

ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№ 7 | сентябрь | 2025

Главная тема

Атомная эволюция

Энергия созидания:
вчера, сегодня, завтра

В номере

Роботизация: технологический суверенитет 40

Технологии переработки ОЯТ 44

Персонализированная медицина 47



80 ЛЕТ
АТОМНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Уважаемые читатели!

2025 год проходит под знаком 80-летия атомной промышленности: в августе 1945 года, сразу после атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, работы по атомному проекту в СССР приобрели государственный масштаб. В кратчайшие сроки создав надежный ядерный щит, отрасль приступила к освоению мирного использования энергии атома. Огромный потенциал, накопленный благодаря этой работе, позволил отрасли выйти далеко за пределы ядерных технологий. Помимо традиционных сегментов, «Росатом» сегодня активно и успешно развивает целый ряд других направлений — от ветроэнергетики, аддитивных технологий, композитных материалов и систем накопления энергии до инфраструктурных решений и цифровых продуктов.

Мощная материально-техническая база, уникальные кадровые ресурсы, наработанный опыт успешной координации деятельности научных, проектных и конструкторских организаций, фокус на развитии перспективных технологий и создании инновационных продуктов определяют сегодня роль «Росатома» как лидера национального технологического суверенитета и способствуют выполнению задачи по достижению госкорпорацией глобального лидерства по ряду передовых направлений.

Мы в каждом номере нашего журнала подробно рассказываем о том, над чем атомная промышленность работает сегодня и какие перспективы открывает эта деятельность. Материалы главной темы этого номера помогут еще раз с благодарностью вспомнить и по достоинству оценить заслуги предшественников и увидеть, как фундамент, заложенный предыдущими поколениями атомщиков, стал основой современных достижений отрасли, которые дают возможность с уверенностью смотреть в будущее.

**ВЕСТНИК
АТОМПРОМА**

№ 7, сентябрь 2025 года

Информационно-
аналитическое
издание

Фото на обложке
«Росатом»

На фото: Шоу «Эра мечтателей»: как Прометей подарил людям огонь, так и ученые подарили миру атомную энергию

16+

Главный редактор
Долгова Ю. В.
dolgova@strana-rosatom.ru

Выпускающий редактор
Еременко О. В.

Дизайн и верстка
Балдин В. В.

Корректор
Бомбенкова А. Н.

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

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

**Отдел распространения
и рекламы**
Сазонова Т. С.
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 1980 экземпляров.
Цена свободная.
Дата выхода в свет: 30.09.2025

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. Зюбинская,
д. 6, стр. 2.
Тел.: +7 (968) 724-35-91
№ заказа: Аф-009/25.

	Содержание	
Главная тема	ФОТОРЕПОРТАЖ	«Эра мечтателей» 4 <i>Юбилейное шоу в Нижнем Новгороде — сага об истории, настоящем и будущем атомной отрасли</i>
	КОРОТКО	Гордость, вдохновение, мечта 6 <i>Лейтмотив юбилейного года</i>
	РЕАКТОРЫ	Как атом стал мирным 7 <i>Краткий экскурс в историю развития отечественной атомной энергетики: от первых реакторов к энерготехнологиям будущего</i>
	ЛЕДОКОЛЫ	Атомный. Ледокольный. Наш! 13 <i>Больше, мощнее, надежнее: от первого атомохода — к атомному флоту</i>
Главная тема ПРЯМАЯ РЕЧЬ	АСММ	Трудолюбивые малыши 20 <i>Когда в нашей стране появились первые АЭС малой мощности и почему это направление так важно для будущего атомной энергетики</i>
	ЦИФРОВИЗАЦИЯ	Атомная «цифра» 26 <i>От первых ЭВМ для АЭС — к современным ИТ-продуктам</i>
	МЕДИЦИНА	Точно в цель! 30 <i>На благо людей: отечественная ядерная медицина вчера, сегодня, завтра</i>
	Технологический суверенитет	«80 лет показали, что самые смелые фантазии могут реализоваться» 36 <i>Как экспозиция самого молодого научно-технического музея России помогает посетителям почувствовать гордость за свою страну и вдохновить на размышления о будущем</i>
Технологии	Технологический суверенитет	«До 2030 года число роботов в «Росатоме» необходимо довести до 6000» 40 <i>Александр Бутков, технический директор ООО «АтомИнтелМаш», — о том, как обеспечивается технологическая независимость страны в робототехнике</i>
	Технологии	РАО и стекло 44 <i>В научных институтах и на предприятиях «Росатома» отрабатывают новые технологии переработки ОЯТ</i>
	Горизонты	«Появятся всевозможные препараты во всевозможных дозировках» 47 <i>Как будет работать персонализированная медицина</i>
	ИЦАЭ	Реакторы-«зумеры», композитная мода и музыка сфер 51 <i>О чем узнали гости первого фестиваля науки «Кстати 80» на родине атомного проекта</i>
Книжная полка	Книжная полка	Переломный момент 56 <i>Какие вызовы ставит развитие ИИ и квантовых вычислений и сможет ли человечество с ними справиться</i>

Фото: «Росатом»

«Эра мечтателей»

20 августа 2025 года в Нижнем Новгороде состоялось масштабное шоу «Эра мечтателей», посвященное 80-летию отечественной атомной промышленности. На трибунах собрались около 30 тыс. человек, среди них более 20 тыс. сотрудников предприятий «Росатома» из 31 атомного города и не только.

В торжестве приняли участие первый заместитель руководителя Администрации Президента РФ, председатель наблюдательного совета госкорпорации «Росатом» Сергей Кириенко, генеральный директор госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев, представители федеральных и региональных органов власти.

В основе концепции «Эры мечтателей» преемственность поколений

атомщиков, которые на протяжении восьми десятилетий воплощали самые смелые мечты — от первых шагов атомного проекта до современных достижений в энергетике, медицине, освоении Арктики и космоса. «Это и концерт, и спектакль, и кадры старой кинохроники, и актуальные репортажи. Это фантастическая повесть и истории вроде бы самых обычных людей. Весь сценарий соткан из вашей жизни, из вашей работы», — так предварил шоу Алексей Лихачев.

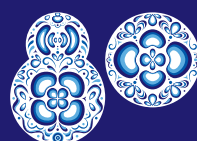
С «Эры мечтателей» стартовала череда юбилейных мероприятий, которые проходят в Москве и в крупных областных центрах. Отдельная программа предусмотрена для территорий атомных городов, где создаются ключевые технологии отрасли.





Телеверсия праздничного концерта «Эра мечтателей». Сканируйте QR-код и смотрите!

Гордость, вдохновение, мечта



75 ЛЕТ
АТОМНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Эти три слова определяют лейтмотив юбилейного года. Подвиг отцов-основателей атомной промышленности вызывает гордость. Достижения многих поколений атомщиков, научные открытия и технологические решения вдохновляют творить и создавать новое. А в основе решений и открытий, меняющих мир, — мечта, которая становится мощной энергией созидания и дает четкий вектор движения в будущее. Именно эта устремленность в будущее — к новым технологиям и научным открытиям — задает тон всей работе атомпрома.

Идеи, родившиеся в XX веке, сегодня помогают «Росатому» реализовывать самые невероятные проекты. Госкорпорация вышла за пределы только энергетических решений и создает высокотехнологичные продукты в самых разных отраслях промышленности.

Технологии ядерной медицины, разработанные атомщиками, позволяют врачам побеждать неизлечимые болезни. «Росатом» выводит на рынок технологии, позволяющие выращивать из клеток человека эквиваленты сосудов и в перспективе — целые органы для трансплантации.

Вместе с партнерами госкорпорация воплощает давнюю мечту о круглогодичном плавании в Арктике и меняет мировую логистику, стремясь сделать Северный морской путь эффективной транспортной артерией, связывающей Европу, Россию и Азиатско-Тихоокеанский регион.

Специалисты «Росатома» ведут большую работу по переходу на замкнутый ядерный топливный цикл, освоению технологий управляемого термоядерного синтеза, что откроет человечеству путь к экологически чистому и практически неисчерпаемому источнику энергии.

Атомщики модернизируют промышленность страны, внедряя аддитивные технологии, создавая продукты из композитных материалов и развивая принципы бережливого производства; вместе с партнерами возрождают отечественное авиа- и судостроение; создают в стране новую отрасль — электродвижение; работают над развитием квантовых вычислений; строят центры обработки данных в разных регионах страны; возводят ветропарки и создают экологически инфраструктуру для переработки промышленных и опасных отходов.

Материалы главной темы номера рассказывают всего о нескольких стартовавших в советское время направлениях из тех, что определяют сегодняшний передовой облик атомной промышленности нашей страны и формируют масштабный задел на будущее. Главные цели атомщиков остаются неизменными — чистая и безопасная планета, повышение качества жизни людей, стремление вперед, к созданию и освоению новых технологий, которые еще совсем недавно казались фантастикой. А главный залог успеха атомной промышленности на протяжении всей ее истории — люди, профессионалы самого высокого уровня.

Текст: Наталия Фельдман

Фото: РИА «Новости», АО «Росатом Наука», «Росатом», ГХК, ЛАЭС

Как атом стал мирным

Краткий экскурс в историю развития отечественной атомной энергетики: от первых реакторов к энерготехнологиям будущего

Практическое применение атомной энергии можно назвать технологической революцией. По сути, для середины XX века создание реактора — это такая же инновация, как сейчас, например, квантовый компьютер. Планы, чертежи, расчеты — многие решения нащупывались методом проб и ошибок. И если рассматривать путь атомной промышленности от первых идей до современности, то его широко можно обозначить как движение от неуправляемой цепной реакции к контролируемой, от реакторов, нарабатывающих плутоний, к энергетическим, от необходимости достижения ядерного паритета к развитию мирных ядерных и радиационных технологий.

Урановый «котел» и коробок спичек

«Сейчас нам необходимо создать урановый «котел» промышленного назначения. В нем будет происходить цепная реакция деления урана и нарабатываться плутоний — радиоактивный элемент, которого не существует в природе! Я, видимо, ребусами изъясняюсь. Ничего, скоро вы во всем этом будете прекрасно разбираться. Так вот, физика процесса нам ясна, и надо браться за инженерное решение конструкции промышленного «котла». Некоторые решения у нас имеются. Пойдемте, глянем»¹, — с этих слов Игоря Курчатова, как вспоминал конструктор Николай Доллежал, началась история его участия в советском атомном проекте.

На этапе проектирования выяснилось, что нерешенных вопросов много — от степени чистоты графита и необходимых характеристик металлов до предполагаемого поведения урановых блоков внутри реактора. Уже на этом этапе Доллежал отмечал, что вырабатываемое тепло никак не использовалось и его приходилось отводить. Но больше всего ему не давала покоя возможная деформация урановых блоков внутри реактора из-за высокой температуры. Дело в том,



что в первом американском реакторе, построенном итальянским физиком Энрико Ферми, были спроектированы горизонтальные каналы для загрузки уранового топлива² и при деформации возникли бы проблемы с извлечением блоков и дальнейшей работоспособностью «котла». Эта мысль не выходила у Доллежала из головы, и решить сложную конструкторскую задачу помогла неожиданная ассоциация.

«За разговором я машинально взял в руку наполовину сломанный спичечный коробок и постукивал его торцом по столу. Взгляд остановился на подпрыгивающих спичках. Где-то в глубине сознания шевельнулась неясная еще мысль. Что-то связанное с работой, с чем-то ускользающим, мучительно-саднящим... И вдруг — вспышка, озарение! Ну конечно, наш реактор требовалось развернуть на 90 градусов, поставить его, сделать не горизонтальным, а вертикальным!»

На фото

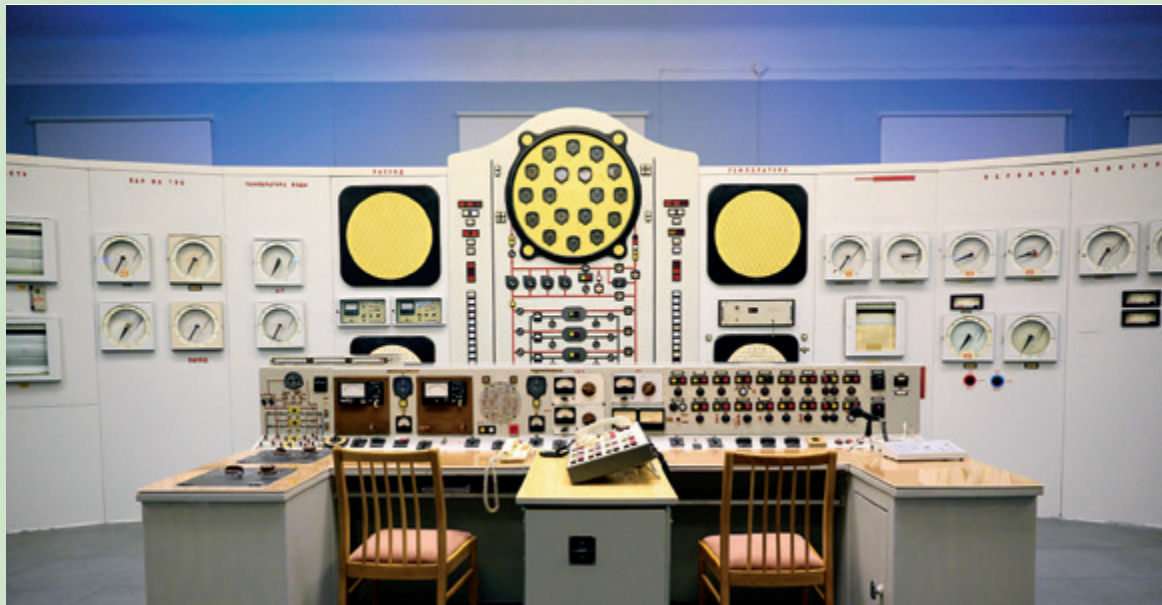
Игорь Курчатов — главный научный руководитель атомного проекта в СССР и один из основоположников использования ядерной энергии в мирных целях

¹ Доллежал Н. А. У истоков рукотворного мира. Записки конструктора. — М., 2010. — С. 115. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/dollezhal_u-istokov-mira_2010/p0_o/.

² Баранов М. И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Ч. 44: Традиционная энергетика. Атомные электрические станции: ретроспектива, состояние и перспективы их развития. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/antologiya-vydayuschisya-dostizheniy-v-nauke-i-tehnike-chast-44-traditsionnaya-energetika-atomnye-elektricheskie-stantsii/viewer>.

На фото

К 70-летию первой в мире АЭС мемориальный комплекс Обнинской станции открыл обновленную экспозицию



Проверять надежность вертикальной загрузки канала было негде, поэтому Николай Доллежалъ вместе с коллегами приспособили для эксперимента одну из лифтовых шахт в главном корпусе института. Но итог этого озарения более чем масштабен — теперь во всех реакторах мира загрузка топлива производится вертикально³.

Реактор Ф-1 в Курчатовском институте, запущенный 25 декабря 1946 года, показал эффективность конструкторских решений, и после него на Урале появился объект «А», или «Аннушка», как неформально прозвали реактор его создатели. С «Аннушки» — первого промышленного реактора по наработке оружейного плутония — началось серийное строительство похожих устройств. Появление линейки уранграфитовых реакторов можно считать первым этапом отечественного реакторостроения.

Мирные планы

Докладная записка о необходимости разработки реактора для энергетических целей была написана 31 октября 1949 года⁴. В записке ПГУ от 28 марта 1950 года уже было выделено три направления использования атомной энергии в народном хозяйстве: 1) применение тепла ядерных реакций для выработки электроэнергии и силовых установок кораблей и самолетов; 2) применение излучений радиоактивных изотопов; 3) использование атомных

взрывов для строительных целей⁵. А в мае того же года выходит Постановление Совета Министров СССР № 2030-788 «О научно-исследовательских, проектных и экспериментальных работах по использованию атомной энергии для мирных целей»⁶. И уже через четыре года, 26 июня 1954-го, состоялся пуск первой в мире атомной электростанции в Обнинске с реактором АМ-1. «Первую АЭС пускала не моя смена, но при историческом событии мы присутствовали, все видели своими глазами — стояли в дверях зала управления. И знаменитые слова Курчатова «С легким паром!» слышали тоже. Пар пустили на турбину 26 июня в шестом часу вечера, а я входил в состав следующей, вечерней смены»⁷, — вспоминал Лев Кочетков, пришедший на работу в Лабораторию «В» (современное название — ФЭИ) в 1952 году. В научной статье 1956 года директор Дмитрий Блохинцев и его соавторы — Николай Доллежалъ и Андрей Красин — делают вывод о том, что «графито-водный реактор с немного обогащенным ураном, основанный на конструктивных узлах и элементах, испытанных в работе на первой атомной электростанции АН СССР, обладает серьезными положительными качествами и может быть использован в большой промышленной атомной электростанции»⁸.

Первый двухцелевой энергетический

Реактор ЭИ-2 изначально проектировали как двухцелевой: после пуска первой в мире АЭС в 1954 году

³ Доллежалъ Н. А. У истоков рукотворного мира. Записки конструктора. — С. 121.

⁴ К истории мирного использования атомной энергии в СССР 1944–1951: Документы и материалы. — 1994. — С. 106. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/k-istorii-mirnogo-ispolzovaniya-ae-1944-1951_1994/p106/.

⁵ К истории мирного использования атомной энергии в СССР 1944–1951: Документы и материалы. — С. 134.

⁶ Там же. — С. 140.

⁷ Кочетков Л. А. За советских физиков // История Росатома. — URL: https://memory.biblioatom.ru/persons/kochetkov_l_a/las/.

⁸ Атомная энергия. Том 1, вып. 1. — 1956. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t1-1_1956/p23/.

было принято решение о строительстве реакторов, производящих плутоний и параллельно вырабатывающих электроэнергию. Идея о том, что вырабатываемое тепло можно использовать, нашла свою реализацию. Практически одновременно в НИИ-8 (современное название — НИКИЭТ им. Н. А. Доллежале) начались проектные работы по созданию реакторов ЭИ-2 и АДЭ. ЭИ-2 расшифровывался как «энергетический изотопный второй»⁹. Неформальное имя «Энергетический Иван», которое дали реактору, не прижилось и широко не использовалось.

Чем же отличалась конструкция ЭИ-2 от реакторов типа «Аннушки»? В качестве топлива, как и в оружейных реакторах, использовался природный, не обогащенный уран. Но для увеличения запаса реактивности, а также для выравнивания мощности по радиусу и высоте активной зоны использовались блочки из обогащенного по урану-235 металла¹⁰.

Кроме того, было внесено несколько значительных изменений. Появился замкнутый контур отвода тепла от активной зоны реактора, то есть конструкция стала похожа на современные двухконтурные реакторы: теплоноситель первого контура нагревает в парогенераторах воду второго контура, которая превращается в пар. Пар поступает в турбогенераторы, и вырабатывается электричество. Изменения повлекли за собой необходимость применения новых конструкционных материалов для изготовления технологических каналов и оболочек твэлов. Кроме того, была разработана новая схема перегрузки реактора, которая обеспечивала герметизацию технологического канала снизу. И, наконец, появился машинный зал, в котором и происходит преобразование тепловой энергии в электрическую¹¹. Вместе с построенными чуть позже АДЭ-3, АДЭ-4 и АДЭ-5 реактор ЭИ-2 составил Сибирскую АЭС — первую промышленную АЭС в СССР общей электрической мощностью 600 МВт (мощность ЭИ-2 составляла 100 МВт).

Начальником реактора был назначен Том Николаев — опытный инженер, принимавший участие в строительстве объекта «А», реакторов АВ-3 и И-1. Именно с его именем связано понятие «культура безопасности», которое он ввел в научный оборот и в рабочую практику. Опыт работы на комбинате № 817 (ПО «Маяк») и на Сибирском химическом комбинате помог ему изменить подход к системе безопасности на АЭС, внести предложения по модернизации Курской АЭС, куда его перевели на должность главного инженера¹². Том Николаев всегда подчеркивал: «С реактором нужно на “вы”».

Вместе с эволюцией реакторов эволюционировал и подход к работе — необходимость вырабатывать плутоний любой ценой и в сжатые сроки трансформировалась в отношение к безопасности как к базовой ценности, а культура безопасности стала формироваться как нравственная позиция личности, не допускающей нанесения своей деятельностью ущерба окружающим.

Атом в «Скале»

Как уже было отмечено, реакторы серии АДЭ начали проектироваться практически одновременно с ЭИ-2. Но история Горно-химического комбината («Горы», или «Скалы», как предприятие неформально называют до сих пор) началась с реактора АД. В письме Анатолия Александрова Лаврентию Берии от 18 ноября 1949 года реактор обозначен как агрегат АД¹³. Он считается первым в серии промышленных реакторов третьего поколения. Интересный лингвистический факт: видимо, авторитет Николая Доллежале как конструктора настолько велик до сих пор, что аббревиатуру «АД» сейчас расшифровывают как «аппарат Доллежале», и соответствующая статья существует в российской «Википедии»¹⁴. Но в печатных источниках эта неформальная расшифровка не зафиксирована. Проектировали установку в Горьком

На фото

Подземные коридоры ГХК, уникального предприятия, аналогов которому нет в мире: производственные мощности комбината расположены в скальных породах на глубине 200 м



⁹ ЭИ-2 // История Росатома. — URL: <https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/ei-2/>.

¹⁰ Там же.

¹¹ Там же.

¹² Летопись Курской АЭС: 35 славных лет. — Курчатов, 2011. — С. 113. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/letopis-kurskoy-aes_2011/p113/.

¹³ Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 2. Кн. 4. — 2003. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t2_kn4_2003/p750/.

¹⁴ https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82_%D0%94%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%B6%D0%B0%D0%BB%D1%8F.

Реактор АДЭ-2 был введен в эксплуатацию в энергетическом режиме 25 января 1964 года



(сейчас — Нижний Новгород) в конструкторском бюро под руководством Игоря Африкантова (сейчас — «ОКБМ Африкантов») совместно с НИИ-8.

Принципы работы реакторов АДЭ были экспериментально апробированы на реакторе АВ-3 на комбинате № 817 (ПО «Маяк»). В протоколе С1-144 от 21 июля 1955 года приводится выступление Бориса Броховича, сообщившего о результатах размещения на аппарате АВ-3 циркуляционной установки (петля ПАВ) для испытания четырех технологических каналов из алюминиевого сплава «обратный авиаль». Испытания были признаны успешными. Второй темой обсуждения были технические характеристики аппарата ЭИ-2, и итогом совещания стало решение «одобрить проектные разработки технического проекта аппарата типа ЭИ-2 с использованием тепла для производства электроэнергии, выполненные ОКБ завода № 92 им. Сталина (сейчас — «ОКБМ Африкантов». — *Примеч. ред.*)», а также «рекомендовать применение проекта реактора, выполненного ОКБ завода № 92, для одного из агрегатов, подлежащих строительству в ближайшее время». По итогам протокола было дано поручение С1-144: «Приступить к разработке проектного задания установки АДЭ на комбинате № 815 с реактором 2-целевого назначения с одновременной выработкой тяжелого сплава и электроэнергии за счет сбросного тепла реактора».

Так вслед за АД на ГХК появились АДЭ-2 и АДЭ-3, и расшифровка этих аббревиатур звучит как «атомный двухцелевой энергетический», а числа обозначают порядковый номер. При этом АДЭ-3 в Северске был запущен в 1961-м, как и АДЭ-1, а реактор АДЭ-4 — в 1963-м, на год раньше, чем АДЭ-2. Но в этом случае, видимо, сыграла роль не хронология, а месторасположение реакторов.

АДЭ-2 стал первым в СССР и в мире реактором, запущенным сразу в энергетическом, а не «проточном» режиме. В комплексе с подземной АТЭЦ реактор АДЭ-2 стал единственной в мире подземной атомной электростанцией¹⁵.

Первенцы промышленной энергетики

Развитие промышленной атомной энергетики в СССР шло по двум основным направлениям: уранграфитовые атомные реакторы и водо-водяные. После АМ-1 («атом мирный первый») на Обнинской АЭС начали строить реакторы АМБ-100 («атом мирный большой») и АМБ-200, составившие первую очередь Белоярской АЭС, затем появились РБМК-1000. Создание реакторов АМБ было инициировано руководством НИИ-8 (НИКИЭТ) и Лаборатории «В» (ФЭИ) в 1954 году¹⁶, а через 10 лет, в апреле 1964-го, реактор АМБ-100 дал первую электроэнергию в энергосеть Урала.

¹⁵ АДЭ-1, АДЭ-2 // История Росатома. — URL: <https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/ade-1/>.

¹⁶ АМБ-100, АМБ-200 // История Росатома. — URL: <https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/amb-100-200/>.

Первый РМБК-1000 («реактор большой мощности канальный») заработал на Ленинградской АЭС, а все реакторы линейки ВВЭР («водо-водяной энергетический реактор») можно найти на Нововоронежской АЭС. Интересно, что один из первых эскизных проектов реактора ВВЭР-1 прозвали «Грузинским кувшином» из-за сходства по форме. Конструкция у основных типов промышленных энергетических реакторов разная. РМБК — уранграфитовые, одно-контурные; ВВЭР — корпусные, двухконтурные.

На реакторах РМБК возможна частичная перегрузка топлива без остановки, а реакторы ВВЭР для загрузки нового топлива останавливают. Кроме того, реакторы РМБК способны нарабатывать медицинские изотопы — их производят на Ленинградской и Смоленской АЭС. А рядом с Калининской АЭС, включающей четыре реактора ВВЭР-1000, построили современный центр обработки данных: мощная система охлаждения на атомных станциях уже имеется, что упрощает процесс строительства и эксплуатации дата-центра.

