнита сама сборка катушки осуществлялась в цехе СНСЗ непосредственно на понтоне, который позже, по завершении всех необходимых операций, доставил катушку по реке Неве до морского порта Санкт-Петербурга. Сборка катушки на понтоне — это самостоятельная сложная и ответственная задача.





### 2021 Проведение вакуумно-нагнетательной пропитки

По завершении сборки катушки и всех сопутствующих технологических процессов специалисты АО «СНСЗ» и АО «НИИЭФА» приступили к самой ответственной стадии ее изготовления — вакуумно-нагнетательной пропитке. Этот процесс необходим для получения электрической изоляции с необходимой высокой диэлектрической и механической прочностью. Процесс пропитки включал в себя

несколько стадий: дегазацию изоляции катушки, пропитку изоляции компаундом, его опрессовку и полимеризацию. В ходе работы изделие нагревалось до 140 °С. Для проведения пропитки обмотки PF1 вокруг катушки после наложения корпусной изоляции была произведена сборка и сварка внутреннего («тонкого»), а затем внешнего вакуумного объема.



### Март 2022 Прохождение приемочных испытаний

Приемочные испытания катушки на СНСЗ прошли успешно, что было подтверждено Международной организацией ИТЭР. Это позволило российским предприятиям начать подготовку к отправке изделия во Францию. Перед отправкой, для испытаний транспортировочной оснастки катушки, понтон с российским магнитом был перемещен из цеха на спусковую площадку. Специалисты провели ряд испытаний, предшествующих отправке. Работы были выполнены на высоком научно-техническом уровне, который соответствует требованиям соглашения о поставке катушки PF1 и документации системы качества ИТЭР.

### 1 ноября 2022 Отправка катушки

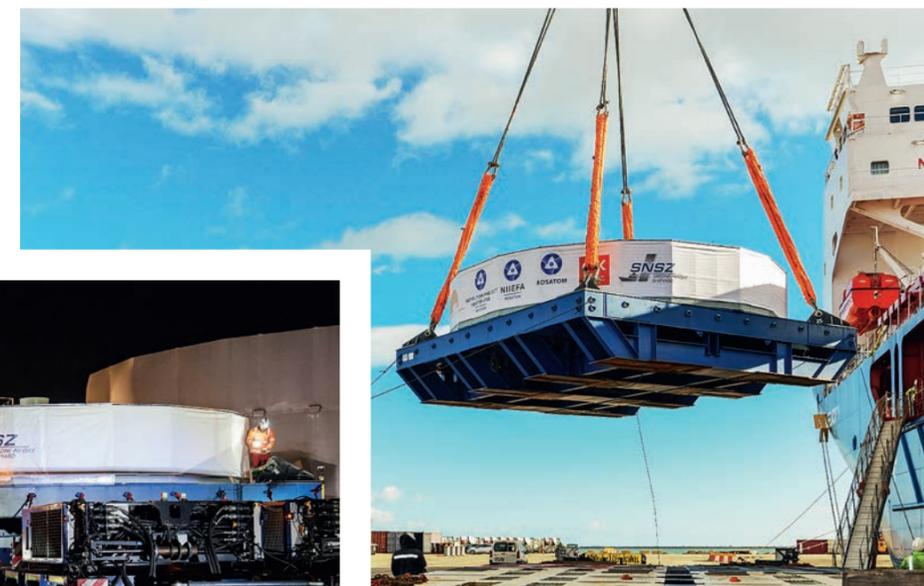
В присутствии высокопоставленных представителей правительства РФ, госкорпорации «Росатом», администрации Санкт-Петербурга понтон с катушкой PF1 был торжественно спущен на воду и начал свой путь к площадке сооружения реактора ИТЭР. Отправка катушки стала результатом усилий целого ряда коллективов, которые на протяжении многих лет занимались проектированием электромагнитной системы токамака, созданием и серийным выпуском сверхпроводников и собственно созданием катушки. Для производства ниобий-титанового сверхпроводника, необходимого для каждого из 16 кабелей PF1, в стране была воссоздана сверхпроводниковая промышленность и сформирована кооперация ведущих институтов и предприятий страны: АО «ТВЭЛ», АО «ЧМЗ», АО «ВНИИНМ», АО «ВНИИКП».



### 10 февраля 2023 Прибытие катушки в пункт назначения

PF1 проделала долгий путь. Из Санкт-Петербурга сухогруз с российской катушкой благополучно прибыл во французский морской порт Фос-сюр-Мер. Там магнит был перегружен на другое судно, доставившее его в порт Берр, откуда на специальной транспортной платформе катушка отправилась к месту сооружения ИТЭР по специально подготовленной и оборудованной трассе. Длина «Маршрута ИТЭР» (the ITER Itinerary) — 104 км, по нему на площадку сооружения ИТЭР перевозятся доставляемые морем самые тяже-

лые крупногабаритные элементы будущей термоядерной установки. Их транспортировка осуществляется в ночное время в сопровождении конвоя на особой 352-колесной транспортной платформе. 10 февраля 2023 года российская катушка полоидального поля прибыла в пункт назначения. В соответствии с традицией, по случаю прибытия катушки была организована торжественная церемония, знаменующая выполнение Россией одной из важнейших задач в рамках совместной реализации международного проекта ИТЭР.



Текст: Ирина Дорохова  
 Фото: Концерн «Росэнергоатом» / Дмитрий Ермаков, ВНИИАЭС



## Пройти тропой мюонов

*Элементарные частицы помогают ученым увидеть, что происходит внутри ядерного реактора*

**МИФИ и ВНИИАЭС впервые в мире получили изображения внутренней структуры реакторного блока с помощью мюонного томографа. Это специальное устройство для регистрации треков элементарных частиц — мюонов.**

Мюонная томография основана на методе мюонографии (по аналогии с рентгенографией) — анализе и визуализации пространственных изменений потока частиц, проходящих через исследуемый объект. Результат исследования — отображение внутренней

структуры объекта на графической матрице (мюонограмме).

### Хроники мюонной томографии

В атомной отрасли интерес к мюонной томографии вырос после аварии на АЭС «Фукусима Даичи». Японским специалистам нужно было определить, причем дистанционно, какие повреждения произошли в активной зоне реактора и где находится топливо. Вблизи аварийных реакторов приборы выходили из строя из-за высокого уровня радиации. Создавали мюонный томограф и проводили исследования

в 2015–2017 годах. Статистику набирали около полугода, затем ее долго анализировали, сверяли со схемой реактора, в целом исследования были успешными.

Первые работы по исследованию внутренних структур крупномасштабных объектов с помощью регистрации потоков мюонов были выполнены в 1970-е годы. Детекторы того времени занимали большие площади, так как необходимо было набирать значительные объемы данных, фиксируя трек каждого мюона и его угловые координаты. В России одним из ведущих научных центров в области развития методов мюонографии является НИЯУ МИФИ, в котором с середины 1990-х годов было создано несколько поколений прецизионных мюонных трековых детекторов большой площади.

В 2018 году возможностями мюонной томографии применительно к ядерным реакторам заинтересовался ВНИИАЭС. Институты подали совместную заявку на аванпроект.

Аванпроект нужен был для детальной проработки научной идеи: можно ли создать аппаратуру, чтобы в течение относительно небольшого промежутка времени получать пригодные для дальнейшего использования мюонограммы ядерного реактора. Также ученые хотели уточнить технические и экономические параметры и подтвердить перспективность проекта. В результате выполнения аванпроекта были сформулированы цель и задачи будущего проекта, подготовлено и обосновано техническое задание на создание мюонного томографа нового типа и на программу исследований. Аванпроект был завершен и одобрен в Росатоме в том же 2018 году.

Вскоре было открыто финансирование в рамках основного проекта «Мюонная томография ядерных реакторов», предусматривающего создание полнофункционального мюонного томографа. АО «Наука и инновации» стало заказчиком, ВНИИАЭС — генподрядчиком и исполнителем, НИЯУ МИФИ — соисполнителем.

Команды в обоих институтах сложились еще на стадии аванпроекта. В МИФИ в проекте были заняты сотрудники Научно-образовательного центра «НЕВОД» под руководством профессора Игоря Яшина. Во ВНИИАЭС томографом занимается отдел экономического анализа и сопровождения перспективных проектов развития, коллеги из других подразделений ВНИИАЭС также привлекались по мере необходимости. Сначала проект возглавляла руководитель департамента экономики жизненного цикла АЭС Оксана Золотарева, сейчас — начальник отдела экономического анализа и сопровождения перспективных проектов развития Сергей Олейник.

### Томограф в разных ракурсах

Главная часть мюонного томографа — это координатно-трековый детектор-годоскоп, который определяет



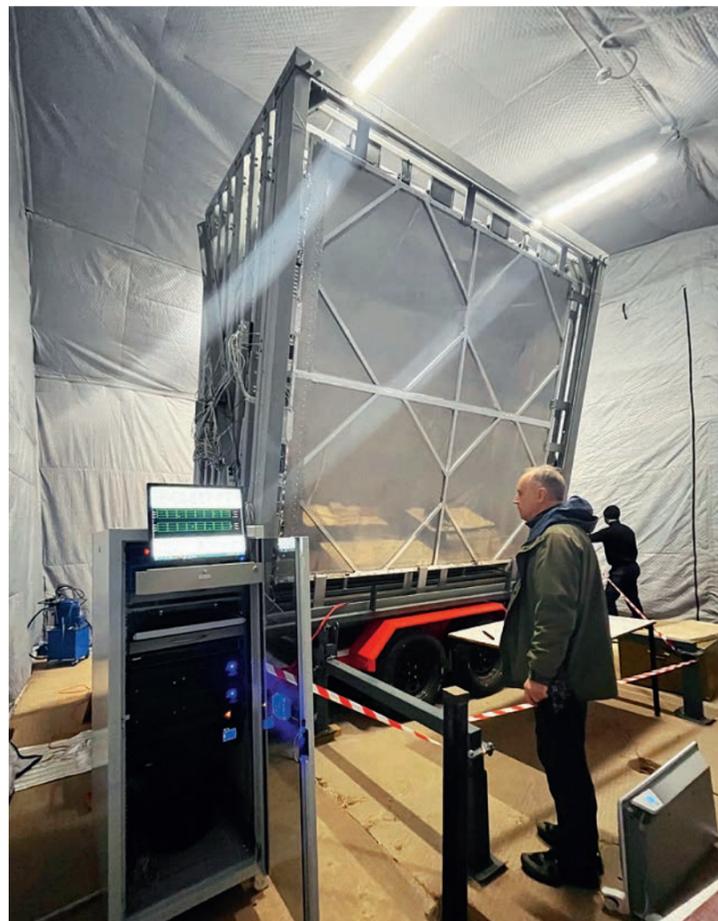
**Сергей Олейник**

Начальник отдела экономического анализа и сопровождения перспективных проектов развития ВНИИАЭС:

— На АЭС мюонный томограф можно использовать для мониторинга состояния зданий, сооружений и оборудования. Например, для оценки отложений, которые со временем образуются на оросителях градирен. Профессионально решает эту проблему одно из подразделений ВНИИАЭС. На сегодняшний день, чтобы продиагностировать градирню обычным способом, она не должна работать, то есть надо ждать ППР. А томограф можно использовать и в рабочем режиме. Но даже во время ППР томограф удобнее, потому что присутствие человека не требуется, сравнение полученных результатов с исходными мюонограммами (мы называем их базовыми) происходит дистанционно.

