

ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№5 | июнь | 2026

Главная тема

Аддитивные технологии

Как «Росатом» выращивает
индустрию 3D-печати

В номере

Электромобильность 44

Ядерное топливо 48

Чемпионатное движение 50



Уважаемые читатели!

Тенденции последних лет свидетельствуют об ускоренном развитии российского рынка аддитивных технологий. Среди преимуществ 3D-печати — сокращение сроков и стоимости производства, возможность изготовления единичных образцов или уникальных деталей, а также изделий, которые сложно производить традиционными способами.

Главная тема номера рассказывает о деятельности «Росатома» в области развития аддитивных технологий в интересах атомной отрасли и всей страны: за последние годы в структуре госкорпорации была создана полная производственная цепочка, включающая изготовление 3D-принтеров, разработку программного обеспечения, производство металлических порошков, предоставление услуг 3D-печати. Внедрение аддитивных технологий на российских производствах напрямую зависит от кадрового потенциала, поэтому мы рассказываем и о том, как российские вузы готовят специалистов в этой области.

Также вы узнаете о выполнении программы опытно-промышленной эксплуатации уранплутониевого МОКС-топлива с минорными актионидами, об инновационных зарядных станциях для электромобилей и комплексных решениях для роботизации производств, которые предлагает «Росатом», и о том, что дает отраслевой чемпионат профессионального мастерства AtomSkills его участникам и целым производственным коллективам.

**ВЕСТНИК
АТОМПРОМА**

№ 5, июнь 2026 года

Информационно-
аналитическое
издание



Фото на обложке

«Росатом Аддитивные
технологии»

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 ответ-
ственностью «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, инфор-
мационных 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: 30.06.2026

При перепечатке ссылка
на «Вестник Атомпрома» обяза-
тельна. Рукописи не рецензиру-
ются 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. Зюзинская,
д. 6, стр. 2.
Тел.: +7 (968) 724-35-91
№ заказа: Аф-005/26.

Содержание

Главная тема	КОРОТКО	Печатая будущее 4 <i>Роль «Росатома» в развитии аддитивных технологий в России</i>	Промышленность	Спрос есть, предложение будет 34 <i>Производство средств производства: приоритеты промышленной политики и инструменты технологического лидерства</i>
	ПРЯМАЯ РЕЧЬ	«Аддитивные технологии — это ваш инструмент повышения производительности труда» 6 <i>Илья Кавелашвили, директор бизнес-направления «Аддитивные технологии» Топливного дивизиона «Росатома», о достигнутых результатах и новых перспективах</i>	Мировая логистика	Ормузский счет мировой торговли 39 <i>Ближневосточный конфликт перекраивает морскую логистику</i>
	ПОДРОБНОСТИ	RusMelt 150M 14 <i>Установка селективного лазерного сплавления</i>	Электро-мобильность	На зарядку становись 44 <i>ЭЭС нового поколения: как «Росатом» трансформирует зарядную инфраструктуру</i>
	ТЕНДЕНЦИИ	Мыслить аддитивно 16 <i>Трехмерная печать из метода апробации становится полноценной промышленной технологией</i>	Замыкание ЯТЦ	Проверка дожигания 48 <i>На Белоярской АЭС завершилось облучение сборок с минорными актинидами</i>
	ПРАКТИКА	Идеи от 3D-модельеров 20 <i>Как трехмерное сканирование помогает бизнесу, промышленности, науке и культуре</i>	Чемпионатное движение	Экосистема мастерства 50 <i>Что дает AtomSkills его участникам и производственным коллективам</i>
	ОБРАЗОВАНИЕ	Аддитивное будущее в надежных руках 24 <i>Как и где получить образование в сфере аддитивных технологий</i>	ИЦАЭ	Из жизни просвещающих 54 <i>ИЦАЭ Екатеринбурга обрел свой дом и запустил в нем «цепную реакцию» познания</i>
		Инженеры будущего 29 <i>Каких специалистов по аддитивным технологиям готовят в Университете «МИСИС»</i>	Особое мнение	Мост между мирами 57 <i>Физик и психоаналитик: как Паули и Юнг искали единый код реальности</i>
	ПОДРОБНОСТИ	Профессия с гарантией 32 <i>Как в Московском политехе и СПбПУ учат будущих аддитивщиков</i>		

Фото: «Росатом Аддитивные технологии»

Печатаемая

Сегодня в России сформирована полноценная отрасль аддитивных технологий. Внутри госкорпорации «Росатом» реализован полный цикл компетенций для стратегических отраслей промышленности. Реализуется непрерывное обучение от дошкольного возраста до профессиональной деятельности.

будущее

Было

- В стране существовала критическая зависимость от импортных решений — около 70%. Объем рынка аддитивных технологий в 2017 году составлял 3,5 млрд рублей.
- Атомная отрасль выступила координатором, задавшим вектор развития всего направления аддитивных технологий. На государственном уровне были приняты важные системные решения: в 2022 году утверждена распоряжением

Стало

- Сегодня на государственном уровне совместно с Министерством промышленности и торговли в России сформирована полноценная отрасль аддитивных технологий.
- Объем российского рынка аддитивных технологий вырос более чем в 5 раз и в 2025 году превысит 20 млрд рублей.
- Зависимость от импорта оборудования и материалов снижена до 40%.
- Внутри госкорпорации реализован полный цикл компетенций для стратегических отраслей промышленности.
- «Росатом» — единственная компания в России, представляющая комплексное предложение в области аддитивных технологий: от разработки и производства 3D-принтеров, порошков, программного обеспечения до сервисной поддержки, обучения персонала и создания центров аддитивных технологий под ключ.
- «Росатом» ведет системную работу по формированию законодательной базы для аддитивных технологий. В Рос-

Будет

- Продолжится устойчивый рост рынка и гарантированное обеспечение оборудованием и материалами ключевых отраслей промышленности РФ: авиационной, космической, энергетической, нефтегазовой, машиностроительной, ОПК.
- Объем рынка к 2030 году превысит 58 млрд рублей (при реализации инновационного сценария Минпромторга РФ).
- Зависимость от импорта оборудования и материалов станет менее 10%.

правительства РФ дорожная карта высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ», где «Росатому» была отведена ключевая роль.

- «Росатом» создал отраслевой интегратор по аддитивным технологиям в 2017 году в целях координации усилий и компетенций для развития трехмерной печати в масштабе атомной отрасли и России в целом.

сии на сегодняшний день действует более 55 стандартов аддитивного производства. Большая часть этих стандартов разработана командой «Росатома».

- Создана первая в России экосистема непрерывного обучения аддитивным технологиям с пятилетнего возраста до профессиональной деятельности: созданы 11 центров аддитивных технологий общего доступа в 5 федеральных округах страны в целях ранней профориентации детей.
- В 2025 году начат экспорт отечественных решений в две страны — Индию и Беларусь. Объем — 0,6 млрд рублей. В Республике Беларусь создано совместное предприятие для реализации услуг 3D-печати на территории РБ и РФ, а также для производства новых продуктов в сфере аддитивных технологий.
- В 2026 году развивается международное сотрудничество с Индией, Египтом, Казахстаном, Оманом, Вьетнамом, Узбекистаном.

- Масштабирование производственных мощностей в сегменте оборудования вырастет в пять раз, материалов — в четыре раза.
- Будут созданы не менее 15 центров аддитивных технологий общего доступа во всех федеральных округах страны.
- Предстоит глобальная экспансия российских аддитивных технологий и локализация решений на зарубежных рынках (около 10 дружественных стран).

Текст: Алексей Комольцев

Фото: «Росатом Аддитивные технологии»

Илья Кавелашвили, директор бизнес-направления «Аддитивные технологии» Топливного дивизиона «Росатома»:

«Аддитивные технологии — это ваш инструмент повышения производительности труда»



Бизнес-направление «Аддитивные технологии» Топливного дивизиона «Росатома» было создано в целях координации усилий и компетенций внутри госкорпорации для развития трехмерной печати в масштабе атомной отрасли и России в целом. Сегодня «Росатом» — единственный игрок на российском рынке аддитивных технологий, предлагающий комплексный подход, включающий собственные промышленные принтеры по всем ключевым технологиям металлической печати, материалы, ПО, развивающий сеть центров компетенций, внедряющий нормативную и законодательную базу, а также образовательную инфраструктуру. О достигнутых результатах и дальнейших перспективах «Вестнику атомпрома» рассказал директор бизнес-направления «Аддитивные технологии» Топливного дивизиона «Росатома» Илья Кавелашвили.

— Илья Владимирович, каковы основные результаты последнего года работы для бизнес-направления по аддитивным технологиям?

— Ключевое изменение в том, что интегратор «Росатом Аддитивные технологии» из стартапа трансформировался в производственное предприятие. Из конструкторского отдела, где создавались первые машины, мы переселились в цеха и развернули серийное производство. Сделать одну, две, даже десяток машин в год можно, условно говоря, на коленке. В 2023 году мы выпустили 3 машины, через год — 5, в 2025-м — 13, а в этом планируем 36. Когда речь идет о десятках принтеров, их уже нужно собирать и отлаживать на потоке. Поэтому мы арендовали дополнительный цех в комплексе «ТВЭЛ» на Каширском шоссе и разворачиваем полноценное сборочное производство. Опираемся при этом не только на свои силы и опыт, но и на кооперацию с целым рядом предприятий «Росатома»: несколько площадок изготавливают для нас комплектующие для принтера, металлопорошковые композиции. Таким образом, главное — это резкий рост объема, который,

в свою очередь, приводит и к качественным изменениям в команде.

— **Вероятно, потребовалось увеличение численности коллектива. Каким образом обеспечивается уровень квалификации пополнения?**

— Сложившуюся основу нашей компании составляют инженеры — разработчики оборудования, которые прошли путь по созданию наших продуктов. Каждого отличает способность к саморазвитию. На основе полученного ранее опыта на производствах «Росатома» или в других технологических компаниях, выдержав трудности создания первых изделий, мы как компания научились развивать и себя, и оборудование. Мы учимся, происходит постоянное улучшение наших принтеров, оттачивание технологий, и, конечно, эта культура передается новым сотрудникам.

Расширилась наша сервисная служба. Мы продолжаем ее усиливать и людьми, и технологическим оснащением. Еще готовясь к масштабированию, мы учились готовить инженеров-наладчиков, сервис-инженеров: большую помощь в обучении оказала Корпоративная Академия «Росатома». Наладка принтеров, их сопровождение у заказчиков — значимая часть нашей стратегии. Поэтому количественный рост объема — это и рост соответствующего подразделения. Одно из наших главных преимуществ в том, что мы находимся рядом с заказчиком, обеспечиваем наладку и сопровождение изделий, погружаясь в суть производственных процессов, насколько это позволяет заказчик.