Замыкая цикл: от «Бориса Николаевича» до БРЕСТА

Но и это еще не все: в 1980 году на Белоярской АЭС был запущен реактор на быстрых нейтронах — БН-600. Строительство энергоблока началось в 1968 году, в 1974-м завершилось возведение главного корпуса. Но сроки строительства затягивались, и в 1978 году руководитель областного штаба стройки БН-600, первый секретарь Свердловского обкома КПСС Борис Ельцин помог ускорить процесс: он отправил на объект колхозников в качестве подсобных рабочих¹⁷. В те времена это было практически невероятно, потому что обычно все — школьники, студенты, работники производств и даже сотрудники НИИ — ежегодно сами отправлялись в колхозы «вести битву за урожай», а не наоборот. Может быть, по этой причине, как рассказывают опытные сотрудники Белоярской АЭС, реактор БН-600 иногда шутливо называли «Борисом Николаевичем».

Россия — мировой лидер в области быстрых реакторов. На Белоярской АЭС работает и более мощный БН-800 с полной загрузкой МОКС-топливом, дан старт подготовительных работ для строительства БН-1200М — это уже поколение IV ядерных энергетических систем. А в Северске строится опытно-демонстрационный комплекс с БРЕСТ-ОД-300 — первым в мире промышленным реактором со свинцовым теплоносителем. Двухкомпонентная платформа атомной энергетики, предусматривающая совместное функционирование реакторов на тепловых и быстрых нейтронах, позволит осуществить переход к замкнутому ядерному топливному циклу, при котором отработавшее топливо перерабатывается и используется повторно, практически без образования радиоактивных отходов.

Флагманский проект «Росатома» — реактор ВВЭР-1200 поколения III+, отвечающий повышенным требованиям безопасности по сравнению с реакторами предыдущего — третьего — поколения и имеющий улучшенные технико-экономические показатели. В настоящее время успешно эксплуатируются уже шесть энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200: в России на Нововоронежской АЭС-2 и Ленинградской АЭС-2 и в Республике Беларусь.

Безопасность современных АЭС поколения III+ обеспечивается комбинацией активных и пассивных систем безопасности, которые гарантируют высокоэшелонированную защиту даже без вмешательства человека. Эти системы взаимно дополняют друг друга, объединяя скорость и контролируемость активных систем с возможностью работы при отсутствии электропитания пассивных.

Для удержания радиоактивных материалов предусмотрены четыре барьера, которые не пропускают радиоактивные вещества в окружающую среду. Первый — это топливная матрица, предотвращающая выход продуктов деления под оболочку тепловыделяющего элемента. Второй — сама оболочка, не дающая продуктам деления попасть в теплоноситель главного циркуляционного контура. Третий — главный циркуляционный контур, препятствующий выходу продуктов деления под защитную герметичную оболочку. Четвертый — система защитных герметичных оболочек (контейнментов), исключающая выход продуктов деления в окружающую среду. Целостность каждого из барьеров защищается соответствующими системами безопасности, как активными, так и пассивными.



«Вестник атомпрома» благодарит пресс-службу ГХК и сотрудников Центратомархива — директора Софью Великую и Зинаиду Сперанскую — за предоставленные материалы.

¹⁷ Кузнецов А. Быстрый реактор БН-600: ускорение по-ельцински // Страна Росатом. — 14.10.2020. — URL: <https://strana-rosatom.ru/2020/10/14/bn-600-uskorenie-po-elcinski/>.

35 энергоблоков

суммарной установленной мощностью свыше 28,5 ГВт эксплуатируются сегодня на 11 АЭС России

22 энергоблока

с реакторами типа ВВЭР (из них 4 энергоблока ВВЭР-1200, 13 энергоблоков ВВЭР-1000 и 5 энергоблоков ВВЭР-440 различных модификаций)

10 энергоблоков

с канальными реакторами (7 энергоблоков с реакторами типа РБМК-1000 и 3 энергоблока с реакторами типа ЭГП-6)

2 энергоблока

с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением (БН-600 и БН-800)

1 плавучий энергоблок (ПЭБ)

в составе 2 реакторных установок типа КЛТ-40С электрической мощностью по 35 МВт

> 100 млн тонн углекислого газа

столько выбросов в атмосферу предотвращают ежегодно АЭС России, внося заметный вклад в борьбу с глобальным потеплением

38 энергоблоков

большой, средней и малой мощности (суммарной мощностью 29,3 ГВт) введут в России согласно Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года, утвержденной правительством РФ в конце прошлого года. Это в полной мере соответствует задаче, поставленной президентом страны, — увеличить к 2045 году долю атомной энергетики в энергобалансе до 25% (сейчас она составляет порядка 20% от всего производимого в стране электричества)

I место

занимает в мире «Росатом» по числу проектов строительства АЭС за рубежом — 41 энергоблок (включая 6 энергоблоков малой мощности) в 11 странах

Текст: Мария Голубович

Фото: «Росатом», ФГУП «Атомфлот» / Никита Боев, Charles Xelot, Лев Федосеев, Дмитрий Шемякин

Атомный. Ледокольный. Наш!

Больше, мощнее, надежнее: от первого атомохода — к атомному флоту

Атомный ледокольный флот — предмет особой гордости для России. И дело не только в том, что он — единственный в мире. Куда важнее то, что никакая другая арктическая страна не в состоянии обеспечить надежное и экологически чистое транспортное сообщение в условиях полярной ночи, крепких морозов и не менее крепких льдов.

Первенец

«5 декабря 1957 года был темным, морозящим четвергом в Ленинграде, но тем, кто толпился у стапелей на судостроительном заводе № 194, казалось, будто светит коммунистическое солнце. «Ленин», первый советский атомный ледокол и будущий флагман арктического ледокольного флота СССР, соскользнул со стапеля в мутные воды Большой Невы», — так начинается статья лейтенанта Джеймса Х. Гилла в журнале Proceedings Военно-морского института США¹, вышедшая в июле 1958 года. Бывший летчик, сбитый немцами под Гамбургом и пробывший в плену несколько месяцев, Гилл задается вопросом: «Каково истинное значение ледокола «Ленин»? Является ли он всего лишь пропагандистским трюком русских, огромным, дорогим, бесполезным судном, построенным для того, чтобы Советский Союз мог добиться еще одного «первенства»? Зачем Советам ледокол водоизмещением 16 000 тонн, почти вдвое превосходящий по размерам крупнейший американский ледокол «Глейшер»? Или же «Ленин» действительно удовлетворяет потребности советских военно-морских сил?»

Надо отдать должное аналитику, он пришел к рациональному, а не политизированному выводу: «Ленин» — лишь первенец, за которым следует целый флот, так необходимый для освоения Арктики.

Если в поисковой строке «Яндекса» вбить слово «атомный», то система предложит несколько вариантов продолжения и первым будет «ледокол». Поэтому



трудно поверить, что изначально первым мирным судном с ядерной энергетической установкой мог стать не ледокол, а «матка рыболовецкой флотилии». В 1979 году академик Анатолий Александров в радиоинтервью² вспоминал: «...в тот период времени чрезвычайно интенсивно велись испытания ядерного оружия и всюду в мире были довольно большие количества радиоактивных осадков. При существовавшей тогда технологии добычи и разделки китов (прямо на палубе) было неизбежно, что продукция будет загрязнена этими радиоактивными продуктами, которые попадают из-за испытаний ядерного оружия. А мы были уже научены тем, что наше Министерство

На фото

Строительство атомного ледокола «Ленин»

Коротко

Решение Совета Министров СССР о разработке первого атомного ледокола было зафиксировано в постановлении от 20 ноября 1953 года. За проектирование судна отвечало ЦКБ-15 (сегодня — ЦКБ «Айсберг»), которое специализировалось на ледоколах. Разработку атомной паропроизводящей установки (АППУ) поручили ОКБ Горьковского завода №92 (ныне — «ОКБМ Африкантов»), которое уже работало над АППУ для подлодки.

¹ The Lenin and the Soviet Grand Design for the Arctic // Proceedings. — July 1958. — Vol. 84/7/665. — URL: <https://www.usni.org/magazines/proceedings/1958/july/lenin-and-soviet-grand-design-arctic>.

² А. П. Александров: документы и воспоминания. — 2003. — С. 44. — URL: https://elibrary.biblioatom.ru/text/aleksandrov-dokumenty-i-vozpominaniya_2003.

Только на этапах проектирования и строительства атомного ледокола «Ленин» было внедрено около **500** рационализаторских предложений, разработано **76** новых типов механизмов и опробовано **свыше 150** новых образцов судового оборудования.

здравоохранения чрезвычайно жестко относится ко всякого рода радиоактивным загрязнениям. Они, конечно, сразу же приписали бы эту загрязненность нашим реакторам. И поэтому мы решили тогда остановить эту работу и ограничиться сооружением ледоколов».

Судно было заложено 17 июля 1956 года, спущено на воду 5 декабря 1957 года, а передано в опытную эксплуатацию Министерству морского флота 3 декабря 1959 года. Все производство заняло чуть более трех лет. Даже сегодня это поразительный результат: лучший показатель у ледоколов серии 22220 принадлежит «Якутии» (третий в серии) — 4 года и 7 месяцев.

Изначально АППУ включала три реактора ОК-150. Не имея времени на создание наземного прототипа

На фото

В течение срока эксплуатации (1959–1989 гг.) «Ленин» участвовал в 26 навигациях



и опыта эксплуатации реакторов на море, разработчики создали систему на основе принципа резервирования оборудования: три реактора, у каждого две циркуляционные петли (их можно было отключать по отдельности) с двумя главными и одним резервным насосом. Как показала практика, это была верная тактика.

Строительство «Ленина» не было секретом, скорее наоборот: поскольку скрыть объект в Ленинграде было невозможно, о строящемся ледоколе говорили всем и везде. За годы строительства его посетили тысячи человек, включая иностранцев. Среди них, например, в июле 1959 года были вице-президент США Ричард Никсон и адмирал ВМФ США Хайман Риквер, ключевая фигура в создании первой в мире атомной подводной лодки. Вернувшись домой, Риквер попросил у Сената увеличить финансирование первого американского надводного атомного судна — сухогруза «Саванна». Адмирал уверял, что «Ленин» не будет закончен еще два года. Но в итоге на свои ходовые испытания «Ленин» ушел через два месяца, и в том же году началась эксплуатация, а «Саванну» ввели в опытную эксплуатацию лишь в 1962 году.

О первом выходе «Ленина» в море свои воспоминания оставил Анатолий Александров³. До Кронштадта ледокол должен был идти на буксире, а в Финском заливе перейти на свой ход. Поэтому на Неве реакторы запустили, но держали на малой мощности: «...когда нас тащил этот самый пароход, он вдруг потерял ход. Павел Акимович (Пономарев, капитан ледокола. — Примеч. ред.) очень здорово сразу отвернул, швартовые (буксиры) не успели убрать, они натянулись как струны, лопнули с треском, и ледокол освободился. Тут Павел Акимович дал команду дать пар на турбину, на электростанции, и мы перешли на свой ход».

Ходовые испытания прошли хорошо. Но отсутствие опыта при конструировании ледокола все же дало о себе знать на ледовых испытаниях в 1960 году. Выяснилось, что ледовые ящики (специальные водозаборники, часть системы охлаждения реактора) быстро забивались льдом, и срабатывала аварийная система. «Что делать? Вызвали газорезчиков. Решили в дне прорезать эти заборные щели. Прорезали, вновь пошли на испытания. Оказывается, что ледокол весь в этой шуге, все отверстия забиты льдом. А спасло нас вот что. Придумали рециркуляцию. Теплую воду дали на вход, а шланги протянули по палубе, теплая вода поступала, и это было спасение. А то ледокол есть, а лед колоть не можем», — вспоминал Виктор Иванов⁴, член первой команды «Ленина», в 1965–1997 годах — начальник отдела контроля и автоматики НИКИМТ.

Зато краш-тест ледокол прошел с честью. В 1961 году при проходе пролива Санникова на скорости 17 узлов

³ А. П. Александров: документы и воспоминания. — С. 46.

⁴ Баринов А. Н., Козлова Е. А. Люди и ледоколы. — 2019. — С. 35. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/barinov_lyudi-i-ledokoly_2019.

> 500

предприятий СССР приняли участие в строительстве ледокола «Ленин»

он натолкнулся на придонное ледообразование⁵. Пробойна носового отсека привела к остановке судна, но водонепроницаемые переборки сделали свое дело. Кстати, та навигация была очень сложной: в конце сентября, когда пора было думать об окончании сезона, «Ленин» отправился на Чукотку, чтобы доставить экспедицию «Северный полюс — 10» и расставить дрейфующие автоматические радиометеорологические станции (ДАРМС). Пришлось подниматься на 81 градус 45 минут северной широты, откуда до Северного полюса всего 920 км. Эти операции окончательно доказали преимущества атомной тяги в Арктике.

Однако отдельные системы АППУ регулярно требовали ремонта, но в силу конструктивных особенностей установки ремонт был очень затруднен. Как вспоминал Анатолий Адрианов⁶, в то время старший инженер службы КИПиА ледокола «Ленин», «...ни у кого тогда не возникало сомнений в правильности принятых решений. Поэтому конструктивно ЯЭУ была собрана так, что вопросы ремонта не рассматривались вообще. Однако парогенераторы из аустенитной нержавеющей стали, установленные на десятилетия, потеряли герметичность через три тысячи часов работы... Можно сказать, что первый атомный конь хромал на все четыре ноги. Поэтому порой до девяти месяцев в году ледокол находился в ремонтах, когда тысячная армия представителей промышленных предприятий пыталась вдохнуть жизнь в несовершенное тело первенца». В результате было принято радикальное решение — менять три ОК-150 (номинальная мощность каждого — 90 МВт) на два реактора ОК-900 (мощность каждого — 159 МВт), которые разрабатывались для ледоколов следующего поколения. Вся силовая установка весила 3700 тонн и представляла большую радиационную опасность для персонала, поэтому было решено «сбросить» ее прямо в море. Перед удалением реакторного отсека из всех реакторов были выгружены активные зоны, остающееся оборудование дезактивировано, удаляемый отсек загерметизирован.

АППУ удерживалась четырьмя переборочными перемычками шириной в 1,5 м каждая⁷. План предполагал сначала вырезать в днище большой участок (примерно 10 на 12 м), затем разрезать средние силовые переборки и дистанционно — нижние, а потом одновременно взорвать верхние, чтобы АППУ пошла на дно. Работы по изготовлению, монтажу и подрыву кумулятивных зарядов выполнялись представителями Военной инженерной академии им. Ф. Э. Дзержинского. Операция состоялась в заливе Цивольки на Новой Земле. 19 сентября 1967 года в 22 часа 27 минут

атомная установка была захоронена на глубине 50 м. Облегченный ледокол поднялся на 2 м выше ватерлинии⁸. Операцию сопровождали плавбаза «Лепсе» и спасательное судно «Алтай-1».

Обратно шли с вырезанным днищем, а потому медленно. В Северодвинск прибыли 26 сентября. Сначала «залатали» дыру: новую секцию установили на килевой дорожке, док притопили на необходимую глубину, а ледокол располагался в доке вырезом днища точно над секцией. При всплытии дока новая секция вошла в вырез днища ледокола, после чего производилась ее сварка с основным корпусом.

Модернизированный «Ленин» проработал до 1989 года. Реакторная установка ОК-900, кроме «Ленина», также использована на ледоколах «Арктика», «Сибирь», «Советский Союз». На атомных ледоколах «Ямал» и «50 лет Победы» работает ее улучшенная версия — ОК-900А.

Второе поколение

Решение о проектировании и строительстве ледоколов нового поколения и АППУ к ним было принято в 1964 году. Головное судно — «Арктику» — заложили на верфи 3 июля 1971 года. 25 апреля 1975-го после долгих ходовых испытаний на ледоколе подняли государственный флаг.

Судно стало больше, но за счет внедрения автоматизации численность команды составляла всего 150 человек. Вместе с мощностью увеличилась и проходимость: теперь ледокол мог преодолевать лед толщиной до 2,5 м. Именно «Арктика» стала первым надводным судном, достигшим Северного полюса. Это произошло 17 августа 1977 года.

В некоторых источниках сообщается, что у серии 1052 двойной корпус и «пространство между ними использовалось для баллаستивки водой»⁹. В реальности на ледоколах конструкторы сделали двойное днище и частично двойной корпус в критически важных участках — для защиты от пробоин,

⁵ Макаров В. И., Пологих Б. Г., Хлопкин Н. С. и др. Опыт создания и эксплуатации реакторных установок гражданских судов // Атомная энергия. — URL: <https://j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/viewFile/3078/3024>.

⁶ Баринев А. Н., Козлова Е. А. Люди и ледоколы. — С. 190.

⁷ Там же. — С. 192.

⁸ Там же.

⁹ История атомных ледоколов. Проект 10520 «Арктика» и др. // История Росатома. — URL: <https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-powered-icebreakers/10520>.



На фото

«Ямал», пожалуй, самый узнаваемый ледокол: у него на носу нарисована акуля пасть. Рисунок появился в 1994 году, когда атомход в рамках образовательной программы возил детей на Северный полюс

но пространство между корпусами не заполняется водой. Вместо этого используются балластные цистерны.

Кстати, для повышения прочности ледовый пояс (зона с максимальной толщиной стали, тянется от носа до примерно середины корпуса) ледоколов «Арктика», «Сибирь» и «Ямал» был усилен листами плакированной стали¹⁰. Она имеет два слоя: основной (черный металл толщиной 50 мм) и снаружи плакирующий (нержавеющая сталь толщиной 5 мм). Эксперимент показал, что такие «заплатки» почти не изменились во время эксплуатации ледоколов, а вот участки вокруг них стали более шероховатыми, это означает, что лед цепляется за корпус и скорость движения снижается. В результате было решено весь ледовый пояс «50 лет Победы» сделать из плакированной стали (и пока это уникальный случай).

Ледоколы серии «Арктика» («Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал», «50 лет Победы») были мощнее, надежнее и крепче «Ленина». Однако суровые условия Арктики часто становятся настоящим испытанием на прочность. Станислав Шмидт, капитан «Советского Союза», вспоминает¹¹ про-водку танкера «Уйкку» в Певек в 1998 году. В городе заканчивалось топливо, уже работали над планом эвакуации жителей, но в Москве приняли решение

отправить танкер. Проблема была в том, что в ноябре навигация в восточном секторе уже не велась. Шли с трудом, но настоящие трудности начались на обратном пути. «Там всегда устанавливается ледовый барьер вдоль побережья, а на глубинах порядка 20 м к нему примыкает припай. И вот, выходя обратно, ледокол в этот барьер уткнулся и ни туда ни сюда. Эти горы льда, только на поверхности высотой метров семь, нас не пускали. Пытались форсировать, чтобы найти «щель», чтобы вылезти за этот барьер, но нет, не получалось. И честно говоря, я забеспокоился <...> Как бы не пришлось зимовать вместе с этим танкером. Мы продолжали пробиваться <...> и с большим трудом прошли». Но и на этом неприятности не закончились: вскоре сломалась лопасть левого винта, ледокол потерял треть мощности. Посчитали продукты — хватало до 24 декабря. К счастью, 22 декабря в районе Диксона встретили ледокол «Арктика», который помог продуктами и «Советскому Союзу», и танкеру «Уйкку». Этот рейс, по словам Станислава Шмидта, был самым тяжелым, все остальные походы были спокойными.

Двойной эффект

Активное освоение Заполярья показало, что пробивать льды нужно не только в океане, но и в верховьях сибирских рек: например, Норильский комбинат

¹⁰ Зайцева С. Новый ледокол «Лидер» будет защищен ледовым поясом из особо прочной стали // Страна Росатом. — 2020. — 5 октября. — URL: <https://strana-rosatom.ru/2020/10/05/novyj-ledokol-lider-budet-zashhishhen-l>.

¹¹ Баринев А. Н., Козлова Е. А. Люди и ледоколы. — С. 137.

Личный опыт

требовал круглогодичной работы порта Дудинка на Енисее. Однако суда типа «Арктика» имели слишком большую осадку. Требовались ледоколы другой конструкции. Проект получил номер 10580. ЦКБ «Айсберг» разработало центральный отсек (с РУ), АППУ разработали и изготовили в «ОКБМ Африкантов» (на этих ледоколах по одному реактору КЛТ-40М номинальной мощностью 171 МВт), а корпуса ледоколов «Таймыр» и «Вайгач» финские.

«Спецификационная мощность ледокола — 32,5 МВт. Хочешь больше, 34 МВт, отключай вспомогательный турбогенератор (ВТГ), заводи дизеля для обеспечения механизмов электричеством. Мы научили работать установку на мощности 36 МВт с работающими ВТГ при мощности реактора всего на 96% от номинальной», — не без гордости вспоминал Анатолий Адрианов¹², в 1989–2016 годах возглавлявший службу КИПиА на «Таймыре».

В 2021 году, когда готовились заключения о возможности повторного продления срока эксплуатации мелкосидящих ледоколов, тяжелая ледовая обстановка наступила раньше обычного, в акватории СМП льдами были скованы два десятка коммерческих судов. «Вайгач» провел уникальную операцию: после вызволения из ледового плена ледокол вывел караван из восьми судов, причем суда отличались как по размерам, так и по техническому состоянию. Тогда специалисты вспоминали суровую зиму 1978 года¹³, когда дизель-электрический ледокол не смог довести танкер до Дудинки.

Скептики снова убедились, что без атомной тяги зимняя навигация на СМП невозможна. «35–40 МВт — вот та мощность, где находится рубеж эффективности атомных реакторов. Если нужны суда более мощные, то дизель-электрические проигрывают вчистую», — объясняет Андрей Гаврилов, главный инженер ЦКБ «Айсберг».

Универсальные машины

В начале 2000-х встал вопрос, что делать, когда придется выводить из эксплуатации и тяжелые ледоколы серии 10520, и мелкосидящие серии 10580. Строить новые по старым чертежам уже нельзя: современные газовозы требуют ширину канала не менее 50 м, в то время как у советских ледоколов — 30 м. Так родилась идея универсальных ледоколов, которые могут менять свою осадку. Серия получила номер 22220 и обладает уникальными характеристиками: ледопродоимость — до 3 м, назначенный срок службы — 40 лет, способность работать и в море, и в руслах рек. У ледоколов этой серии — две реакторных установки интегрального типа РИТМ-200 номинальной мощностью по 175 МВт. Над созданием РИТМ-200 (в настоящее



Александр Скрябин

Капитан головного универсального атомного ледокола проекта 22220 «Арктика»:

— Прямой путь в Арктике — не самый быстрый. При проводке мы обходим большие поля толстого льда или торошенные участки сплоченного льда, следуем «змейкой». И это оправданно. «Арктика», конечно, способна пройти по участкам со льдом трехметровой толщины, но зачем давать судну лишнюю нагрузку и увеличивать время перехода? Чем толще лед, тем ниже скорость движения, поэтому проще обойти участки с толстым льдом и сэкономить время. Я работал на атомном ледоколе «Ямал», был капитаном на «Вайгаче» и хочу сказать, что у каждого атомохода свой характер и свои особенности. Например, «Ямал» из-за большой осадки не способен заходить в русла сибирских рек, а «Вайгач» — с меньшей осадкой, его для этого и строили. «Арктика» — универсальный ледокол, он может менять осадку и работать как на море, так и в реках. И, конечно, новые ледоколы оборудованы по последнему слову техники. Теперь есть возможность практически из любой точки связаться с домашними, что для экипажа очень важно. Русский север — это однозначно любовь на всю жизнь, а без атомных ледоколов Арктику освоить невозможно!

время — самой современной и производительной судовой реакторной установки в мире) работали сразу несколько предприятий Машиностроительного дивизиона «Росатома».

Изменились не только габариты ледоколов и АППУ, но и другие системы. «Эволюционируют не только формы и материалы, но и технологии. Например, только в проекте 22220 установлены электродвигатели переменного тока. До этого все ледоколы были на постоянном токе: на таких легко управлять оборотами, но они очень сложны в обслуживании, более тяжелые и громоздкие, хуже переносят вибрацию

¹² Баринев А. Н., Козлова Е. А. Люди и ледоколы. — С. 205.

¹³ Там же. — С. 204.



На фото

Марина Старовойтова — первая в истории женщина, которая стала капитаном атомного ледокола. Почетный президент Мурманской общественной организации ветеранов «Атомфлот» Александр Баринов приколот ей на китель знак капитана на праздничной церемонии «Эра мечтателей», посвященной 80-летию атомной промышленности, которая состоялась 20 августа в Нижнем Новгороде

и тряску. Но теперь появилась высокомошная силовая электроника, позволяющая управлять переменным током: у новых двигателей выше КПД, особенно в переменных режимах (рывки, торможение, реверсы); нет щеток и коллекторов, а значит, намного проще обслуживание», — рассказывает Андрей Гаврилов, главный инженер ЦКБ «Айсберг».

На СМП уже успешно работают четыре ледокола этого проекта, строятся пятый и шестой, подписан контракт на строительство седьмого. При этом машиностроительные предприятия атомной отрасли фактически создали конвейер по производству судовых реакторов для нового поколения ледоколов — такого в мире не делал еще никто.

Будущая «Россия»

В 2016 году перед атомщиками была поставлена амбициозная задача — сделать ледокол для круглогодичной работы с заданной скоростью по всей трассе СМП, а значит — самый большой, мощный и надежный, словом, ледокол будущего. «Будущее должны придумывать молодые», — решили конструкторы и обратились к студентам Санкт-Петербургской государственной художественно-промышленной академии им. А. Л. Штиглица (бывшее Мухинское училище). Одна из работ и стала прообразом внешнего облика проекта 10510.

Этот гигант будет прокладывать канал шириной 50 м (как раз для современных газозовов) и пробивать лед до 4,3 м. Чтобы это было возможно, в «Росатоме» разработана новая реакторная установка РИТМ-400 (мощностью 315 МВт). На ледоколе их будет две.