параметры треков мюонов — путей, которые они проходят. Годоскоп включает стриповый сцинтилляционный детектор и детектор на дрейфовых трубках. Оба метода широко используются в современной физике. Каждый детектор обладает рядом преимуществ, и при совместном применении для регистрации треков частиц они дополняют друг друга. Сцинтилляционный детектор достаточно прост в эксплуатации, он дает возможность организовать быстрый триггер (сигнал о прохождении через томограф мюона) и оперативно реконструировать нулевое приближение трека мюона. Дрейфовый детектор обеспечивает одну из лучших точностей регистрации треков мюонов, но это достаточно медленный прибор. Главный компонент таких детекторов — дрейфовые трубки, заполненные газовой смесью.

Особенность томографа МИФИ — ВНИИАЭС в том, что оба типа детекторов в нем используются совместно для регистрации одних и тех же треков. Поэтому его называют гибридным. «Коллеги из МИФИ предложили объединить их таким образом, чтобы триггером для дрейфового детектора был сигнал с сцинтилляционного. Раньше таких систем не было, мы первыми в мире создали гибрид. Совмещение позволяет получить «картинку» гораздо быстрее. Если на «Фукусиме» экспозиция заняла шесть месяцев, то у нас — всего 15 суток», — комментирует Сергей Олейник.



Площадь квадратной детектирующей плоскости полнофункционального томографа составляет 9 м<sup>2</sup>.

Собирали детекторы в машинном зале. Затем раму с детектирующими плоскостями установили на модуль подвижности и разместили в специальном пневмокаркасном ангаре в 70 м от вертикальной оси расположения реактора энергоблока № 4 Калининской АЭС. Мюонный томограф разместили под углом 15°, чтобы активная зона реактора находилась в центре мюнограммы, кроме того это позволило сократить время набора статистики. Дело в том, что поток мюонов космических лучей обладает сильной зависимостью от зенитного угла, отсчитываемого от вертикали. Чем ближе к горизонту земной поверхности, тем меньше поток мюонов и, соответственно, тем дольше придется набирать статистику.

В октябре 2022 года мюонный томограф запустили. Собранные статистические данные об угловых координатах мюонов обрабатывались с помощью специального ПО (его тоже разработали ученые из НИЯУ МИФИ), и строилась матрица — двумерная сетка, которая в результате обработки превращалась в изображение. На Калининской АЭС ученые планировали проверить, будет ли работать технология гибридного мюонного томографа и какие результаты будут достигнуты. Работает — значит, получается мюнограмма исследуемых объектов с высоким разрешением за относительно короткое время экспозиции. Ответ на вопрос получили буквально через два часа после запуска, когда на мюнограмме стала проявляться гермооболочка реакторного отделения, железобетонные перегородки в здании и другие объекты, обладающие высокой плотностью.

Полнофункциональный полноразмерный образец томографа решили установить рядом с блоком № 4 Калининской АЭС. В отличие от опытного образца, для него была разработана и изготовлена высокоточная монтажная рама, чтобы закреплять детектирующие пластины строго в определенных координатах.

Правда, выявилась одна сложность: мюнограмма включала не только реактор, но и оборудование машзала, который находился за ним. Отделить изображение активной зоны от турбин и прочих агрегатов из стали оказалось сложно. «Поэтому мы планируем весной сменить локацию, чтобы нам ничто не мешало наблюдать за активной зоной. Кроме того, благодаря смене плоскости наблюдения мы можем получить трехмерное изображение реакторного отделения», — отмечает Сергей Олейник. Весной — потому что дрейфовый детектор отключили на зиму, он плохо реагирует на перепады температуры. Сейчас работает только сцинтилляционный детектор. Три зимних месяца он набирал статистику, и ученые уже предвкушают, как они будут изучать результаты.

Получив трехмерные изображения, специалисты планируют совместить их с трехмерной цифровой моделью блока. Цель такого наложения — проверить, увидит ли томограф различия, например наличие или отсутствие топлива в период проведения планово-предупредительного ремонта. Эксперимент планируют провести во время ППР и перегрузки топлива в июне 2023 года. «Если у нас получится зафиксировать динамическое изменение внутри реактора, а мы на это надеемся, то можно будет говорить

## Подробности

### Высокие оценки

Гибридный мюонный томограф и результаты исследований на Калининской АЭС вошли в перечень важнейших научных достижений РАН 2022 года. Проект удостоен премии «Технологический прорыв — 2022».

о практическом применении томографа, этого ждут все», — рассказывает Сергей Олейник.

### Для чего нужен мюонный томограф

Одна из важных задач — встроить мюонный томограф в производственные процессы на АЭС, а также найти ему другое востребованное применение. Концептуально он пригодится, когда другие способы визуализации плотного объема — невооруженным глазом, камерой, ультразвуком или другими методами — неприменимы. «Например, у нас есть железобетонная конструкция — дамба, домна или иное сложное сооружение. В ней есть некая схема армирования. И мы можем увидеть, в каком состоянии внутри этого сооружения находится арматура, получить реальную схему армирования. На АЭС мюонный томограф можно использовать для мониторинга состояния зданий, сооружений и оборудования. Например, для оценки отложений, которые со временем образуются на оросителях градирен. Профессионально решает эту проблему одно из подразделений ВНИИАЭС. На сегодняшний день, чтобы проработать градирню обычным способом, она не должна работать, то есть надо ждать ППР. А томограф можно использовать и в рабочем режиме. Но даже во время ППР томограф удобнее, потому что присутствие человека не требуется, сравнение полученных результатов с исходными мюнограммами (мы называем их базовыми)

происходит дистанционно», — отмечает Сергей Олейник. По предварительным расчетам, для станции из нескольких блоков достаточно будет одного-двух томографов (второй — запасной при одностороннем сканировании, либо он будет служить для получения трехмерных изображений онлайн).

Текущий уровень готовности технологии — TRL-7, то есть полнофункциональный полноразмерный образец испытан в реальных условиях эксплуатации, его работоспособность подтверждена. Следующий шаг — сделать промышленный образец. Основные требования — он должен быть мобильным и работать «с колес», без возведения пневмокаркасных ангаров для защиты от неблагоприятных погодных условий и термостатирования. Это уже задача для дальнейшего логического развития направления мюонной томографии в атомной энергетике.



## Подробности

### Что такое мюоны

Это элементарные частицы, образующиеся естественным образом в атмосфере Земли на высоте 15–20 км при взаимодействии атомов атмосферы с космическими лучами. Они похожи на электроны, обладают тем же зарядом, но масса в 205 раз больше. Эти свойства позволяют мюонам проходить через очень большие объекты, такие как пирамиды и вулканы. Самые высокоэнергетичные мюоны могут проникать на глубину до 10 км. Мюоны были впервые обнаружены учеными в 1936 году.

Текст: Пресс-служба МОКБ «Марс»  
 Фото: АО «НПО Лавочкина», МОКБ «Марс»

# Пополнение в созвездии российских спутников

*Космический аппарат, созданный при участии Росатома, поможет мониторить глобальные климатические изменения и точнее прогнозировать погоду*

**5 февраля 2023 года на геостационарную орбиту был выведен гидрометеорологический спутник серии «Электро-Л» №4, предназначенный для передачи на Землю многоспектральных снимков облачности**

**и подстилающей поверхности. Бортовой комплекс управления для этого космического аппарата разработало и изготовило Московское опытно-конструкторское бюро «Марс» (входит в госкорпорацию «Росатом»).**

## На фото

Заключительная стадия испытаний космического аппарата «Электро-Л» в НПО им. С. А. Лавочкина



В ближайшие 10 лет бортовой комплекс управления (БКУ) МОКБ «Марс» должен обеспечить работу космического аппарата (КА). «Заложенные в систему управления алгоритмы позволят задавать требуемые режимы работы как целевой аппаратуры, так и служебных бортовых систем КА, управлять ориентацией космического аппарата вокруг его центра масс при движении по орбите, а также при необходимости обеспечивать корректировку орбиты», — отметил заместитель генерального конструктора МОКБ «Марс» Дмитрий Добрынин.

До настоящего времени в составе гидрометеорологической геостационарной космической системы «Электро-Л» использовались два космических аппарата, оснащенных комплексами управления разработки МОКБ «Марс»: «Электро-Л» №2 в точке стояния ~14,5° западной долготы — над Атлантическим океаном, «Электро-Л» №3 в точке стояния ~76,0° восточной долготы — над Индийским океаном.

Метеоспутник «Электро-Л» №4 пополнил орбитальную гидрометеорологическую группировку РФ, с его вводом в эксплуатацию созвездие КА «Электро-Л» должно обеспечить трехсторонний обзор планеты, в том числе и из точки стояния ~165,8° восточной долготы — над акваторией Тихого океана. «В таком составе спутниковая группировка позволяет наилучшим образом наблюдать всю протяженную территорию России с востока на запад, а также выполнять функции составного элемента глобальной метеорологической спутниковой системы наблюдения Земли», — отметил Дмитрий Добрынин. По его словам, благодаря круглосуточному получению (каждые 15 минут) высококачественных многоспектральных снимков с космических аппаратов и сбору метеоданных из самых удаленных наземных метеостанций страны, повышается качество и оперативность прогнозов погоды и решаются глобальные вопросы мониторинга климата и его изменений. Также аппараты ретранслируют сигналы от аварийных радиобуев международной спутниковой поисково-спасательной системы КОСПАС-САРСАТ.