— **Сервис нужен потому, что заказчики не готовы к новой технологии?**

— Нет, по другой причине. Особенность аддитивного производства заключается в высокой чувствительности процесса к параметрам оборудования и условиям эксплуатации: даже серийные 3D-принтеры могут иметь отличия, связанные с особенностями сборки, настройки и конкретного производственного процесса. При этом даже незначительные отклонения способны существенно влиять на свойства готовых изделий, поэтому каждая машина требует индивидуальной калибровки и настройки технологических режимов. Это подбор материалов, настройка оборудования, отработка режима печати. Так что практически все наши машины, поставленные заказчикам, попадают под контрольную эксплуатацию. Буквально каждую неделю наши специалисты обзванивают заказчиков, даже если от них не поступало вопросов. Они спрашивают про нюансы, с которыми заказчик сталкивается, консультируют. Если возникают проблемы — выезжают и решают задачу на месте.

Такое прямое взаимодействие помогает нам не допускать претензий и не подрывать доверие к оборудованию, то есть мы работаем на репутацию. И также это позволяет развиваться нам. Обратная связь полезна и конструкторам, и технологам, и закупщикам. Если возникают вопросы к комплектующим, мы немедленно реагируем через закупку — консультируем

поставщиков или ищем других, которые лучше соответствуют требованиям.

— **Развивается ли аддитивное направление на площадках «Росатома»?**

— Да, растет перечень предприятий госкорпорации, которые приобретают оборудование и приступают к внедрению аддитивных технологий в свою деятельность. Речь пока не о серийном производстве изделий, а об изготовлении прототипов, моделей или об оценке возможностей — это закупка одной-двух машин. Интерес к аддитивным технологиям, безусловно, растет даже в сегодняшнее непростое для инвестиций время. Все больше конструкторов, технологов, директоров предприятий проявляют интерес к технологии и при возможности выделяют средства, а главное — время и внимание. Я всегда говорил, что наша технология не может быть внедрена без воли первых лиц предприятий.

— **Что в нынешних непростых условиях помогает развитию?**

— Думаю, помогает тот факт, что в последнее время стало доступно больше информации о международном опыте применения аддитивных технологий. Она не была секретной, но пока технологии развивались и процессы отработывались, о них распространялись меньше. Теперь же мы видим, что за рубежом печатаются и авиадвигатели, и автокомпоненты, и здания, и даже части тела. Причем аддитивная технология становится аргументом в конкуренции. Поэтому наши руководители и технологи, тоже находясь в своей конкурентной среде, двигаются в этом направлении. И это мировая тенденция.

Справка

Один из показательных кейсов — изготовление дистанционирующей решетки для тепловыделяющей сборки ядерного реактора. Этот элемент критически важен для точного позиционирования твэлов. Использование технологии селективного лазерного сплавления (SLM) на установке RusMelt 300M позволило изготовить решетку как цельнометаллическую конструкцию из нержавеющей стали, избавившись от трудоемких и дорогостоящих операций гибки и пайки. В результате удалось добиться высокой точности, стабильного качества и полного соответствия документации. Деталь габаритами 60 × 240 × 240 мм и массой около 2 кг была изготовлена за 11–12 часов. Это демонстрирует огромный потенциал аддитивного производства для создания сложных ответственных компонентов атомной энергетики.

Характерен недавний пример, когда мы поставили и запустили в эксплуатацию установку RusBeam 2800, работающую по технологии электронно-лучевой наплавки металлической проволоки, в аэрокосмическом агентстве Индии. Там будут печатать детали для космических аппаратов: в Индии после удачной посадки зонда на Луну большой всплеск интереса к космосу.

И в России, и за рубежом нам помогает продвигаться понимание, даже у консервативных производителей, что есть риск отстать, если не выделять ресурсы на 3D-печать. Ресурсы — это не только деньги, но и внимание, помещения, кадры, время.

Поэтому нам помогает не кризис и не желание компаний сэкономить, а тот факт, что все ищут возможности развиваться в своих направлениях и нуждаются в быстром изготовлении прототипов, моделей, совершенствовании узлов и элементов. Ведь в историческом масштабе 3D-печать все-таки молодая технология, не отменяющая, а дополняющая традиционное серийное производство. Интерес заказчиков в том, чтобы получить инструмент для конструкторских опытов, прототипирования, быстрой проверки гипотез. И не будем забывать, что надзорные органы стоят на страже стандартов и будут готовы допустить ту или иную деталь на те же ядерные установки лишь после определенного количества испытаний и обоснований. Так и должно быть.

Справка

В 2026 году «Росатом» впервые экспортировал 3D-принтер в дальнее зарубежье. Установку для промышленной 3D-печати RusBeam 2800 уже ввели в эксплуатацию для нужд индийской аэрокосмической отрасли. Исполненный контракт был подписан по итогам победы в международном тендере, подтвердив соответствие российских решений самым высоким международным стандартам.

3D-принтер RusBeam 2800 стал самой крупной в Индии установкой электронно-лучевой наплавки проволокой в вакууме. Оборудование позволяет изготавливать по 3D-моделям крупногабаритные заготовки высотой до 2,8 м и весом до 4 тонн, в том числе детали сложной геометрической конфигурации. Машина была изготовлена в единственном экземпляре для индийского заказчика, специально для нее в «Росатоме» было разработано уникальное программное обеспечение. Технологическая независимость — российское оборудование, ПО и материалы — делает продукцию «Росатома» конкурентоспособной на мировом рынке.

— То есть пока не стоит ждать напечатанного ядерного реактора?

— По мере обмена опытом, концентрации достижений, накопления доказательной базы аддитивное производство постепенно пробивает путь и в самые ответственные изделия. Здесь важно, чтобы объединились усилия различных отраслей, заинтересованных в аддитивных технологиях. Позиция разрешительных органов меняется постепенно, но нас поддерживают и Минпромторг, и отраслевые ассоциации. В целом для машиностроительной индустрии важно, чтобы отрасли и тем более предприятия продвигались с 3D-технологией не поодиночке. Уже сейчас происходит формирование нормативной и доказательной базы. Впрочем, по-прежнему не все производители и потребители оборудования хотят (а также имеют право) делиться наработками. Тем не менее развитие идет активно. Проводятся испытания, идет постоянный рабочий диалог с регуляторами.

Что касается конкретно атомных установок, это не только сверхответственное оборудование главных контуров; есть множество периферийных механизмов на каждом энергоблоке: насосы, арматура и т.д. Активное внедрение в этом направлении уже идет. Можно и нужно осваивать эту нишу, а там придет время и для печати основного оборудования. Сегодня уже выбраны изделия, которые будут поставлены в реактор для исследования поведения материала при облучении.

— Что помогло выводу ваших принтеров на международный рынок?

— Мы изначально стремились создать изделия на уровне лучших мировых образцов, поэтому с точки зрения инженерной подготовки оказались способны конкурировать. Но наш главный импульс — в международной экспансии «Росатома». Продвижение атомных энергоблоков, центров науки, в целом ядерных технологий помогает выходить за рубеж и нам. Заказ от аэрокосмического агентства Индии, хотя мы и вели переговоры сами, получился во многом благодаря многолетнему присутствию «Росатома» на этом рынке. А решающий толчок был в том, что Кирилл Борисович Комаров, первый заместитель генерального директора — директор блока по развитию и международному бизнесу «Росатома», в ходе переговоров о новых возможностях госкорпорации отметил и поставки аддитивных технологий. Это заинтересовало партнеров, они сформировали запрос, и мы немедленно отреагировали: так состоялась значимая для нас поставка.

Более того, теперь этот рынок начинает раскрываться уже сам. Например, к нам в ближайшее время приедет делегация с министром, отвечающим за всю сферу микроэлектроники и цифровизации Индии; некоторые наши ответственные сотрудники тоже постоянно находятся в Дели. Кроме Индии, планируем работу по всей географии контрактов «Росатома» — с Вьетнамом, Египтом. Есть еще целый ряд

Промышленная установка RusDMD 1500R для изготовления высокоточных крупногабаритных металлических деталей по технологии прямого лазерного выращивания (DMD — direct metal deposition).
 Центр аддитивных технологий, Москва, 2025 год



стран в проработке — все это страны, в которых уже работает или разворачивает работу «Росатом».

Хотя есть и объективные сложности, риски. Выше ответственность: одно дело — заниматься контрольной эксплуатацией машин в России, другое — за тысячи километров и через несколько границ. Важно обеспечить передачу технологии, но сохранить имеющиеся ноу-хау и т.д.

— **Получается, что для сервисного инженера критически важным становится владение английским языком?**

— Практически все наши инженеры владеют английским. Все способны объясниться и решить технические вопросы. Свободно говорит по-английски и вся наша коммерческая служба. При необходимости общаться на других языках подключаем переводчиков. Но у нас самих есть несколько человек, которые знают языки значимых мировых рынков — индийский, китайский, японский. Недавно к нам приезжали китайцы, они были приятно удивлены, что их встретили в аэропорту две наши сотрудницы, свободно общающиеся на их родном языке.

— **Одним из потенциальных завтрашних рынков называют испаноязычные страны. Как скоро, если потребуется, инженеры заговорят по-испански?**

— Нам потенциально интересен рынок Центральной и Южной Америки, та же Бразилия — в числе создателей БРИКС, есть и другие дружественные

испаноязычные страны. Но мы пока туда активно не стремимся, поскольку транспортная составляющая очень осложнит работу. Слишком длинное «плечо» через океан, разница часовых поясов: даже переговоры организовать сложно. Мы видим, что для Южной Америки нужны не просто поставки, а глубокая локализация производства с опорой на местные компании. Мы ждем, когда и наш продукт, и их рынок созреют для взаимодействия. Везти туда один принтер или даже десяток смысла нет, тем более что есть возможности развития в доступном пространстве Евразии. В латиноамериканских странах и ряде других нужно найти серьезного партнера, который поможет в локализации.

Такой опыт локализации мы уже успешно отрабатываем: у нас создано производство в Беларуси, мы изготавливаем там часть деталей и собираем оборудование. Есть еще две страны, куда планируем выйти в следующем году. Многим странам важно усилить свой технологический суверенитет, и знак «Сделано в России» для многих стран важен.