Главной ледокол проекта 10510, который станет самым мощным атомоходом в мире, строится во Владивостоке, и имя уже выбрано — «Россия». «На долгие годы это вершина ледоколостроения. Чтобы сделать следующий шаг, нужно придумать задачи, с которыми бы этот не справился. И сегодня их просто нет! Транспортные суда вряд ли существенно вырастут, порты просто не смогут их принимать. А мощности 160 тыс. лошадиных сил на валах более чем достаточно, чтобы обеспечить скорость проводки судов. Поэтому лидером он будет еще очень долго», — уверен Андрей Гаврилов, главный инженер ЦКБ «Айсберг».

В мае 2025 года на «ЗиО-Подольск», предприятии Машиностроительного дивизиона «Росатома», завершено изготовление первой реакторной установки РИТМ-400 для атомного ледокола «Россия». «Завершение изготовления реактора РИТМ-400 — знаменательное событие и для ледокольного флота, и для «Росатома», и для всей нашей страны. Реакторные установки атомного ледокола следующего поколения «Россия» позволят ему колоть льды толщиной более 4 м. Каждому из двух реакторов, которые наделат атомоход невиданной силой, мы решили дать имена русских богатырей — Ильи Муромца и Добрыни Никитича. Былинные герои совершали подвиги во имя Руси, а новые реакторы, названные их именами, помогут ледоколу «Россия» покорить суровые льды Арктики», — отметил генеральный директор госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев. А в сентябре машиностроители «Росатома» завершили изготовление второго РИТМ-400 для «России». На изготовление комплекта самых мощных судовых установок ушло три года, использовано 100 секретов производства, запатентовано семь изобретений.

В 2018 году

госкорпорация «Росатом» была определена инфраструктурным оператором Северного морского пути. План развития СМП до 2035 года в части ответственности «Росатома» предусматривает создание необходимой инфраструктуры: от строительства ледокольных, гидрографических и спасательных судов до создания портов и цифровых сервисов для повышения эффективности навигации. Одна из стратегических целей госкорпорации «Росатом» — сделать СМП эффективной транспортной артерией, связывающей Европу, Россию и Азиатско-Тихоокеанский регион.

В 2024 году

утвержден федеральный проект по развитию Большого Северного морского пути — транспортного коридора от Санкт-Петербурга и Калининграда до Владивостока.

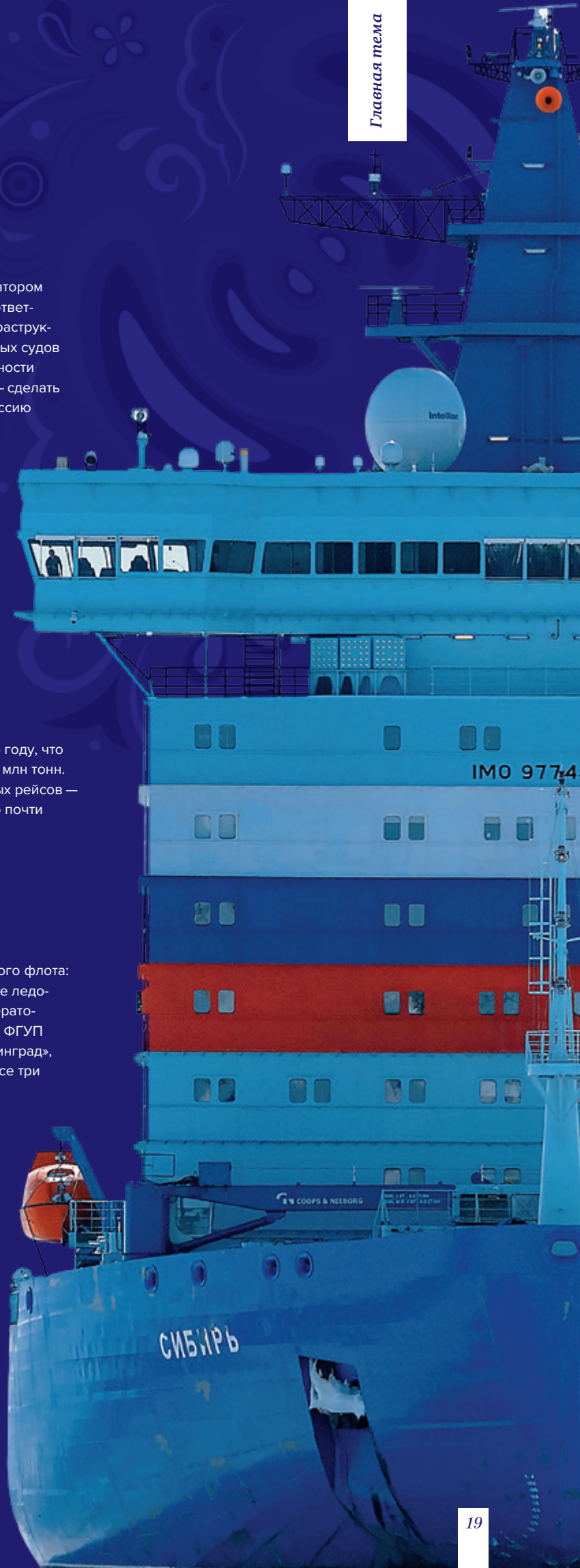
37,9 млн тонн

составил объем грузоперевозок по Северному морскому пути в 2024 году, что превышает рекордный результат предыдущего года более чем на 1,6 млн тонн. Также в 2024 году было совершено рекордное количество транзитных рейсов — 92 и поставлен рекорд по транзитным грузам — более 3 млн тонн. Это почти в полтора раза больше, чем в 2023 году.

8 атомоходов

сегодня в составе российского — единственного в мире — ледокольного флота: «50 лет Победы», «Вайгач», «Ямал», «Таймыр», универсальные атомные ледоколы (УАЛ) проекта 22220 «Арктика», «Сибирь», «Урал», «Якутия». Оператором атомного ледокольного флота является предприятие «Росатома» ФГУП «Атомфлот». В стадии строительства находятся УАЛ «Чукотка» и «Ленинград», подписан контракт на строительство седьмого УАЛ — «Сталинград» (все три ледокола — проекта 22220, ледовый класс — Icebreaker9).

В декабре 2024 года состоялась закладка многофункционального судна атомно-технологического обслуживания (МСАТО) проекта 22770. Судно предназначено для обеспечения перезарядки ядерных энергетических установок атомных ледоколов проекта 22220, а в будущем — и самого мощного атомного ледокола в мире «Россия». Благодаря МСАТО на атомные ледоколы будет загружаться свежее ядерное топливо и выгружаться отработавшее топливо, а также обеспечиваться хранение отработавших тепловыделяющих сборок до их отгрузки на переработку.



Текст: Мария Голубович

Фото: ТАСС, РИА «Новости», Машиностроительный дивизион «Росатома»

Трудолюбивые малыши

Когда в нашей стране появились первые АЭС малой мощности и почему это направление так важно для будущего атомной энергетики



На фото

С 2019 года на Чукотке, в самом северном городе России Певеке, работает первая и единственная в мире плавучая атомная тепло-электростанция (ПАТЭС)

В 2024 году состоялась первая конференция МАГАТЭ по малым модульным реакторам (ММР). Генеральный директор Агентства Рафаэль Гросси назвал их «одной из самых многообещающих, захватывающих и необходимых технологических разработок, которых мы ждали и которые вот-вот станут реальностью». Идея эта не нова, но она сильно опередила свое время. Однако сейчас это один из основных трендов развития мировой атомной индустрии. У малой атомной энергетики появился бизнес-заказчик (мировые ИТ-гиганты собираются использовать атомную энергию для обеспечения дата-центров и уже являются инвесторами нескольких стартапов), на рынок ММР выходят крупнейшие мировые промышленные компании. Однако пока только у «Росатома» и Китайской национальной ядерной корпорации есть реализованные проекты, причем Россия — это признанный мировой лидер в этой области: у РУ и АЭС малой мощности в нашей стране богатая история, полная блестящих инженерных находок.

Строить АЭС — это долго и дорого, поэтому в том числе вопросы рентабельности и окупаемости заставляли инженеров повышать мощность энергоблоков. Реакторы же малой мощности долгие десятилетия были по большей части либо экспериментальными, либо имели специальное назначение (например, судовые или космические установки). Когда же малая энергетика вышла из тени и стала самостоятельной идеей, а не «пробником» гигаваттника? И какие проекты модульных станций были в СССР?

Как все начиналось

Вероятно, идея модульных установок родилась в апреле 1955 года. Ефим Славский, в то время бывший первым заместителем министра среднего машиностроения, посещая Кировский завод в Ленинграде (ЛКЗ), поделился с главным конструктором завода Николаем Синевым своей идеей: а почему бы не создать мобильную АЭС, которая могла бы удовлетворить потребности армии и промышленности в отдаленных районах? Очевидно, что такие станции должны быть компактными, чтобы доставка на место дислокации была быстрой и относительно недорогой, а главное, чтобы сроки и стоимость монтажных работ были минимальными. Решение только

По определению МАГАТЭ, малые модульные реакторы (ММР) — это усовершенствованные атомные реакторы электрической мощностью **до 300 МВт**. Атомная станция малой мощности (АСММ) может состоять из одного или нескольких блоков с реакторами малой мощности.

одно: оборудование еще на заводе-изготовителе нужно собирать в крупные узлы (или, как сейчас принято говорить, модули). Идея не просто интересная, но и революционная, поскольку меняла сам процесс сооружения АЭС.

От слов к делу перешли быстро. Кировский завод совместно с Брянским паровозостроительным заводом¹ подготовили сразу два проекта АЭС на железнодорожной платформе: ТЭС-1 предусматривал двухконтурную схему реактора с паротурбинной частью электропоезда 1ЭП; ТЭС-2 — одноконтурная схема с газотурбинной установкой. «Всего было проработано около 20 вариантов АСММ электрической мощностью 1,0–1,5 МВт с различными реакторами (на тепловых, промежуточных и быстрых нейтронах) и разными видами исполнения (стационарные и блочно-транспортные, передвижные, плавучие)», — позднее вспоминал Юрий Сергеев², один из активных участников разработки программ по развитию малой атомной энергетики, руководивший в ФЭИ проектами АСММ с водоохлаждаемыми реакторами.

В итоге в октябре 1956 года Министерство среднего машиностроения в качестве основного проекта утвердило ТЭС-3 (транспортная электростанция, третий проектный вариант) Лаборатории «В» (ныне — ФЭИ). Обнинцы предложили поместить водо-водяной реактор на тепловых нейтронах не на железнодорожную платформу, а на гусеницы от самого мощного на тот момент советского танка Т-10. Уже в марте 1957 года был готов эскизный проект, а в марте 1960-го все оборудование весом 204 тонны было смонтировано на четырех гусеничных самоходных платформах. На первой платформе разместился реактор с биологической защитой, на второй — парогенераторы, компенсатор объема, насосы, на третьей — турбогенератор, на четвертой — пульт и главный щит управления. За проект отвечал ленинградский Кировский завод, но в производстве стандартного и нестандартного оборудования участвовало порядка 100 предприятий.

ТЭС-3 эксплуатировалась на территории Лаборатории «В». С 13 октября 1961 года до 18 июля 1965-го в энергетических режимах установка отработала 130 тыс. часов, хотя была демонстрационно-экспериментальной. «Наиболее интересным и важным экспериментом следует считать исследования длительной работы установки в режиме саморегулирования мощности и самокомпенсации реактивности при отключенных автоматических регуляторах, с воздействием на реактор только со стороны второго контура путем изменения расхода питательной воды, подаваемой в парогенератор. При этом компенсация эффектов выгорания и отравления осуществлялась только за счет отрицательного температурного эффекта реактивности», — писал Сергеев³, назначенный научным руководителем ТЭС-3.

За время опытной эксплуатации ТЭС-3 был собран большой массив информации и подготовлен комплекс усовершенствований технологической схемы и некоторых систем станции для второй кампании (включая новые твэлы, СУЗ на основе гадолиния и парогенераторы ПГ-13). Более того, было принято решение⁴ о переброске установки на Арланское нефтяное месторождение в Башкирии. Оказалось, что закачка горячей воды в нефтяные пласты ускорила добычу, поэтому Ефим Славский предложил использовать ТЭС-3 как источник кипятка. Активную зону разгрузили с помощью специально созданного оборудования, которое можно использовать в полевых условиях. Но Министерство нефтедобывающей промышленности сначала пересмотрело пункт

На фото

Транспортная станция с водо-водяным ядерным реактором ТЭС-3 с 1961 по 1965 год отработала в энергетических режимах 130 тыс. часов



¹ История атомной энергетики Советского Союза и России / Под ред. В. А. Сидоренко. — Вып. 5. — М., 2004. — С. 23. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v5_2004.

² Там же. — С. 6.

³ История атомной энергетики Советского Союза и России. — С. 37.

⁴ Там же. — С. 42.

назначения (теперь ТЭС-3 отправлялась в Грозный), а вскоре и вовсе отказалось от атомной установки. Военным она тоже оказалась не нужна.

Атомная блочная водо-водяная

Именно так расшифровывается название реактора АБВ. Его особенностью были естественная циркуляция теплоносителя, а также интегральная схема (активная зона и парогенератор имели один общий стальной корпус). Идея такого реактора появилась в Лаборатории «В» еще в 1958 году, но реальные работы начались в 1964-м, когда уже накопился некоторый опыт эксплуатации ТЭС-3.

«Несмотря на хорошие технические показатели, все ядерные установки подобного типа недешевы. Точнее, они дороги, если оценивать их по единовременным первоначальным капиталовложениям. Вот почему, когда решается вопрос о приобретении такой станции, мнение заказчика почти всегда склоняется в пользу дизельных установок, которые действительно значительно дешевле по первоначальным вложениям. Но то, что дизельные установки при эксплуатации в трудных условиях подвоза топлива обходятся значительно дороже, как-то не очень волнует заказчика. Это происходит, по-видимому, потому, что эксплуатационные расходы раскладываются на ряд лет, между тем как единовременные расходы на приобретение дизельных установок значительно меньше, чем на приобретение ядерно-энергетических установок»⁵, — не без раздражения писал в книге «Проблемы атомной науки и техники» Андраник Петросьянц, в 1978–1986 годах возглавлявший Госкомитет СССР по использованию атомной энергии, не указывая прямо на Минобороны. Именно военные были заказчиками АЭС «Север» на основе АБВ-1,5, но в конце 1960-х отказались от нее.

При этом Андраник Петросьянц подчеркивал, что «АЭС малой мощности хороши там, где подвоз топлива затруднен транспортными и, может быть, климатическими условиями. Ценность АЭС малой мощности определяется также тем, что она кроме электроэнергии дает тепло для отопления жилых домов и производственных помещений. Тепло, выдаваемое АБВ-1,5 в количестве 4,3 Гкал в час, способно обеспечить 60 жилых десятиквартирных домов»⁶.

Чуть позднее к АБВ вернулись, но уже без заказа армии. Ефим Славский решил привлечь атомщиков из Восточной Европы и за счет международного сотрудничества дать проекту второй шанс. В 1971 году договор на разработку техпроекта АТЭЦ «Север-2»

подписали «Техснабэкспорт» (СССР) и «Трансэлектро» (Венгрия)⁷. Советский Союз разработал реакторную зону с унифицированными топливными сборками и поглощающими сборками кластерного типа, а в Венгрии создали проекты общей компоновки, систем концентрирования и обращения с жидкими радиоактивными отходами, замкнутого воздушного охлаждения. Даже появился эскизный проект плавучей АТЭЦ. Но, к сожалению, ни один проект так и не был реализован.

АРБУС для Антарктиды

Как следует из названия, арктическая блочная установка (АРБУС) тоже предназначалась для отдаленных районов. Но, вопреки названию, первую установку планировали отправить не в Арктику, а в Антарктиду, на одну из советских научных станций. Вероятно, решение было продиктовано обстоятельствами холодной войны: в конце 1961 года США доставили мини-реактор РМ-3А на свою станцию «Мак-Мердо», и СССР хотел продемонстрировать, что тоже обладает такими возможностями.

В 1950-х физики и химики в СССР, США, Канаде и других странах начали присматриваться к органическим теплоносителям для таких реакторов. Быстро выяснилось, что у органики есть весомые преимущества: во-первых, высокая температура кипения и низкая упругость пара позволяют обойтись без высокого давления в первом контуре; во-вторых, органика почти не вызывает коррозию, поэтому можно использовать обычные стали, а твэлы делать на основе алюминия; в-третьих, обслуживание первого контура сильно упрощено, поскольку наведенная радиоактивность органики очень низка.

Опытный образец был смонтирован на площадке НИИАР в Мелекессе (сегодня — Димитровград): установка состояла из 19 блоков весом не более 20 тонн каждый (общий вес — 365 тонн), чтобы такую станцию можно было доставлять на место любым видом транспорта. 23 мая 1963 года НИИАР посетила американская делегация во главе с нобелевским лауреатом, главой Комиссии по атомной энергии США Гленном Сиборгом. По воспоминаниям, ознакомившись с АРБУС, он сказал: «На это можно было деньги не тратить»⁸. Вероятно, Сиборг имел в виду недостаток таких установок: радиационная и термическая нагрузка приводит к разложению органики (радиолизу) и поликонденсации продуктов распада (фаулингу). На теплообменных поверхностях довольно быстро появляются отложения, потери теплоносителя составляют 0,1–1 кг на 1 МВт/ч выработанной электроэнергии.

⁵ Петросьянц А. М. Проблемы атомной науки и техники. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Атомиздат, 1979. — С. 276. — URL: https://elbib.biblioatom.ru/text/petrosyants_problemy-atomnoy-nauki-i-tehniki_1979.

⁶ Там же.

⁷ <https://tass.ru/spec/asmm>.

⁸ Ключков Е. П. и др. НИИАР: люди, годы, свершения. — Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2017. — С. 273. — URL: https://elbib.biblioatom.ru/text/niiar_2017.

Однако пуск все же состоялся 11 августа 1963 года. Установка была готова за 2,5 года. Электрическая мощность АРБУС составляла 750 кВт (тепловая — 5 МВт). Для управления требовалось 3 человека в смену, всего на установке работали 17 сотрудников. Сначала теплоносителем был гидростабилизированный газойль, позднее перешли на гидротерфенил. Бороться с проблемой фаулинга решили методом гидрокрекинга с применением алюмокобальтмолибденового катализатора и добавлением водорода, а позднее вместо регенерации теплоносителя решили применять вакуум-дистилляционную очистку. Несколько лабораторий постоянно проводили исследования и вносили улучшения, в результате до 1978 года фиксировались незначительные неполадки.

К сожалению, за это время стало понятно, что в Антарктиде АЭС не место: американская установка постоянно ломалась (за время работы — 1961–1972 годы — она вырабатывала тепло и электроэнергию 72% времени⁹). Поэтому Штаты решили свернуть невыгодный проект. А учитывая, что международный договор 1959 года запрещал в Антарктиде не только испытания ядерного оружия, но и захоронение радиоактивных отходов, то американцам пришлось вывезти в Калифорнию порядка 9 тыс. м³ грунта, в который просачивался радиоактивный материал.

В общем, установке АРБУС нужна была новая миссия. И она нашлась: 19 ноября 1979 года после серьезной модернизации состоялся пуск установки в режиме выработки тепла. По сути, эта установка стала первой в СССР атомной станцией теплоснабжения и называлась АСТ-1. Она должна была стать прообразом установки АТУ-15 (предполагались два реактора по 15 МВт каждый), заказчиками которой выступили золотодобытчики. Анатолий Рыбин, ведущий научный сотрудник радиационно-технологической лаборатории НИИЯР, вспоминает, что проводился большой объем исследований: «Когда я заканчивал свою диссертацию (темой было обоснование радиационной безопасности реакторов с органическим теплоносителем АСТ-1 и АТУ-15), пришло время искать оппонентов. Я много ездил, и неожиданно в МЭИ, прямо скажем, не самом профильном вузе, мне сказали: защищаться только у нас! Оказалось, им очень была нужна подобная установка — легкая, без биологической защиты, — чтобы устанавливать на самолеты. Но они требовали все засекретить, а мы не могли на это пойти. В итоге я защищался в ОКБМ в Горьком».

В новом качестве АРБУС проработала до мая 1988 года. К тому времени были опробованы многие технологические решения, шел поиск новых теплоносителей. «В конце 1980-х мы получили несколько образцов органических жидкостей из ВНИИОлефин (Баку). Их испытания проводились на реакторном стенде в условиях облучения. Результаты показали, что они в сравнении с дитоллилметаном могут быть более



перспективными в качестве реакторных теплоносителей. Но дальнейшие исследования были прекращены, так как с началом перестройки органическая тематика была закрыта», — вспоминает Людмила Рождественская, руководившая группой в химической лаборатории НИИЯР в период исследований на АРБУС — АСТ-1.

Как это произошло и с рядом других проектов, Чернобыльская авария и экономические сложности позднего СССР поставили крест на органическом направлении. В этом советская и американская атомные программы сошлись.

Реактор на колесах

В 1961 году Андрей Красин, бывший директор Лаборатории «В», переехал из Обнинска в Минск, где возглавил Институт ядерной энергетики (ныне — Объединенный институт энергетических и ядерных исследований «Сосны» НАН). Возможно, этим объясняется тот факт, что идею мобильной АЭС дальше развивали белорусские физики, и проект ТЭС-3 в какой-то степени переродился в образе «Памира-630Д».

Главным заказчиком разработки снова были военные, которые нуждались в компактном, надежном, простом в использовании устройстве. Поэтому предпочтение отдавалось одноконтурной схеме, следовательно, вода как теплоноситель и рабочее тело не подходила. Главный конструктор Василий Нестеренко предложил использовать жидкую тетраокись азота (N_2O_4), у которой высокие теплопроводность и теплоемкость при низкой температуре испарения. А учитывая, что при нагревании происходит реакция диссоциации ($N_2O_4 \rightarrow 2NO + O_2$), то есть объем и давление резко возрастают, то можно извлечь больше полезной энергии.

Свой проект мобильной АЭС белорусские физики представили научно-техническому совету Госкомитета

На фото

Эксперимент в исследовательских камерах на опытном реакторе АРБУС с целью доказательства целесообразности использования данных установок для теплоснабжения удаленных и северных районов страны (1976 г.)

⁹ Reid T. Nuclear Power at McMurdo Station, Antarctica. — 2014. — URL: <http://large.stanford.edu/courses/2014/ph241/reid2>.

- + У обычных АЭС большой мощности атомный реактор монтируется на площадке строительства станции. Малые модульные реакторы доставляются с завода на площадку практически (или даже полностью) готовыми.
- + Срок возведения АСММ меньше, чем станции большой мощности, а сама станция обойдется дешевле, чем обычная АЭС.
- + АСММ, как и АЭС большой мощности, — это надежный и устойчивый источник энергии, который не зависит от времени года, суток и погодных условий и работает без выброса парниковых газов в атмосферу.
- + АСММ идеально подходят для труднодоступных территорий, в том числе изолированных от централизованных источников электроснабжения. Они компактны — их можно разместить на небольшой площади, им не требуется большое количество пресной воды для охлаждения. Перегружать топливо в реактор нужно раз в пять-шесть лет: это гораздо проще, чем доставлять в труднодоступные районы органическое топливо на постоянной основе. Плавающие энергоблоки — отличный вариант для островных территорий или для добывающих предприятий: как только месторождение отработано и энергия больше не нужна, ПЭБ буксируют на другую локацию.
- + АСММ может производить ровно столько энергии, сколько требуется потребителю: количество блоков может быть любым, их мощность тоже варьируется.
- + АСММ (как и обычная АЭС) может производить не только электрическую, но и тепловую энергию, кроме того, с помощью АСММ можно опреснять воду.

по использованию атомной энергии СССР осенью 1963 года. Но специальное КБ с опытным производством появилось лишь через 10 лет. Тогда и началась полноценная работа. Например, пришлось решать вопрос, как нивелировать коррозионную активность тетраоксида азота. Также скептики предупреждали, что при попадании воды в реактор образуется азотная кислота, а это — серьезная угроза разрушения активной зоны. Решили разбавить N_2O_4 и добавить 10% NO . Смесь назвали нитрином. Но угроза все же реализовалась: во время одного из экспериментов произошел разрыв трубопровода, в помещение попал оранжевый дым. Один из сотрудников вдохнул его, в легких мгновенно образовалась та самая азотная кислота... спасти человека не удалось.

Тем не менее проект развивался, в общей сложности были задействованы 150 предприятий из разных республик СССР. 24 ноября 1985 года состоялся энергопуск. Мощность установки составила 630 кВт. В отличие от ТЭС-3, оборудование размещалось

на пяти автомобильных прицепах. Управляли устройством две ЭВМ (третья была резервной). На подключение всех систем и пуск требовалось всего шесть часов. Предполагалось, что энергетическая установка может проработать три года без перегрузки, но в реальности на разных режимах нагрузки «Памир-630Д» функционировал 2975 часов. Как и АСТ-1, в 1988 году белорусский проект окончательно закрылся, а прототип был разобран. «Весть о закрытии проекта была воспринята коллективом с большим сожалением. Это была интересная программа», — признается сегодня Дмитрий Максимович, секретарь ГНУ «ОИЭЯИ — Сосны» НАН Беларуси. Часть реакторной установки превратилась в монумент на территории института «Сосны», несколько труб из нержавеющей стали для парогенератора использовались как декор в ночном клубе, который так и назывался — «Реактор». Клуб закрылся в 2011-м, судьба труб неизвестна.

Уникальная «Гамма»

Термоэлектрическое преобразование обычно используется в радиоизотопных электрических генераторах — РИТЭГах (электроэнергия образуется за счет разницы температур в проводниках). Однако в Курчатовском институте прорабатывался проект и такой АЭС. В начале 1989 года Дальневосточное отделение АН СССР предложило использовать ее на острове Попова для нужд научного поселка Тихоокеанского океанографического института. Реактор назвали «Елена». Правда, реализовать проект не удалось, но была создана и испытана «Гамма», на которой отработали основные решения. И получилась по-настоящему уникальная установка — необслуживаемый саморегулируемый ядерный источник энергии с прямым преобразованием тепловой энергии реактора для децентрализованного энергоснабжения электричеством и теплом автономных потребителей.