Кроме того, в космосе работает первый из высокоэллиптической гидрометеорологической системы спутников — «Арктика-М» №1, оснащенный БКУ разработки МОКБ «Марс». Запуск КА «Арктика-М» №2 намечен на конец 2023 года. В настоящее время МОКБ «Марс» работает над созданием бортовых комплексов управления для еще четырех космических аппаратов серии «Арктика-М» и для «Электро-Л» №5. Совместное использование информации с высокоэллиптических спутников серии «Арктика-М» и геостационарных серии «Электро-Л» позволит решать задачи квазинепрерывного получения оперативных гидрометеоданных в глобальном планетарном масштабе.

«Электро-Л» — космические аппараты российской геостационарной гидрометеорологической системы, разработанной в Научно-производственном объединении им. С. А. Лавочкина (входит в госкорпорацию

**МОКБ «Марс»** образовано в июне 1955 года. В декабре 2017 года указом президента РФ предприятие было переведено из госкорпорации «Роскосмос» в состав госкорпорации «Росатом». Основным видом деятельности предприятия является разработка и производство бортовых систем и комплексов управления, а также отдельных приборов, электронных блоков и контрольно-проверочной аппаратуры для изделий ракетно-космической и авиационной техники. МОКБ «Марс» является уникальным разработчиком систем управления, одновременно реализующим проекты как для космических, так и для атмосферных летательных аппаратов. В обеспечение диверсификации производства на предприятии ведутся работы по созданию линейки бесконтактных моментных двигателей, применяемых при разработке промышленных роботов, приводов рулей для летательных аппаратов, а также в глубоководной и медицинской технике.

«Роскосмос»). Разработка и изготовление космических аппаратов ведутся в соответствии с Федеральной космической программой России. КА серии «Электро-Л» обеспечивают многоспектральную съемку поверхности Земли в видимом и инфракрасном диапазонах. Космическая система работает на орбите Земли уже более 10 лет: запуск «Электро-Л» №1 состоялся в 2011 году, «Электро-Л» №2 — в 2015-м, «Электро-Л» №3 — в 2019-м, «Электро-Л» №4 — в 2023 году.

Геостационарная гидрометеорологическая космическая система «Электро» предназначена для информационного обеспечения решения задач оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды.



## На фото

Инженер 1 категории Светлана Телешева и ведущий инженер Антон Назаров проводят испытания на комплексном стенде МОКБ «Марс»



## Проверка на прочность

Сотрудники проекта АЭС «Аккую» помогли пострадавшим от землетрясения

**Два мощных землетрясения произошли на юго-востоке Турции 6 февраля 2023 года. Из-за сильнейшего за несколько десятилетий удара стихии погибли более 40 тысяч человек, миллионы остались без крова. По всей Турции был объявлен семидневный траур, а в пострадавших от землетрясения регионах введен режим чрезвычайного положения. В трудную минуту Турции оказали помощь более 40 стран, направивших в зону бедствия отряды спасателей, медиков, гуманитарную помощь.**

В первые часы после трагедии в пострадавшие районы отправились аварийно-спасательные бригады строителей первой в Турции атомной электростанции. С площадки сооружения АЭС «Аккую» в регион землетрясения направились более 2 тыс. человек и четыре колонны спецтехники и автотранспорта — более 300 автобусов, строительные краны, тягачи, экскаваторы, самосвалы. По прибытии в районы провинций Хатай и Кахраманмараш строители сразу же приступили к спасению людей, разбирая завалы.

За время работы в пострадавших от землетрясения районах строители АЭС «Аккую» также

приняли активное участие в координации аварийно-спасательных работ. В провинции Хатай по согласованию с оперативными службами Турецкой Республики и местной администрации был развернут лагерь для распределения спецтехники, направленной в зону бедствия.

Штабом добровольцев от проекта АЭС «Аккую» было организовано питание для спасателей и местных жителей. В этом же районе заработала точка распределения гуманитарной помощи, прибывающей со всей страны, в том числе с площадки строительства АЭС «Аккую». Добровольцы доставляли нуждающимся продукты питания, средства гигиены, теплые вещи и другие предметы первой необходимости. Штаб также координировал и обеспечивал распределение ручного инструмента среди бригад добровольцев, прибывающих со всей Турции для разбора завалов. Работа штаба под руководством сотрудников площадки АЭС «Аккую» ускорила поисково-спасательные работы.

Во время разбора завалов в провинциях Кахраманмараш и Хатай добровольцы с площадки АЭС «Аккую» использовали около 3500 единиц ручных инструментов. В автоколоннах в зону бедствия доставлено около 11 тыс. единиц рабочей одежды и средств индивидуальной защиты, в том числе утепленных рабочих курток, которые раздавали нуждающимся.

В городе Кахраманмараш, где был развернут полевой госпиталь МЧС России, переводчики с площадки строительства АЭС «Аккую» оказывали помощь медикам в общении с пострадавшими, а также помогали спасателям при разборе завалов.

Пока добровольцы участвовали в поисково-спасательных операциях, на площадке строительства АЭС «Аккую» и в офисах АО «АККУЮ НУКЛЕАР» был организован сбор помощи пострадавшим.

Рабочие расположенного на площадке арматурного цеха, где производят армоблоки, закладные детали и другие строительные материалы для АЭС «Аккую», изготовили 30 дровяных печей, а также специальные лопы и багры для поисково-спасательных отрядов. Продукция была оперативно доставлена в провинции Хатай и Кахраманмараш. В жилом городке для строителей АЭС «Аккую» в поселке Буюкеджели и на площадке сооружения станции были открыты пункты приема донорской крови.

В поселках Кум Махаллеси и Ташуджу, где преимущественно проживают сотрудники, занятые на строительстве АЭС «Аккую», компания «АККУЮ НУКЛЕАР» организовала работу мобильных пунктов приема гуманитарной помощи для пострадавших. За время работы пунктов (с 7 по 12 февраля) было собрано около 8 тонн гуманитарного груза, который распределили в муниципалитет города Силифке, а также адресно — в места временного размещения пострадавших и беженцев из зоны бедствия.



**Анастасия Зотеева**

Генеральный директор  
АО «АККУЮ НУКЛЕАР»:

— На беду откликнулись практически все сотрудники проекта АЭС «Аккую», никто не остался равнодушным. У многих наших строителей в пострадавших регионах проживают семьи, родные и близкие. Разумеется, мы поддержали их в желании помочь. Те, кто не смог поехать, переводят денежные средства, закупают и передают в пункты сбора продукты, вещи первой необходимости — помогают пострадавшим.

Вынужденно перемещенные жители пострадавших регионов были в том числе распределены в регион сооружения АЭС «Аккую» — провинцию Мерсин. Местные власти выделили в Ташуджу, Силифке, Буюкеджели, Атакенте и других населенных пунктах региона жилые помещения и свободный номерной фонд гостиниц. Пострадавших разместили и в жилом городке строителей АЭС «Аккую» в поселке Буюкеджели. Сотрудники проекта оказывали им адресную помощь — обеспечивали одеждой, продуктами питания, предметами первой необходимости.

### На фото

Работы по строительству АЭС «Аккую» продолжаются, никаких отклонений или повреждений от землетрясения на площадке не выявлено



Сотрудники представительства АО «АККУЮ НУКЛЕАР» в Москве также собирали гуманитарную помощь для пострадавших. В понедельник, 13 февраля, партия вещей — теплая одежда, одеяла, пауэрбанки, предметы первой необходимости — была доставлена из офиса компании в Москве в посольство Турецкой Республики в РФ, а оттуда в регионы бедствия.

На самой площадке строительства АЭС землетрясения практически не почувствовали. Тем не менее соответствующие службы тщательно проверили целостность конструкции строящихся зданий и сооружений.

По запросу Управления по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций Турции (AFAD) решением генерального директора АО «АККУЮ НУКЛЕАР» в регион бедствия были направлены 15 сотрудников службы пожарной безопасности АЭС «Аккую» со спецтехникой для оказания помощи в тушении пожара, возникшего после землетрясения в морском порту города Искендерун. Пожарные успешно справились с задачей и вернулись в расположение пожарной части на площадке АЭС «Аккую».

«Мы делаем все возможное, чтобы оказать всестороннюю помощь пострадавшим, всячески поддерживаем наши добровольные спасательные команды в зоне бедствия. Мы действуем в тесной координации с турецким МЧС и другими оперативными службами региона, местными властями», — отметила генеральный директор АО «АККУЮ НУКЛЕАР» Анастасия Зотеева.

В воскресенье, 12 февраля, специальный авиаборт госкорпорации «Росатом» доставил из России



**Сергей Буцких**

Первый заместитель генерального директора АО «АККУЮ НУКЛЕАР» — директор строящейся АЭС:

— После подтверждения информации о землетрясении была проведена комплексная проверка. Специалисты отдела охраны труда и защиты персонала, отдела промышленной безопасности с привлечением геодезической службы выполнили контроль всех сооружаемых зданий, строений, башенных кранов, строительных лесов, цехов по производству строительных материалов и складских помещений. По результатам проверки никаких повреждений не выявлено.

в аэропорт города Аданы около 500 кг гуманитарной помощи. На обратном пути самолет при координационной поддержке посольства РФ в Турции вернулся в Москву 39 россиян, проживавших в непосредственной близости от зоны землетрясения.



**На фото**

Сотрудники АЭС «Аккую» приняли активное участие в разборе завалов, координации поисково-спасательных работ и доставке гуманитарной помощи пострадавшим

## Стройплощадка АЭС «Аккую»: обеспечение сейсмобезопасности

20 февраля на юго-востоке Турции были зафиксированы подземные толчки магнитудой до 6,4 с эпицентром в провинции Хатай, землетрясение ощущалось в том числе в провинции Мерсин, где идет строительство АЭС «Аккую».

По результатам проверки, проведенной специалистами АО «АККУЮ НУКЛЕАР», никаких отклонений или повреждений не выявлено. Строительно-монтажные работы на площадке АЭС «Аккую» продолжают, все этапы строительства тщательно контролируются независимыми инспекционными организациями и национальным регулятором — Агентством по ядерному регулированию Турции (NDK).

Отдел мобилизационной подготовки, ГО и ЧС, аварийных центров АО «АККУЮ НУКЛЕАР» сотрудничает с Управлением по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (AFAD). АО «АККУЮ НУКЛЕАР» продолжает оказывать поддержку пострадавшим от землетрясений в Турецкой Республике.