— **Тем более что на уровне руководства страны Россия объявила, что готова «экспортировать суверенитет», не занимаясь «технологическим колониализмом»...**

— Да, однако технологический суверенитет — это именно становление местного производителя. Поэтому мы неизбежно приходим к необходимости локализации, партнерства. Главное — соблюсти баланс, чтобы сохранить свои ключевые компетенции. По этой

На фото

Открытие первого зарубежного ЦАТ «Росатома». Минск, 2025

Слева направо: директор бизнес-направления «Аддитивные технологии» Илья Кавелашвили, заместитель премьер-министра Беларуси Виктор Каранкевич, председатель правления Национального банка Беларуси Роман Головченко, генеральный директор госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев, генеральный директор H-Holding Юрий Предко

причине мы в основном ориентируемся не столько на независимых бизнес-партнеров, сколько на отрасли, в которых традиционно велико участие государства. Там помогает и режим ограничения доступа к информации, и государственный подход к ведению дел. В чем-то с зарубежными госкомпаниями и административными структурами сложнее, чем с частниками. Но уровень доверия выше, а сложные вопросы можно решить с опорой на те же дипломатические, внешнеторговые межгосударственные контакты.

Поставка атомных технологий — это высший уровень доверия между странами, поэтому и мы благополучно идем по тому же пути, что и «Росатом» в целом. А госкорпорация с нашей помощью дополняет свою ключевую компетенцию новыми технологиями, в числе которых наши принтеры и материалы. Наш успех в Беларуси базируется на том, что сам президент Александр Лукашенко сказал: «"Росатом" построил нам АЭС, мы его не отпускаем. Делитесь технологиями дальше». Поэтому мы и создали центр аддитивных технологий. Сами от этого получили большой выигрыш: научились делать полноценный центр аддитивных технологий с нуля под ключ, причем за рубежом, получили новую производственную площадку (с затратами меньшими, чем в Москве), усилили внешнеторговые возможности по продажам и закупкам. То есть, решая государственную задачу, добились и лучшего качества своего бизнеса. Поэтому и стремимся теперь продвинуться в другие страны в подобном формате. Но, повторю, даже в такой стране, как

самая близкая нам Беларусь, важно иметь сильного партнера на той стороне границы. Надежного, высокотехнологичного, и идеально, если при этом есть государственная поддержка.

— В какой мере сформировался рынок внутри России? На выставке «Металлообработка-2026» прозвучала цифра, что в России уже 60 производителей аддитивного оборудования. Стал ли рынок «красным океаном» — с жесткой борьбой за выживание?

— Для нас принципиально важна печать металлом — и таких производителей едва ли есть два десятка. Но и с ними внутренний рынок точно стал высококонкурентным, борьба обострилась.

Важно, что мы единственный поставщик технологии, обеспечивший максимальную локализацию оборудования — более 90%. И среди тех, кто идет по этому пути, а не перепродает импорт, мы в стране на первом месте по объемам. Даже микропроцессорный блок управления мы можем поставить российского производства. У нас есть внутри России свое производство металлических порошков, проволоки. То есть мы владеем всей цепочкой технологий. И, как я уже отметил, мы обеспечиваем качественное сопровождение на этапе эксплуатации.

— Не сваливается ли конкуренция в «идеальную» по Коэну, такую, которая убивает инновационный рынок критическим снижением цены?

Справка

В 2025 году «Росатом» открыл свой первый зарубежный центр аддитивных технологий — в Республике Беларусь. Запуск центра обеспечен за рекордные 10 месяцев, что значительно короче стандартных сроков реализации инвестиционно-строительных проектов и при этом с экономией бюджета на 3%.

Это крупнейший центр аддитивных технологий в СНГ за пределами Российской Федерации. Проект реализован в формате совместного предприятия, инвестиционная потребность на 50% обеспечена за счет привлечения внешнего финансирования со стороны партнера. ЦАТ в Беларуси обеспечен загрузкой производственных мощностей с момента запуска и имеет портфель заказов на 2026 год в размере 110 млн рублей. Это первая международная референция «Росатома» по созданию аддитивных центров под ключ, открывшая возможности для расширения сотрудничества с такими странами, как Египет, Вьетнам и Индия.



— Нет, хотя конкуренция выросла и кто-то борется ценой, она не стала нерациональной: заказчики научились разбираться в соотношении цены и качества. Для небогатых заказчиков важна цена, но нам и не нужно бороться с теми, кто может сбросить стоимость. Есть другие заказчики, для которых важно топовое качество, и они готовы платить: это наши лучшие клиенты, с ними срабатывает наша стратегия по сопровождению продукции, а также способность нашего оборудования к стабильному результату. В эту нишу стараются войти и другие поставщики. Есть заказчики, для которых важен баланс качества и стоимости: за них тоже разворачивается конкуренция. Наконец, есть такие, кто хотел бы получить технологию только «Росатома» и никого другого, — здесь мы вне конкурса.

Действительно, компаний стало больше, и если несколько лет назад нам всем хватало одного стенда, теперь едва ли достаточно павильона. Но мы все знаем друг друга, и бурного притока новых игроков на самом деле не происходит. У каждого своя ниша, цены, больше не делается попыток завоевать все и сразу. Поэтому надо просто найти свою нишу и ее придерживаться.

— И как вы определяете свою?

— По цене наши принтеры не самые дешевые, но одни из лучших технологически, очень надежны. Уверен, что наша машина способна при грамотном обслуживании проработать 15–20 лет, тогда как многие конкуренты говорят лишь о перспективе 5 лет и объясняют, что к тому времени сменится поколение машин и нормально будет купить новую. Есть примеры, когда заказчик покупает с большим дисконтом принтер, на десяток миллионов дешевле нашего, но потом вынужден заплатить те же 10 млн рублей за настройку лазеров. У таких поставщиков бизнес-модель — зарабатывать не на продаже принтеров, а на оплате работы наладчиков. Мы же, условно говоря, сразу включаем цену настройки и сопровождения в контракт. Заказчик постепенно учится оценивать комплексные затраты на принтер — и на покупку, и на содержание.

«Росатом» сегодня — единственный в РФ игрок, кто обладает сразу пятью элементами рынка: собственными промышленными принтерами по всем ключевым технологиям металлической печати, собственными материалами, собственным ПО, сетью центров компетенций и нормативной и образовательной инфраструктурой. Мы имеем уже две производственные площадки, в Новоуральске и Глазове, где производятся порошки. В том числе на технологически независимом оборудовании, созданном в России.

— Оценивая приведенные затраты, вы выше рынка, ниже, по центру?

— Чуть выше, хотя однозначно оценить объемы и в деньгах, и «в штуках и тоннах» сложно. Очень важно, для чего приобретается принтер. Можно

«Есть заказчики, для которых важно топовое качество, и они готовы платить: это наши лучшие клиенты, с ними срабатывает наша стратегия по сопровождению продукции, а также способность нашего оборудования к стабильному результату».

печатать сувенирную продукцию, елочные игрушки — но это не про нас. Кто-то печатает детали для реактивных двигателей, другие высокотехнологичные изделия — мы на этом рынке, и немногие могут быть рядом. И наша технология незаменима, если заказчик должен пройти все испытания регуляторов. Для атомной отрасли актуален Ростехнадзор, для автомобилистов — НАМИ, для авиаторов — ВИАМ, для судостроителей — Морской регистр. Кто хочет пройти регулятора, должен понимать, что производитель принтера и материалов никуда не исчезнет. И для них есть поставщик из корпорации, у которой основной бизнес — атомная станция, работающая 80 лет. Такой поставщик точно никуда не денется.

— Еще недавно считалось, что в лучшем случае наша страна может протекционизмом закрыть внутренний рынок, а за рубежом делать нечего — технологически лидируют США и Европа, ценами давит Китай... Так ли это сейчас?

— Китайцы за последнее время, особенно когда американцы их подтолкнули санкционными действиями, очень серьезно продвинулись в аддитивных технологиях, вошли в топ-5 мировых лидеров. И, конечно, развернули серийное производство, тысячами выпускают принтеры, стали создавать фабрики по 200–300 машин. Но изготавливаются там в основном бытовые изделия, да и внутренний рынок в стране под их продукцию огромный, поэтому нельзя сказать, чтобы нам это мешало. Конечно, они будут развиваться и дальше, поэтому нужно расти и нам, в качестве и количестве.

Мы изначально создавали наши принтеры, опираясь на лучшие мировые достижения, в том числе элементную базу. Не сковывали инженеров, говоря: «Делаем только из российских деталей», а сказали: «Сделаем хорошую машину». И затем стало необходимо последовательно добиться такого положения, чтобы по каждой из комплектующих у нас были возможны российские поставки. И на сегодняшний день наш принтер может быть собран почти весь, на 95%, из российских комплектующих, когда это нужно. Но так нужно не всегда. Мы находимся на рынке, и когда наши конкуренты активно ставят нероссийские комплектующие, нам нужно конкурировать. В то же время есть задача получить независимость

от зарубежных поставок. У нас не было российского варианта только по системе управления оборудованием, но уже на нашем новом компактном принтере мы применили и оцениваем микропроцессорный блок российского производства.

— **То есть, опираясь на контрактное производство, вы даже и ноу-хау по электронной компоненте, блоку управления, можете замкнуть на себя?**

— Да, но точно не будем делать блок управления сами, а используем российские поставки. С электронным блоком от российского поставщика мы достигли 90% локализации, сейчас завершается подача документов на СТ-1 — сертификаты российского происхождения для экспорта и включения в реестр Минпромторга. Нас выручает вариативность: можно сделать максимально российский принтер, или менее российский за меньшую сумму, или с топовыми мировыми комплектующими, но с туманными перспективами по их замене. По сути, принтеры в нашей линейке — это основная конструкция с вариантами комплектации. Но это только звучит просто, потому что комплектация каждого принтера очень чувствительно отражается на технологии работы. Замена любого узла требует глубокой доработки самого техпроцесса — это деньги, время, риски. Поэтому когда техпроцессы отлажены, то хорошо и нам, и заказчику.

— **36 принтеров в планах этого года, а также те, что есть в планах на будущее, — это машины SLM или также DMD и другие, работающие на проволоке со сварочной технологией?**

— У нас освоены технологии печати металлическим порошком SLM и DMD и проволокой — EBAM. Основной линейкой остается SLM, она самая сложная и высокоточная. Мы производим одну из самых крупных машин в России, с рабочей зоной 600 мм. Также в линейке машина с рабочей зоной 300 мм, и в этом году мы добавили малогабаритные машины с рабочей зоной 150 и 100 мм: они позволяют заказчику экономить на порошке, защитном газе, сами по себе более компактны. Лимитирующий фактор для технологии — это вакуумная камера. Создавать более объемную камеру сейчас необходимости нет.