Установка состояла из водо-водяного реактора (высота активной зоны — 50 см) с выносным компенсатором объема и термоэлектрического генератора, скомпонованных в одном агрегате. Установка размещалась в бассейне: вода была и биозащитой, и инструментом вывода тепла. Причем конструкторы смогли добиться естественной циркуляции. Энергопуск состоялся 1 марта 1982 года. Электрическая мощность составляла 6,6 кВт (тепловая — 220 кВт). Программа исследований была выполнена к 1990 году¹⁰, после этого реактор перевели на работу с пониженными параметрами, а в 2012-м было принято решение о выводе из эксплуатации.

На воде и на суше

Россия обладает единственным в мире атомным ледокольным флотом, а силовая установка каждого атомохода — это как раз реактор малой мощности.

¹⁰ https://flnp.jinr.int/images/Books/Ustanovki_sodrujestva/46.pdf.

Наша страна накопила огромный опыт эксплуатации ядерных реакторов на ледоколах, его логичным продолжением стало использование модифицированных судовых реакторов для энергетических блоков малой мощности.

С 2019 года на Чукотке, в самом северном городе России Певеке, работает первая и единственная в мире плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС), в ее основе — плавучий энергоблок (ПЭБ) «Академик Ломоносов» с двумя реакторами КЛТ-40С общей мощностью 70 МВт. Вместе они способны обеспечивать в номинальном режиме выдачу в береговые сети 70 МВт электроэнергии и до 50 Гкал/ч тепловой энергии для нагрева теплофикационной воды. Реакторными установками этого типа оснащены ледоколы «Таймыр» и «Вайгач», а также единственный в мире атомный лихтеровоз «Севморпуть». Станция рассчитана на 40 лет службы с возможностью продления.

ПАТЭС, которая может обеспечивать электроэнергией населенный пункт с численностью населения около 100 000 человек, решает две задачи. Во-первых, это замещение выбывающих мощностей Билибинской АЭС, действующей с 1974 года, и Чаунской ТЭЦ, которой уже более 70 лет. Во-вторых, это обеспечение энергией горнодобывающих компаний, расположенных в регионе.

Флагманская разработка «Росатома» в области ММР — водо-водяной реактор РИТМ-200. Эти реакторы сегодня успешно работают на самых современных атомных ледоколах проекта 22220. Российскими атомщиками разработаны разные версии этих реакторов, которые могут работать и на новых плавучих энергоблоках, и на наземных атомных станциях малой мощности.

Первая в России наземная АСММ строится в якутском поселке Усть-Куйга: сейчас на площадке готовится к заливке бетона. В основе проекта этой станции — реактор РИТМ-200Н (наземный) мощностью 55 МВт. Работа станции улучшит экологическую обстановку в регионе, а тарифы на электроэнергию, согласно предварительным расчетам, снизятся. Энергия станции будет нужна и для энергоснабжения крупнейшего золоторудного месторождения Кючус.

В 2024 году Россия заключила первый в мире экспортный контракт на строительство АСММ: «Росатом» построит такую станцию в Узбекистане. АСММ будет состоять из шести реакторов РИТМ-200Н. На площадке уже ведутся подготовительные работы. В мае 2025 года машиностроители «Росатома» приступили к изготовлению металлургических заготовок для корпуса первого из реакторов узбекской АСММ.

В марте 2025 года «Росатом» подписал с Мьянмой межправительственное соглашение о принципах сотрудничества в области строительства АСММ. Об интересе к российским ММР заявляли и другие страны.

РИТМ (на фото: ковка заготовок для элементов реакторной установки РИТМ-200Н атомной станции малой мощности, которую «Росатом» строит в Якутии) — основной, но не единственный проект малых модульных реакторов «Росатома».

В проработке находится проект термоэлектрической станции «Елена» мощностью около 200 КВт. Планируется, что она сможет работать автономно до 10 лет. Прообраз «Елены» — установка «Гамма», работавшая в СССР.

Завершается разработка материалов технического проекта реакторной установки «Шельф-М» для АСММ тепловой мощностью 35,2 МВт, сооружение планируется в Чукотском автономном округе.

Высокотемпературный газовый реактор (ВТГР) мощностью 200 МВт планируется построить в составе атомной энерготехнологической станции вместе с установкой для производства водорода.

В Северске (Томская область) в рамках проекта «Прорыв», цель которого — замыкание ядерного топливного цикла, строится уникальный быстрый опытно-демонстрационный реактор БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем. Его мощность — 300 МВт.

Также разрабатываются несколько проектов реакторов малой мощности со свинцово-висмутовым теплоносителем.



Текст: Ева Борисова

Фото: ТАСС, газета «Страна Росатом» / Евгений Погонин, Алексей Башкиров

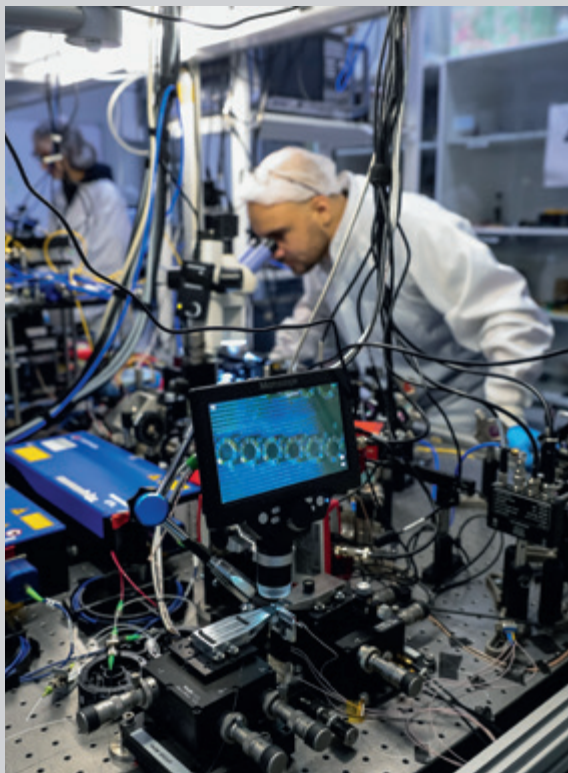
Атомная «цифра»

От первых ЭВМ для АЭС — к современным ИТ-продуктам

Цифровые технологии воспринимаются большинством людей как современные и инновационные. Но база для современных достижений была заложена еще в 60–70-е годы прошлого века, когда появились первые ЭВМ — громоздкие, занимающие по несколько больших залов, по современным меркам малопроизводительные, но при этом решавшие нетривиальные задачи. В этой статье мы расскажем об истории использования вычислительных машин в атомной промышленности. Разумеется, перечисленные программы и использовавшиеся на АЭС ЭВМ и УВМ — это не исчерпывающий список, но он может дать представление о начале цифровизации и ее развитии во времена СССР. Сейчас развитие цифровых технологий — важное направление деятельности «Росатома», которое включает в себя создание программных комплексов и суперкомпьютеров, цифровых тренажеров, систем виртуальных атомных объектов, центров обработки данных и многое другое.

На фото

Благодаря накопленным атомной отраслью научно-техническим компетенциям сегодня атомщики работают над развитием квантовых вычислений. К концу 2024 года российскими учеными под руководством «Росатома» созданы прототипы квантовых вычислителей на всех четырех приоритетных платформах (такие достижения есть всего у трех стран в мире)



Первая для второй

Белоярскую АЭС можно по праву считать второй промышленной атомной станцией в СССР. Конечно, в Северске Томской области работала Сибирская АЭС, запущенная в 1958 году, и хронологически она стала второй по счету, но все же получение электроэнергии и тепла было для нее побочным продуктом: основной задачей реакторов ЭИ-2 («Энергетический Иван»), АДЭ-3, АДЭ-4 и АДЭ-5 была наработка оружейного плутония. А Белоярскую АЭС изначально строили для выработки электроэнергии. Реакторы АМБ-100 и АМБ-200 стали эволюционным продолжением реактора АМ-1 Обнинской АЭС.

Первой вычислительной машиной для реакторной установки стала ЭВМ «Карат», созданная для реактора АМБ-200. ЭВМ «Карат» была сделана еще на ламповой элементной базе (сейчас вместо ламп в производстве техники используются микросхемы) и занимала несколько больших залов. Кстати, «Карат» — это звуковая аббревиатура, складывающаяся в значимое слово. Расшифровывалось это название как «Комплексная Автоматизация Реактора АТомного»¹.

Юрий Маслеников, один из разработчиков «Карата», вспоминал: «Цифровая система для БАЭС проектировалась в основном как чисто информационная система, отображающая состояние реактора и оборудования без функций управления (кроме положения графитовых стержней). Но она контролировала все параметры работы реактора, все действия операторов на пульте управления и, выполняя распечатку всего этого на опломбированном телетайпе, выполняла функцию черного ящика»².

Отладкой «Карата» занимался в том числе Николай Куликов, который специально обучался навыкам работы с ЭВМ в Ленинграде: «Система «Карат» предназначалась для сбора информации и в случае отклонений должна была выдавать сигнал на БЩУ (блочный щит управления). ЭВМ занимала огромное помещение, самая «умная» часть приехала из Ленинграда, сигнализация была смонтирована на БЩУ в виде огромнейших табло, часть оборудования

¹ Мирный атом на работе // Вестник атомпрома. — URL: <https://atomvestnik.ru/2022/09/27/mirnyj-atom-na-rabote>.

² Маслеников Ю. А. Белоярская АЭС: как в СССР впервые создавали ЭВМ для атомной станции // EnergyLand.info. — 31.12.2018. — URL: <https://energyland.info/news-show-generaciya-atom-181105>.

изготавливалась по спецзаказу на Украине. А я все это увязывал между собой»³.

«Я участвовал в доработке «Карата»: например, сделал так, чтобы она работала без постоянного контроля со стороны оператора. Мы с коллегами придумали массу хитростей, чтобы между двумя ЭВМ постоянно осуществлялся обмен информацией. Они работали параллельно: если сбилась одна, то автоматически работала вторая. Создатель «Карата» был поражен: «Как так, машина работает без оператора?!» Также мы «научили» систему рассчитывать технико-экономические показатели в режиме онлайн. Вместе с ПТО разработали техзадание, затем нашу разработку внедрила лаборатория «Карат», — рассказывал Николай Куликов⁴.

Оба реактора — и АМБ-100, и АМБ-200 — были остановлены досрочно из-за некоторых конструктивных особенностей, а ЭВМ «Карат» пострадала в 1978 году, и ее впоследствии не восстановили. Но эксплуатация реакторов АМБ помогла получить ценный опыт для разработки АЭС большой мощности.

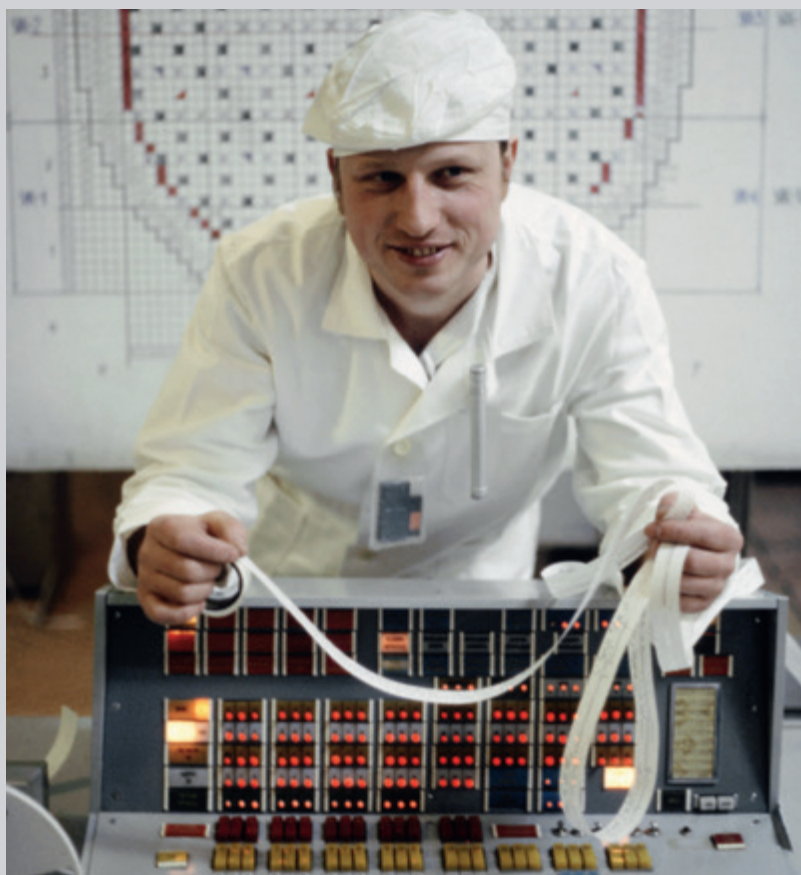
Надежная «СКАЛА»

В конце 60-х годов XX века встал вопрос о том, что для реакторов РБМК также необходима автоматизация системы управления. И разработчиков ЭВМ «Карат» пригласили для создания новой вычислительной системы⁵. Кстати, сам термин «автоматизация» возник в связи с применением средств вычислительной техники⁶.

В начале 1970-х годов во Всесоюзном научно-исследовательском институте электромеханики (ВНИИЭМ) была разработана система централизованного контроля (СЦК) «СКАЛА». Расчеты показали, что использование этой системы на реакторе РБМК позволит увеличить его мощность на 10–15%.

«СКАЛА» состояла из управляющего вычислительного комплекса УВМ «В-3М», что расшифровывалось как «управляющая вычислительная машина», и комплекса оборудования связи СЦК «СКАЛА» с объектом. Отличие управляющих вычислительных машин от ЭВМ заключалось в том, что они «в масштабе реального времени осуществляли обработку реальных сигналов сложных электротехнических комплексов и управление этими комплексами»⁷.

Внедрение началось с Ленинградской АЭС и было закреплено документом, который впоследствии



получил название «Решение пяти министров». Его подписали министры Минсредмаша, Минрадиопрома, Минприбора, Минэлектротехпрома и президент АН СССР. В документе содержалось обоснование использования для автоматизации именно УВМ «В-3М» и указание на возможность масштабирования проекта на другие АЭС⁸.

К задачам вычислительного комплекса УВМ «В-3М» относились прием цифровых и аналоговых сигналов, обработка получаемой информации, выдача управляющих воздействий на другие устройства системы и выдача информации персоналу с помощью теле-тайпов, устройств быстродействующей печати. Для повышения надежности УВМ «В-3М» включает два взаиморезервирующих комплекта — А и В.

Комплекс оборудования связи обеспечивал прием сигналов, характеризующих состояние объекта, а также выдачу управляющих сигналов в другие

³ Маслеников Ю. А. Белоярская АЭС: как в СССР впервые создавали ЭВМ для атомной станции.

⁴ 50 лет со дня ввода в работу энергоблока с реактором АМБ-200 на Белоярской АЭС: как это было // EnergyLand.info. — 29.12.2017. — URL: <https://energyland.info/news-show-generaciya-atom-166969>.

⁶ Десятников И. И. Система «СКАЛА-микро». История проекта. — URL: <https://jurnal.vniiem.ru/text/124/45.pdf>.

⁷ Машиностроение ядерной техники. Т. IV—25. В 2-х книгах. Кн. 2. / Е. О. Адамов и др. — 2005. — С. 17. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/mashinostroenie-yadernoy-tehniki_kn2_2005/0000.

⁸ Долгарт В. М. Создание и применение компьютеров и автоматизированных управляющих и испытательных систем в работах НПП ВНИИЭМ. — URL: <https://jurnal.vniiem.ru/text/124/55.pdf>.

Серию вычислительных машин БЭСМ и ЭВМ М-220 разработал Институт точной механики и вычислительной техники АН СССР. Первые модели (БЭСМ-1 и БЭСМ-2) были еще ламповыми: 4 тыс. электронных ламп и 5 тыс. полупроводниковых диодов.

На момент создания БЭСМ-1 (Большая электронно-счетная машина) стала самой быстродействующей машиной в Европе и одной из самых быстродействующих ЭВМ в мире: средняя производительность составляла 10 тыс. операций в секунду¹³. БЭСМ-4 выполняла операции уже со скоростью 20 тыс. операций в секунду и занимала площадь около 65 м². БЭСМ-6 представляла собой первую советскую суперЭВМ на элементной базе второго поколения, то есть уже не на лампах, а на транзисторах. Быстродействие ЭВМ М-220 составляло 28 тыс. операций в секунду, а размещалась она на площади около 100 м².

системы автоматизации и на средства отображения информации, расположенные на БЩУ⁹.

Впоследствии системы «СКАЛА» были установлены на всех АЭС с реакторами РБМК, а в конце 80-х годов прошлого века началась разработка системы следующего поколения — «СКАЛА-микро».

ВВЭРным путем: от суперЭВМ до мини-решений

Для расчета различных параметров реакторов ВВЭР использовались специальные программы. Так, например, одной из важных задач при разработке был выбор системы регулирования, ограниченный необходимостью компенсации больших запасов реактивности с характерными для ВВЭР большим диапазоном изменения температуры топлива и необходимостью работы в режиме маневрирования мощностью в соответствии с изменением нагрузки, а также малыми длинами миграции нейтронов в сочетании с трудностями размещения большого числа подвижных стержней — поглотителей нейтронов. Первые эксперименты показали необходимость создания трехмерной методики расчета полей нейтронов и распределения энерговыделения в активной

зоне реактора ВВЭР. С этой целью была создана серия программ БИПР, начиная с БИПР-1, разработанной в 1962 году. Программа позволяла рассчитать критичность, эффекты и коэффициенты реактивности, эффективность органов управления реактором, а также учитывать физические явления, которые происходят в процессе эксплуатации¹⁰. Программа БИПР-5 уже позволяла моделировать все возможные состояния активной зоны реактора ВВЭР¹¹. Она предполагала установку на трехадресных ЭВМ М-220 или БЭСМ-4, БЭСМ-6. Интересны некоторые названия подпрограмм БИПР-5. Так, подпрограмма для нештатного управления регулирующими стержнями называлась «СПУСК», а подпрограмма нестационарного отравления реактора ксеноном и самарием получила название «СМEX»¹².

На АЭС применялись не только мощные вычислительные устройства. Расчеты, касающиеся систем внутриреакторного контроля (СВРК), осуществлялись на ЭВМ СМ-2М. Создавались эти ЭВМ в Институте электронных управляющих машин им. И. С. Брука (ИНЭУМ). СМ расшифровывается как «система малых» (ЭВМ). Комплексом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по СМ ЭВМ занималось более 30 институтов и предприятий СССР, Болгарии, Венгрии, ГДР, Кубы, Польши, Румынии и Чехословакии¹⁴. Международное сотрудничество позволило унифицировать и сделать универсальными ряд технических и программных решений. «При разработке моделей Единой системы и СМ ЭВМ была поставлена цель обеспечить в максимальной мере их совместимость с ЭВМ, разработанными в других странах. Такая цель вполне оправданна, поскольку в противном случае наша вычислительная техника была бы изолирована от мировых достижений в области компьютерной технологии и, в частности, принципиально не имела бы доступа к накопленному в мире программному обеспечению»¹⁵, — рассказывал Борис Наумов, руководивший разработкой СМ ЭВМ.

Параметры ЭВМ СМ-2М покажутся нам более чем скромными: 256 Кб оперативной памяти, разбитой на четыре раздела по 64 Кб, и два процессора. Но эти «малыши» справлялись не только с расчетами, необходимыми для систем внутриреакторного контроля, но и могли рассчитать изотопный состав топлива. Для решения этих задач были разработаны программы «Гиндукуш», «Хортица», «Капри», «Курилы», получившие названия в честь географических объектов — горной системы в Центральной Азии, острова

⁹ Машиностроение ядерной техники. Т. IV—25. В 2-х книгах. Кн. 2. / Е. О. Адамов и др. — С. 206.

¹⁰ История атомной энергетики Советского Союза и России / Под ред. Сидоренко В. А. — Вып. 2. — М., 2002. — С. 129. — URL: https://elbib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v2_2002.

¹¹ Программа БИПР-5. Описание структуры и входных данных / Петрунин Д. М., Беляева Е. Д., Киреева И. Л.; Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова. — М., 1975. — URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/09/358/9358608.pdf.

¹² Там же.

¹³ <https://besm-6.ru/besm-series.html>.

¹⁴ Филинов Е. Н. Система малых ЭВМ (СМ ЭВМ). — URL: <http://ineum.ru/sistema-malykh-evm-sm-evm>.

¹⁵ Там же.

на Днепре, острова в Тирренском море, островов между Камчаткой и Хоккайдо¹⁶.

«ГЕФЕСТ» для бридеров

Когда было принято решение о строительстве промышленного реактора БН-600, для обоснования безопасной эксплуатации быстрых натриевых реакторов с урановым и уранплутониевым топливом был разработан комплекс программ трехмерных нейтронно-физических расчетов «ГЕФЕСТ»¹⁷ (напомним, что Гефестом звали древнегреческого бога огня). Высокое качество расчетного сопровождения во многом обусловлено природой быстрого реактора. В отличие от реакторов с тепловым спектром нейтронов, в быстром реакторе мгновенные и запаздывающие нейтроны деления, а также поглощаемые нейтроны находятся почти в одном и том же энергетическом диапазоне быстрых нейтронов, поэтому можно уверенно гомогенизировать расчетную ячейку. Эти причины обуславливают успешное прогнозирование поведения реактора расчетными программами.

Первоначально программу разрабатывали для ЭВМ ЕС-1055. Эта электронно-вычислительная машина производилась в Германии с 1979 года и была составной частью Единой системы ЭВМ стран социалистического сотрудничества — ЕС ЭВМ-2¹⁸. Аппаратная основа всех компьютеров типа ЕС — платы с микросхемами размером 140 × 150 мм. Стандартная конструкция ЕС ЭВМ — стойка, в ней 3 рамы по 6 панелей в каждой, 40 типовых элементов замены в панели. Эта ЭВМ занимала уже гораздо меньше места по сравнению с предыдущими аналогами, но все равно была гораздо больше, чем современные ПК.

Комплекс «ГЕФЕСТ» позволял комплексно исследовать состояние реактора, например мощность ТВС, линейную мощность твэлов, скорость реакции деления и захвата, плотность потока и флюенс нейтронов¹⁹. С тех пор «ГЕФЕСТ» неоднократно перетестировался под разные модификации активной зоны и постоянно совершенствовался, в том числе для испытаний нитридного топлива в рамках проекта «Прорыв». А для БН-800 была создана новая версия комплекса «ГЕФЕСТ»²⁰.

¹⁶ История атомной энергетики Советского Союза и России. — С. 204–205.

¹⁷ Матвеев В. И. и др. Основные этапы физического пуска БН-600 и сравнение измеренных и проектных характеристик // Атомная энергия. Т. 108, вып. 4. — 2010. — С. 255. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t108-4_2010/p255.

¹⁸ Пржиялковский В. В. Электронная вычислительная машина ЕС-1055. — URL: <https://www.computer-museum.ru/histussr/es1055.htm>.

¹⁹ Белов А. А., Селезнев Е. Ф. Расчетное сопровождение эксплуатации БН-600 // Атомная энергия. Том 108, вып. 4. — 2010. — С. 257. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t108-4_2010/p257.

²⁰ ГЕФЕСТ по-новому: интервью с Е. Селезневым. // AtomInfo. — URL: <http://www.atominfo.ru/news/v0685.htm>.

Сегодня «Росатом» уделяет большое внимание цифровизации, выпуску ПО, развитию необходимой ИТ-инфраструктуры для обеспечения технологического суверенитета страны. Госкорпорация ставит перед собой амбициозную задачу — достижение к 2030 году глобального лидерства по ряду технологий на мировом рынке цифровых решений.

Залогом успешной работы в области цифровизации является научно-технический потенциал, накопленный атомной отраслью за 80 лет развития. Еще в ходе реализации советского атомного проекта был выполнен колоссальный объем математических вычислений. Позднее стал вопрос об их автоматизации. Так постепенно нарабатывались необходимые ИТ-компетенции.

В настоящее время «Росатом» разрабатывает и активно развивает собственные цифровые решения. Стратегическая цель их внедрения — повышение эффективности производственных и технологических процессов в атомной отрасли и в компаниях — партнерах госкорпорации.

Актуальный портфель цифровых решений «Росатома» включает ряд инновационных продуктов: решения для математического моделирования физических процессов в промышленности; комплекс сервисов для управления городской средой; решение для управления жизненным циклом изделий в промышленности; специализированные приложения с интеграцией ИИ. Перечисленные цифровые решения «Росатома» включены в реестр отечественного ПО в соответствии с текущими требованиями к программным продуктам, направленным на импортозамещение и укрепление технологического суверенитета России.

В рамках деятельности, связанной с искусственным интеллектом, реализуются пилотные проекты в таких направлениях, как предиктивная аналитика, компьютерное зрение в промышленных задачах, роботизация бизнес-процессов.

В настоящее время в портфеле «Росатома» более 60 цифровых продуктов, решений и услуг по таким приоритетным направлениям, как «Математическое моделирование и НИОКР»; «Управление предприятием и производством»; «Цифровая инфраструктура»; «Управление сооружением крупных инженерных объектов»; «Информационная и физическая безопасность»; «Цифровизация городских сервисов и процессов»; «Системная интеграция и разработка ПО». Заказчики ИТ-решений «Росатома» — ведущие компании, лидеры стратегических отраслей российской экономики.



Текст: Ева Борисова

Фото: ТАСС, «Росатом», АО «В/О «Изотоп»

Точно в цель!