По данным карты землетрясений Турции Управления по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, площадка АЭС «Аккую» находится в пятой сейсмической зоне — самой безопасной по классификации зон землетрясений. За всю историю наблюдений в 50-километровой зоне вокруг площадки больших и разрушительных землетрясений не наблюдалось. Тем не менее проект АЭС «Аккую» рассчитан на максимальное расчетное землетрясение магнитудой до 9. Во время строительства АЭС ведется регулярный мониторинг сейсмической активности. Две сейсмостанции расположены на самой площадке строительства, еще 12 размещены в зоне 40 км от нее. Данные со станций собираются и передаются в центр обработки данных Обсерватории Кандилли и Института по исследованию землетрясений Турции. Анализ сейсмической активности на площадке ведется для уточнения и подтверждения параметров местности. Все здания и сооружения, в зависимости от их категории, рассчитаны на определенные нагрузки. Если в ходе мониторинга выяснится, что параметры местности изменились по сравнению с проектными, будет оперативно выполнен перерасчет и в случае необходимости реализованы мероприятия по укреплению тех или иных конструкций.

В период с 2011 по 2017 год в соответствии с современными требованиями законодательства Турецкой Республики, Российской Федерации и рекомендациями МАГАТЭ на площадке строительства АЭС «Аккую» выполнен комплекс мероприятий по инженерным изысканиям. Проведены геологические, геофизические и геотехнические исследования, включая исследования следующих территорий: региональных (в радиусе 300 км), близлежащих (в радиусе 25 км), прилегающих к стройплощадке (в радиусе 5 км) и самого участка атомной станции.

В целях проверки достоверности информации и исключения возможности ошибок исследования, связанные с угрозой возникновения землетрясений, проводились четыре группы независимо друг от друга: Обсерваторией Кандилли и Институтом по исследованию землетрясений Турции при Университете Богазичи (Турция), Институтом физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук (Россия), компаниями WorleyParsons (Австралия) и RIZZO (США). Исследования подтвердили соответствие параметров площадки «Аккую» всем существующим нормативным требованиям для сооружения АЭС.

По итогам переоценки проектов атомных станций после событий на АЭС «Фукусима», для АЭС «Аккую» была дополнительно выполнена проверка на устойчивость к землетрясениям, превышающим по интенсивности сейсмическое воздействие максимального расчетного землетрясения (МРЗ) на 40%. Результаты оценки демонстрируют, что основные системы, конструкции и оборудование обладают достаточными запасами для восприятия нагрузок при землетрясении интенсивностью МРЗ и устойчивы к нагрузкам на уровне МРЗ + 40%. Внутренняя защитная оболочка контейнента в случае такого воздействия останется герметичной, а железобетонные конструкции здания реактора сохранят прочность. Выход радиоактивных веществ за пределы контейнента в результате сейсмического воздействия уровня МРЗ + 40% исключен (данные Отчета по стресс-тестам АЭС «Аккую», WorleyParsons Energy Services, 2018 г.).

Нулевая отметка основных зданий и сооружений АЭС «Аккую» находится на высоте 10,5 м над уровнем моря. При этом высота сооружаемой защитной дамбы будет составлять +12,5 м от уровня моря. Комплекс мер инженерной защиты на площадке строительства АЭС «Аккую» обеспечивает защиту от воздействия осадков, селей и наводнений, а также повышения уровня мирового океана.

В соответствии с действующими требованиями, национальный отчет Турецкой Республики о стресс-тестах АЭС «Аккую» подготовлен для рассмотрения Европейской группой по надзору в сфере ядерной безопасности (ENSREG). Согласно отчету, в проекте АЭС «Аккую» на протяжении всего срока эксплуатации заложен запас повышения уровня мирового океана на 1 м вследствие глобального потепления. Одновременно проект учитывает вероятность сочетания ряда факторов, включая повышение уровня мирового океана, образование ветровой волны, прилив, штормовой нагон волны, барометрические эффекты и сезонные колебания уровня воды. В результате учета сочетания этих факторов площадка АЭС «Аккую» защищена даже в случае повышения уровня моря на 8,63 м. При этом, согласно расчетам, максимальная высота потенциального цунами в регионе площадки строительства АЭС с учетом эффекта морских гидротехнических сооружений станции может составить до 6,55 м с вероятностью возникновения такого цунами один раз в 10000 лет.

# Зеленый курс

В Москве состоялся IV Международный форум-выставка «Чистая страна»

**Более пяти тысяч человек стали участниками четвертого форума «Чистая страна», который прошел в Технопарке «Сколково» с 1 по 3 марта. В числе главных тем мероприятия — вопросы технологической и экологической безопасности, работа в области обращения с ТКО, инструменты зеленого финансирования, экономические перспективы использования вторичных ресурсов, а также применение механизма расширенной ответственности производителя. Партнерами форума выступили крупные российские компании, в том числе Федеральный экологический оператор (ФЭО), входящий в структуру Росатома.**

«Взгляд в будущее» — так называлась открывшая форум пленарная сессия, на которой собрались представители власти, бизнеса, науки со всей России. Этот взгляд оказался вполне оптимистичным. Исходя из выступлений участников можно сделать вывод, что все введенные против российского бизнеса ограничения, по всей видимости, не достигли цели — регионы, компании и организации добиваются поставленных целей и ставят новые.

На форуме подчеркивалось, что в российской политике экологическое направление занимает одно из самых важных мест. В своем обращении к участникам мероприятия вице-премьер правительства РФ Виктория Абрамченко рассказала об экологической повестке и необходимости совместной работы в сложившихся условиях. «Сегодня как никогда важно всем нам объединиться и, несмотря на все трудности, продолжить движение вперед. Ведь именно сейчас мы закладываем фундамент будущего для наших детей», — подчеркнула Виктория Абрамченко.

## Растить кадры

Участники форума сошлись во мнении, что без подготовки профессионалов, а также без укрепления научной базы технологическая и экологическая безопасность страны невозможна.

Первый заместитель председателя Комитета Госдумы по науке и высшему образованию Александр Мажуга подчеркнул необходимость изменений в подготовке специалистов и активизации научной работы по экологическим направлениям. «Три ключевых вещи, на которые хотелось обратить внимание.

Первое — это подготовка кадров, пересмотр существующих программ. Второе — это вопросы, связанные с наукой: все, что связано с очисткой воздуха и переработкой отходов I и II классов опасности. И третье — это акцент на инструментах взаимодействия образования, науки и экономики», — заявил Александр Мажуга на пленарной сессии форума.

Заместитель министра природных ресурсов и экологии РФ Дмитрий Тетенькин, со своей стороны, заверил, что вопросы подготовки кадров постоянно звучат в российском правительстве. Уже в этом году в 30 вузах откроются экоклубы, которые помогут выпускникам трудоустроиться в компании, занятые в экономике замкнутого цикла. Также он сообщил, что сейчас разрабатываются образовательные стандарты по новому направлению подготовки высшего образования «Заповедное дело».

Крупные компании, участвовавшие в форуме «Чистая страна», поделились своим опытом по привлечению специалистов для решения различных задач в области экологии. Так, представители Росатома рассказали, что госкорпорация осуществляет образовательный проект по подготовке молодежи к работе в экотехнопарках, где будут необходимы 3,5 тыс. новых специалистов к 2025 году.

## Воздух будет чище

К решению задачи по существенному снижению вредных выбросов представители Минприроды РФ, регионов и крупных предприятий ищут общие подходы. Например, законопроект о достижении квот в рамках проекта «Чистый воздух», который Минприроды РФ в ближайшее время вносит в Госдуму, прошел обсуждение с Российским союзом промышленников и предпринимателей, а также с крупными предприятиями. «Мы договорились по всем позициям. И, надеюсь, в ближайшее время такой закон примем», — заявил первый заместитель министра природных ресурсов и экологии Константин Цыганов.

Также он сообщил, что в рамках проекта «Чистый воздух» Минприроды создало цифровую платформу для предприятий, которые устанавливают средства автоматического контроля выбросов. На этой платформе предприятия будут иметь возможность заказать такие системы, а производители смогут размещать свою продукцию. Планируется, что промпредприятия будут оснащаться системами контроля, данные с которых будут передаваться в Росприроднадзор. Таким образом у предприятий не будет возможности осуществлять незаконные выбросы, а контрольные органы

## Подробности

**Международный форум-выставка «Чистая страна»** — крупнейшее в стране мероприятие, посвященное реализации всех направлений нацпроекта «Экология». В нем каждый год принимают участие руководители федеральных министерств и агентств, губернаторы, руководители ведущих промышленных предприятий, разработчики природоохранных технологий, производители техники и известные общественные деятели из большинства регионов России.

обязательное проведение санитарных экспертиз, что делает невозможным передачу нуждающимся мясной и молочной продукции.

## Русский Север

В течение всех трех дней работы форума обсуждались проблемы северных регионов. Одна из тем — деградация вечной мерзлоты, которая несет опасность для инфраструктуры и климата. Некоторые компании и отдельные регионы уже ведут наблюдение за состоянием криолитозоны своими силами, а в ближайшее время экологический мониторинг вечной мерзлоты будет запущен на базе Росгидромета.

Представители Минприроды РФ заверили, что полученные данные будут общедоступными и помогут в будущем делать более точными прогнозы по изменению климата на планете и разрабатывать необходимые экологические меры.

На форуме была отмечена туристическая привлекательность русской Арктики. По данным проектного офиса «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма», в 2022 году более 110 тыс. человек посетили 32 особо охраняемые природные территории в Арктической зоне в целях экотуризма.

## Вместе — чистая страна

На полях форума «Чистая страна» был анонсирован целый ряд экологических событий, в которых смогут принять участие все жители страны. Это всероссийская акция «Вода России», акция «Выбираю чистый воздух», форум-фестиваль волонтеров проекта «Чистая Арктика», мероприятия платформы «Россия — страна возможностей», акции по высадке лесов и многие другие.

Одним из самых масштабных и ярких экособытий года должен стать автопробег мусоровозов «Чистая страна». «Пробег стартует 11 сентября из Москвы. Мы отправимся на юг России. Ключевая точка маршрута — Грозный, закончится пробег в Махачкале», — рассказал исполнительный директор ассоциации «Чистая страна» Руслан Губайдуллин. В оргкомитете пробега уточнили, что автоколонна проедет по следующим городам: Москва, Тамбов, Волгоград, Элиста, Ставрополь, Нальчик, Грозный, Махачкала.