Для изготовления крупногабаритных изделий применяется технология DMD — прямое лазерное выращивание. В отличие от установок селективного лазерного сплавления такие системы могут работать как с контролируемой защитной атмосферой во всем объеме построения, так и без, что позволяет регулировать время производства с экономикой процесса изготовления и ремонта деталей. При этом локальная подача защитного газа в зоне обработки всегда сохраняется. К преимуществам данной аддитивной технологии относятся высокая производительность (до 2,4 кг/ч), возможность изготовления крупногабаритных заготовок, изготовления биметаллических и композитных конструкций, а также высокие прочностные характеристики получаемых изделий.

На наших производственных участках собираются современные серийные установки DMD, позволяющие не только проводить изготовление различных деталей с нуля, но и осуществлять высокотехнологичный восстановительный ремонт ответственных деталей после эксплуатации с возможностью нанесения функциональных защитных покрытий на их рабочие поверхности.

Если изделия требуются крупногабаритные и время на печать ограничено, то нужна печать проволокой и технологии EBAM (именно такой принтер приобрела Индия). Все перечисленные машины мы изготавливаем, то есть с учетом четырех типоразмеров SLM у нас в линейке семь моделей принтеров.

— **Как вы оцениваете потенциал проволоочного направления?**

— Как очень сильный, и чем дефицитнее будет кадровый ресурс предприятия, тем больше конструктор и технолог будут мыслить именно в русле аддитивных технологий: поставил на машину задачу, и она печатает. Даже если изделие крупное, выгоднее подождать, пока принтер «соберет» его из проволоки, чем снимать тонны металла

Справка

Технологии 3D-печати

SLM — селективное лазерное сплавление, позволяет создавать сложные металлические детали высокой прочности путем послойного расплавления металлического порошка лазером.

DMD — технология прямого лазерного выращивания (или наплавки) металлических изделий: материал в виде порошка или проволоки подается в среде защитного газа через специальное сопло прямо в ванну расплава, созданного сфокусированным лазерным излучением, где материал расплавляется и затем кристаллизуется, формируя слой будущей заготовки детали.

EBAM — электронно-лучевая наплавка в инертной среде: высокоэнергетический электронный луч плавит металлическую проволоку прямо в точке ее подачи, процесс протекает в вакуумной камере, что предотвращает окисление металла и позволяет работать с активными и тугоплавкими сплавами.

с заготовки-поковки: это человеко-часы, а людей как раз не хватает. Другое дело — снять 100 кг металла, проведя финишную доработку напечатанного проволокой изделия. Печать проволокой крупногабаритных изделий — это большая перспектива. Не случайно наш ЕВАМ-принтер в план на продажу мы записали на 2028 год, но именно он оказался первым же, проданным в Индию.

— **Какие-то еще интересные технологии изучаете для освоения?**

— У нас на стадии открытия находится проект для очень крупногабаритной машиностроительной продукции.

— **Есть ли факторы, которые мешают развитию?**

— Особенность нашей работы в длительности производственного цикла. Инвестиционные ресурсы у многих заказчиков выделяются в мае-июне, когда подведены годовые итоги, а освоить их надо до конца года. Нам важно успевать провести закупку комплектующих. Поэтому критически важны доверительные отношения с действующими и потенциальными заказчиками, чтобы мы могли какие-то решения по закупкам принимать как можно раньше, когда становится понятно, что заказ точно будет, даже если формальные процедуры не завершены. Наши заказы на перспективу — именно от таких заказчиков. Но большая часть заказов этого года уже законтрактована.

Чтобы преодолеть недоверие производителей, мы пошли с аддитивными технологиями даже в детские сады и школы, потому что легче воспитать поколение конструкторов и технологов, чем переучить тех, кто уже сформировался в предыдущей технологической культуре. У нас через 10–15 лет появятся такие инженеры, которые скажут: это — только в печать, а по-другому не хотим и не будем. Сейчас основной кадровый потенциал на предприятиях по-прежнему мыслит в традиционных технологиях производства, мы опираемся только на инноваторов и на нишу прототипирования.

— **Удается ли развивать программы преподавания в технических колледжах и вузах для продвижения ваших технологий?**

— Существует профессиональный стандарт для среднего профессионального образования, колледжи начинают его осваивать. Лучшие вузы, такие как ведущие политехнические университеты, сегодня активно развивают направление аддитивных технологий; более того, некоторые — как Петербургский политех — были пионерами их внедрения. Все ректоры передовых технических вузов уже поняли, что аддитивными технологиями нужно заниматься, и развивают свои центры. В числе наших партнеров Петербургский и Томский политехнические, Самарский аэрокосмический, УрФУ, Белгородский ГАУ, МИРЭА, МИФИ, ДВГУПС, МИСИС, МГТУ им. Н. Э. Баумана, казанский КНИТУ-КАИ, и список пополняется.

Развитие цифровой экосистемы аддитивного производства — одно из ключевых направлений. Именно программная и инженерная «обвязка» обеспечивает промышленную зрелость технологий. В 2025 году в отрасли завершена разработка программного комплекса «Виртуальный принтер 2.0», который моделирует, подготавливает и сопровождает процессы печати. Он позволяет обрабатывать параметры, прогнозировать поведение изделия, снижать риски и увеличивать воспроизводимость. По сути, это формирование цифрового двойника аддитивного процесса, сокращающего сроки внедрения и стоимость технологической отработки. Сейчас комплекс находится в опытной эксплуатации и в ближайшее время будет выведен на коммерческий рынок как готовый продукт.

Тем не менее в системе высшего профессионального образования стандарта и вузовской программы именно по аддитивным технологиям пока нет. На данный момент принято решение: вписать блоки по аддитивным технологиям в основополагающие инженерные программы «Машиностроение» и «Материаловедение и технологии материалов». Возможно, это лучшее решение на данный момент, которое позволит молодым инженерам лучше понимать старшее поколение производителей, в то же время владея новыми возможностями.

— **Что вы считаете главной составляющей успеха?**

— Успешное формирование российской аддитивной технологии состоялось не только благодаря усилиям интегратора, но и благодаря команде «Росатома». Целый ряд предприятий находится в кооперационной цепочке по поставке оборудования. Огромный вклад внесли программисты из ведущих научных центров, создатели лазерной техники. У нас есть свой, произведенный в «Росатоме» сканатор для управления лазерным лучом, есть роботы-манипуляторы, есть сформированный цифровой продукт от сканирования до постпроцессоров — программ, обеспечивающих технологический процесс. Там есть над чем работать, мы проводим тестирование этих технологий на базе одной из лучших команд «Росатома». Отдельная благодарность — тем, кто оказывает методологическую поддержку, и базовым предприятиям, которые внедряют технологии печати в практику. Это в первую очередь предприятия Машиностроительного и Топливного дивизионов, ряд предприятий в ЗАТО «Росатом».

Но опять же важно помнить, что каждому руководителю предприятия нужно осознавать: аддитивные технологии будут развиваться и дальше, меняя весь традиционный уклад предприятий. Сохранять и развивать присутствие на рынке можно будет, только опираясь в том числе на те возможности, которые дает 3D-печать.

RusMelt 150M

Установка селективного лазерного сплавления



Выпуск компактного принтера RusMelt 150M делает доступными аддитивные технологии для малых предприятий, лабораторий и образовательных учреждений, ранее ограниченных габаритами и стоимостью крупного оборудования. Это расширяет горизонты применения 3D-печати и формирует конкурентное преимущество «Росатома», позволяя предлагать клиентам индивидуальные решения для любых задач и масштабов производства.

Компактный малогабаритный 3D-принтер RusMelt 150M «Росатом» представил в мае текущего года на выставке «Металлообработка-2026». Дооснащение линейки малогабаритным принтером, помимо крупногабаритной установки RusMelt 600M и среднегабаритной RusMelt 300M, позволит закрыть до 90% потребностей рынка аддитивных технологий, а также снизить барьер входа для широкого круга пользователей.

Компактные размеры RusMelt 150M, пониженное энергопотребление, сниженный расход материалов (газа и порошка) и, как следствие, более низкая стоимость делают эти установки экономически выгодным решением для ведущих университетов, НИИ, медицинских центров, инжиниринговых компаний и малых промышленных производств.

В 2025 году на рынок был выпущен первый российский 3D-принтер для крупногабаритной печати металлом, работающий по технологии SLM, — RusMelt 600M, а также создана установка, работающая по технологии прямого лазерного выращивания (DMD), — RusDMD 1500R.

Малогабаритные принтеры RusMelt позволяют создавать изделия, которые ранее были невозможны или экономически нецелесообразны из-за ограничений крупных установок. Это сокращает стоимость производства, расширяет возможности для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

Принтер способен решать инженерные задачи в области авиации и космоса (печать лопаток, уплотнений, антенн и тепловых элементов), а также изготавливать экспериментальные образцы. Для медицины и, в частности, стоматологии — это печать коронок и мостов, индивидуальных имплантов, ортопедических элементов. Для промышленности — быстрая замена необходимых комплектующих: печать прототипов, ЗИП и других сложных малогабаритных изделий. Университеты и научные центры получают мощный инструмент для исследований и обучения инженеров нового поколения, которые не будут ограничены в решении технических задач барьерами традиционных технологий.

Относительно небольшие габаритные размеры установки 2104 x 990 x 2234 мм и вес 932 кг позволяют разместить ее в стандартной лаборатории или вузовском помещении без выделенного тяжелого фундамента и отдельного производственного участка. Зона построения диаметром 15 см и высотой 20 см в сочетании с малым объемом камеры позволяет заметно экономить на расходе газа и порошка, а система контроля качества в режиме реального времени и система протоколирования данных обеспечивают прослеживаемость и подтверждение стабильности изготовления каждой детали.

Благодаря высокой точности позиционирования лазерного луча (≤ 20 мкм) и широкому диапазону толщины слоя (20–200 мкм), эти принтеры позволяют изготавливать цельные металлические детали со сложнейшими внутренними структурами, тонкими стенками и улучшенными функциональными характеристиками, снимая ограничения традиционного проектирования. А лазер мощностью 500 Вт позволяет работать с широким спектром металлических порошков (нержавеющие и жаропрочные никелевые сплавы, титан, алюминий, кобальт-хром). В отличие от других компактных машин, представленных на рынке, RusMelt 150M обеспечивает промышленный контроль качества в малом формате.