На благо людей: отечественная ядерная медицина вчера, сегодня, завтра



Развитие ядерной медицины было бы невозможным и без открытий, связанных с проникающей способностью ионизирующего излучения, и без создания циклотронов, ускорителей и атомных реакторов, и, конечно же, без людей и их изобретений. Основателем ядерной медицины как направления считается венгерский химик Дьёрдь де Хевеши, предложивший метод меченых атомов для биологических исследований. В каждой стране мира у этой комплексной и высокотехнологичной науки свой путь развития, свои открытия и свои герои. Благодаря базе, заложенной в советский период, и достижениям XXI века отечественная ядерная медицина развивается в соответствии с общемировыми тенденциями.

Первые шаги

Один из основоположников радиобиологии в СССР, Глеб Михайлович Франк, отмечал, что природные радиоактивные изотопы начали использоваться в СССР вскоре после Октябрьской революции — как для лечения рака, так и для задач аналитической химии и проверки возраста минералов. Работа по применению искусственных радиоактивных изотопов началась в 1939 году во Всесоюзном институте экспериментальной медицины им. А. М. Горького (ВИЭМ). С созданием необходимой аппаратуры помогли научные сотрудники Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. В итоге уже в 1940 году были представлены первые результаты по применению фосфора и брома как радиоактивных индикаторов¹. Исследования прервала Великая Отечественная война, но вскоре после нее, вслед за реализацией советского атомного проекта, ядерная медицина получила новый импульс к развитию. При Министерстве здравоохранения СССР в 1947 году было создано Третье главное управление — секретная структура, в чьи задачи входило медико-санитарное обеспечение вначале атомного, а затем и космического проекта². Параллельно шло внедрение методов ядерной медицины. Так, например, метод меченых атомов начал применяться в ряде лабораторий институтов республик СССР уже в 1949 году, а производство искусственных изотопов осуществлялось с помощью циклотронов и ядерных реакторов³.

Первая «раковая лечебница» в Москве была построена семьей купцов Морозовых в начале XX века и получила название «Институт лечения опухолей имени Морозовых». Институт стал первым в Европе центром лечения онкологии⁴. Радиобиологические методы начали внедряться в 60-х годах XX века. Современное название учреждения — Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П. А. Герцена (МНИОИ).

Решение об организации Института медицинской радиологии АМН СССР (сейчас — Медицинский радиологический научный центр им. А. Ф. Цыба) было принято в 1958 году, его первым директором стал Георгий Артемьевич Зедгенидзе. Он широко внедрял экспериментальные рентгенологические

¹ Курдюмов Г. В., Нейман М. Б., Франк Г. М. Применение радиоактивных изотопов в СССР // Атомная энергия. Том 3, вып. 11. — 1957. — С. 465–478. — URL: https://elbib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t3-11_1957/p472/.

² К 70-летию ФМБА России. Ученые и врачи — создатели уникальной системы специального здравоохранения. — URL: <https://www.historymed.ru/fmba/>.

³ Курдюмов Г. В., Нейман М. Б., Франк Г. М. Применение радиоактивных изотопов в СССР. — С. 465.

⁴ Каприн А. Д., Чиссов В. И., Дрошнева И. В. История МНИОИ имени П. А. Герцена. — URL: <https://new.nmicr.ru/about/history/mnioi>.

исследования, разрабатывал рентгеноконтрастные и радиоизотопные методы диагностики, совершенствовал методы лучевой терапии⁵.

Оба учреждения вместе с НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н. А. Лопаткина сейчас входят в состав ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

Особенность ядерной медицины заключается в том, что только с помощью ее специализированных методов — применения радиоактивных изотопов — можно получить информацию о функциональной активности ткани без оперативного вмешательства⁶.

Сила изотопов

В 1960 году советский поэт Леонид Мартынов написал стихотворение:

*Добрый мир,
Который я люблю,
Ты недавно вышел из окопов.
Я тебе чего-нибудь куплю
В магазине изотопов.*

И он не преувеличивал: магазин «Изотопы» действительно располагался в Москве в доме № 70 по Ленинскому проспекту. Его открыли в 1959 году. Конечно, купить радиоактивное вещество обычный гражданин не мог — в магазине были только каталоги продукции, а также необходимого оборудования. Заказывать и покупать изотопы имели право только научные, промышленные и учебные организации, да и то при наличии разрешающего документа от Государственной санитарной инспекции⁷. Зачем же был открыт этот магазин? Ответ прост: это была вполне успешная информационно-рекламная кампания. Заинтересовавшиеся посетители могли увидеть в магазине экспонаты, стенды, схемы и демонстрационную аппаратуру. Продавцы-консультанты — специалисты с физическим и техническим образованием — объясняли, что такое изотопы и в каких сферах, от промышленности до медицины, их применяют. Информация о необычном магазине разошлась и за рубежом. Ко второй половине 1970-х годов изотопы, сделанные в СССР, экспортировались в 44 страны⁸. Спрос на ценную продукцию рос.

Развитие производства: от НИИ и заводов до реакторов

Местом рождения отечественной ядерной медицины называют Институт биофизики Министерства

Основные направления ядерной медицины

1. Радионуклидная диагностика — исследование состояния тканей, органов и систем живого организма с помощью радиофармпрепаратов (РФП) и специальной аппаратуры (например, томографа).

2. Радионуклидная терапия — процесс, при котором РФП вводится внутрь организма и концентрируется в органе или тканях, требующих лечения, после чего разрушает пораженные участки и выводится из организма.

3. Лучевая терапия — контактное или дистанционное использование радиационного излучения для лечения.

здравоохранения СССР. Уже в 1948 году на него были возложены задачи по изучению воздействия радиации на человека и безопасному применению радиоактивных источников в медицине и других сферах⁹. Сырьем для препаративной лаборатории института служили мишени, облученные на циклотронах в Радиовом институте и Лаборатории № 2, а также в первом промышленном реакторе А (знаменитой «Аннушке»). Радиохимик Г. Е. Кодина отмечает, что «по инициативе И. В. Курчатова уже в первые годы работы реактора были выделены отдельные ячейки для получения ^{60}Co , ^{210}Po , ^{32}P , ^{36}Cl , ^{14}C и некоторых других «неоружейных» радионуклидов. По заказу медиков в урановых блоках нарабатывался короткоживущий изотоп ^{131}I »¹⁰.

В период с 1948 по 1967 год в препаративной лаборатории производились источники для аппликационной радионуклидной терапии в виде специальных кожных аппликаторов, а также для внутритканевой и внутрисполостной радионуклидной терапии в виде игл, стержней и аппликаторов¹¹.

Завод «Медрадиопрепарат» был создан в 1967 году на базе производственного сектора препаративной лаборатории Института биофизики. Первые 10 лет работы завод оставался единственным предприятием, специализирующимся на выпуске радиоактивных изотопов. Его основная деятельность — производство лекарственных средств, меченных радиоактивными изотопами, наборов реагентов, радиоизотопных

⁷ Вдовенко А. «Демобилизованный атом» и облученная картошка: как в Советском Союзе открылся магазин «Изотопы» и что там продавали // НОЖ. — URL: <https://knife.media/isotopes>.

⁸ Там же.

⁹ Кодина Г. Е. Институт биофизики — место рождения отечественной ядерной медицины // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2016. — № 5. — URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/mrrs/mrrs09.htm>.

¹⁰ Там же.

¹¹ Там же.

генераторов и источников ионизирующего излучения, применяемых при лечении и диагностике заболеваний¹².

Производство медицинских изотопов в советское время было освоено в Научно-исследовательском институте атомных реакторов. В 80-е годы XX века изотопы начали производиться и на промышленных реакторах, которые изначально строились для наработки плутония или трития. Один из таких реакторов, изменивших свое целевое назначение, — «Людмила», который находится на ПО «Маяк». Первоначально реактор назывался ЛФ-2. Имя «Людмила» реактор получил благодаря своему «соседу» — реактору «Руслан». Название «Руслан» представляет собой звуковую аббревиатуру, которая расшифровывается как «Реакторная установка с лантановым наполнением». Первая поэма Пушкина, завершенная в 1820 году, полтора столетия спустя «оживила» и в атомном исполнении.

Литературные мотивы в названиях реакторов, нарабатывающих изотопы, на этом не заканчиваются. Еще один уникальный — единственный в мире — реактор на растворе солей (бак реактора наполнен водным раствором уранилсульфата — UO_2SO_4), предназначенный для этих целей, назвали «Аргус». Аргус в древнегреческой мифологии — многоглазый великан, неусыпный страж. Первоначально реактор разрабатывали для нейтронно-активационного анализа геологических проб. Создатели реактора сразу выбрали в качестве названия имя собственное, без дополнительной расшифровки аббревиатуры, как это было, например, с «Русланом»¹³. В начале 2000-х годов в Курчатовском институте пристальное внимание уделялось проблеме наработки на реакторе медицинских радионуклидов стронций-89 и молибден-99 (технеций-99m, продукт распада молибдена-99, вот уже полвека доминирует в ядерной медицине — с его помощью проводятся диагностические процедуры в онкологии и кардиологии)¹⁴. При этом производство радионуклидов на «Аргусе» позволяло использовать уран-235 с эффективностью, приближающейся к 100%.

Дело техники

Развитие ядерной медицины было бы невозможным без специализированной техники. Линейные медицинские ускорители начали производиться на ФГУП

«НПК ЛУЦ» (сейчас — АО «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова») в 60-х годах XX века¹⁵. Они используются для лучевой терапии: электроны или фотоны ускоряются с помощью магнитного излучения и в виде пучка (луча) направляются на опухоль, уничтожая ее клетки и минимизируя воздействие на здоровые ткани¹⁶.

Чтобы направить луч как можно более точно, выяснить границы локализации опухоли, проводится исследование на томографе. Магнитно-резонансная томография — один из самых совершенных методов визуализации внутренних органов, при котором томограф делает послойные снимки организма с помощью ядерного магнитного резонанса. Сверхпроводящий магнит создает мощное магнитное поле, которое влияет на атомы водорода в организме человека, а затем их облучают электромагнитным импульсом. Протоны поглощают энергию этого импульса, а после его прекращения отдадут излишки энергии в виде радиоволн. Этот волновой «отклик» позволяет получить четкие изображения органов и тканей, а также выявить опухоль или другие патологические изменения¹⁷.

Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) начал развиваться в начале 70-х годов XX века, но, по некоторым данным, первые исследования, связанные с использованием ядерного магнитного резонанса на живых биологических тканях, проводили уже в 1968 году советские ученые Э. Л. Андрониковили и Г. М. Мревлишвили¹⁸. А первую заявку на авторское изобретение «Способ исследования внутреннего строения материальных тел» отправил советский ученый В. А. Иванов в 1960 году. На тот момент ему было 24 года, он служил на ракетной базе, где в том числе были приборы, использовавшие ядерный магнитный резонанс. И он предположил, что этот метод можно применять и для «просвечивания» человеческого тела¹⁹. Но его идея на тот момент не нашла применения, и первые аппараты МРТ появились за рубежом в 1970-е годы.

Компьютерная томография в России ведет свою историю с 1978 года. Один из первых томографов компании General Electric, предназначенных для применения в клинических условиях, был установлен в радиологическом корпусе Центральной клинической больницы (ЦКБ) Четвертого главного управления Совмина РСФСР. Собственные рентгеновские

¹² <https://fcpr.ru/history>.

¹³ Павшук В., Балакин И., Уваров А. Владимир Павшук: было бы желание // AtomInfo.Ru. — 03.11.2010. — URL: <http://atominfo.ru/news3/c0669.htm>.

¹⁴ Павлов А. К. Расчетное обоснование методологии перевода растворного реактора «Аргус» на низкообогащенное урановое топливо: дис. канд. техн. наук: спец. 05.14.03 / А. Павлов, НИЦ «Курчатовский институт». — URL: <https://nrcki.ru/files/pdf/1529412996.pdf>.

¹⁵ Глухих В. А., Жуков Б. Н. Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры (НИИЭФА) им. Д. В. Ефремова // Ядерная индустрия России: сб. статей. — 2000. — С. 164–170. — URL: https://elib.biblioatom.ru/text/yadernaya-industriya-rossii_1999/p166/.

¹⁶ Янкевич А. Д., Бучарская А. Б. Применение линейных ускорителей в экспериментальной и клинической онкологии. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-lineynyh-uskoriteley-v-eksperimentalnoy-i-klinicheskoy-onkologii>.

¹⁷ Спорный резонанс. — URL: <https://postnauka.org/chapters/157443>.

¹⁸ Лукьяненко П. И. Исторические аспекты магнитно-резонансной томографии в России // Научное обозрение. Медицинские науки. — 2016. — № 2. — С. 59–67. — URL: <https://science-medicine.ru/ru/article/view?id=850>.

¹⁹ Спорный резонанс. — URL: <https://postnauka.org/chapters/157443>.

Цифры

компьютерные томографы производились в отделе №38 отделения медицинской электротехники ВНИИ источников тока, а затем — в созданном для этих целей ВНИИ компьютерной томографии (ВНИИКТ).

Лучи здоровья

«Росатом» — один из мировых лидеров в производстве медицинских изотопов и радиофармацевтических препаратов. Предприятия госкорпорации производят широкую номенклатуру продукции, в том числе изотоп молибден-99 для получения технеция-99m; сырьевой изотоп для препаратов на основе йода-131; изотоп для препаратов на основе самария-153; радиотрейсеры на основе иридия-192 и циркония-95; генераторы технеция-99m для диагностических исследований щитовидной и слюнных желез, опухолей головного мозга, скинтиграфии сердца и других нарушений внутренних органов; РФП на основе йода-131, применяемые для диагностики и терапии рака щитовидной железы и сопутствующих метастазов, а также диагностики почек; РФП на основе самария-153 для снижения болевого синдрома при костных метастазах (^{153}Sm оксабифор); изотоп лютеций-177 и радиофармпрепараты на его основе.

Также можно отметить производство офтальмоаппликаторов с рутением-106, применяемых для терапии онкологических заболеваний глаз и окологлазной области; производство микроисточников с йодом-125 в стрендах для брахитерапии рака предстательной железы; генераторов рения-188 ГРЕН-1 для многократного получения стерильного апиrogenного раствора с радионуклидом рений-188, используемого для производства РФП, которые применяются в терапии онкологических и неонкологических заболеваний с одновременной визуализацией распределения препарата в организме человека.

Производят в «Росатоме» и актиний-225, который в настоящее время считается одним из самых перспективных радионуклидов для получения РФП, показывающих огромный потенциал в лечении широкого спектра злокачественных новообразований, поскольку они обеспечивают разрушение радиорезистентных клеток опухоли при минимальном поражении окружающих органов. Ведется работа по созданию комплекса для наработки актиния-225 фотоядерным способом, что позволит увеличить объем производства этого крайне востребованного медицинским сообществом изотопа. Фотоядерный способ наработки позволяет получать и другие изотопы, недоступные при проведении облучения в реакторах.

В Обнинске «Росатом» строит завод по производству продукции для радиофармацевтики по стандартам GMP, включая наиболее востребованные активные радиофармацевтические субстанции и радиофармпрепараты. Реализация проекта позволит повысить доступность высокотехнологичной ядерной медицины в России. До 2030 года более 100 клиник получат новое оборудование для тераностики, будут поставлены 17 циклотронов. Все это укрепит позиции

До начала 1990-х годов СССР занимал лидирующую позицию в мире по использованию мирных атомных технологий в медицине. В стране насчитывалось **650** лабораторий радионуклидной диагностики, **20** отделений радионуклидной терапии на **2 тыс.** активных коек. Более **80%** изотопной продукции, производимой советскими предприятиями, потреблялось внутри страны. Более **600** медицинских учреждений страны имели возможность оказывать своим пациентам бесплатную высокотехнологичную медицинскую помощь.

«Росатома» как одного из ключевых глобальных игроков в ядерной медицине.

Специалисты «Росатома» разрабатывают и создают инновационное медицинское оборудование, не уступающее по характеристикам зарубежным аналогам. Выпускаемый с 2022 года гамма-терапевтический комплекс «Брахииум» предназначен для реализации процедур высокодозной брахитерапии в условиях радиотерапевтических отделений специализированных онкологических лечебных и лечебно-профилактических медицинских учреждений. Технические характеристики комплекса позволяют проводить процедуру контактной радиационной терапии с высокой точностью воздействия на ткань опухоли и снизить радиационное облучение здоровых тканей пациента, а также уменьшить общую радиационную нагрузку при сохранении терапевтического эффекта. При разработке комплекса учтены современные требования национальных и зарубежных стандартов, рекомендации международного медицинского онкологического сообщества, а также огромный опыт российских специалистов, полученный за несколько десятилетий применения методики контактного облучения.



«Наша страна давно занимает лидирующие позиции в производстве медицинских изотопов»



**Валерий
Крылов**

Директор института ядерной медицины, заведующий отделением радионуклидной терапии МРНЦ им. А. Ф. Цыба — филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, врач-радиолог, доктор медицинских наук

— Мне, пожалуй, удобнее всего говорить о советской ядерной медицине в контексте того, что удалось увидеть и в чем посчастливилось участвовать начиная с 1985 года в Медицинском радиологическом научном центре в Обнинске (тогда это был НИИМР АМН СССР). Это были захватывающие времена перестройки, когда люди были полны энтузиазма. Наша ядерная медицина развивалась тогда весьма уверенно, были большие планы открыть практически в каждом региональном онкодиспансере по одной или несколько палат для лечения больных с применением открытых источников излучения.

Слов «ядерная медицина», «радионуклидная терапия» и уж тем более «тераностика» тогда никто из нас даже и не слышал. Все эти термины пришли потом. Зато идей было много. Для терапии мы использовали тогда изотопы йод-131, фосфор-32, золото-198, иттрий-90. Планировали применять и другие радионуклиды. Но... Грянула авария на ЧАЭС, после которой были свернуты многие планы. Затем мы соприкоснулись с обратной стороной перестройки, потом последовал распад СССР, «лихие 90-е». В таких условиях ядерная медицина в нашей стране пришла в упадок. И лишь только во второй половине 1990-х мы стали медленно «выползать из ямы».

Пожалуй, первым знаком пробуждения стало создание первого отечественного радиофармпрепарата для лечения больных с метастазами в кости. Это был самарий, ^{153}Sm оксабифор. Первое введение пациенту мы сделали в МРНЦ в декабре 1997 года. Практически параллельно в страну стали завозить импортный хлорид стронция, ^{89}Sr (Metastron). Затем этот препарат стали производить в России. Так открылось новое для того времени направление в онкорadiологии — радионуклидная терапия остеотропными препаратами при метастазах в кости. Это направление постепенно наполнялось новыми радиофармпрепаратами. В 2011 году впервые в России в клинических условиях мы начали работать с генераторами $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$. Первая отечественная разработка на основе рения-188 — ^{188}Re -ОЭДФ (фосфорен-МРНЦ) — была успешно апробирована в том же 2011 году. Затем уникальная разработка и мировой приоритет — ^{188}Re -золедроновая кислота (золерен-МРНЦ). Первое в мире введение препарата, сочетающего в себе химическую эффективность золедроновой кислоты с бета-излучением рения-188, состоялось в июле 2013-го. Затем первое в России введение радия хлорида, ^{223}Ra (2014 год). После этого было несколько лет затишья. Словно мы готовились к «большому взрыву». И вот этот «взрыв технологий» случился.

Знаковый день в истории не только нашей ядерной медицины, но и всего отечественного здравоохранения — 14 мая 2021 года: первое введение первому пациенту первого отечественного искусственного радиотаргетного препарата ^{177}Lu -ПСМА. Можно сказать, что мы тогда совершили «прыжок через десятилетия», сократив свое отставание от мировой ядерной медицины. И после этого каждый год в МРНЦ создается новый терапевтический радиофармпрепарат и внедряется новый метод лечения. Так, в 2022 году мы впервые применили микросферы, меченные рением-188, для внутрисуставных введений (радиосиноэктомии) и для внутриартериальных введений в печень (радиоэмболизации). Затем мы начали применять ^{225}Ac -ПСМА для терапии тех пациентов, которые не получили должного эффекта при лечении ^{177}Lu -ПСМА. В 2024-м в МРНЦ было выполнено первое введение ^{177}Lu -DOTA-TATE для лечения больных нейроэндокринными опухолями.

А в конце августа 2025 года мы впервые применили совсем необычную технологию. Нашим объектом стала глиобластома. Эта злокачественная опухоль головного мозга чрезвычайно коварна тем, что она не имеет четких границ и ее практически невозможно радикально удалить. Оставшиеся в ткани мозга опухолевые клетки быстро дают рецидивы заболевания. Для лечения мы использовали молекулу (substantia-P), тропную к клеткам этой опухоли, которую «зарядили» альфа-излучающим актинием-225. Мы ввели этот препарат прямо в полость, которая образовалась после удаления опухоли. Наша первая пациентка хорошо перенесла процедуру и чувствует себя прекрасно.

Ну и как тут не вспомнить и не сказать о том, что наша страна давно занимает лидирующие позиции в производстве медицинских изотопов. А если говорить о самом дефицитном в мире терапевтическом радионуклиде — актинии-225, то более половины всего мирового производства находится в Обнинске, в АО «ГНЦ РФ — ФЭИ». И вообще, можно смело сказать, что в Обнинске сложился мощнейший ядерно-медицинский и радиофармацевтический кластер. В НИФХИ им. Л. Я. Карпова производятся готовые радиофармпрепараты (натрия йодид, ^{131}I и самарий, ^{153}Sm оксабифор). Там же строится крупнейший в Европе радиофармацевтический завод. В Технической академии «Росатома» проходят подготовку специалисты для атомной промышленности и работники предприятий. А в ИАТЭ НИЯУ «МИФИ» учатся студенты, которые могут пополнить ряды как работников атомной промышленности, так и врачей (там есть медицинский факультет).

Сегодня и завтра

Развитие технологий ядерной медицины — одно из ключевых направлений «Росатома», нацеленное на повышение доступности жизненно важных медицинских технологий, оборудования и лекарств для пациентов в России и за ее пределами.

в топ-5

производителей изотопов на мировом рынке входит «Росатом», поставляя более 90% разновидностей широко применяемых в мире видов изотопной продукции

на 100%

способны обеспечить потребности в реакторных и генераторных изотопах на внутреннем рынке производственные мощности «Росатома»

более 200 клиник

на территории РФ и стран ЕАЭС используют радиофармацевтическую продукцию «Росатома»

более чем в 2,5 раза

расширится номенклатура российского производства радионуклидной и радиофармацевтической продукции с вводом завода «Росатома» в Обнинске. Это весомый вклад в обеспечение лекарственной безопасности страны

порядка 2,5 млн

диагностических и терапевтических процедур в России и за рубежом позволяет ежегодно проводить радиоизотопная продукция «Росатома»

Текст: Наталия Фельдман

Фото: музей «АТОМ»

Елена Мироненко, генеральный директор музея «АТОМ»:

«80 лет показали, что самые смелые фантазии могут реализоваться»



«Атомная отрасль — это что-то скучное и засекреченное», «схему бомбы добыли разведчики», «АЭС нас облучают» — эти и другие атомные мифы до сих пор можно услышать от людей самого разного возраста. О том, как экспозиция самого молодого научно-технического музея России помогает посетителям развеять их заблуждения, почувствовать гордость за свою страну и вдохновить их на размышления о будущем, журналу «Вестник атомпрома» рассказала генеральный директор музея «АТОМ» Елена Мироненко.

Зерно бессмертия

— Елена Николаевна, расскажите, с чем у вас ассоциируется музей «АТОМ».

— Музей «АТОМ» — это, по моему мнению, самый современный научно-технологический музей планеты. Я могу об этом совершенно точно заявлять, потому что в ведущих музеях науки и технологий я была либо на стажировках, либо как турист. У нас суперсовременная экспозиция, и мы много обсуждаем, что же такое будущее и как о нем рассказывать. И вот какой парадокс: мы не хотим жить здесь и сейчас. Мы почему-то хотим все время смотреть в послезавтра, но дело в том, что музей изначально — та самая основа бессмертия, о котором мы все мечтаем, всем человечеством. Но музей нам уже дает это бессмертие. Основная идея любого музея в том, что мы можем прийти и увидеть произведения искусства, механизмы, мебель, скульптуры, картины, которые кто-то давным-давно придумал и создал. От колеса до скрипки Страдивари и «Моны Лизы». Что произошло дальше с этой идеей? Она воплотилась, продолжает существовать после своего создателя и, возможно, останется на многие десятилетия после нас. И вот это зерно бессмертия и является основой разговора о будущем в любом музее. Не важно, это научно-технологический музей, исторический, художественный. Каждый музей несет ответственность за то, как выглядит наше будущее и в какую почву попадет это зерно бессмертия.

— В чем заключается «зерно бессмертия» в «АТОМЕ»?

— Не секрет, что советский атомный проект стартовал позже, чем, например, Манхэттенский, и что у СССР было гораздо меньше ресурсов, чем у США. Это можно наглядно увидеть в нашей экспозиции «Квартира». Экспозиция визуально разделена на две части, в одной из которых воссоздан быт обычной советской семьи, в другой — американской на разных этапах реализации атомного проекта, от 1949 года до 1961-го. Посетители проходят по довольно узкому пространству и видят эту разницу. Они слышат звук метронома, а на стенах нарисовано количество атомных бомб в СССР и в США. И у нас их гораздо меньше. И в этих условиях, в ситуации жесткой необходимости создавать собственный ядерный щит, чтобы обеспечить мировое равновесие, именно в СССР появились первая в мире АЭС, первый в мире атомный ледокол, первая установка по управляемому термоядерному синтезу — токамак. И именно созданная в СССР Царь-бомба положила конец ядерной гонке



вооружений, показала бессмысленность бесконечно-го наращивания ядерного арсенала. Мы были вынуждены создавать оружие для защиты, но уже в первые годы существования советского атомного проекта его научный руководитель Игорь Васильевич Курчатов начал реализовывать проекты по мирному атому. И на заложенные им идеи сейчас опирается атомная отрасль. Опирается и продолжает идти вперед. Первый в мире реактор с постфукусимскими требованиями к безопасности, единственная в мире ПАТЭС с ПЭБ «Академик Ломоносов», уникальный атомный ледокольный флот с новыми ледоколами — это уже достижения XXI века. Вот это настоящее бессмертие! И про это мы рассказываем нашим посетителям.