смогут отслеживать реализацию планов компаний по достижению квот.

## Меры поддержки региональных операторов

Очевидно, что одними из первых ощущают на себе негативные экономические последствия компании, работающие с населением. Правительство оказывает поддержку региональным операторам в целях обеспечения достойного качества жизни людей. Региональные операторы оценивают объем текущей государственной поддержки в пределах от 5,5 до 7,5% от совокупной выручки, что соразмерно с поддержкой, оказанной в рамках «ковидной» субсидии.

В числе недавних утвержденных правительством мер — возможность закупки оборудования по системе параллельного импорта, отсрочка уплаты обязательных платежей, а также изменение сроков утверждения инвестпрограмм и возможность перераспределения расходов, учтенных в тарифах в рамках инвестпрограмм на 2022–2023 годы. Кроме того, был уменьшен максимальный срок эксплуатации транспортных средств и принято решение об обнулении таможенных пошлин для компаний, работающих с отходами. Заместитель министра природных ресурсов и экологии РФ Дмитрий Тетенькин заверил, что в зависимости от ситуации спецмеры могут быть продлены и дополнены.

## Вторая жизнь еды

Уже давно региональные операторы просят ввести запрет на захоронение на полигонах пищевых отходов. Современные технологии компостирования позволяют с пользой перерабатывать органику, кроме того, сократить образование этого вида отходов помогают проекты фудшеринга, но они сталкиваются со сложностями на законодательном уровне.

Руководитель направления по взаимодействию с органами власти движения «Раздельный сбор» Анна Гаркуша на одной из сессий форума заявила о необходимости создания в России единого определения пищевых отходов и проведения их инвентаризации.

По мнению заместителя генерального директора компании «ЭкоЛайн» Елены Вишняковой, все типовые проекты комплексов по переработке отходов должны предусматривать технологии компостирования и не получать без этого финансирование от государства.

Юлия Назарова, президент благотворительного фонда «Банк еды «Русь», который занимается фудшерингом, рассказала, что в России невозможно посчитать точный объем продовольственных потерь. При этом, по ее мнению, для того чтобы оказать помощь большинству нуждающихся, достаточно 1,2 млн тонн продуктов.

Представители торговых сетей в дискуссиях на форуме указали на ряд барьеров, мешающих осуществлять такую работу. Среди них — начисление НДС на продукцию, переданную на благотворительность, а также

# Глобальный рынок электроэнергии: точки роста

По прогнозам МЭА, мировая потребность в электроэнергии будет расти, а дополнительный спрос будет в основном удовлетворяться за счет возобновляемых источников и ядерной энергетики

Вопрос надежности и доступности электроснабжения занимает важное место в глобальной политической повестке. Опубликованный в феврале отчет Международного энергетического агентства (МЭА) «Рынок электроэнергии — 2023» содержит анализ текущего состояния мирового рынка и прогноз спроса и предложения на перспективу до 2025 года. Особое внимание в отчете уделяется всестороннему анализу ситуации в Европе, столкнувшейся в 2022 году с энергетическим кризисом, а также Азиатско-Тихоокеанскому региону с его быстро растущим спросом на электроэнергию и ускоренным внедрением экологически чистых источников. Знакомим читателей с основными положениями отчета.

## 1 Рост мирового спроса на электроэнергию в 2022 году замедлился лишь незначительно.

Мировой спрос на электроэнергию в прошлом году оставался устойчивым, несмотря на глобальный энергетический кризис. Спрос вырос почти на 2% (в период 2015–2019 годов средний показатель темпов роста составлял 2,4%). Электрификация секторов транспорта и отопления продолжала ускоряться во всем мире, этому способствовало рекордное

количество электромобилей и тепловых насосов, проданных в 2022 году.

Эксперты МЭА оценили рост спроса на электроэнергию в Китае в 2,6%, что значительно ниже среднего допандемического показателя, составившего более 5% в 2015–2019 годах. Спрос в Индии вырос значительно — на 8,4% — из-за сочетания устойчивого постпандемического восстановления экономики и очень высоких температурных показателей в летний период. В США зафиксирован рост в 2,6% в годовом исчислении, что также было обусловлено экономической активностью и повышенным бытовым использованием электроэнергии для удовлетворения потребностей населения как в отоплении, так и в кондиционировании в условиях более жаркого лета и более холодной, чем обычно, зимы.

Однако экономический спад, рекордные цены на энергоносители и, как следствие, высокие цены на электроэнергию ограничили рост спроса в большинстве регионов мира. Потребление электроэнергии в Евросоюзе показало снижение на 3,5% в годовом исчислении. Именно этот регион особенно сильно пострадал от высоких цен на энергоносители, которые стали причиной значительного снижения спроса среди промышленных потребителей. Исключительно мягкая зима оказала дополнительное понижающее давление на потребление электроэнергии. Это было второе по глубине падение потребления электроэнергии в ЕС после мирового финансового

кризиса 2009 года (рекорд принадлежит 2020 году, когда наблюдалось наибольшее падение из-за пандемии COVID-19).

## 2 В Евросоюзе в 2022 году увеличилась выработка электроэнергии с использованием газа, атомная и гидрогенерация сократились.

Атомная генерация в Евросоюзе в 2022 году показала результат на 17% ниже, чем годом ранее. Это обусловлено закрытием АЭС в Германии и Бельгии (хотя Германия отсрочила остановку трех оставшихся энергоблоков) и рекордно низкой выработкой на АЭС Франции из-за текущих ремонтов и других проблем атомного парка страны.

Из-за засушливой погоды производство гидроэлектроэнергии в прошлом году в Европе было особенно низким. В Италии выработка на ГЭС упала более чем на 30% по сравнению со средним уровнем 2017–2021 годов, в Испании — сопоставимые показатели. Во Франции зафиксировано снижение выработки гидроэлектростанциями на 20% по сравнению с предыдущим пятилетием.

Сокращение атомной генерации и низкий баланс гидроэнергетики в Европе в сочетании с осуществленным ранее выводом из эксплуатации тепловых электростанций оказывали дополнительное давление на оставшиеся мощности. В некоторых европейских странах существовал повышенный риск отключения электроэнергии в течение нескольких зимних недель. В результате, хотя генерация с использованием ВИЭ увеличилась, а рекордно высокие цены на газ поддержали переход с газа на уголь, газовая генерация в 2022 году в ЕС выросла на 2%.

Вышеперечисленные факторы также вызвали существенные изменения в традиционном балансе импорта и экспорта: Франция и Великобритания стали импортерами электроэнергии впервые за несколько десятилетий.

## 3 Ожидается, что глобальный спрос на электроэнергию в период 2023–2025 годов будет расти на 3% ежегодно.

По мнению экспертов МЭА, в течение следующих трех лет более 70% роста мирового спроса на электроэнергию будет обеспечиваться Китаем, Индией и Юго-Восточной Азией. Рост экономики в странах с формирующимся рынком и в развивающихся странах сопровождается соответствующим ростом спроса на электроэнергию. В то же время страны с развитой экономикой увеличивают усилия по декарбонизации транспортного, отопительного и промышленного секторов, что также увеличивает потребность в электроэнергии. Общий прирост мировой потребности до 2025 года оценивается примерно в 2500 ТВт·ч, что более чем в два раза превышает текущее годовое потребление в Японии.

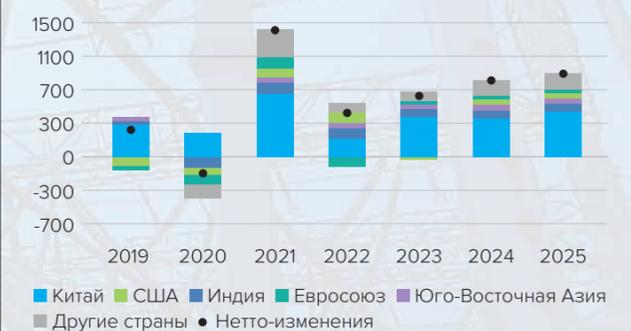
Электроэнергия занимает центральное место во многих сферах жизни современного общества, и эта роль, очевидно, будет только расширяться благодаря в том числе увеличению доли электротранспорта и более широкому использованию электричества для отопления. Производство электроэнергии сейчас является крупнейшим источником выбросов CO<sub>2</sub> во всем мире, но именно этот сектор лидирует в процессе перехода к нулевым выбросам за счет быстрого наращивания производства с использованием ВИЭ. Отчет МЭА о рынке электроэнергии публикуется с 2020 года. Тематика документа выходит за рамки вопросов энергетики и климата, так как электроснабжение напрямую влияет на экономику государств, региональное развитие, бюджеты предприятий и домохозяйств и многие другие сферы.

Прогнозируется, что доля Китая в мировом потреблении электроэнергии к 2025 году увеличится до 1/3 (в 2015-м этот показатель составлял 1/4). Однако в отношении этого показателя существует неопределенность: Китай ослабил ковидные ограничения в начале декабря 2022 года, но экономические последствия такого шага в полной мере пока остаются неясными.

## 4 Достигнув рекордного максимума в 2022 году, выбросы, связанные с генерацией электроэнергии, выйдут на плато к 2025-му.

Глобальные выбросы CO<sub>2</sub> от производства электроэнергии в прошлом году росли со скоростью, близкой к среднему показателю 2016–2019 годов. Их увеличение на 1,3% в 2022 году — это значительное замедление по сравнению с ростом на 6% в 2021-м, обусловленным восстановлением мировой экономики от ковидного шока. Тем не менее общие выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с производством электроэнергии, достигли в 2022 году рекордного уровня.

Изменение спроса на электроэнергию по регионам, 2019–2025 гг., ТВт·ч



Источник: МЭА

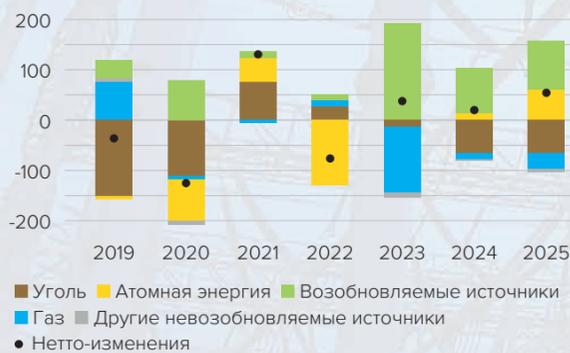


Европа вновь, после 2021 года, обновила рекорд роста выбросов CO<sub>2</sub> от производства электроэнергии, он составил 4,5% в годовом исчислении и стал самым высоким со времени нефтяных кризисов 1970-х годов. Без учета 2021 года, когда наблюдалось постпандемическое восстановление экономики, в прошлом году в ЕС также наблюдался самый высокий абсолютный рост выбросов при производстве электроэнергии с 2003 года. Это произошло в основном из-за увеличения доли угольной генерации электроэнергии — более чем на 6%. Такой результат резко контрастирует с показателями периода 2015–2019 годов, когда в среднем угольная генерация снижалась почти на 8% ежегодно.