Промышленное качество в компактном формате

Ø 150 × 200 мм

область построения

Производят изделия сложной геометрии
с высокой детализацией

2104 × 990 × 2234 мм

габариты установки

Ориентированы на инженерные задачи, НИОКР,
мелкосерийное производство и медицину

Геометрия и точность

Изделия, недостижимые для традиционных технологий

от ~0,5 мм

толщина стенок

Внутренние каналы и полости

Решетчатые и топологически оптимизированные структуры

Технологические параметры

500 Вт

мощность лазера

85 ± 5 мкм

лазерное пятно

20–200 мкм

толщина слоя

≤ 20 мкм

точность позиционирования

Высокая детализация и повторяемость геометрии

Производственная эффективность

Рационально для НИОКР и малых серий

до 15 см³/ч

производительность

10,2 л

загрузка порошка

Пониженный расход
инертного газа

Быстрый выход на режим
за счет малого объема камеры

Сокращение цикла изготовления и затрат
на подготовку производства

Минимизация отходов
за счет повторного
использования порошка

Материалы и свойства

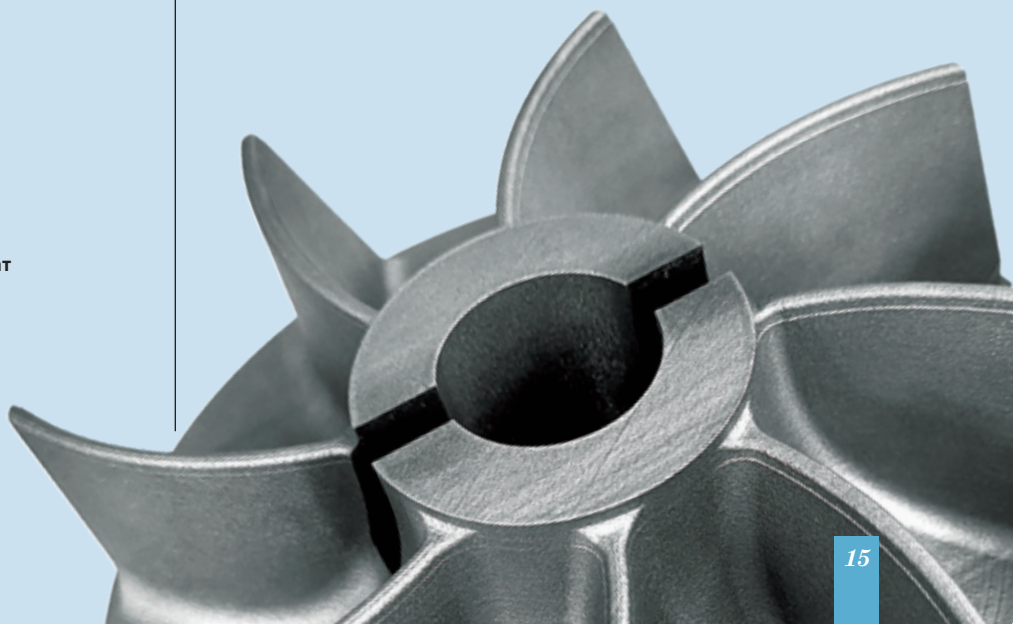
Работа с конструкционными, жаропрочными
и биосовместимыми сплавами: стали и сплавы на основе
никеля, титана, алюминия, кобальта

~99,5%+

плотность изделий

Однородная микроструктура

Стабильные механические характеристики



Текст: Ирина Дорохова
 Фото: «Росатом Аддитивные технологии»

Мыслить аддитивно

Трехмерная печать из метода апробации становится полноценной промышленной технологией

Одной из тем, обсуждаемых на выставке «Металлообработка-2026», которая прошла в мае 2026 года в Москве, стали изменения на рынке аддитивных технологий. Российский рынок растет, производители стремятся удовлетворять запросы на оптимизацию принтеров: они должны печатать дешевле и быстрее. Печать входит в серийное производство. Об этих и других тенденциях на выставке рассказали ключевые игроки аддитивной отрасли.

Положение дел на рынке

По предварительным оценкам исследования российского рынка трехмерной печати, которое провели Ассоциация развития аддитивных технологий и Минпромторг РФ с госкорпорацией «Росатом», рынок

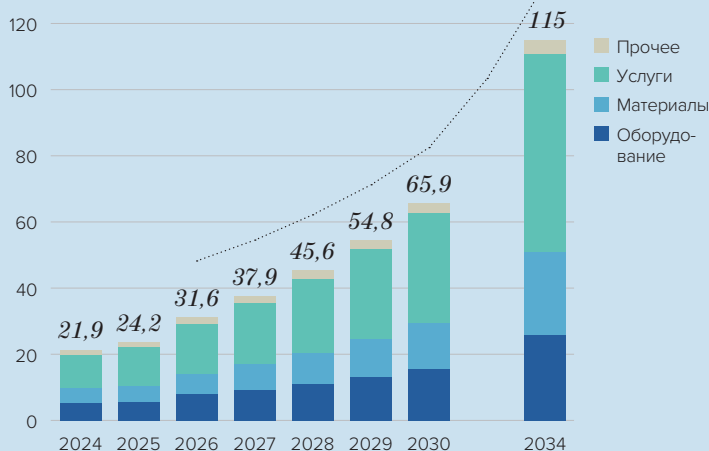
в 2025 году превысил 20 млрд рублей. Тенденции последних четырех лет свидетельствуют об ускоренном развитии российского рынка аддитивных технологий. К 2030 году, по предварительным оценкам, его объем может достичь 29 млрд рублей. При этом в случае реализации инновационного сценария, предусмотренного Минпромторгом России, рынок способен существенно превысить данный показатель и приблизиться к 58,2 млрд рублей.

Рынок аддитивных технологий в России складывается из трех сегментов. Первый — оборудование (3D-принтеры и их компоненты). В России на него приходится около 54% всего рынка. Второй — материалы для 3D-печати с долей 24%. Третий — услуги 3D-печати и связанного с ней инжиниринга с долей 22%.

Структура российского рынка значительно отличается от мирового. В мире самый большой сегмент — это услуги 3D-печати. В структуре российского рынка

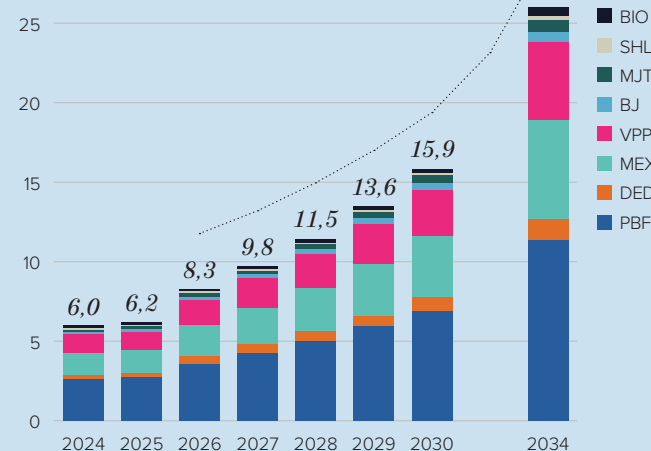
Развитие мирового рынка АТ по направлениям и технологиям, млрд \$

Направления мирового рынка АТ



- Согласно последним данным Wohlers Associates 2026, мировой рынок аддитивных технологий продолжил рост в 2025 году, достигнув значения в \$24,2 млрд (+10,9% к 2024 году).
- Услуги 3D-печати показали еще более высокую динамику роста в 2025 году — +15,5%. Продажи оборудования выросли на 3,6%.
- Сохраняется высокий уровень затрат R&D на разработку нового оборудования и материалов для 3D-печати.
- Прогнозируется, что объем мирового рынка АТ к 2034 году достигнет \$115 млрд.

Мировой рынок оборудования АТ по технологиям



- Согласно оценкам Wohlers Associates и AMPower, в структуре технологий 3D-печати наибольшее развитие в денежном выражении получат:
 1. PBF, DED — по металлу — около 50% рынка оборудования;
 2. MEX, VPP — по пластикам и фотополимерам — более 40%.
- Таким образом, на технологии PBF, DED, MEX, VPP суммарно будет приходиться более 90% рынка оборудования к 2034 году.

Источники: Wohlers Associates, AMPower Reports, оценки APAT и ООО «РосАТ»

Прямая речь



Ольга Оспенникова

Исполнительный директор Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ), советник президента АО «ТВЭЛ»:

— Отрасль аддитивных технологий — одна из самых быстрорастущих в мире. По итогам 2025 года мировой рынок трехмерной печати впервые за свою историю достиг 24,2 млрд долларов. Ожидается, что к 2034-му он продемонстрирует шестикратный рост. Российский рынок также уверенно растет: его объем превысил по итогам 2025 года 20 млрд рублей и к 2030 году, согласно инновационному сценарию Минпромторга России, может увеличиться втрое, достигнув 58 млрд рублей. Это стало возможным благодаря серийному производству 3D-принтеров, расширению линейки выпускаемого аддитивного оборудования и активному импортозамещению. Общемировым драйвером является автомобильная промышленность — на нее приходится около 30% рынка. В России же лидируют авиакосмическая отрасль и ТЭК, на которые приходится почти половина рынка.

На будущее аддитивного рынка в целом будет влиять развитие смежных отраслей, таких как строительство, медицина, машиностроение. Для того чтобы рынок вырос, аддитивными технологиями должны заинтересоваться представители общепромышленных направлений. В частности, «Росатом» заинтересован в том, чтобы применять аддитивные методы в атомной отрасли. Конечно, речь идет не об энергоблоках, но госкорпорация строит и множество котельных, насосных станций и прочих инфраструктурных объектов, обеспечивающих эксплуатацию. «Росатом» уже сотрудничает с Ростехнадзором в этом направлении и планирует его развивать.

аддитивных технологий наибольшую долю занимает оборудование, тогда как материалы и услуги распределены практически в равных пропорциях. Российские производители продолжают усиливать свои позиции: выпускают новые продукты и осваивают серийное производство принтеров. Например, в сегменте SLM-печати разрабатываются и выпускаются как компактные малогабаритные, так и крупногабаритные машины.