Шапочка из фольги и научная картина мира

— С какими вопросами обращаются посетители музея чаще всего?

— Довольно частый вопрос, когда посетители звонят на нашу горячую линию в музей «АТОМ»: «Получим ли мы облучение, придя к вам в музей?» Обратите внимание, это реальные вопросы от людей, которые звонят нам, и такие вопросы не единичны. Главное — как мы можем на это реагировать. Конечно, можно шутить про шапочки из фольги. Но я думаю, что радиофобия — это часть глобальной проблемы. У людей не формируется научная картина мира, и из-за этого они подвержены страхам и суевериям, верят мифам.

Поэтому мы в первую очередь музей науки и технологий, и мы регулярно проводим научно-просветительские лектории, публик-токи, батлы.

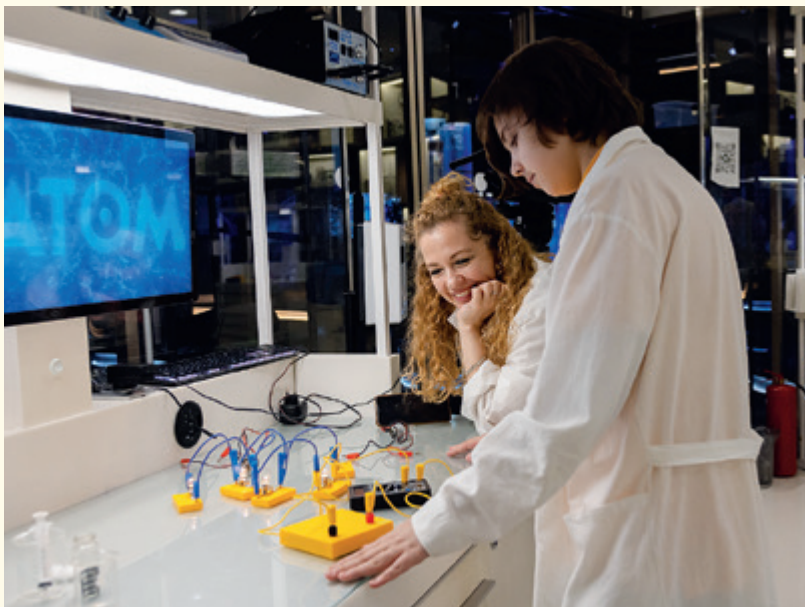
Недавно научным куратором музея «АТОМ» стал известный физик Алексей Михайлович Семихатов, и я уже сейчас могу анонсировать, что мы с ним запускаем серию публик-токов с известными учеными. Темы будут самыми разными — от квантовой физики и искусственного интеллекта до истории о том, благодаря каким условиям на нашей планете не только зародилась жизнь, но и продолжает существовать до сих пор. Такие встречи будут интересны всем — от школьников до их родителей и дедушек с бабушками.

Еще одно направление — тематический «Атомный лекторий» для школьников инженерных классов, чтобы они могли познакомиться с основными направлениями деятельности «Росатома» и примерить на себя одну из профессий будущего. 5 июля этого года «Атомный лекторий» вышел за пределы музея: наши спикеры выступили на главной площадке проекта «Лето в Москве» на Болотной площади. И знаете, что самое интересное: сотрудники службы охраны, которые обеспечивают безопасность на площадке, тоже очень внимательно слушали атомных экспертов на протяжении всей программы. Мы в очередной раз убедились, насколько важно рассказывать об отрасли самым разным людям, а не только тем, кто адресно пришел на лекцию.

— Есть ли универсальный рецепт борьбы с радиофобией?

— Сам музей «АТОМ» можно воспринимать как один большой экспонат. Радиофобия в нашей стране появилась после аварии на Чернобыльской АЭС. Даже через 15 лет после этого события, в 2001 году, 80% опрошенных считали, что повторение этого события вполне вероятно или довольно вероятно¹,

¹ <https://bd.wciom.ru/survey/arhivarius/questions/22f81a52-2a26-4baa-b27f-c1c1324fcf91/total/86587c21-6298-4488-887a-41912ebd687f>.



и это при том, что атомная энергетика — одна из самых перспективных сфер в целом. Сейчас уровень радиофобии гораздо меньше. Почему? Потому что благодаря появлению такого музея, как «АТОМ», таких музеев, которые возглавляют мои коллеги, мы противостоям этой дремучести, когда люди просят прокомментировать, получают ли они облучение, придя в музей.

И тогда мы всем своим музейным сообществом разными способами пытаемся передать важную часть научного знания. Что атомная энергетика — низкоуглеродная, безопасная и надежная, что каждая пятая лампочка в России горит благодаря атомной энергии, что есть ледоколы, что есть ядерная медицина, что есть освоение дальнего космоса, которое невозможно без применения атомных технологий, и масса других направлений, которые в повседневной жизни находятся рядом с нами.

Возьмем музеи, например. Как применяются радиационные технологии в этой сфере? Казалось бы, две

далеких области. Но нет: уже давно используются радиационные методы исследования и реставрации объектов искусства в музеях. Это различные методы датировки картин с помощью, например, радиоуглеродного метода. Это позитронно-эмиссионная томография, когда не нужно ничего вскрывать, можно с помощью томографа изучить, что внутри находится. Когда картины Ван Гога послойно изучаются с помощью ядерных технологий. И все это — то, что помогает музейщикам смело говорить о том, что мы имеем прямое отношение к будущему. И что атомные технологии помогают сохранить музейное наследие и улучшают нашу жизнь, делают ее комфортнее и безопаснее. Говорить о науке — это наша общая миссия.

С человеческим лицом

— А что делать с убеждением, что атомная энергетика — это скучно и непонятно?

— Любой проект немыслим без человека. И наша экспозиция — в том числе рассказ про великих людей, ученых, которые реализовали советский атомный проект и создали ядерный щит нашей страны. Мы делаем их близкими и понятными обычному человеку. Мы рассказываем истории из жизни Юлиа Борисовича Харитона, Игоря Васильевича Курчатова, других атомщиков и «приземляем» их. Курчатов любил в пинг-понг, например, играть, и у нас есть стол для пинг-понга в лаундж-зоне, где каждый может сыграть в его любимую игру. И тогда мысленная дистанция между обычным посетителем и великим ученым сокращается. Есть научный руководитель советского атомного проекта Игорь Васильевич Курчатов, а есть я, Лена Мироненко. Но когда мне рассказывают о том, что Игорь Васильевич Курчатов, один из основателей советского атомного проекта, любил пинг-понг, он мне становится ближе и понятнее. Тогда я могу сказать своему 13-летнему сыну: «Слушай, Богдан, у тебя может быть такая же мечта, она вполне может сбыться, потому что он был молодым, когда, в общем-то, совершал нереальные вещи». То есть мы показываем, что это были такие же люди, как мы, которые переживали, которые мечтали...

«У них была суперответственная миссия, но и ты можешь стать одним из них. И у тебя есть шансы войти в историю страны», — эту фразу часто произносят наши экскурсоводы, потому что приходят и семьи с детьми, и школьники. И они думают, какое их ждет будущее. А мы показываем, что ребята-то были молодыми, когда все это совершалось. Историческая часть экспозиции дает нашим посетителям «долгий взгляд», позволяет увидеть варианты их собственного будущего как части будущего всей страны. Мне кажется, это тоже важный момент в разговоре о борьбе с радиофобией.

Будущее начинается с мечты

— Давайте обобщим: как говорить о будущем, чтобы оно не выглядело далеким, непонятным, пугающим?

«80 лет развития атомных технологий показали, что самые смелые фантазии могут реализоваться, просто нужно дать им шанс на приближение к нам, к обычным людям. Вот тогда у всех нас появится шанс на будущее. Такое погружение дает нашим посетителям возможность через понятные форматы вдохновиться и начать мечтать».

— Нам помогают в этом те науки, которые мы представляем в музее. Ядерные технологии сейчас одни из самых мощных на планете. Наш музей построен государственной корпорацией «Росатом», в которой сейчас реализуется более 120 направлений бизнеса. И мне хочется немного изменить семантику повествования и, может быть, будущее превратить в мечту. И мечта, кажется, более дружелюбно, более человечно звучит.

И музейщикам всегда нужно помнить, что, кроме экспонатов и иммерсивности пространства, есть самое важное — это наши посетители. А о чем мечтает посетитель? А хочет ли он видеть это или слышать в таком объеме? Что мы даем в музеях? Вспоминаем? Даем ли мы возможность отразиться только что произошедшее? Наша задача — помочь посетителю побыть здесь, подумать о том, кто мы, зачем мы, как мы можем позаботиться друг о друге, улыбнуться друг другу, увидеть, что нас друг в друге удивляет. И тогда у нас, возможно, будет шанс на это самое будущее, которое вдохновляет всех.

У нас есть масштабная экспозиция «Время мечтать», посвященная фантазиям советских ученых и инженеров. Там есть атомный вертолет, атомный автомобиль, атомная подземная лодка, которые так и остались фантазиями... Но есть при этом и атомные ледоколы, благодаря которым мы сейчас активно осваиваем Северный морской путь. А на наших мастер-классах дети могут сделать, например, простейшую модель атомохода или на практике понять,

чем занимается химик-ядерщик, и это тоже приближает их к мечте. У нас есть настоящая лаборатория с профессиональным оборудованием и квантовый класс, и там школьники могут почувствовать себя настоящими учеными.

В 2025 году мы отмечаем 80-летие атомной промышленности в нашей стране. И эти 80 лет развития атомных технологий показали, что самые смелые фантазии могут реализоваться, просто нужно дать им шанс на приближение к нам, к обычным людям. Вот тогда у всех нас появится шанс на будущее. И это приближение происходит через, казалось бы, очень простые и наглядные вещи, но именно такое погружение дает нашим посетителям возможность через понятные форматы вдохновиться и начать мечтать. В принципе, музей сейчас — это площадка формирования «тонкого взгляда». И когда 6–7-летние дети, выходя с наших мастер-классов, начинают объяснять родителям, как устроен атом и как проходит ядерная цепная реакция деления, я понимаю, что мы выбрали верный путь.

Я хочу сказать огромное спасибо команде музея «АТОМ» и команде атомной отрасли, моим коллегам. Это те люди, которые рассказывают посетителям обычные человеческие истории, проводят мастер-классы, квизы и квесты, организуют масштабные фестивали и тем самым помогают сформировать мечты у всех наших посетителей — и детей, и взрослых. А самое главное — они сами способны вдохновлять любого, у них горят глаза, а это значит, что наши амбициозные планы будут реализованы!



Александр Бутов, технический директор ООО «АтомИнтелМаш»:

«До 2030 года число роботов в «Росатоме» необходимо довести до 6000»



Развитие технологий, активное строительство и модернизация производств в России, амбициозные задачи, которые стоят перед предприятиями промышленности, требуют обеспечения высокоэффективным современным оборудованием для обеспечения роста производительности. Повышение плотности роботизации предприятий и роботизация технологических процессов производства — приоритетная задача для перехода на новый технологический уклад. Несмотря на то, что отечественная робототехника пока не достигла мирового уровня, в России уже существуют предприятия, внедряющие решения в области робототехники. О том, как обеспечивается технологическая независимость страны в робототехнике, что для этого уже делается и что еще надо сделать, «Вестнику атомпрома» рассказал технический директор ООО «АтомИнтелМаш» Александр Бутов.

— Александр Николаевич, компания «АтомИнтелМаш» 12 лет занимается проектами по созданию изделий и комплексов нестандартного технологического оборудования для автоматизации производственных процессов на предприятиях российской атомной отрасли. Что изменилось в вашей деятельности за последнее время?

— В «Росатоме» с 2021 года развивается направление робототехники. Стремительное наращивание компетенций и активов в области робототехники командами АО «Росатом Сервис» (входит в Электроэнергетический дивизион госкорпорации «Росатом») и ООО «АтомИнтелМаш» (дочернее общество) обеспечило выполнение первоочередных задач, связанных с внедрением робототехнических решений на предприятиях обрабатывающей промышленности, разработаны базовые, унифицированные решения для последующего масштабирования. В 2024–2025 годах направление робототехники получило дополнительный импульс: проведение технико-технологических аудитов предприятий, в том числе предприятий «Росатома», на предмет роботизации позволило заключить ряд контрактов. Проработаны вопросы кооперации предприятий, специализирующихся на производстве и разработке робототехнических комплексов, производстве компонентной базы, оказании инжиниринговых услуг, обучении, разработке ИТ-решений и программного обеспечения для задач роботизации.

Для ООО «АтомИнтелМаш» 2024 год получился достаточно продуктивным. Бренд «АтомИнтелМаш» — АИМ — занял достойное место на российском рынке. Нам удалось успешно реализовать крупные, сложные, интересные проекты, кроме того, появились новые масштабные задачи как в атомной отрасли, так и в других отраслях промышленности. Мы предлагаем робототехнические решения на основе промышленных роботов АИМ, выполняющих трудоемкие производственные операции по сварке, лазерной наплавке, покраске, механической обработке и другие. В начале 2025 года на ООО «АтомИнтелМаш» возложена ответственность по развитию направления «Робототехника» в отрасли и получен статус отраслевого интегратора, также «АтомИнтелМаш» получил статус малой технологической компании, что подтверждает инновационность применяемых решений.

— Какие ресурсы и компетенции компании позволяют достичь высоких результатов?

50%

российского рынка робототехнических
изделий планирует занять «Росатом»
к 2030 году

— В нашей команде опытные инженеры-робототехники, конструкторы, наладчики, программисты, механики и, конечно, руководители проектов.

Проекты комплексной роботизации производства выполняются поэтапно, каждый этап имеет определенный состав задач для достижения конкретной цели, конкретного результата. В первую очередь эксперты проводят аудит производства, помогают предприятиям оценить эффективность внедряемых решений, в том числе экономическую, проектируют роботизированные комплексы, осуществляют подбор и поставку подходящих роботов, оборудования, выполняют шеф-монтаж, наладку и первичный инструктаж, обучение персонала. Успешно реализованные проекты способствуют формированию репутации компании «АтомИнтелМаш» как проверенного и надежного разработчика и поставщика робототехнических комплексов, интегратора, который закрывает все потребности, связанные и с сервисом: наличием оборудования и запчастей на складе, оказанием технической поддержки, обучением. Простые в обращении роботы АИМ находят все большее применение в технологических процессах: в сварке, обслуживании станков, палетировании и т.д. В настоящее время это OEM-производство, но мы начали крупноузловую сборку промышленных роботов. Приоритетом следующего этапа является решение задач импортозамещения, а возможно, реализация амбициозного плана по строительству собственного завода. Синергия научно-технологических компетенций, кооперация и мощная производственная база предприятий «Росатома» позволяет создать большое количество робототехнических решений. Поэтому амбициозная цель «Росатома» — к 2030 году занять 50% российского рынка и произвести соответствующее количество робототехнических изделий.

— Расскажите, пожалуйста, подробнее про ваши проекты.

— Проекты по технической модернизации предприятий в стратегически важных отраслях экономики, направленные на организацию производства инновационной и критически важной продукции, обеспечивающей технологический суверенитет государства, считаются одними из наиболее сложных. Для повышения эффективности таких производств на ключевых российских предприятиях активно внедряются современные робототехнические решения.

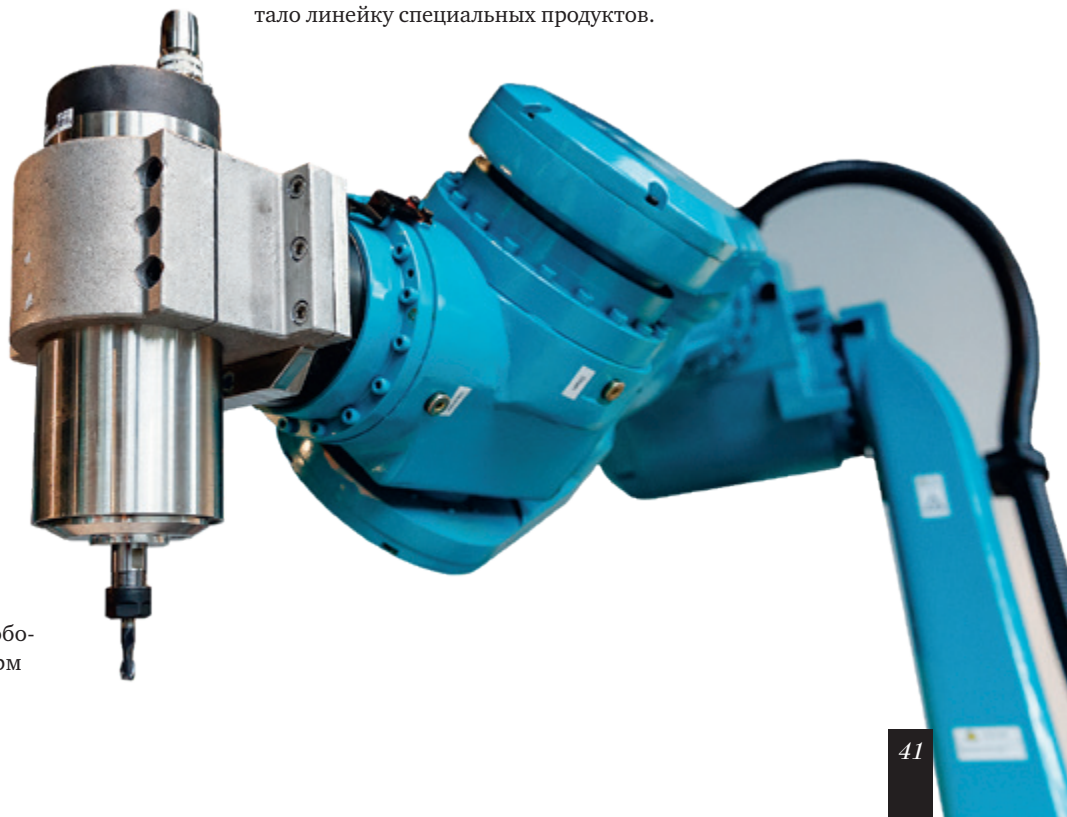
Несмотря на различные сложности, с которыми приходилось сталкиваться, руководство и сотрудники нашей компании всегда верили в успех. Предприятие никогда не стоит на месте и берется за выполнение сложнейших проектов роботизации с разработкой уникального оборудования. Один из таких проектов — роботизированный комплекс для подготовки форм

для литья по выплавляемым моделям, комплекс был разработан командой инженеров-конструкторов ООО «АтомИнтелМаш» и в июне 2025 года запущен в литейном цехе предприятия «Роскосмоса» в Перми.

Оборудование позволяет создавать керамические формы для литья деталей ракетно-космической и авиационной техники. В ходе монтажа оборудования установлены конвейерная часть комплекса, кстати защищенная патентом на изобретение, баки для суспензии и пескосыпы, робот-манипулятор и теплозащитный кожух, а также выполнена наладка климатической системы.

Новый роботизированный комплекс позволит бесперебойно снабжать керамическими формами производство. В литейном цехе изготавливается порядка 600 наименований деталей. Роботизированный комплекс обладает рядом технологических преимуществ, которые позволят повысить автоматизацию производства, расширить продуктовую линейку и довести до совершенства технологический процесс, создавая высокоточные сложные формы с широким диапазоном габаритов.

Чтобы усовершенствовать технологии создания оболочковых форм по выплавляемым моделям, конструкторское бюро, входящее в состав компании «АтомИнтелМаш», разработало линейку специальных продуктов.





Спроектированное и изготовленное специалистами компании оборудование и программное обеспечение автоматизируют процесс, обеспечивая его более высокую производительность и контролируемость, а также стабильность технологических параметров.

Еще один важный проект реализуется в текущем году в рамках договора с Машиностроительным заводом (АО «МСЗ», входит в структуру Топливной компании «ТВЭЛ»). Компания «АтомИнтелМаш» осуществит поставку автоматизированного комплекса обработки труб с целью автоматизации процесса их изготовления. Автоматизация процесса позволяет повысить точность изготовления труб, увеличить скорость и эффективность производства.

— Как ваша компания способствует достижению технологической независимости?

— Технологическая независимость страны возможна лишь при наличии собственных компетенций и способности разрабатывать и производить инновационные продукты. Мы ведем комплексную работу по импортозамещению в рамках основной деятельности ООО «АтомИнтелМаш» — конструирование и изготовление роботизированных комплексов и другого нестандартного оборудования для

предприятий атомной отрасли и за ее пределами, а также развитие прорывных технологий роботизации и продуктов, без которых невозможно движение вперед. В условиях недоступности западных решений задача развития собственного производства стала особенно актуальной. «АтомИнтелМаш» с собственным конструкторским бюро разрабатывает и внедряет инновационные конструкторские решения для промышленной роботизации и автоматизации производств с возможностью адаптации к широкому спектру задач.

— Какие преимущества обеспечивает внедрение робототехнических комплексов на производственных предприятиях?

— Применение робототехнических решений на предприятиях повышает производительность на всех пределах благодаря круглосуточной работе, высокой скорости, минимизации простоев. Роботы могут обрабатывать больше деталей за единицу времени, поэтому роботизация позволяет сократить время выполнения операций и увеличить выпуск продукции. Также роботизация дает возможность повышать качество продукции и снижать затраты, уменьшая количество брака и потерь благодаря точности автоматизированных систем: роботы обеспечивают

стабильность параметров, минимизируя человеческий фактор. Робототехнические комплексы повышают гибкость производства, так как легко перепрограммируются под новые задачи, позволяя быстро перестраивать производство под изменения спроса. Важным аспектом является решение проблемы нехватки кадров. В условиях демографического кризиса и дефицита квалифицированных рабочих роботы компенсируют нехватку персонала, что особенно важно на производствах с опасными и вредными условиями, в том числе в атомной отрасли, металлургии, химической промышленности. Еще один фактор — повышение безопасности производства. Роботизация производства позволяет заменить людей на опасных участках, таких как сварка, работа с токсичными веществами, снижая травматизм и страховые расходы, позволяет сохранить здоровье персонала, что наиболее важно в высокотехнологичных отраслях, например в авиакосмической отрасли, автомобилестроении, электронике.

Успешно реализованные проекты роботизации внутри атомной отрасли способствуют расширению направлений внедрения робототехники, и сегодня «Росатом» активно работает по заказу компаний, у которых есть потребность во внедрении роботизированных систем. Ключевая задача — познакомить руководителей предприятий с потенциалом роботизации. Необходимо продемонстрировать, как промышленные роботы могут оптимизировать различные производственные процессы.

— Как вы решаете эту задачу?

— Мы проводим комплексную работу с дивизионами в рамках технико-технологических аудитов и по итогам проводим мероприятия, позволяющие прийти к быстрому внедрению решений, поиску источников финансирования проектов, в том числе с привлечением мер государственной поддержки, или используем разные модели поставки, внедрения робототехнических комплексов, например аренду комплексов. В июле 2025 года в Дубне состоялась стратегическая сессия, посвященная роботизации машиностроительных производств «Росатома». На мероприятии поднимались вопросы специфики применения робототехнических решений в машиностроении, обсуждались пути развития робототехнических решений на основе требований предприятий к ним.

В мероприятии приняли участие руководители подразделений ООО «АтомИнтелМаш», а также предприятий Машиностроительного дивизиона «Росатома». В рамках мероприятия были представлены инновационные инженерно-технические решения в сфере робототехники, демонстрировались преимущества внедрения промышленных роботов для повышения эффективности производства, снижения травматизма на объектах повышенной опасности и повышения стабильности качества производства. В частности, был показан интеллектуальный роботизированный комплекс электродуговой сварки и автоматизированный инновационный конвейер

Преимущества роботизации:

- повышение производительности, минимизация простоев, увеличение выпуска продукции;
- повышение качества продукции, снижение затрат благодаря минимизации брака;
- повышение гибкости производства;
- компенсация нехватки персонала в условиях дефицита квалифицированных кадров;
- повышение безопасности производства;
- сохранение здоровья персонала на производстве с вредными и опасными условиями труда.

из состава комплекса по изготовлению оболочковых литейных форм по выплавляемым моделям.

На сегодняшний день ООО «АтомИнтелМаш» — одна из немногих российских компаний, обладающих компетенциями и опытом разработки, производства и внедрения нестандартных технологических решений на всех этапах производственного цикла сложных технологических процессов. Тот факт, что мы являемся интегратором госкорпорации «Росатом» по направлению «Робототехника», дает нам возможность делиться экспертизой с предприятиями атомной отрасли и других сфер.

— Какой спрос в отрасли на робототехнические решения?

— В контуре «Росатома» порядка 400 промышленных предприятий. Приоритетная задача — повышение плотности роботизации до уровня, обозначенного в указе президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». По нашим оценкам, до 2030 года число промышленных роботов в атомной отрасли необходимо довести до 6000 штук.

— Каковы объективные сложности для развития?