Однако эксперты МЭА считают, что эта тенденция в Европейском союзе будет временной, поскольку выбросы при производстве электроэнергии, как ожидается, будут сокращаться в среднем примерно на 10% в год в следующие три года. В этот период прогнозируется резкий спад ежегодных объемов сжигаемого угля (в среднем на 10%) и газа (в среднем почти на 12%) по мере наращивания возобновляемых источников энергии и восстановления атомной генерации.

Мировое производство электроэнергии как из природного газа, так и из угля до 2025 года останется в целом неизменным. По прогнозам, газовая генерация в Евросоюзе сократится, но ее значительный рост на Ближнем Востоке частично компенсирует это снижение. Падение производства на угольных электростанциях в Европе и Америке будет сопровождаться ростом в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Тенденции генерации на ископаемом топливе по-прежнему зависят от ситуации в мире: основное влияние здесь оказывают погодные явления, цены на топливо и государственная политика. Развитие событий в Китае, где сосредоточено более половины мировой угольной генерации, останется ключевым фактором.

Источники генерации электроэнергии в Евросоюзе, 2019–2025 гг., ТВт·ч



Источник: МЭА

Прогнозируется рост доли возобновляемых источников энергии в мировом энергобалансе с 29% в 2022 году до 35% в 2025-м. Предполагается, что в результате выбросы при производстве электроэнергии в мире стабилизируются к 2025 году, затем ожидается дальнейшее снижение интенсивности выбросов CO<sub>2</sub>.

### 5 Источники с низким уровнем выбросов, включая атомную энергию, должны покрывать почти весь дополнительный спрос до 2025 года.

ВИЭ и атомная энергия будут доминировать среди источников, за счет которых будет обеспечиваться рост глобального электроснабжения в течение следующих трех лет. Ожидается, что вместе они будут удовлетворять более 90% дополнительного спроса. На Китай приходится более 45% роста доли возобновляемых источников в общей генерации в период 2023–2025 годов, за ним следует ЕС с 15%. Существенный рост доли ВИЭ должен сопровождаться ускоренными инвестициями и гибкой интеграцией с существующими энергосистемами.

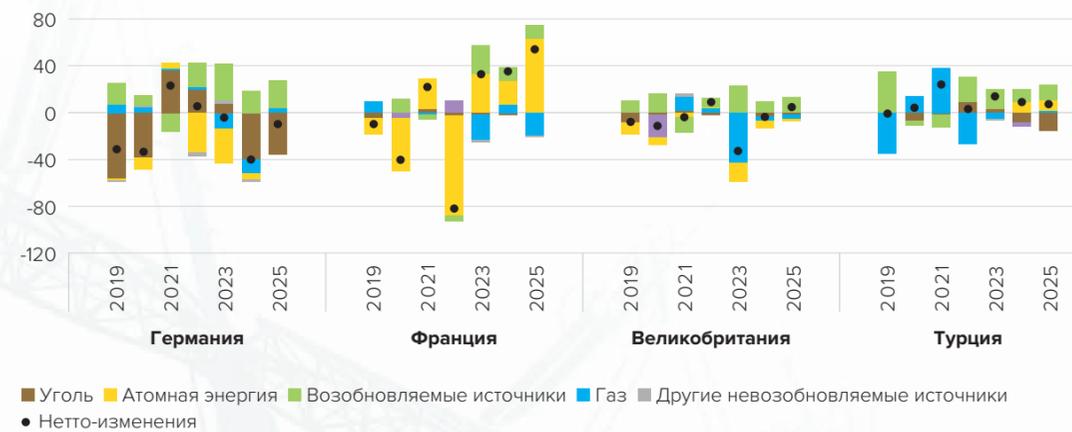
Энергокризис возродил интерес к роли атомной энергетики, которая содействует энергетической безопасности, сокращению выбросов CO<sub>2</sub> и надежности выработки электроэнергии. В Европе и США пока ведутся дискуссии о будущей роли атомной энергии в энергетическом балансе, но в других регионах уже наблюдается ускоренное развертывание атомных станций. Как результат, мировое производство атомной энергии вырастет в среднем почти на 4% в период с 2023 по 2025 год, что значительно выше темпов в 2% за 2015–2019 годы. Это означает, что в каждый из следующих трех лет около 100 ТВт·ч электроэнергии будет дополнительно произведено на атомных станциях.

Более половины ожидаемого к 2025 году прироста мировой атомной генерации приходится на четыре страны: Китай, Индию, Японию и Корею. Среди этих стран Китай лидирует по абсолютному росту с 2022 по 2025 год (+58 ТВт·ч), в Индии ожидается самый высокий процентный рост (+81%), далее следует Япония (это стало результатом усилий японского правительства, направленных на снижение зависимости от импорта газа и укрепление энергетической безопасности). За пределами Азии французский атомный парк обеспечит более трети абсолютного прироста мировой атомной генерации до 2025 года по мере его постепенного восстановления.

### 6 Цены на электроэнергию остаются высокими во многих регионах.

Рост оптовых цен на электроэнергию был наиболее выражен в Европе, где цены в среднем стали более чем в два раза выше, чем в 2021 году. Исключительно мягкая зима 2022/23 года в Европе помогла сдержать оптовые цены на электроэнергию, но они остаются высокими по сравнению с прошлыми

Источники генерации электроэнергии в отдельных странах Европы, 2019–2025 гг., ТВт·ч



Источник: МЭА

годами. Повышенные фьючерсные цены на газ на зимние месяцы 2023/24 года отражают неопределенность относительно его поставок в Европу в следующем году.

В ЕС наблюдается широкий спектр ответов на энергетический кризис. Чтобы уменьшить зависимость от ископаемого топлива и повысить устойчивость к ценовым шокам, Еврокомиссия в мае 2022 года опубликовала план REPowerEU, призванный ускорить внедрение экологически чистой энергии, и начала консультации по реформе энергетического рынка. Для ослабления воздействия роста цен на потребителей многие страны ввели такие меры, как регулирование оптовых и розничных цен на электроэнергию, снижение НДС и прямые субсидии. По мнению экспертов МЭА, такие меры могут помочь смягчить последствия энергетического кризиса, однако потенциальное создание неопределенности в инвестиционном ландшафте должно быть сведено к минимуму. Это должно гарантировать, что антикризисные меры не осуществляются за счет необходимых инвестиций в развитие энергетики.

Прогнозируется, что доступность электроэнергии по-прежнему будет проблемой для многих стран. Во всем мире более высокие затраты на производство электроэнергии в 2022 году вызваны ростом цен на энергоносители. Но рост стоимости был более умеренным в странах с регулируемыми тарифами и долгосрочными контрактами на поставку топлива, а регионы, зависящие от краткосрочных контрактов, серьезно пострадали. В частности, рекордно высокие цены на СПГ вызвали трудности в странах Южной Азии, что выразилось в отключении и нормировании электроэнергии в государствах региона. Если цены на сырье останутся повышенными, закупка топлива по-прежнему будет серьезной

проблемой для стран с формирующимся рынком и развивающихся стран.

### 7 Экстремальные погодные явления подчеркивают необходимость повышения надежности и устойчивости поставок электроэнергии.

В условиях, когда и спрос, и предложение электроэнергии во всем мире становятся все более зависимыми от погоды, энергобезопасность требует повышенного внимания. Наряду с высокой стоимостью электроэнергии, мировые энергетические системы в прошлом году также столкнулись с проблемами, связанными с экстремальностью погодных явлений. Помимо засухи в Европе, волны тепла зафиксированы в Индии, где наблюдался самый жаркий март за более чем вековой период, что привело к самому высокому за всю историю страны пику потребления электроэнергии. Точно так же Центральный и Восточный Китай пострадал от волн тепла и засухи, которые повысили спрос на фоне сокращения выработки гидроэлектроэнергии в провинции Сычуань. В США в декабре наблюдались сильные шторма, спровоцировавшие массовые отключения электроэнергии.

В отчете подчеркивается, что для смягчения процесса изменения климата требуется более быстрая декарбонизация и ускоренное развитие чистых энергетических технологий. С другой стороны, по мере того как зеленый энергопереход будет набирать обороты, влияние погодных явлений на спрос на электроэнергию может еще больше увеличиваться из-за электрификации отопления и роста доли возобновляемых источников энергии, зависящих от погоды. В таких условиях повышение гибкости энергосистем при обеспечении надежности и устойчивости поставок электроэнергии будет иметь решающее значение.



# Атомный сторителлинг

Как в ИЦАЭ рассказывают о науке и технологиях детям и взрослым

Словосочетание «популяризация науки» в последние годы стало привычным, а профессия научного коммуникатора, который выступает посредником между учеными и обществом, становится все более востребованной. Как рассказывать о науке и атомных технологиях точно и при этом увлекательно, знают сотрудники сети Информационных центров по атомной энергии (ИЦАЭ): сама система работы в региональных центрах построена таким образом, что популяризация научных знаний сочетается с неформальностью подачи, сопровождаемая яркой визуализацией, а зрители становятся участниками диалога с экспертами — учеными, сотрудниками

предприятий атомной отрасли, научными журналистами.

Атомная наука — направление, объединяющее не только научно-исследовательские институты и конструкторские бюро, входящие в госкорпорацию «Росатом», но и другие организации. Так, например, одним из участников программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года» стал Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН). Чем же занимаются его сотрудники и как они рассказывают о своей работе в ИЦАЭ Нижнего Новгорода?



— Если говорить общими словами, то я занимаюсь физикой взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Более конкретно — сверхбыстрыми процессами, которые протекают при воздействии очень коротких импульсов света (или излучения других диапазонов) на металлы, полупроводники, графен и другие среды.

Мы привыкли к тому, что действие света на предметы вокруг нас либо вообще никак не проявляется, либо сводится к небольшому нагреву. То же самое касается и других видов электромагнитного излучения: например, СВЧ-волны вообще не видны глазом и в повседневной жизни могут разве что помочь с разогреванием обеда.