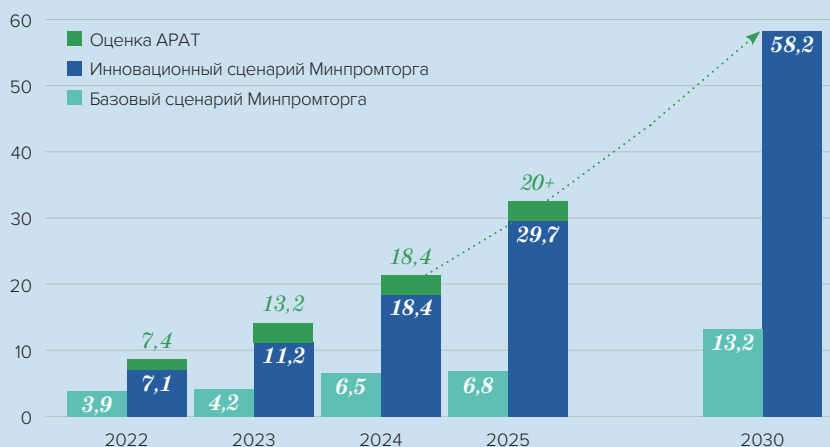
В России наибольшее распространение аддитивные технологии получили в авиационной отрасли, которая аккумулирует около 30% рынка. Существенную долю также занимают предприятия ТЭК (19%) и космической отрасли (16%). На машиностроение приходится 13% рынка, на предприятия ОПК — 10%, а на образовательные организации — 8%. «Для данных отраслей характерна модель In-house, то есть внутренняя, некоммерческая 3D-печать на предприятии. Это связано в том числе с невозможностью передавать заказы на производство «чувствительных» деталей вовне, в коммерческие ЦАТ. Поэтому суммарная выручка коммерческих ЦАТ в России ниже», — отмечается в исследовании.

Расширение модельного ряда

В «Росатоме» развиваются технологии SLM (селективное лазерное сплавление), DMD (прямое осаждение металла / прямое лазерное выращивание), EBAM (проволочное электронно-лучевое аддитивное производство).

Объем и структура российского рынка АТ, млрд руб.

Объем российского рынка



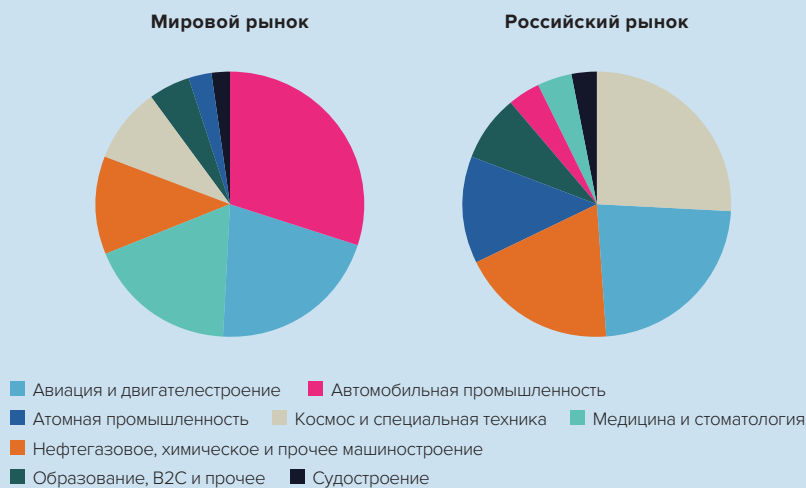
Структура российского рынка



Степень проникновения АТ в промышленность России составляет около 0,07%, что пока ниже мирового показателя — 0,12%.

Источники: Минпромторг, Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ)

Отличие мировой доли услуг от российской в общем объеме рынка АТ



Источники: Wohlers Associates, APAT и ИГ «Информлайн»

Бизнес-направление «Аддитивные технологии» (БН «АТ») Топливного дивизиона госкорпорации к началу мая 2026 года существенно нарастило объемы производства изделий методом металлической 3D-печати и укрепило позиции на рынке промышленного оборудования, реализовав десятки проектов по поставке отечественных аддитивных установок. В работе находится значительный портфель заказов, а география поставок продолжает расширяться, включая зарубежные рынки. БН «АТ» расширяет модельный ряд принтеров. Так, на выставке «Металлообработка-2026» рынку был представлен принтер RusMelt 150M. Он компактнее, легче, экономичнее в эксплуатации и доступнее по цене. Область построения диаметром 150 мм и высотой 200 мм позволяет выращивать стоматологические импланты, пластины для краниопластики (восстановления черепа), форсунки, кронштейны, оснастку для небольших деталей, а также лабораторное, вспомогательное, испытательное оборудование.

БН «АТ» открыло 11 центров аддитивных технологий общего доступа и 2 ЦАТ — в России и за рубежом. Первый заграничный ЦАТ открылся в Беларуси в сентябре 2025 года. В 2026–2027 годах БН «АТ» планирует открыть еще два зарубежных центра.

Рост производительности

Одна из ключевых задач, которую ставят перед собой участники аддитивного рынка в России, — сокращение себестоимости 3D-печати и рост производительности принтеров. Как рассказал гендиректор компании «Центр аддитивных технологий» (входит в Объединенную двигателестроительную корпорацию) Алексей Мазалов, для оптимизации печати в компании используют плотное и многоярусное размещение заготовок на платформе построения, корректируют управляющие программы печати с учетом предеформации, обрабатывают высокоскоростные режимы печати для новых сплавов, активно применяют перфорированные и древесные поддерживающие структуры. Это позволяет сэкономить материал, повысить скорость производства изделий и получить нужную сложнопрофильную геометрию с минимальным количеством итераций. Помимо этого, разрабатывается собственная MES-система для объективного контроля загрузки оборудования и повышения эффективности диспетчеризации. Данные меры позволили в 2025 году снизить себестоимость на 10%, а в 2026 году план — порядка 12–15%.

На предприятиях госкорпорации «Роскосмос» системно ведется работа по снижению себестоимости выпускаемой продукции. Одним из направлений такой работы является внедрение новых прогрессивных технологий, в том числе аддитивных с глубоким перепроектированием конструкции. В частности, достигнут значительный эффект при внедрении такого подхода при создании и производстве жидкостных ракетных двигателей. Сегодня уже проводится работа по внедрению в серийное производство аддитивных методов получения заготовок для примерно половины деталей ракетных двигателей, что позволит сократить себестоимость их производства от 20 до 40%, заявил директор по производственно-технологическому развитию интегрированной структуры ракетного двигателестроения НПО «Энергомаш» Денис Пудков. На серийное производство «аддитивных» двигателей «Роскосмос» намерен перейти после 2029 года.

Конструкторы там, где их не ограничивают рамки регулятора, уже сегодня готовы проектировать изделия сразу под 3D-печать. Именно эту тенденцию представители аддитивной отрасли называют «аддитивным мышлением» и считают, что она будет развиваться.

Какие тенденции в аддитивной отрасли определяют ее будущее



Алексей Мазалов

Генеральный директор АО «ЦАТ»:

— Главный тренд, который определит будущее аддитивной отрасли, — это планомерное снижение порога входа в применение промышленных аддитивных технологий. В первую очередь оно будет достигаться за счет снижения себестоимости оборудования и сырья.

Не менее значимым фактором является формирование полноценной нормативной базы, что ускорит внедрение новых решений и масштабирование в промышленности. Кроме того, на первый план выходит опережающая подготовка междисциплинарных специалистов.

Наконец, критически важна активная популяризация аддитивных технологий в конструкторско-технологических службах на промышленных предприятиях. Инженеры должны изначально проектировать детали с учетом понимания возможностей и ограничений 3D-печати.

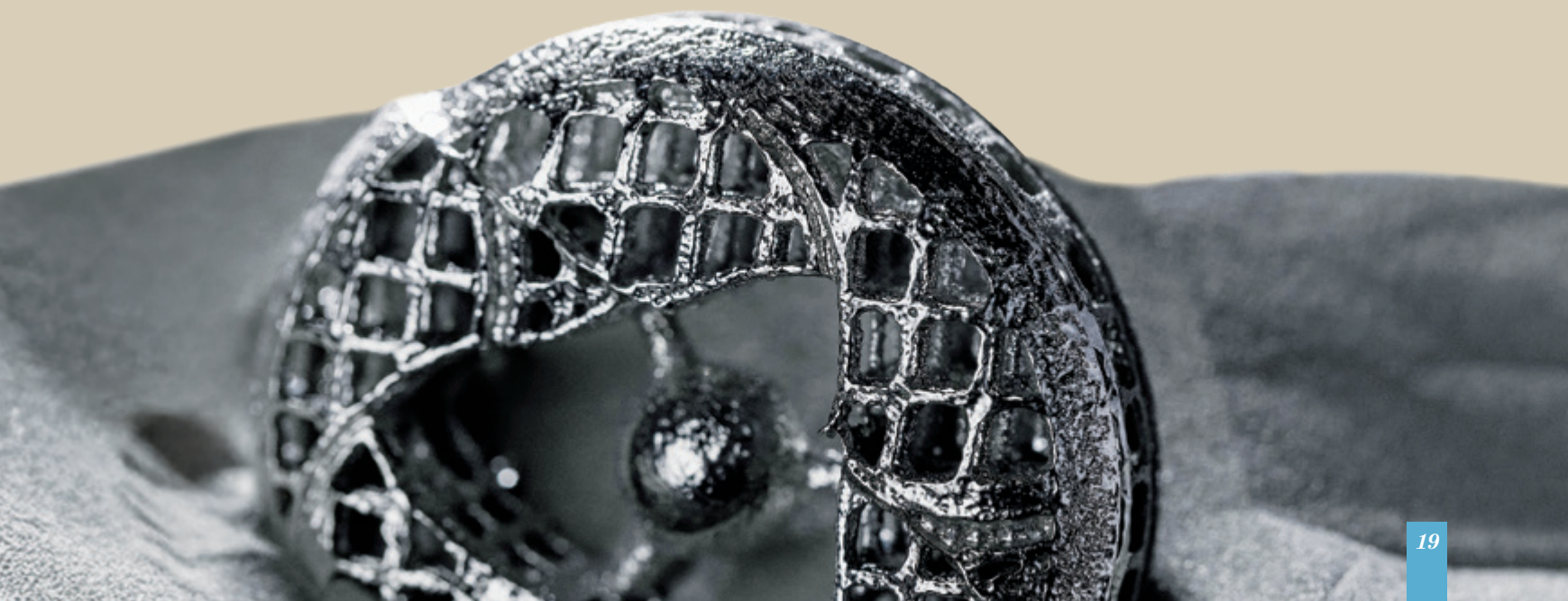


Денис Пудков

Директор по производственно-технологическому развитию интегрированной структуры ракетного двигателестроения НПО «Энергомаш»:

— Будущее аддитивной отрасли определяют три ключевые тенденции. Первая — переход от простой замены технологий к новому конструированию: ключевой эффект достигается не за счет 3D-печати как таковой, а за счет возможности создавать принципиально новые, более легкие и дешевые двигатели. Вторая — объединение исследовательских компетенций в области материалов, ПО и режимов печати с созданием отраслевых баз данных свойств материалов, что необходимо для ускоренного внедрения. Третья — тесная кооперация производственных компаний для демонстрации возможностей и последовательного преодоления барьеров сертификации и серийного выпуска.