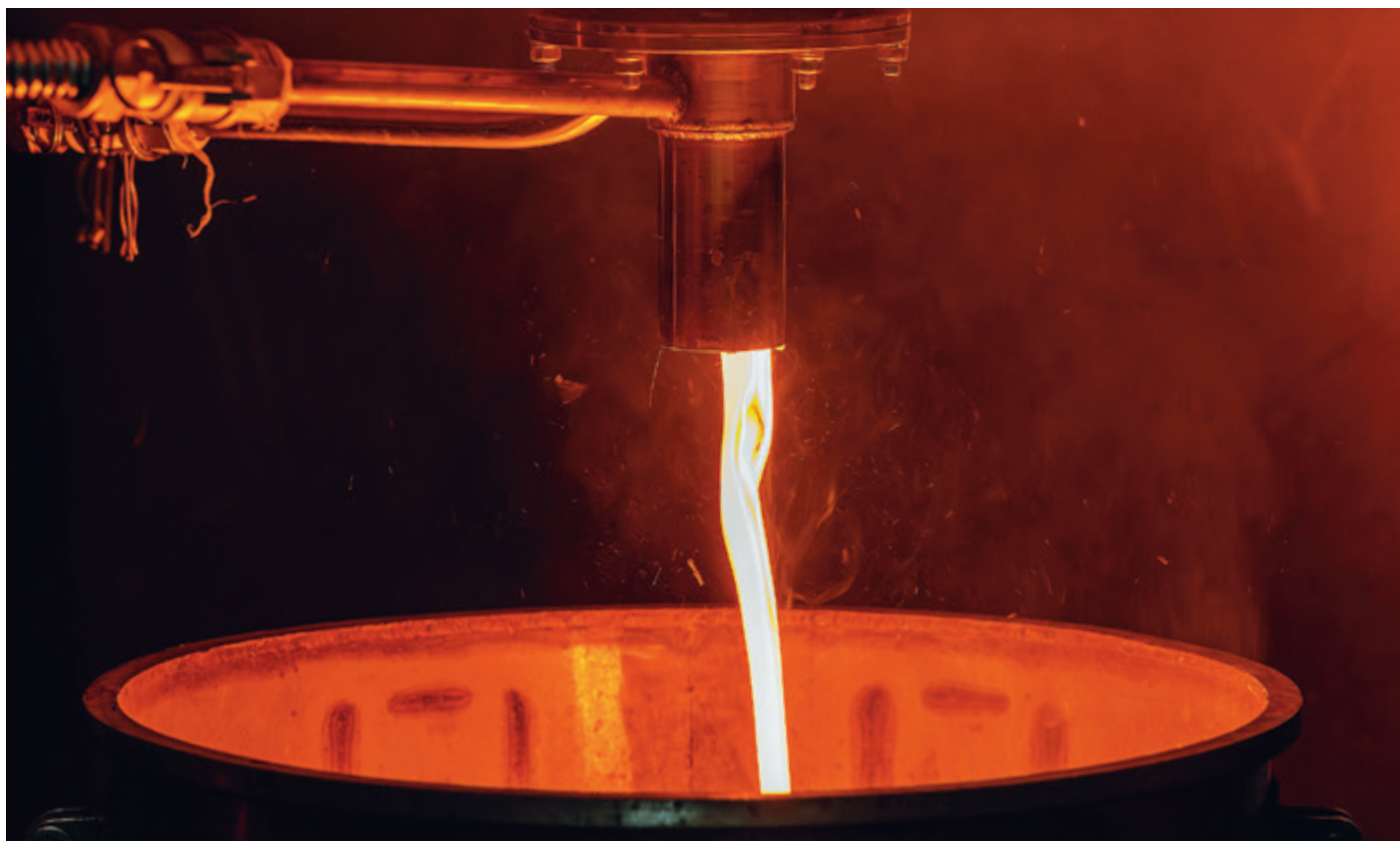
— Нужно признать, что на сегодняшний день существует нехватка квалифицированных кадров. Особый дефицит специалистов по программированию, обслуживанию и управлению роботами. В этом аспекте есть острая необходимость переобучения сотрудников. Еще одна проблема — технологическая сложность интеграции и проблемы совместимости с существующими производственными системами. Зачастую необходимо адаптировать инфраструктуру предприятия — внедрять датчики, искусственный интеллект, сети. Если говорить о сотрудниках, то мы видим некоторое сопротивление персонала, связанное со страхом работников перед сокращением рабочих мест, недоверием к новым технологиям. Тем не менее мы уже получили более 500 запросов от предприятий на роботизацию по разным направлениям и уверены в достижении поставленных целей.

Текст: Ольга Ганжур

Фото: газета «Страна Росатом» / Алексей Башкиров

РАО и стекло

В научных институтах и на предприятиях «Росатома» отрабатывают новые технологии переработки ОЯТ



Сегодня для остекловывания радиоактивных отходов в «Росатоме» используют печи прямого электрического нагрева. Им нет равных по производительности, однако ремонтировать их нельзя, а кроме того, возникает много проблем при выводе их из эксплуатации. Для будущего радиохимического завода ученые предлагают в качестве альтернативы индукционные плавители. Разбираемся в преимуществах и недостатках инновации.

Завод будущего

В свете амбициозных планов «Росатома» по развитию двухкомпонентной атомной энергетики необходимо организовать эффективную переработку облученного ядерного топлива (ОЯТ), чтобы решить проблемы ядерного наследия и обеспечить потребности быстрых реакторов в плутонии. К 2030 году

объем переработки ОЯТ должен достигнуть 1000 тонн в год.

Для достижения этой цели запланированы различные мероприятия, включая реконструкцию радиохимического завода на ПО «Маяк» и запуск новых очередей опытно-демонстрационного центра на Горно-химическом комбинате. Однако и этих мощностей недостаточно. Руководство отрасли поставило перед радиохимиками задачу создания нового завода большой производительности по переработке ОЯТ с использованием лучших инновационных технологий, которые сейчас отрабатываются в научных институтах и на отраслевых предприятиях.

«В «хвосте» процесса переработки должно быть организовано кондиционирование радиоактивных отходов — приведение их к форме, пригодной для окончательного захоронения. Во всем мире признают самой эффективной формой для захоронения высокоактивных отходов от переработки ОЯТ остекловывание — включение их в стеклоподобные

матрицы, — говорит заместитель генерального директора — директор научно-технологического отделения по обращению с ОЯТ и РАО Бочваровского института Владимир Кашеев. — Поскольку проектная производительность создаваемого завода по переработке ОЯТ высокая, то понадобятся аппараты для остекловывания радиоактивных отходов тоже большой производительности».

Проверенные временем

Для остекловывания РАО на радиохимическом заводе ПО «Маяк» с 1980-х годов успешно используют печи прямого электрического нагрева. По производительности им нет равных — 300–350 м³ стекла в год. В электропечах азотнокислый раствор высокоактивных РАО с некоторыми добавками смешивают с жидким флюсом на основе ортофосфорной кислоты. В результате формируется алюмофосфатное стекло, содержащее компоненты РАО. Нагрев расплава в печи до температуры около 1100 °С происходит за счет пропускания электрического тока через расплав (прямой электрический нагрев). Затем расплав сливается в 200-литровые бочки-контейнеры. Их охлаждают, размещают по три штуки в пеналы и направляют на долговременное контролируемое хранение в специальное хранилище.

Но у эксплуатирующихся на «Маяке» печей есть серьезный недостаток. Они неремонтопригодны. Нельзя заменить отдельный вышедший из строя узел или агрегат: все оборудование находится в закрытом каньоне, куда людям из-за высокой активности перерабатываемых отходов доступ строго воспрещен. Печь включают один раз и эксплуатируют в непрерывном режиме. Подтвержденный ресурс работы печи — порядка пяти лет. Не решен вопрос утилизации оборудования электропечей после выработки ресурса: после остановки процесса плавления в печах остается высокоактивное стекло, поэтому демонтировать их людям нельзя, а роботов пока не научили.

«Кроме того, эти печи пока используются только для синтеза алюмофосфатного стекла, тогда как в других странах для остекловывания радиоактивных отходов для утилизации высокоактивных РАО используется боросиликатное стекло: оно более радиационно стойкое и позволяет включать большее количество отходов в матрицу. Переход на боросиликатное стекло также стоит в числе приоритетных задач радиохимиков «Росатома», — подчеркивает Владимир Кашеев.

Электромагнитное тепло

В качестве альтернативы электропечам ученые «Росатома» разрабатывают индукционные плавители с холодным и горячим тиглями. Над «горячей» технологией работают в Радиевом институте им. В. Г. Хлопина. При индукционной плавке в горячем тигле последний нагревают до температуры 1100–1150 °С электромагнитным полем. Тигель передает свое тепло загруженной в него стеклофритте с добавками РАО, таким образом формируется расплав стекла с включенными РАО. Недостатком «горячей»



Владимир Кашеев

Заместитель генерального директора — директор научно-технологического отделения по обращению с ОЯТ и РАО Бочваровского института:

— Если мы на действующих заводах докажем эффективность и безопасность наших плавителей, то они очень пригодятся будущему радиохимическому заводу большой производительности, помогут сделать его современным и экологичным.

технологии является короткое время службы тигля из-за высокой температуры процесса и контакта с агрессивной средой расплава.

Индукционные плавители с холодным тиглем (ИПХТ) более 30 лет разрабатывает Бочваровский институт. Плавление производится в аппарате с водоохлаждаемыми металлическими стенками, температура которых поддерживается на уровне 50–70 °С. Электромагнитное поле через зазоры в тигле проникает непосредственно в расплав стекла. «Преимущество этого способа в том, что на внутренних холодных стенках тигля образуется тонкий слой нерасплавленного стекла — так называемый гарнисаж, который не позволяет контактировать расплаву стекла с конструкционным материалом тигля. Этот слой защищает оборудование от коррозии, обеспечивая высокий ресурс работы оборудования, — объясняет начальник отдела Бочваровского института Дмитрий Сунцов. — Прогнозный срок эксплуатации плавителя — более 10 лет. А фактический его ресурс мы еще не знаем. Конечно, нельзя исключать ухудшение эксплуатационных свойств плавителя в результате накопления в рабочем объеме тигля электропроводных продуктов (например, содержащихся в РАО от переработки ОЯТ платиноидов). Или возможные аварии, связанные с потерей охлаждения тигля. В любом случае выработавший ресурс или аварийный тигель легко заменяется с использованием манипуляторов».

Еще одно достоинство ИПХТ — компактность. Благодаря отсутствию традиционной для печного оборудования футеровки, ИПХТ гораздо меньше, чем электропечи прямого электрического нагрева. Поэтому при необходимости они легко заменяются с помощью робототехнических устройств. «В рамках проектного

направления «Прорыв» мы создали полномасштабный макет опытно-промышленной установки остекловывания жидких высокоактивных отходов от переработки ОЯТ и уже проработали вопросы дистанционной замены отдельных узлов плавителя: датчиков контроля и управления процессом плавки стекла, индуктора, корзины плавителя», — говорит Дмитрий Сунцов.

Борьба за производительность

В производительности ИПХТ серьезно уступают большим электропечам прямого нагрева — таковы законы физики. «Производительность плавителя растет пропорционально площади зеркала расплава, — рассказывает Владимир Кашеев. — То есть если внутренний диаметр тигля увеличить в два раза, то производительность плавителя вырастет в четыре. Но существует ограничение на внутренний диаметр ИПХТ — 750–800 мм. При большем внутреннем диаметре возникают проблемы с обеспечением равномерного прогрева расплава стекла в объеме аппарата». Так что, по предварительным оценкам, даже самый мощный ИПХТ будет в два-три раза менее производительным, чем большая печь прямого электрического нагрева. Впрочем, конструкция аппаратов совершенствуется, и есть надежда на создание аппаратов с более высоким КПД. Кроме того, вопрос производительности можно решить дублированием линий плавления с ИПХТ, поскольку, как отмечалось выше, ИПХТ более компактны по сравнению с печами прямого нагрева.

За время работы над ИПХТ в Бочваровском институте конструкции плавителей и вспомогательных узлов установки плавления серьезно оптимизированы, и сейчас создаваемые плавители легко адаптируются под конкретные задачи отраслевых предприятий. «Например, Сибирскому химическому комбинату потребовался аппарат для включения в боросиликатное стекло среднеактивных жидких отходов от переработки уранового регенерата, — вспоминает Дмитрий Сунцов. — Предложенный изначально уже готовый

аппарат, созданный под задачи проектного направления «Прорыв», с диаметром тигля 250 мм оказался недостаточно производительным, и мы очень быстро разработали аппарат на 300 мм. Без изменения конструкции: просто увеличили плавитель и индуктор и подкорректировали настройки ВЧ-генератора».

Для модуля переработки отработавшего нитридного уранплутониевого топлива, который планируется строить в Северске в рамках проектного направления «Прорыв», в Бочваровском институте был сконструирован, изготовлен и запущен в эксплуатацию в 2015 году полномасштабный макет опытно-промышленной установки остекловывания с уже упоминавшимся выше ИПХТ диаметром 250 мм, но в связи с проектным увеличением производительности модуля переработки был разработан и в начале 2025 года запущен в опытную эксплуатацию аппарат с диаметром тигля 400 мм. Соответственно, для будущего радиохимического завода большой производительности по переработке ОЯТ разрабатываются установки с ИПХТ максимально возможной производительности с сохранением основных подходов и особенностей конструкции, оптимизированной и проверенной на аппаратах меньшего размера.

Печам на «Маяке» почет

«Специалисты ПО «Маяк» пока не могут рассматривать ИПХТ как альтернативу печам прямого электрического нагрева и считают необходимым развивать это направление в качестве дополнения к освоенной уже технологии остекловывания, — говорит Михаил Ремизов, ведущий инженер-технолог центральной заводской лаборатории ПО «Маяк». — Низкая производительность ограничивает применение данной технологии для большинства генерируемых на предприятии жидких высокоактивных отходов».

«В таком подходе есть рациональное зерно. Если бы промышленные предприятия без должной проверки внедряли новые типы оборудования, наверное, у них возникали бы определенные проблемы с выполнением плана», — поясняет Владимир Кашеев.

Тем не менее планы использования ИПХТ на «Маяке» есть. Например, рассматривается использование ИПХТ диаметром 500 мм для остекловывания жидких радиоактивных отходов химико-металлургического производства. «Преимущество ИПХТ — возможность переработки отходов сложного состава с высокой концентрацией коррозионно-активных компонентов при большой вариативности температурного диапазона варки стекла», — отмечает Михаил Ремизов.

«Если мы на действующих заводах докажем эффективность и безопасность наших плавителей, то они очень пригодятся будущему радиохимическому заводу большой производительности, помогут сделать его современным и экологичным», — уверен заместитель генерального директора — директор научно-технологического отделения по обращению с ОЯТ и РАО Бочваровского института Владимир Кашеев.



«Появятся всевозможные препараты во всевозможных дозировках»

Как будет работать персонализированная медицина

Одна из задач для квантовых вычислений, в развитии которых участвует «Росатом», — создание персонализированных лекарств. Размышление об этом привело нас к необходимости разобраться, что такое персонализация, как устроена персонализированная медицина и как именно квантовые вычисления могли бы помочь в этой области. С такими вопросами мы обратились к врачу-генетику «Медскан Hadassah» Александру Резнику.

— Александр, расскажите, пожалуйста, как появился термин «персонализированная медицина»?

— Термин «персонализированная медицина» впервые использовал в 2008 году в одной из своих статей Лерой Худ, известный исследователь в области генома человека. Он утверждал, что за персонализированной медициной будущее. Он понимал этот термин как набор подходов, методов диагностики и лечения пациента, которые учитывают все его индивидуальные особенности, поскольку медицина уже давно столкнулась с тем, что на одни и те же лекарства люди реагируют по-разному. У одного средство для профилактики тромбов, напротив, приведет к опасным для жизни кровотечениям, у другого никакого эффекта не будет. То же относится, например, и к антидепрессантам: иногда годы уходят на то, чтобы подобрать действенный препарат в подходящей дозировке. Персонализированная медицина — часть концепции 4П-медицины, объединяющей также превентивные, предиктивные и партисипативные подходы. Эти термины широко растиражированы, хорошо известны людям без специальной подготовки и имеют больше сотни синонимов.

— Поясните все же для тех, кто пока не знаком с этой темой, что значит каждая «П»?

— Первая «П» — это персонализация, фактически персон: врачи работают не только с болезнями и индивидуальными показателями органов и систем человека, но и с потребностями, запросами, знаниями, жизненным опытом пациента. Вторая «П» — предиктивность. Современная медицина должна уметь предсказывать, как будет протекать заболевание, чтобы не было никаких сюрпризов. Условно: человек заболел, и мы знаем, что через месяц его организм поведет себя так-то, через три ответит на терапию, а через полгода человек выздоровеет или потребуются замена схемы лечения. Третья «П» — превенция.



Превенция — это совокупность подходов, методов и мер, нацеленных на то, чтобы человек обследовался до появления жалоб. Все это уже доступно. Любой может прийти в поликлинику и записаться, например, на прием к гастроэнтерологу, пройти гастро- и колоноскопию. С точки зрения экономики и здравого смысла предотвратить заболевание проще и дешевле, чем его лечить, а потом устранять последствия. В России превенция всем нам хорошо знакома по диспансеризации. Правда, россияне плохо идут на диспансерное наблюдение, но это тема для другого большого разговора. Четвертая «П» — партисипативность, от слова participate — «участвовать». Партисипативный подход подразумевает, что у человека должен формироваться активный подход к своей проблеме. Он не просто объект лечебно-диагностического процесса, он должен хотеть, знать, уметь задавать правильные вопросы врачу, умеренно контролировать ход лечения, не занимаясь при этом самолечением. Это тоже уже происходит. Многие пациенты читают публикации в Интернете, советуются с коллегами, друзьями, обстоятельно готовятся и приходят на прием уже вооруженные какой-то информацией, хотя не всегда хорошей или правильной. Но главное, что пациент проделал большую

работу, пытаюсь разобраться в своей проблеме. Важно сформировать у людей правильное, конструктивное отношение к тому, с чем они столкнулись, чтобы человек занимался своим здоровьем или лечением.

— **Что происходило после публикации Лероя Худа?**

— Она прогремела. Более 20 стран начали реализовывать концепцию персонализированной медицины, на нее были выделены огромные деньги. В первую очередь речь шла о сборе и интерпретации генетических данных. Между генетикой и персонализированной медициной сегодня можно поставить знак равенства. Однако программы забуксовали. Прошло уже 17 лет, и можно сказать, что концепция персонализированной медицины нигде не была реализована в полной мере. Еще в середине прошлого столетия заговорили о том, что лекарства надо назначать с учетом индивидуальных особенностей человека, и с тех пор, если начистоту и с рядом оговорок, мы примерно там же и находимся.

— **Вся активность угасла и ничего не происходит?**

— Нет, персонализированная медицина остается на слуху. Например, Food and Drug Administration (FDA), профильный регулятор в США, раз в год публикует отчеты по персонализированной медицине. Как правило, первые строчки занимают таргетные препараты для лечения онкологических заболеваний. Раньше при химиотерапии агрессивный агент, препарат платины например, воздействовал на весь организм. Опухоль повреждалась, но и побочные эффекты были тяжелыми, не все опухоли на химиотерапию отвечали. Но долгое время ничего другого не было.



Сейчас, когда у человека обнаруживают онкологическое заболевание, то делают генетические тесты, которые позволяют понять, что именно произошло в опухоли у этого человека, какие там генетические поломки, и конкретно под них подбираются или разрабатываются таргетные препараты. Они позволяют пациенту в ряде случаев избавиться от болезни с минимумом побочных эффектов. Поэтому, когда стали развиваться технологии получения и анализа генетических данных, разговоры про персонализированную медицину и стали разговорами про генетику. Но пока нет такого, что как только человек приходит в больницу, то запускается полная диагностика, смотрят все его генетические особенности и его наблюдают или лечат с учетом этих особенностей.

После 4П- появились 5П-, 8П-медицина. Известно больше 100 синонимов к термину «персонализированная медицина» — «прецизионная», «стратифицированная», «геномная». В России также в ходу словосочетание «персонифицированная медицина». В мире в целом наиболее устоявшиеся термины — «персонализированная» и «прецизионная медицина». Последний термин тоже связан с онкологией и прецизионным, то есть очень точным, лечением конкретной опухоли у конкретного человека с учетом генетических особенностей и, что важно, сопутствующих проблем — лишнего веса, сердечно-сосудистых заболеваний и так далее.

— **То есть сейчас персонализированную медицину можно найти только в онкологии, верно?**

— Помимо онкологии можно выделить эндокринологию и все, что связано с заболеваниями сердца и сосудов. Еще одно интересное направление, где она развивается, — это инструменты для постоянного мониторинга нашего здоровья: чтобы мы знали, что с нами происходит, в любой момент времени и могли вовремя среагировать.

— **Людям это интересно?**

— Да, очень. Коллеги в США провели исследование о том, чего хотят пациенты в старшей возрастной группе. И выяснилось (кстати, неожиданно): люди хотят, чтобы медицина была доступна дома. Это уже происходит. Самый базовый пример: сейчас человек сам может измерять уровень сахара в крови с помощью глюкометра, просто купив его в аптеке. Более того, есть системы постоянного мониторинга — устройства, которые наклеиваются на предплечье или в область лопатки. Это важно для людей с ожирением, а таких сейчас все больше, по данным Всемирной организации здравоохранения, мы живем в эпидемию ожирения. Говорим «ожирение» — имеем в виду метаболический синдром и сахарный диабет 2-го типа, грозное заболевание. Таким образом, человек получил возможность постоянно отслеживать уровень сахара в крови и видеть его зависимость от того, что он делает, что ест, в какой климатической зоне находится. У кого-то может быть пик в ответ на горох, у другого — на бананы.

— А многочисленные приложения, определяющие давление и пульс, — в ту же копилку?

— Да, причем интересно, что в этих приложениях еще и накапливаются данные за долгое время. Если их наложить на образ жизни (при условии, что человек будет честно отвечать на вопросы), можно будет понять какие-то тренды, и будет работать предиктивность. Но это пока тоже не реализовано в полной мере. Возможно, у врачей нет возможности обрабатывать эти данные, не хватает аналитиков данных, вычислительной инфраструктуры.

— Допустим, человек видит на глюкометре изменения — и что дальше?

— Если наступает состояние, требующее коррекции, он может купить в аптеке инсулин и сделать инъекцию. Также появились современные и очень эффективные препараты для лечения сахарного диабета 2-го типа, они действуют долго, дозы подбираются индивидуально, так что тут вполне можно говорить о персонализированном контроле заболевания. Правда, не обошлось без тревожных трендов в связи с некоторым ажиотажем как среди пациентов, так и в рядах врачей. Но главное — прямо у нас дома появились инструменты индивидуального мониторинга и коррекции состояния.

Еще один важный момент: в профессиональной среде высказывается мнение, что пациент, находясь в больнице, не может получить по-настоящему персонализированное лечение, потому что вступают в силу протоколы, гайдлайны. А персонализация возможна, когда пациент имеет некую степень свободы.

— Есть запрос на такую свободу?

— Да, пациенты тоже этого хотят: в 2024 году в США опросили несколько десятков тысяч человек, из них 63% заявили, что хотели бы заниматься своим здоровьем дома. В том числе 48% заявили, что, когда они хотели индивидуально подойти к своему здоровью, они не получили такую возможность. А что может быть более персонализированным, чем наш дом? Это направление стало развиваться, медицина одной ногой шагнула к нам в дом. Дома можно не только измерять уровень сахара в крови, но и делать отпечаток сетчатки, соскоб с внутренней стороны щеки, брать образцы крови, стула, пота, кожи, мочи.

— Как это происходит? Надо купить оборудование типа лабораторного домой?

— Нет, речь идет о сдаче анализов на дому. Курьер привозит набор в стерильном герметичном пакете, в него сдается анализ, он отдается на исследование, результаты появляются в личном кабинете. Импульсом стала пандемия: до нее никто даже не задумывался о том, что можно какой-то анализ сдать дома.

— В России такое тоже доступно, значит, мы можем говорить, что у нас персонализированная медицина тоже есть?

— Да. Причем у нас есть «преимущество отстающего»: мы смотрим, какие ошибки сделали первопроходцы, и, не тратя лишних ресурсов, перенимаем лучшие практики. Не вижу в этом ничего плохого.

— Хорошо, мы получили более-менее персонализированную диагностику. Но нам надо сделать следующий шаг и получить персонализированное лечение и в идеале персонализированную таблетку. Как с этим обстоят дела?

— Уже начинается. Таков, например, «Оземпик». Он продается в виде шприц-ручек, его можно держать дома, он используется по индивидуально составленному протоколу. Есть и другие примеры. Современные, появившиеся лишь в 2017–2018 годах препараты на основе антител для лечения мигрени, болезни Крона, язвенного колита, псориаза, астмы, системного воспаления можно использовать на дому. Форм-фактор тот же — удобная шприц-ручка или, как в случае с псориазом, устройство, которое крепится на теле. Человек не обращается в поликлинику, а берет препарат и на основе конкретных симптомов вводит его себе в той или иной дозировке.

— Но дозировку определяет все-таки врач, верно? При одних симптомах, условно, надо выпить две капли, а при других — пять.

— Да, конечно. В персонализированной медицине врач остается «входными воротами» лечения пациента. Наверное, не будет такой ситуации, когда мы будем совершенно самостоятельно лечиться. Хотя, будем честны, часто люди покупают препараты и сами себе подбирают дозировки, без участия врачей.

— А можно ли создать персонализированную таблетку?

— Разберемся, как это работает: нам надо, чтобы лекарство действовало на конкретную мишень, как правило, белок. Полагаю, что совместная работа искусственного интеллекта и мощных вычислительных систем, какими, как можно надеяться, станут квантовые компьютеры, приведет к появлению большего количества препаратов, более сложноустроенных, чем нынешние, которые будут действовать на конкретные белки.

— Насколько эти препараты можно считать персонализированными?

— Наверное, правильнее говорить не о персонализированном подходе, а о прецизионном, то есть более точном. Я далек от мысли, что на фармацевтических заводах будут задумываться о конкретных Петях Ивановых или Майклах Джонсонах, когда будут разрабатывать лекарства: на это нет ни времени, ни денег, ни желания. Разработка лекарств и вывод их на рынок и сейчас занимают годы и требуют миллиардов долларов. Поэтому исследователи будут идти по пути более точного понимания механизмов тех или иных заболеваний. Чем больше

мы будем знать о механизмах, тем больше у нас будет возможностей, чтобы влиять на их ключевые звенья. Если вы возьмете любую статью про молекулярно-генетические механизмы онкологии, сахарного диабета, ожирения, нейродегенеративных болезней типа Альцгеймера или чего-то еще, везде будет написано: мы исследовали столько-то человек, сделали генетический анализ, посмотрели, как устроены генетические сети для того или иного заболевания, и нам это дало возможность в будущем разработать более точно действующие препараты для этого заболевания.