В современной физике и технике все становится намного интереснее. Дело в том, что ученые и инженеры продвигаются глубже и глубже по шкале времени: от тысячных долей секунды к миллиардным, триллионным и так далее. Рекордно короткий импульс излучения, созданный в лаборатории, имеет длительность менее 50 аттосекунд (атто- — это  $10^{-18}$ , одна миллиардная от одной миллиардной секунды).

Даже если не касаться рекордов, мы не слишком задумываемся, что обычный смартфон переваривает одну порцию информации менее одной наносекунды (то есть одной миллиардной доли секунды). Становится обыденной коррекция зрения с помощью фемтосекундного лазера. Многие менее очевидные и не менее важные роли сверхбыстрых процессов скрыты от обывателя внутри сложных промышленных технологий. Дальнейший прогресс в этой области требует более глубокого понимания физики, «закопанной» на временных масштабах порядка одной триллионной секунды и менее.

Мы с коллегами исследуем целый набор таких явлений, которые оказываются тесно связанными между собой: структурирование поверхностей с помощью мощных световых импульсов, изменение цвета (спектра) излучения при отражении от разных сред, ионизация и разрушение металлов и полупроводников под действием света, сопутствующая генерация других электромагнитных волн и многое другое. Физика здесь действительно становится очень непривычной: например, в одной точке вещества могут одновременно существовать две разных температуры (десятки тысяч градусов у электронов и комнатная температура у кристаллической решетки), ток может какое-то время течь по замкнутому кругу, а закон преломления света перестает работать.

Лично я занимаюсь теорией этих процессов, то есть в первую очередь придумываю физические модели, которые позволили бы лучше понять результаты экспериментов или предсказать новые интересные эффекты. В Институте прикладной физики РАН есть несколько установок, на которых проводятся такие измерения, и поэтому я регулярно делюсь идеями с коллегами-экспериментаторами или получаю от них новые данные. Конечно же, получить что-то сперва на бумаге, а затем увидеть подтверждение вживую — самая большая (и не самая частая) радость теоретика.

Научно-популярные лекции о своей работе мне даются непросто, поскольку рассказывать совсем поверхностно не хочется, а идти до сути достаточно долго. Если честно, я при подготовке выступлений порой завидую коллегам с более наглядными темами. Обычно вводная часть моих лекций занимает процентов девяносто времени, а иногда и все сто. Тем не менее меня это не слишком расстраивает, поскольку объяснить хоть что-то — важнее, чем напугать слушателей непонятными числами или картинками.

Я уверен, что рассказ о научных результатах является нашим социальным обязательством перед обществом, своего рода неформальным отчетом о потраченных средствах. Однако хочу отметить, что популяризация важна не только для публики, но и для самих ученых. Это и школа публичных выступлений, и отличный шанс взглянуть на свою работу со стороны. Удивительно, но иногда участие в развлекательном (казалось бы) мероприятии приводит и к новым научным идеям. Здесь главное — найти баланс между наукой и рассказами о ней.



Иван Оладышкин

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН, участник проекта Science drama в ИЦАЭ

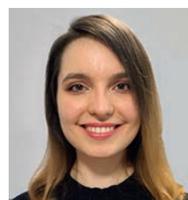
## Комментарий



Сергей Колесников

Руководитель ИЦАЭ Нижнего Новгорода:

— Мы очень любим приглашать атомщиков. Среди наших гостей сотрудники и филиала МГУ в Сарове, и «ОКБМ Африкантов», и АСЭ. Мы предлагаем им стать спикерами наших научно-популярных ток-шоу и, конечно, видим, какой позитивный отклик вызывают их выступления у наших гостей. Порой после окончания мероприятия посетители еще минут по 40–50 обсуждают со спикерами, что нужно сделать, чтобы мини-реактор стал реальностью, а маленький токамак на кухне вырабатывал электричество в каждой квартире. Такие проекты помогают увлечь наукой и атомными технологиями любых слушателей, от детей до родителей и даже бабушек и дедушек.



**Екатерина Смолина**

аспирант ИПФ РАН, участница проекта Science drama в ИЦАЭ

— Удивительные технологии, которыми мы восхищаемся при просмотре научно-фантастических фильмов и чтении подобных книг, невозможно себе представить без приборов высокоскоростной передачи информации. Для их изготовления современным ученым нужно придумать альтернативу электронным устройствам, которые уже достигли фундаментального предела. Такой заменой могут стать фотонные девайсы.

Однако фотоны (частицы света) могут сильно рассеиваться на дефектах, неизбежно возникающих при изготовлении прибора, и терять часть переносимой информации. Эту проблему позволяют решить так называемые топологические состояния света, при которых частицы огибают неоднородности вместо того, чтобы рассеиваться на них. Я занимаюсь исследованием этих удивительных состояний, и меня очень вдохновляет, что изучаемые мною сложные теоретические конструкции приближают фантастическое будущее.

Почему нужно популяризировать науку? Наука — это интересно. Наука — это про то, что вокруг нас. Почему небо голубое, что такое полярное сияние, как работает смартфон — это те вопросы, на которые

можно ответить, если обладать некоторыми физическими представлениями о мире. Важно, что, помимо ответа на фундаментальные вопросы об устройстве мира, наука помогает создать приборы, которые облегчают нашу жизнь сегодня. Оглянитесь вокруг — вы просто окружены вещами, принципы работы которых когда-то родились из идеи, навеянной физическими уравнениями. Поэтому я считаю, что особенно важно популяризировать науку среди детей, чтобы они не боялись технических предметов, а наоборот, заинтересовались тем, как просто можно описывать сложные явления. Может, кто-то из этих ребят даже захочет связать свою жизнь с наукой и станет нобелевским лауреатом!

В ИЦАЭ я участвовала в Science drama — проекте на стыке театра и науки. Это был невероятно позитивный, полезный и интересный опыт. «All the world's a stage», и любой популяризатор науки в некоторой степени актер. В научно-популярном выступлении в равной степени важны как его содержание, визуальный ряд (презентация), так и навыки публичного, в некоторой степени артистического выступления. Развить последнее помогают инициативы, подобные Science drama, поэтому я очень рада, что у меня была возможность стать частью этого проекта.

— Область моих исследований — вакуумная электроника, а точнее, мазеры на циклотронном резонансе. Звучит очень сложно, но на самом деле это в чем-то похоже на микроволновку, где есть мощный генератор СВЧ-излучения, которое можно направить на нужный объект и, например, нагреть его. У мазеров на циклотронном резонансе большое поле применения: от создания новых материалов с уникальными свойствами (например, искусственные алмазы) до нагрева плазмы в термоядерных источниках энергии, что можно назвать энергетикой будущего.

В своих научных лекциях я пытаюсь достичь нескольких целей. Во-первых, по возможности просто и понятно объяснить, чем я занимаюсь и зачем это нужно людям. Во-вторых, развить интерес к науке. И в-третьих, рассказать, что российская и, в частности нижегородская, наука находится на одном уровне с мировыми исследованиями.

Иногда мне приходится читать и научно-популярные лекции на темы, не связанные с моей научной специальностью, если есть конкретный запрос. Например, в 2021 году перед Новым годом в Парке науки ННГУ

мы проводили специальные праздничные лекции, и я там рассказывал, как работают гирлянды. Такие лекции интересны и мне самому, поскольку обычно позволяют узнать много нового и для себя.

Я достаточно часто выступаю в ИЦАЭ Нижнего Новгорода в самых разных амплуа. Например, на телемосте с Воронежем и Владимиром «Научная платформа 9 3/4» я провел урок для «студентов Хогвартса» по полетам на метле. Образно Нижний Новгород можно назвать «столицей метлостроения», потому что основы аэродинамики и самолетостроения изучают и в Нижегородском государственном техническом университете им. Р. Е. Алексеева, и в Образовательно-научном институте транспортных систем. В 1932 году в нашем городе был открыт авиастроительный завод «Сокол».

С участниками телемоста мы разобрали, реально ли летать на метле, с учетом всех законов аэродинамики, а также обсудили виды существующих летательных аппаратов. Мне было интересно участвовать в этом событии, поскольку оно позволяет на языке фантастических и сказочных вещей говорить о науке, о ее принципах и о достижениях техники.

А несколько лет назад сотрудники ИЦАЭ Нижнего Новгорода пригласили меня выступить в качестве эксперта на научно-популярном ток-шоу «Разберем на атомы: мужчина». Я рассмотрел мужчину как объект изучения физических наук. Согласитесь, рассматривать мужской организм в таких категориях, как теплоемкость, масса, радиоактивность, оптическая система, — весьма необычно.

По измеряемым параметрам — вес, рост, площадь тела и нормы по килокалориям — мужчины и женщины имеют незначительные различия. А наибольшее различие между ними лежит в области волновой физики. Оказалось, что мужчины плохо воспринимают звуки на высоких частотах и не разделяют слуховые потоки, у них хуже развито восприятие цвета и периферийное зрение. Именно поэтому женщины лучше справляются с поиском потерянных в доме предметов и реже становятся участниками ДТП с боковыми ударами.

Кроме того, мужчины более радиоактивны, чем женщины. Это связано с тем, что радиоактивность человека зависит в основном от содержания изотопа калий-40, который накапливается преимущественно в мышцах.

Пожалуй, самым запоминающимся форматом мероприятий ИЦАЭ для меня стал «Суд на супергероем». Я выступил в роли прокурора, а обвиняемым стал Тони Старк, один из супергероев вселенной «Марвел». Я доказывал, что и сам костюм Железного человека, и мини-реактор внутри его организма, и даже столь мощный искусственный интеллект, созданный Тони Старком, в реальности не могут существовать, потому что на данный момент технологии отстают от фантазии писателей и сценаристов.



**Антон Седов**

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН; участник интеллектуального шоу «Суд над супергероями», ток-шоу «Разберем на атомы» и мероприятия «Научная платформа 9 3/4» в ИЦАЭ

## Словарь ИЦАЭ

**Science drama** — синтез науки и искусства, читка пьесы, затрагивающей научные темы, в исполнении профессиональных актеров и артистичных ученых. После исполнения пьесы зрители угадывают, кто из героев пьесы служит в театре, а кто занимается научной деятельностью.

**Телемост** — мероприятие в гибридном формате: в нескольких центрах собираются зрители, и в прямом эфире проходит событие с одним общим сценарием. Как правило, в каждом городе есть свой спикер, которому зрители из других городов могут задать вопросы.