Именно эти три тенденции — новое конструирование, научно-техническая кооперация и промышленная сертификация — определяют, насколько быстро аддитивные технологии станут важнейшим инструментом технологической модернизации, особенно в аэрокосмической отрасли, где традиционные подходы уже во многом исчерпали свой потенциал.



Текст: Ирина Дорохова

Фото: «Росатом Аддитивные технологии»

Идеи от 3D-модельеров

Как трехмерное сканирование помогает бизнесу, промышленности, науке и культуре

Компания «РВ» в сотрудничестве с бизнес-направлением «Аддитивные технологии» «Росатома» выпускает 3D-сканеры RangeVision с передовыми параметрами для оцифровки объектов любой слож-

ности. Более 15 лет эти аппараты помогают клиентам по всему миру решать уникальные задачи. В нашем обзоре — 10 самых интересных кейсов в разных сферах, от промышленности до археологии.

В восстановлении техники

Орбитальный корабль «Буран»

Музей техники УГМК в Верхней Пышме (Свердловская область) приобрел для своей экспозиции последний из трех летных экземпляров «Бурана». Он изначально не был до конца собран, и специалистам требовалось полностью воссоздать копию корабля в цифровом формате, чтобы приступить к изготовлению всех недостающих деталей. Сложность — чертежи, на которых по-прежнему стоит печать «секретно», поэтому без реверс-инжиниринга не обошлось. Так, чтобы сделать макет двигателей, специалисты направились в «Сириус», где

экспонируется другой «Буран» — близнец. А установка демонтированных крыльев потребовала оцифровки прилегающих поверхностей и консоли крыла. На базе полученных 3D-моделей создали недостающие элементы, чтобы восстановить облик легендарного корабля.

А также: 3D-сканеры применяют для реставрации и восстановления разных ретромоделей — самолетов, автомобилей, мотоциклов и прочей техники. С помощью 3D-моделей изготавливают недостающие компоненты, которые на заводах уже не выпускают.



В искусстве и архитектуре

«Троица» Андрея Рублева

Специалисты РВ помогли реставрационному совету Третьяковской галереи, который занимался мониторингом состояния иконы «Троица» Андрея Рублева XV века. После того как икону вывозили на богослужение в Троице-Сергиеву лавру, реставраторы решили применить 3D-сканирование, чтобы точно понять, как изменилось ее состояние. Три доски иконы оцифровывали с разницей примерно в полгода и смотрели динамику: как ведет себя рельеф поверхности, есть ли изменения в левкасе. Для реставраторов такая точность принципиальна, им важно понимать, что именно происходит с объектом, чтобы принять правильное решение о вмешательстве. В Третьяковской галерее высоко оценили возможности метода и взяли 3D-сканирование на вооружение как один из инструментов постоянного контроля музейных объектов.



Слон для «Баядерки»

3D-сканер RangeVision используется в мастерских Большого театра для изготовления реквизита. Для постановки балета «Баядерка» понадобился полтораметровый слон. Скульптор слепил маленького слоника из пластилина, его оцифровали и 3D-модель увеличили до нужного размера. По 3D-модели вырезали заготовку из пенопласта нужного размера на специальном станке и раскрасили. Теперь такой крупногабаритный реквизит не так страшно повредить во время гастролей — при необходимости можно быстро восстановить «поголове» слонов.



История в деталях

К 150-летию Максима Горького в Нижнем Новгороде реставрировали особняк В. М. Бурмистровой, где расположен музей писателя. Это одно из красивейших исторических зданий города, построенное в 1882 году Н. Д. Григорьевым, архитектором из Петербурга, в стиле академической эклектики с мотивами русского барокко и классицизма. За полтора века здание побывало общежитием, госпиталем и музеем, и многие декоративные детали интерьеров оказались утрачены. Сотрудники «РэнджВижн» отсканировали сохранившиеся фрагменты лепнины, резьбы и декора прямо на месте, а часть деталей привезли в офис, чтобы аккуратно снять геометрию, скрытую под слоями краски и лака. Также было необходимо построение сломанных элементов. По полученным моделям в мастерской художника Дмитрия Жамкова вырезали на станке с ЧПУ точные копии утраченных элементов, в том числе восстановили резной узор входной дубовой двери.

А также: 3D-сканеры используют для оцифровки скульптур, сложных архитектурных форм, зданий и иных культурных объектов. Когда в 2019 году вспыхнул пожар в соборе Нотр-Дам-де-Пари, реставраторы неожиданно получили бесценный ресурс: еще в 2010–2015 годах историк Эндрю Таллон провел детальное лазерное сканирование собора. Эти данные легли в основу восстановительных работ.

Прямая речь



Артём Красовский

Директор по развитию РВ:

— Клиенты узнают про технологию, видят истории применения и приходят к нам с примером и своей задачей: «А можно нам сделать так же, но «с перламутровыми пуговицами»?» Мы думаем: «Ведь можно. Давайте пробовать».



Больше о применении сканеров RangeVision

В промышленности

Контроль более 500 размеров на одной детали

Предприятию на Урале, выпускающему радиаторы охлаждения для автомобильной и сельскохозяйственной техники, потребовалось обеспечить контроль изготовления детали теплообменника, через который проходит более 500 трубок. Размер и расположение каждого отверстия надо контролировать. Если бы эти измерения проводил оператор вручную, то быстро возникли бы сомнения в точности и качестве результатов. Контроль автоматизировали с помощью 3D-сканера. Специалисты разметили на эталонной 3D-модели каждое отверстие, указав размеры, допуски и прочие параметры. Сравнивая с ней результаты оцифровки изготовленных деталей, технолог видит «тепловую карту» отклонений. Зоны, укладываемые или выходящие за пределы нормативов, подсвечиваются разными цветами, тем самым позволяя получить информацию о соответствии требованиям каждого отверстия в автоматизированном режиме.

Создание броневедомобиля

Изготовление специальных автомобилей на базе серийных — популярное решение среди производителей транспорта для служб спасения и инкассаторов. Готовое шасси дешевле и надежнее, чем делать

до 60–70%

промышленных 3D-сканеров в РФ используются для задач реверс-инжиниринга

все с нуля. Но бронелисты плохо поддаются изгибу, поэтому броню кроют под каждый участок кузова отдельно. А у любого серийного фургона кузов далеко не идеально ровный. Выемки, ребра и точки крепления сложно точно «образмерить» традиционным инструментом или рулеткой. Специалисты с помощью 3D-сканера RangeVision оцифровали кузов Citroen Jumpy целиком и получили точную цифровую копию со всеми его особенностями. Бронелисты изготовили уже по этой модели, и при сборке они встали идеально, без какой-либо доработки.

А также: 3D-сканеры применяют для восстановления узлов импортных производственных линий, для которых нет сервисной документации или запасных частей. Стоимость простоя оборудования зачастую очень высока, и проблемный, но еще работающий узел требуется как можно быстрее оцифровать для обратного проектирования и изготовления нового.



В медицине

Индивидуальные протезы

Российская компания «Моторика», один из ведущих производителей бионических протезов в стране, внедрила 3D-сканирование прямо в процесс изготовления изделий. Раньше специалисты снимали гипсовые слепки с культи пациента, теперь процесс заменили сканированием, это занимает несколько минут, а точность выше, чем при ручных замерах. По полученным моделям изготавливают гильзы строго под форму тела конкретного человека, и протез с первого раза садится правильно. Особенно это важно для детей: ребенок растет, и протезы приходится менять регулярно, поэтому скорость и простота процесса здесь принципиальны.

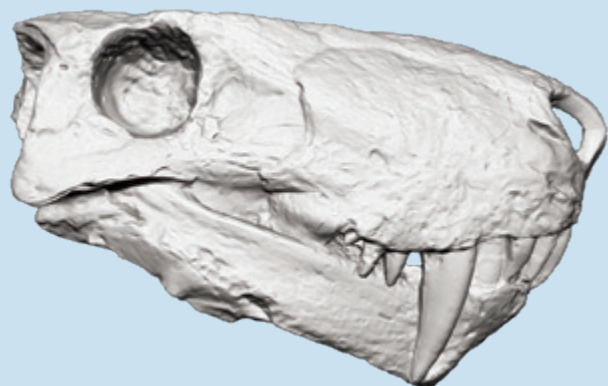
А также: 3D-сканеры эффективны и в других направлениях ортопедии. Спину сканируют для изготовления корсетов при сколиозе, голову младенцев — для краниальных ортезов, которые корректируют форму черепа в первый год жизни, ступни — для индивидуальных стелек и обуви. Сканирование заменяет гипсовые слепки и долгие примерки, а цифровая модель хранится и позволяет при необходимости быстро изготовить новое изделие.



В археологии и палеонтологии

Череп пермских ящеров

В СПбГУ к юбилею выпускника, геолога и палеонтолога Владимира Амалицкого, готовили выставку. Среди экспонатов были гипсовые слепки черепов трех ящеров пермского периода: скутозавра, иностранцевии и двинозавра. Череп нашел сам Амалицкий в конце XIX века, копии выполнил в начале XX. После реставрации доцент кафедры зоологии позвоночных СПбГУ Дмитрий Григорьев отсканировал все три черепа с помощью RangeVision. Теперь ученые и студенты работают с точными цифровыми копиями: рассматривают в любом масштабе, сравнивают, печатают, не прикасаясь к оригиналам.



Раскопки под стройкой

В Самаре при строительстве многоэтажного дома в центре города обнаружили старое Всехсвятское кладбище, которое функционировало до 1926 года. Местные жители даже не подозревали о его существовании. Работы остановили, провели спасательные археологические раскопки на площади 576 м². Археологи заинтересовались захоронениями и оцифровали их для дальнейших исследований.

А также: для участия в научных конференциях и совместных исследованиях можно отправлять коллегам не редчайшие физические артефакты, а их трехмерные модели, где точно отражены неровности, трещины и прочие дефекты.

Текст: Алексей Комольцев

Фото: «Росатом Аддитивные технологии», МИСИС

Аддитивное будущее в надежных руках

Как и где получить образование в сфере аддитивных технологий

В рамках программы выставки «Металлообработка-2026» состоялась дискуссия о подготовке кадров как о факторе развития аддитивных технологий. «Вестник атомпрома» убедился, что аддитивное будущее в надежных руках, но предстоит еще много работать, прежде всего над технологиями.