— Только в будущем?

— Идем в настоящее. Например, для болезни Альцгеймера разработана уже субстанция для такого будущего препарата. Это серьезный шаг к излечению болезни. Если посмотреть вперед, то с использованием квантовых компьютеров и искусственного интеллекта мы получим представление о генетической архитектуре всех возможных заболеваний и реакций человека.

— Поправьте, если неправильно поняла: если мы поймем генетическую архитектуру, то, например, при болезни Альцгеймера мы будем знать, какой ген поврежден и как именно, и нам надо будет придумать лекарство, которое будет подсоединяться строго к этому гену и как-то его чинить?

— Да, все верно. Но важно добавить, что и течение заболевания может отличаться: у кого-то при одном и том же высоком давлении просто голова заболит, а кто-то от инсульта умрет. Поэтому полагаю, что

со временем у нас под каждое течение заболевания будет набор инструментов, с помощью которых мы на него сможем воздействовать. Приведу пример: подавляющее большинство лекарств у нас взаимодействуют с GPCR — рецепторами, которые связаны с G-белками. G-белки — это «ворота» для лекарств: через них лекарство входит в клетку и выполняет свои функции. И до сих пор до конца не понятно, как устроены у человека эти белки. Поэтому абсолютно все лекарства имеют побочные эффекты.

— Потому что молекулы лекарства, условно, «толпятся у входа»?

— Можно и так представить. Поэтому задача ИИ и квантовых компьютеров сделать лекарства более эффективными, учитывающими конкретные особенности протекания заболевания, с минимальным количеством побочных эффектов, а лучше — без них. Тогда лечение заболевания, если пофантазировать, будет выглядеть примерно так: пациент плюет в пробирку, и после анализа слюны у врача появится информация о протекании тех или иных заболеваний, перечень лекарств, которыми их можно вылечить, и дозировок. То есть будет происходить персонализация не пациента, а протекания его заболеваний и методов лечения. Каждый новый пациент будет попадать в определенный набор параметров, от которого будут зависеть рекомендации и дозировки.

— Образно говоря, у нас будет не пять цветов для плаката, а 50 тыс. оттенков для сложной картины?

— Абсолютно верно. Например, в отчетах FDA каждый год упоминаются примерно десяток-полтора вышедших на рынок лекарств для лечения онкологических, наследственных заболеваний.

— Наступит ли время, когда мы будем знать о человеке все?

— Теоретически да, но надо всегда помнить, что, имея дело с природой, мы имеем дело с шулером, у которого все карты крапленые и тузы во всех руках.

— Как могли бы выглядеть фармпредприятия будущего? Это будут не фабрики с потоками материалов, как сейчас, а комплекс микроцехов, в каждом из которых свой набор субстанций и компонентов?

— Предположу, что увеличится число уникальных лекарственных субстанций. Сейчас их порядка 11 тыс. Будет расти, конечно, число непатентованных названий и дозировок, в том числе потому, что ферменты в печени у нас работают с разной скоростью — очень быстро, быстро, нормально, медленно и ультра-медленно, причем на разные препараты может быть разная реакция, и это обязательно надо учитывать. Резюмируя: появятся всевозможные препараты во всевозможных дозировках.

Кстати

Первые пациенты могут начать получать лечение персонализированной российской вакциной от рака в ближайшие месяцы, сообщил РИА «Новости» директор Национального исследовательского центра эпидемиологии и микробиологии (НИЦЭМ) им. Н. Ф. Гамалеи Александр Гинцбург. «Регуляторика этого препарата, созданного по персональным генетическим данным конкретного больного, который можно использовать только у этого больного и больше ни у кого, принципиально отличается от регуляторики всех других лекарственных препаратов <...> поэтому правительство издало в начале года соответствующее постановление. И там совершенно другая регуляторика, которая применяется впервые. Тем не менее находим общий язык, общий знаменатель и движемся вперед», — сказал Александр Гинцбург и добавил, что новая вакцина вызывает интерес в других странах: к нему поступило около десятка писем.



Реакторы-«зумеры», композитная мода и музыка сфер

О чем узнали гости первого фестиваля науки «Кстати 80» на родине атомного проекта

Пока в Нижнем Новгороде еще были свежи впечатления от масштабного шоу «Эра мечтателей», посвященного 80-летию атомной промышленности, в Челябинске начался обратный отсчет: 22 августа сеть Информационных центров по атомной энергии (ИЦАЭ) представила здесь первый фестиваль науки в специальной, «юбилейной» линейке «Кстати 80». О том, как это было, читайте в нашем материале.

Вперед — к истокам

Фестивали «Кстати» — флагманский формат сети ИЦАЭ, представляющий собой марафон интерактивных лекций и научно-популярных шоу, интеллектуальных игр и мастер-классов, кинопоказов и ток-шоу, объединенных общей темой. В какой-то момент стало понятно, что информационным центрам тесновато в четырех стенах. Так зародилась традиция раз в год устраивать для жителей городов присутствия сети большой интеллектуальный праздник на крупных



Прямая речь



Дмитрий Чермошенцев

Заместитель научного руководителя группы в Российском квантовом центре, руководитель группы в «Росатом — Квантовые технологии», один из создателей отечественных квантовых вычислителей:

— Сейчас есть три больших области для работы. Первая — квантовые вычисления, то есть создание таких устройств, как квантовые компьютеры. Они строятся, чтобы решать самые сложные задачи, которые возникают у человечества, например поиск новых лекарств или решение проблемы пробок на дорогах. Вторая область — это квантовая сенсорика: создание очень чувствительных детекторов, которые помогут нам регистрировать очень-очень слабые сигналы, например те, которые генерирует наш мозг. И третья важная область — квантовые коммуникации, то есть защита данных.

публичных площадках или, если позволяла погода, в парках под открытым небом. Для горожан это была уникальная возможность познакомиться со звездами научпросвета и самыми последними достижениями науки, а для сети ИЦАЭ — отличный повод обкатать на новой аудитории экспериментальные форматы работы. За годы существования «Кстати» стал одним из самых заметных мероприятий региональной просветительской повестки, а кое-где даже приобрел культовый статус.

Поэтому, когда появилась мысль отметить 80-летие атомной отрасли, «подарок» был почти готов: вполне логичным представлялось именно на базе фестиваля науки «Кстати» разработать юбилейную линейку мероприятий под брендом «Кстати 80». Идея провести первый фестиваль науки в юбилейном формате именно в Челябинске, в колыбели атомного проекта, тоже напрашивалась.

Справедливости ради, столица Южного Урала — это далеко не только «атомка». Поэтому первый юбилейный фестиваль и получил название «От Аркаима до Южно-Уральской АЭС». Впрочем, и сама атомная промышленность — это давно уже не только и не столько ядерные боеголовки и атомные электростанции.

Кванты будущего

«Кстати 80» в Челябинске открывало научно-популярное ток-шоу «Public Talk. Горизонты атома». В формате открытого диалога гости ИЦАЭ Челябинска буквально из первых рук узнали о перспективных технологиях и решениях, над которыми работают ученые «Росатома» сегодня.

Так, заместитель научного руководителя группы в Российском квантовом центре, руководитель группы в «Росатом — Квантовые технологии» и один из создателей отечественных квантовых вычислителей Дмитрий Чермошенцев рассказал о том, какие задачи, стоящие перед человечеством, они помогут решить.

«Сейчас есть три больших области для работы. Первая — квантовые вычисления, то есть создание таких устройств, как квантовые компьютеры. Они строятся, чтобы решать самые сложные задачи, которые возникают у человечества, например поиск новых лекарств или решение проблемы пробок на дорогах. Вторая область — это квантовая сенсорика: создание очень чувствительных детекторов, которые помогут нам регистрировать очень-очень слабые сигналы, например те, которые генерирует наш мозг. И третья важная область — квантовые коммуникации, то есть защита данных».

Дмитрий Чермошенцев рассказал, что в России квантовые компьютеры разрабатываются в «Росатоме» в рамках дорожной карты «Квантовые вычисления». У нас уже есть 16-кубитные, 35-кубитные и две 50-кубитные машины, благодаря чему Россия входит в топ-6 стран с квантовыми компьютерами на 50 и более кубитов. Более того, наша страна является одним из трех государств на планете, где освоены

все известные на сегодня технологические процессы создания квантовых вычислителей.

Благодаря ученым «Росатома» в России создана и полная цепочка производства композитных материалов: от создания углеродного волокна, ткани, препрегов до конечной продукции. Например, крыла и других деталей перспективного отечественного пассажирского самолета МС-21 или более «приземленного» спортивного инвентаря. Об этом рассказал заместитель директора департамента по связям с общественностью Композитного дивизиона «Росатома», основатель проекта «Росатом. Композиты внутри» Федор Новиков. По его словам, уже сейчас композитные материалы все шире применяются в различных областях, таких как кораблестроение, автомобилестроение и атомная энергетика, изготовление лопастей для ветряков, деталей самолетов, ракет, автомобилей, мотоциклов, велосипедов, скейтбордов и даже музыкальных инструментов. И этот перечень с каждым годом только растет.

Еще одно перспективное направление исследований и разработок, которое ведут ученые и инженеры «Росатома», но с атомными технологиями связанное лишь опосредованно, — это системы накопления энергии и в первую очередь литийионные батареи. Алексей Нешта, популяризатор этого направления, автор блога «Амбассадор литий-иона» в «Телеграм», представитель компании «РЭНЕР», в своем выступлении отметил, что «Росатом» фактически создал в России новую отрасль по производству литийионных аккумуляторных батарей и сейчас достраивает две гигафабрики. Из производимых здесь модулей можно собирать «сердца» будущих отечественных электробусов, электрогрузовиков, рельсового транспорта и легковых электромобилей.

«Почти невидимые, но суперважные уникальные материалы, кванты, литийионные накопители... И везде фигурирует одно понятие — энергия», — начал разговор о еще одной технологии будущего Александр Петров, руководитель пресс-службы Проектного центра ИТЭР госкорпорации «Росатом». С учетом того, что потребление электроэнергии в мире за последние 25 лет выросло в два раза, удовлетворить растущие аппетиты человечества, по словам Александра Петрова, сможет только термоядерный синтез. И главная надежда на его покорение — ИТЭР, международный проект создания экспериментального термоядерного реактора. В проекте участвуют 35 стран, за Россией — 25 ключевых систем будущей установки, которая, по словам эксперта, позволит человечеству исполнить давнюю мечту — зажечь искусственное Солнце на Земле.

Конструируют ли андроиды атомные реакторы?

Второй день фестиваля прошел на площадке Государственного исторического музея Южного Урала. Открыло программу научно-популярное ток-шоу «Научный ринг», которое прошло в форме дебатов на тему «Превзойдет ли ИИ способности



Александр Петров

Руководитель пресс-службы Проектного центра ИТЭР госкорпорации «Росатом»:

— С учетом того, что потребление электроэнергии в мире за последние 25 лет выросло в два раза, удовлетворить растущие аппетиты человечества сможет только термоядерный синтез. И главная надежда на его покорение — ИТЭР, международный проект создания экспериментального термоядерного реактора. В проекте участвуют 35 стран, за Россией — 25 ключевых систем будущей установки, которая позволит человечеству исполнить давнюю мечту — зажечь искусственное Солнце на Земле.

своего создателя». Модератором научных боев стала Лия Захарова, медицинский журналист, автор книги «Онколикбез», специалист по связям с общественностью Федерального центра сердечно-сосудистой хирургии Челябинска. Сергей Николаев, генеральный директор и сооснователь компании CyberPhysics, кандидат технических наук, отстаивал позицию «да, превзойдет», ссылаясь на экономические показатели и взрывной рост популярности нейросетей у не слишком усердных студентов. Его





Никита Перфильев

Программный директор сети ИЦАЭ:

— Работая над программой фестивалей, мы держали в голове официальный слоган юбилейного для отечественной атомной промышленности года: «Гордость. Вдохновение. Мечта». С одной стороны, хотелось представить широкое полотно, сотканное из историй людей и предприятий, идей и технологий, делающих наши города не просто точками на карте, а частью большой атомной семьи, ее настоящего и будущего. А с другой — подчеркнуть особый характер каждого из них. Не случайно поэтому в Челябинске, помимо прочего, мы говорили про расположенный здесь уникальный исторический памятник Аркаим или арктический автобус, созданный на легендарном миасском «Урале». Индивидуальность, особый интеллектуальный и культурный ландшафт — важнейший источник вдохновения. Именно оно находит выход в мечте, у каждого своей, которая потом превращается в одно на всех будущее».

секундант Забава Устинова, ассистент кафедры теории корабля факультета кораблестроения и океанотехники, специалист отдела профориентации в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете, делала упор на то, что при выполнении рутинных операций с эффективностью ИИ мало что может сравниться.

Павел Шарагин, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории цифровых и вычислительных методов дозиметрии Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики ФМБА России, и Анна Гумина, биолог Южно-Уральского государственного медицинского университета, отстаивали противоположную точку зрения, указывая на несовершенство архитектуры компьютерных процессоров по сравнению с мозгом человека, а также этические аспекты проблемы использования нейросетей. Победила команда противников ИИ, но надолго ли?

Тем временем на открытой крыше Музея истории Южного Урала гости фестиваля науки «Кстати 80» размышляли о будущем атомной энергетики вместе с кандидатом технических наук, доцентом кафедры тепловых электрических станций Уральского федерального университета Александрой Вальцевой. Ее лекция «Бесконечные возможности маленького атома» была посвящена рассказу об особенностях разных поколений ядерных реакторов — от первых советских до «зумеров» атомной энергетики — реакторов поколения III и III+.

Поговорили и о том, какое будущее ждет энергетику. «Я за атомное! Я верю в атомную энергетику и в атом. Например, термояд — это еще очень неисследованный процесс, он нам светит в щелку двери, но какой это свет — теплый или холодный, пока никто не знает. Да, у атомной энергетики тоже есть минусы, но с этими минусами человек не просто борется, но и постепенно научился превращать их в небольшие, но плюсики», — резюмировала Александра.

Дефиле с клюшкой

Грань между наукой и высокой модой попытались нащупать участники научного дефиле — яркого экспериментального научпросвет-шоу, организованного командой ИЦАЭ. За эстетику отвечали студенты Международного института дизайна и сервиса (МИДиС), представившие свои работы на настоящем показе мод, а за науку — Федор Новиков из Композитного дивизиона «Росатома», прокомментировавший его. Поговорили о свойствах шелка и углеродного волокна, обсудили, чем модный показ отличается от научной лаборатории (общего оказалось больше), поразмышляли о том, чем похожа работа дизайнера одежды и разработчика высокотехнологичной продукции из новых материалов.

«Классная идея, когда ты через что-то понятное широкому спектру людей рассказываешь про сложную материю и технологии. Если сухим научным языком





рассказывать про композиты, половина зрителей уснула бы», — отметил Федор.

Изюминкой модного показа стал выход на импровизированный подиум хоккеиста в снаряжении из композитных материалов. За вратарской маской скрывался Олег Митяев, внук и тезка известного барда и одного из самых известных уроженцев Челябинска.

«Первый раз я участвовал в модном дефиле и сразу — на научном фестивале, необычно, — поделился впечатлениями юный хоккеист Олег Митяев. — Заодно узнал, из какого материала делают амуницию для хоккеистов. Хорошо, когда есть легкие и прочные материалы, это делает игру качественной, хотя вратарские клюшки предпочитают тяжелые, так я чувствую ворота».

Квантовая физика feat органная музыка

Вообще, Челябинск, вопреки сложившемуся стереотипу, город крайне музыкальный. И если и есть что-то, чем его жители гордятся не меньше, чем своей атомной наукой, то это, конечно, орган. Поэтому под занавес гостей фестиваля ждало погружение в историю физики под музыку И. С. Баха в рамках научно-музыкального шоу «Квадрат эволюции». Сцену поделили Дмитрий Чермошенцев, рассказавший о том, как далеко в глубь веков уходят корнями наши первые догадки о действительном устройстве мира, и Владимир Хомяков, органист, народный артист Российской Федерации, солист Челябинской государственной филармонии, органный мастер зала органной и камерной музыки «Родина» Челябинска, со своей интерпретацией классических работ немецкого композитора и его современных последователей.

Совпадение ли это или искомое доказательство квантовой природы времени, но факт остается фактом: и знаменитое яблоко Исаака Ньютона, и футы Баха

родились почти одновременно, в XVII веке. И далее уже эволюция наших представлений о материальном мире и мире музыки идут рука об руку: от корпускулярной теории света Ньютона до современных квантовых компьютеров, от совершенных произведений великого немца до смелых джазовых экспериментов. А на сцене фестиваля «Кстати 80» рассказы экспертов о квантовой физике и органной музыке и вовсе переплелись как нити ДНК. Завороженные звуками органа, зрители долго не спешили покидать площадку даже после завершения фестиваля.

«Я посетил все мероприятия фестиваля! Мне очень понравилось. Много спикеров, они все готовы дать ответы на вопросы, высказать свою профессиональную точку зрения и выслушать вас», — поделился впечатлениями Иван Козлов. «Приятно удивила широта тем, затронутых на фестивале: не только атомные реакторы и безопасность АЭС, но и новые материалы, устройство ледоколов, мода и искусство. Мне очень понравилось!» — рассказал еще один гость, Данил Ряхов.

До конца юбилейного года фестиваль «Кстати 80» пройдет в восьми городах, которые так или иначе связаны с атомной отраслью, ее прошлым, настоящим и будущим. Нижний Новгород и Челябинск, Калининград и Новосибирск, Томск и Красноярск, Мурманск и Екатеринбург — у каждого из них своя история и свое лицо.



Текст: Федор Буйновский, обозреватель
«Вестника атомпрома»
Иллюстрация: Midjourney

Переломный момент

Какие вызовы ставит развитие ИИ и квантовых вычислений и сможет ли человечество с ними справиться

Книгу Кай-Фу Ли и Чэнь Цюфаня «ИИ-2041. Десять образов нашего будущего» нельзя назвать нон-фикшен в строгом смысле, поскольку описывает она пока еще не произошедшие события и напоминает скорее сборник научно-фантастических рассказов, а не гипотез. В ее основе истории о том, каким искусственный интеллект будет примерно через 20 лет.

Для нас наиболее интересна глава, посвященная квантовым компьютерам, которая называется «Квантовый геноцид». В этом научно-фантастическом рассказе технологический гений использует передовые технологии для почти успешной попытки вернуть человечество в доцифровую эпоху. Насколько реалистичен этот сценарий? Какие технологии 2041 года представляют самую большую угрозу для нашей цивилизации?

Квантовая революция: прорыв или угроза?

Квантовые компьютеры обещают произвести революцию в вычислениях, предлагая экспоненциальный рост мощности по сравнению с традиционными системами. В отличие от классических компьютеров, оперирующих битами (0 или 1), квантовые используют кубиты, способные существовать в двух

состояниях одновременно благодаря принципу суперпозиции.

«Добавление всего одного кубита удваивает вычислительную мощность квантового компьютера, — объясняет в книге Алан Уайт, физик-теоретик из Массачусетского технологического института. — Это принципиально иной подход к вычислениям, который может решать задачи, непосильные для традиционных суперкомпьютеров».

Второе ключевое свойство квантовых систем — квантовая запутанность, когда кубиты становятся взаимозависимыми и действие с одним влияет на другие, даже если они физически разделены. Именно эта особенность позволяет квантовым компьютерам обрабатывать сложные задачи параллельно, а не последовательно.

Для решения практических задач необходимо минимум 4000 логических кубитов, что потребует (из-за необходимости коррекции ошибок) около миллиона физических. По оценкам экспертов, первые полноценные квантовые компьютеры могут появиться через 10–30 лет, но с вероятностью 80% они будут созданы к 2041 году, уверяют авторы книги.

Уязвимость криптографии в квантовую эпоху

Одной из первых жертв квантовых вычислений, по мнению авторов книги, может стать современная криптография. Большинство систем шифрования, включая RSA и эллиптические кривые, основаны на математических задачах, которые классическим компьютерам решать крайне сложно. Однако квантовые алгоритмы, такие как алгоритм Шора, способны эффективно решать эти задачи.

Квантовый компьютер с 4000 кубитов сможет взломать практически любой современный шифр за считанные минуты, считают авторы. В рассказе «Квантовый геноцид» хакеры пытаются получить доступ к биткоин-кошельку предполагаемого создателя криптовалюты Сатоши Накамото, где хранится более миллиона биткоинов. Однако их опережает злоумышленник с доступом к квантовому компьютеру.

Справка

Кай-Фу Ли — сейчас гендиректор фонда Sinovation Ventures, ранее — глава Google China и сопредседатель совета по искусственному интеллекту на Всемирном экономическом форуме.

Чэнь Цюфань — президент Всемирной ассоциации научной фантастики и популярный писатель, многие знают его под псевдонимом Стэнли Чан.

Это не просто художественный вымысел. Около двух миллионов биткоинов (стоимостью более 120 млрд долларов по курсу начала 2021 года) хранятся в устаревшем формате P2PK, который особенно уязвим для квантовых атак. В этом формате открытый ключ виден всем в публичном реестре, что позволяет квантовому компьютеру вычислить закрытый ключ.

Третья революция в военном деле

Если квантовые компьютеры представляют угрозу для цифровой безопасности, то автономное оружие угрожает физическому существованию человечества. Эксперты называют его третьей революцией в военном деле после изобретения пороха и ядерной бомбы.

В рассказе «Квантовый геноцид» рой дронов атакуют ключевую нефтяную инфраструктуру и систематически уничтожают людей из «черного списка Судного дня». Эти беспилотники способны самостоятельно идентифицировать цели и принимать решения об атаке без вмешательства человека. И это не научная фантастика. Израильский дрон Нагру уже сейчас способен самостоятельно выслеживать цели и уничтожать их. А в ближайшие годы такие системы станут еще более автономными и смертоносными, утверждают Кай-Фу Ли и Чэнь Цюфань.

Рой смерти: неотвратимая угроза

Особенно опасным сценарием является применение роевых технологий в автономном оружии. В отличие от одиночных дронов, рой способен координировать свои действия, адаптироваться к противодействию и атаковать с разных направлений одновременно. Технологии распознавания лиц и отслеживания цифровых сигналов позволяют таким дронам идентифицировать конкретных людей или группы людей. Это открывает пугающую перспективу целенаправленного истребления определенных категорий населения — от политических оппонентов до этнических групп.

В отличие от ядерного оружия, автономное оружие не создает эффекта взаимного гарантированного уничтожения. Первая атака может остаться незамеченной или быть приписана другому субъекту, что делает возмездие неопределенным. Эксперты предупреждают, что мы стоим на пороге новой гонки вооружений, которая может оказаться более опасной, чем гонка ядерных вооружений XX века. Как только одна страна создаст продвинутое автономное оружие, другие почувствуют необходимость разработать что-то еще более смертоносное.

Возможные решения: как предотвратить катастрофу

Перед лицом этих угроз эксперты предлагают несколько подходов к решению проблемы.

Первый подход («человек в цикле») подразумевает, что любое решение об уничтожении человека может принять только человек. Однако такое ограничение



снижает эффективность автономного оружия, что делает его менее привлекательным для военных.

Второй подход — полный запрет автономного оружия на международном уровне. Такие организации, как Campaign to Stop Killer Robots, активно выступают за это решение, и их поддерживают тысячи экспертов, включая Илона Маска и покойного Стивена Хокинга.

Третий подход предполагает жесткое регулирование разработки и применения автономного оружия. Однако здесь возникают сложности с определением технических спецификаций и проведением эффективного аудита.

Квантовая защита: есть ли решение?

Для защиты от квантовых атак на криптографические системы разрабатываются постквантовые алгоритмы шифрования, которые теоретически устойчивы даже к атакам квантового компьютера. Для владельцев криптовалют рекомендация проста: перевести свои активы в кошельки с современными стандартами защиты, такими как P2PKH или более новыми.

Заключение: технологии нейтральны, но люди — нет

«Технологии по своей сути нейтральны — и добром, и злом их делают люди, — подчеркивает Кай-Фу Ли, эксперт по искусственному интеллекту и автор аналитической части «Квантового геноцида». — Если мощь позволяет разрушить статус-кво, технология способна стать огнем Прометея или ящиком Пандоры — в зависимости от целей того, кто ее использует».

Нашей корпорации не впервой заниматься проектами, потенциально обладающими огромной разрушительной мощью, и ставить их на мирную службу человечеству. Уверен, что именно наш опыт будет служить гарантией того, что квантовые технологии будут только мирными.

Атомная мозаика: «Росатом» сегодня

№ 1
в мире

в области обогащения
урана

№ 2
в мире

по запасам
урана

№ 3
в мире

по добыче урана
и на рынке ядерного
топлива

> 440 тыс.
сотрудников

работают сегодня
в «Росатоме»

в 11
нацпроектах

задействован
«Росатом»

> 2,5 млн
человек

живут в атомных
городах

> 3
трлн рублей

выручка «Росатома»
в 2024 году

1,5
трлн рублей

объем инвестиций
«Росатома» в экономи-
ку России в 2024 году

> 500
млрд рублей

вложил «Росатом»
в социальную сферу
в 2024 году

> 60
стран

география присут-
ствия «Росатома» —
мирового лидера
атомной промышлен-
ности

35
блоков

большой мощности
в портфеле зарубеж-
ных заказов «Росато-
ма» на строительство
АЭС в 10 странах

6
блоков

малой мощности —
первый в мире экс-
портный проект соору-
жения АСММ, которую
«Росатом» построит
в Узбекистане



С 80-летием
атомной
промышленности!