**«Разберем на атомы»** — научно-популярное ток-шоу, на котором три эксперта из разных областей науки разбирают одну и ту же тему с точки зрения своих научных интересов.

**«Суд над супергероем»** — научно-популярное ток-шоу, на котором ученые разбирают, могут ли суперспособности героев комиксов и научно-фантастических фильмов существовать с точки зрения науки.



**Федор Буйновский,**  
обозреватель «Вестника атомпрома»  
Иллюстрация сгенерирована нейросетью Midjourney

# Антропология ИИ

*Мир на пороге смены парадигмы в области технологий мышления*

**Приведет ли бурное развитие технологий искусственного интеллекта к цивилизационным потрясениям? Могут ли машины быть разумными? Появятся ли у вычислительных систем чувства? Станут ли роботы близкими нам существами? Эти вопросы в новой цифровой реальности становятся все более актуальными.**

## На сломе веков

В лекциях о современной европейской философии, которые были прочитаны Мерабом Константиновичем Мамардашвили студентам ВГИКа в 1978–1979 годах, выражается очень интересная мысль о том, почему современная — «другая» — философия пришла на смену классической философии или, вернее, почему понадобилась такая кардинальная смена мышления.

«Можно сказать в каком-то смысле, что вся современная культура и философия есть ответ, попытка осмыслить, переварить, освоиться с одним явлением, с одним историческим актом, а именно с Первой мировой войной (1914–1918 гг.). Но дело в том, что всякие такие попытки переварить Первую мировую войну диктуются теми же причинами, теми же пружинами, которые эту войну вызвали. На переломе веков действительно что-то происходило, что увенчалось (или увенчало себя) Первой мировой войной, совершенно непонятной для традиционной классической культуры, войной, которая не укладывалась ни в какие правила человеческого понимания, ни в какие навыки просвещения, рационализма, разума, — объяснял Мераб Мамардашвили. — ... Но пока будет уже хорошо, если мы знаем, что происходящее с нами сегодня есть то, что происходило в 1901 году, в 1905 году, знаем то, одним из симптомов чего была Первая мировая война, загадавшая загадку нашей привычной, традиционной цивилизации. Она загадала загадку тем, что не укладывалась в эту цивилизацию».

«Современная генетика. Я напишу на доске дату, когда это случилось. И она будет следующая — 1901 год.

Или квантовая теория — современная физика, самая что ни на есть современная, в том числе не только по дате, но и по определению, которое я приводил. То есть квантовая физика есть то, что, пользуясь привычным языком, понять нельзя, и нужно над собой приподняться, чтобы что-то сделать, и тогда услышишь то, что содержится в ее формулах. Напишу дату — 1900 год. Теория относительности — очень современная — 1905 год. Сезанн. Выставка Сезанна, если мне память не изменяет, — это 1904 год», — развивал мысль философ.

Так же и сейчас, как тогда, на сломе веков, наш мир снова стоит на пороге очередной глобальной смены парадигмы как в области фундаментальных наук, так и в области технологий мышления и в конечном счете, по мнению некоторых мыслителей, на пороге смены традиционной цивилизации. И прежде всего, конечно, это связано с бурным развитием технологий искусственного интеллекта.

## Первые шаги к искусственному интеллекту

Оказалось, что машины могут научиться не только расчетам, но и созданию предметов искусства — музыкальных, художественных, литературных произведений. А могут ли они приобрести такую чисто человеческую особенность, как эмоции?

Об этом писал Марвин Минский — один из первых исследователей в области искусственного интеллекта, чьи работы внесли значительный вклад в создание персонального компьютера и интернета. В 1951 году он сконструировал первую обучающуюся машину со случайно связанной нейросетью — SNARC. Вместе с Сеймуром Папертом Минский написал книгу «Перцептроны», ставшую фундаментальной основой для последующих разработок в области искусственных нейронных сетей.

Задолго до появления микропроцессоров и суперкомпьютеров Марвин Минский заложил фундамент для разработок в области искусственного интеллекта: показал, что компьютер можно научить способности разумно рассуждать. Также Минский

был консультантом фильма «2001: Космическая одиссея».

Марвин Минский, будучи уже в преклонном возрасте, продолжал научную деятельность. Так, в 2006 году вышла одна из его последних работ — книга «Машина эмоций» (The Emotion Machine), в ней ученый фактически подтверждает свою теорию, которой посвятил всю жизнь.

## Разум машин

Научный мир пришел к выводу, что книга «Машина эмоций» — это не просто рассмотрение роли эмоций в жизни человека и попытка перенести их в вычислительную систему. Самое главное — в книге есть связанная, нейробиологически точная картина человеческого мышления, что дает серьезные основания, чтобы воплотить его в виде вычислительной архитектуры на основе современных компьютеров. Книга абсолютно уникальна тем, что описывает психологические феномены с точки зрения создателей искусственного интеллекта, с точки зрения программистов. Она дает широкую картину того, как работает психика человека, как мы принимаем решения, как мы думаем, как мы рефлексируем, как мы творчески мыслим.

В «Машине эмоций» Минский говорит о том, что все явления, которые мы часто приписываем только людям и склонны рассматривать как исключительно человеческие, совершенно необязательно должны быть свойственны только нам — они могут быть свойственны и разумным машинам. Это очень сильное заявление. Первая глава книги так и называется — «Влюбляться» (Falling in Love). Минский убедительно раскладывает наши чувства на механизмы, которые, в сущности, говорят о том, что мы можем создать их внутри вычислительной системы, если будем использовать правильный подход: сначала понимать, что происходит с нами.

Марвин Минский создал модель мышления, которую сегодня ученые только начинают по-настоящему использовать. Его труды во многом еще не нашли применения в системах искусственного интеллекта, но их влияние в ближайшие десятилетия будет только нарастать. Минский много говорил и писал о создании сильного искусственного интеллекта, сравнимого с человеческим. Он смотрел на роботов как на близкие нам существа. Ученый настаивал, что обязательно нужно развивать робототехнику, создавать помощников. И он предупреждал исследователей, что нельзя создать искусственный интеллект путем «серебряной пули», панацеи. Необходимо рассматривать совокупность подходов и методов, которые мы используем каждый день, иначе мы часто упускаем детали, такие как эмоции.

В 1981 году в интервью журналу The New Yorker профессор Минский сказал: «Проблема интеллекта является бесконечно и, я бы сказал, безнадежно глубокой. Учитывая это, я не могу придумать ничего другого, над чем бы стоило работать». Это простые

и бесхитростные слова большого ученого — исследователя, философа и романтика.

## Исторические параллели

Сама идея создания искусственного интеллекта не нова, еще со времен античности люди хотели использовать технологии, которые занимают автоматизацией решения интеллектуальных задач. Автоматы Герона Александрийского и Антикитерский механизм (механическое устройство для расчета движения небесных тел) — тому свидетельства.

Прошло время, и в современном мире сформировались две державы, которые лидируют в области искусственного интеллекта, — это США и Китай. Они удерживают первенство по числу научных публикаций об ИИ, количеству патентов, стартапов, созданных моделей и технологий. В условиях, когда «ИИ в мире стал вторым электричеством», Россия не имеет права далеко отпустить конкурирующие государства в новой технологической гонке. По сути, сейчас ситуация повторяет 1940–1950-е и 1950–1960-е годы, когда СССР и США соревновались сначала в атомной, а потом в космической гонке.

Именно эта историческая параллель показывает важность «интеллектуального проекта» для России, вопрос только в том, сможем ли мы выиграть в этой гонке.

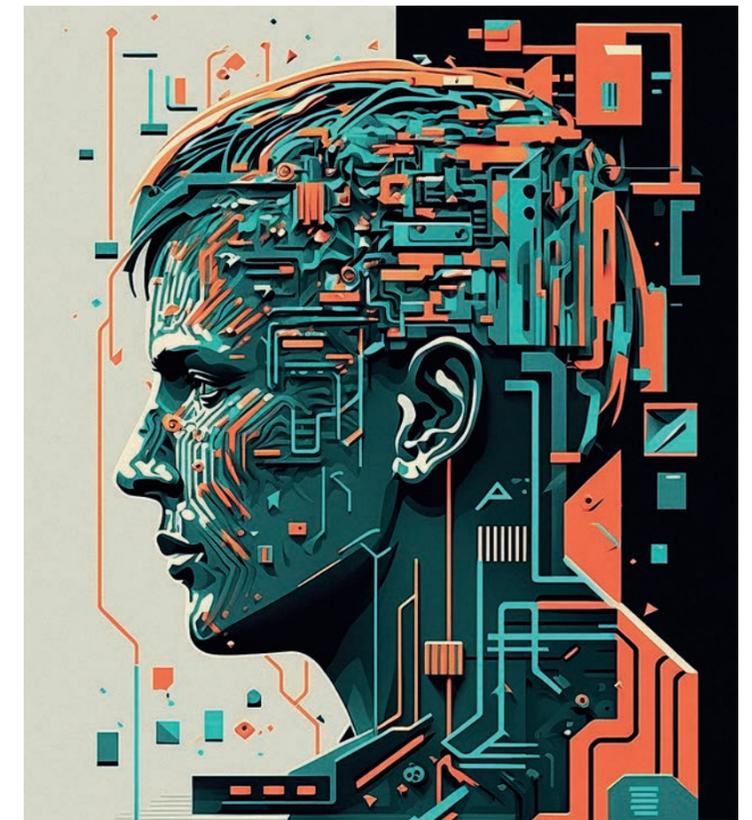


Фото: АЭС / Никита Грейдин

На первом энергоблоке АЭС «Руппур» установили транспортный шлюз. Через него впоследствии будут загружать и выгружать ядерное топливо



# Давай поделимся

## От А до Я!

От «Атомэнергомаша» до ЯОКа, от освоения Арктики до строительства наземных АСММ в Якутии, от атомной науки до ядерных прорывных технологий — телеграм-канал газеты «Страна Росатом» рассказывает о важных событиях от А до Я.

## Будьте в курсе!

В нашем телеграм-канале — горячие новости и оперативные комментарии, в том числе выходящие далеко за пределы отрасли.

## Выигрывайте призы!

Каждый месяц мы проводим конкурс среди подписчиков.

## Спрашивайте!

У вас есть уникальная возможность задать вопросы топ-менеджерам и ведущим экспертам.

Присоединяйтесь, с нами интересно! Чтобы подписаться, отсканируйте QR-код или вбейте в поиске StranaRosatom.