Сессия о подготовке кадров состояла из двух частей: первая — дискуссии преподавателей и представителей индустрии, вторая — защита конкурсных студенческих работ. Организатором мероприятия традиционно выступила Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ).

По мере выступлений зал заполнился почти до отказа. Тому две причины. Первая — докладчики выступали ярко, полемизировали, а оценить своего профессора в ходе диспута всегда интересно; вторая — студентам («национальной сборной отличников», как отметил модератор дискуссии Глеб Туричин, ректор СПбГМТУ и по совместительству руководитель крупного производственного центра, человек опытный и разбирающийся и в подготовке специалистов, и в технологиях) предстояло продемонстрировать результаты своих работ в области 3D-технологий, и, как положено отличникам, почти все (плюс группы поддержки) пришли заранее. А поскольку результаты студенческих работ тоже были убедительны, это позволяет понять: процесс формирования новой специальности движется.

Один из посылов дискуссии и ключ к пониманию проблемы кадров для аддитивного производства, который присутствовал «между строк», в следующем: для получения результата в топовых индустриях нужен не просто оператор, не просто технолог, а исследователь-материаловед. При этом он должен разбираться в лазерах, мехатронике, а также экономике и мыслить категориями аддитивного производства.

Сегодня, ставя на печать новую серию ответственных деталей, необходимо всматриваться в результат вплоть до масштаба электронного микроскопа. Даже когда результат налицо — его нужно обосновывать регуляторам. Ведь особенно интересно внедрить аддитивные методы в топ-индустриях, таких как производство турбин, реактивных двигателей и прочей продукции высоких скоростей и энергий. Сложная повторяемость, необходимость поддержки производства

со стороны ученого-материаловеда, который еще и технолог, — одна из причин недостаточного энтузиазма к 3D-печати со стороны «традиционных» производств. Грань между наукой и производством пока размыта, но, когда технология созреет до абсолютной стабильности и повторяемости результата, ключевую роль в ней станет играть не наличие увлеченного исследователя-технолога, а выстроенность процессов.

Экосистема ЦАТОД

«Росатом» реализует проект по созданию центров аддитивных технологий общего доступа на базе образовательных учреждений и ведущих вузов страны.

На данный момент открыто пять центров в вузах: Удмуртском государственном университете, Томском политехническом университете, Белгородском государственном аграрном университете, Самарском национальном исследовательском университете им. академика С. П. Королева и Дальневосточном государственном университете путей сообщения в Хабаровске. Еще шесть центров открыты на базе

Подробности

Первый в России центр аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД) «Росатом» открыл в сентябре 2023 года. Сегодня их уже 11 в 5 федеральных округах. Обучение по аддитивным технологиям ведется с пятилетнего возраста. Сотрудничество атомной отрасли с образовательными учреждениями происходит в рамках создания федеральной сети ЦАТОД и формирования экосистемы «детский сад — школа — университет — предприятие». В планах — создать экосистемы ЦАТОД в каждом федеральном округе. Центры оснащают 3D-принтерами производства «Росатома». Проводятся образовательные туры, мастер-классы, разрабатываются программы подготовки специалистов по 3D-технологиям.

дошкольных и общеобразовательных учреждений: это АНОО «Город детства» в подмосковных Красногорске и Химках, детсад № 159 и ИТ-лицей № 24 им. Героя Советского Союза А. С. Черезова в Ижевске, детсад № 20 и школа № 20 в Северодвинске (Архангельская область).

От детсада до завода

В ЦАТОДах разработано 17 образовательных программ. Дети уже с пятилетнего возраста знакомятся с технологиями аддитивного производства, осваивают основы 3D-моделирования и печати. Обучение двухгодичное и включает 144 академических часа занятий, а также участие в ежеквартальных мастер-классах от сотрудников «Росатома». К настоящему времени 45 детей получили сертификаты об окончании образовательной программы по 3D-печати. За время работы ЦАТОДов на площадках в Подмосковье и Удмуртии более 250 детей приняли участие в мастер-классах по 3D-печати и 3D-моделированию.

В ЦАТОДах «Росатома» на базе вузов обучено свыше 150 студентов и специалистов по направлению «Аддитивные технологии» для различных отраслей промышленности. В частности, весной 2026 года более 80 студентов Белгородского государственного аграрного университета прошли обучение и получили сертификаты выпускников программы «3D-моделирование и аддитивные технологии в сельском хозяйстве».

Центр на базе Удмуртского государственного университета за три года работы обучил более 40 специалистов. Здесь в 2025 году запущена первая в России образовательная экосистема ЦАТОД, объединившая вуз с ИТ-лицеем и детским садом. Сегодня более 30 дошкольников и учеников лицея в Ижевске проходят курс по аддитивным технологиям в рамках образовательной вертикали, а в формировании производственной цепочки аддитивных технологий в регионе участвует Чепецкий механический завод, на котором запущено производство титановых порошков для 3D-печати.

Тонкости печати

Центры на базе вузов оснащают 3D-принтерами производства «Росатома», в частности машинами из линейки RusMelt, печатающими металлами и работающими по технологии селективного лазерного сплавления.

ЦАТОДы на базе дошкольных и общеобразовательных учреждений оснащаются установками, работающими по технологии FDM (моделирование методом послойного наплавления), и наборами для творчества «3D Креативик», в состав которых входят 3D-принтеры.

Также центры обеспечиваются ручными и стационарными 3D-сканерами, металлическими порошками и расходными материалами, другим оборудованием



и инструментами. Специалисты бизнес-направления «Аддитивные технологии» проводят сервисное обслуживание, отработку технологии печати и настройку режимов, а также обучают сотрудников центра.

На фото

ЦАТОД в Северодвинске (Архангельская область)

Окупаемый проект

ЦАТОДы — это еще и коммерческий проект. В данных центрах идет выполнение заказов на 3D-печать и реверс-инжиниринг, проводятся НИОКР в интересах промышленных предприятий. Предприятия могут выпускать продукцию или тестировать новые продукты на оборудовании ЦАТОД без приобретения 3D-установок в собственность. Вузы и инновационные компании могут разрабатывать собственные материалы и технологии 3D-печати на коммерческой основе на площадках ЦАТОД. Например, в центре на базе Томского политехнического университета, выполняя коммерческий заказ, спроектировали и напечатали оснастку для изготовления урологических экстракторов для лечения мочекаменной болезни. 3D-печать позволила использовать для решения этой сложной задачи специальные жаропрочные сплавы и повысить качество изделия, значительно ускорить процесс изготовления и сделать его более экономичным. Совместно с НИИ онкологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН томские политехники разработали и внедрили технологию изготовления полимерных имплантов для челюстно-лицевой хирургии. Для их печати используются российские фторполимеры.

Не вместо, а вместе

О подготовке кадров в МГТУ им. Н. Э. Баумана рассказал Владислав Фунтиков, директор созданного в этом машиностроительном вузе Инновационного центра аддитивного производства. По его словам, обучение аддитивным компетенциям в Бауманке дополняет традиционные программы, базирующиеся

на основных направлениях, таких как лазерные технологии в машиностроении, материаловедение, литейное дело, технологии керамики. В рамках этих и других направлений получают навыки аддитивного производства будущие специалисты по технологиям машиностроения, сварки, диагностики, а также специалисты по керамическим и композитным материалам. Процесс обучения по аддитивной тематике «растворен» в базовых учебных курсах, преимущественно в магистратуре, и практикумах. Его основа — развитая материальная база, которая позволяет превратить практикум в полноценный процесс развития специалиста, погрузить его в исследовательские задачи с использованием аддитивного оборудования.

Большой импульс развитию учебной базы Бауманки дали программа «Приоритет-2030» и программа передовых инженерных школ. Гранты и субсидии помогли создать учебно-производственный центр с оборудованием, в рамках которого и идет практическое внедрение аддитивных технологий. Часть аддитивного оборудования — в распоряжении базовых кафедр. Например, литейная индустрия сегодня связана с «пластиковой» FDM-печатью, позволяющей быстро создавать пластиковые модели (они выгорают при заливке металлом), и с изготовлением песчаных форм для высокоточного литья. То есть компетенция аддитивной печати дополняет курс традиционных направлений. В случае интереса студента к 3D-печати или к какому-то из других направлений он может устроиться в одно

из конструкторско-технологических бюро Бауманки. До 70% студентов используют возможности работы в таких центрах. Инновационный центр аддитивного производства — тоже одно из таких бюро.

Чтобы обучение было связано с производством, в рамках передовых инженерных школ осуществляется взаимодействие с крупными заказчиками, такими как машиностроительные корпорации. Формируются долгосрочные дорожные карты сотрудничества, ведется обучение преподавателей, целевая подготовка работников, решаются прикладные задачи. Также налажено дополнительное профессиональное образование для технологов, конструкторов, операторов станков с ЧПУ. Некоторые проработки в Бауманке делаются с прицелом на будущее и пока еще не освоены классической промышленностью. Пример — бионический дизайн рамы колесного робота, она напоминает дикий скелет. Эта рама была разработана с использованием российского конструкторского ПО и отлита, формы печатались на «песчаном» 3D-принтере. Как минимум авиаконструкторам такое направление потенциально интересно.

Без отрыва от земли

Директор Института двигателей и энергетических установок Самарского национального исследовательского университета Виталий Смелов рассказал о более приземленных аспектах работы с самой крылатой отраслью страны. После ряда слияний бывший

На фото

ЦАТОД Самарского университета



Куйбышевский авиационный институт приобрел аэрокосмический статус и имя Сергея Королева, но сохранил традиции и инженерную школу, связанную с Куйбышевским авиазаводом, заводом «Моторостроитель» и другими изначально базовыми предприятиями — заказчиками кадров. В основе работы традиционно лежит принцип предметного обучения, практикоориентированного подхода, когда студенты практически со второго курса погружаются в проектную деятельность и работу над реальными задачами.

Аддитивное направление дополняет специальность «конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Место аддитивным технологиям нашлось в курсе обучения технологиям станков с ЧПУ. В рамках целевой программы «Крылья Ростеха» соответствующие знания и навыки преподаются будущим конструкторам и технологом газотурбинных двигателей.

На данный момент аддитивные технологии понемногу прокладывают себе путь туда, где присутствует высший уровень ответственности, — в авиацию, атомную сферу. Правда, сперва технологии отрабатываются на опытных образцах и наземных установках, а не на тех, что поднимаются в воздух. Время бионических конструкций и напечатанных авиадвигателей еще не пришло, хотя студентам не только разрешают мечтать и творить в этом направлении с использованием университетского оборудования, но даже и поощряют такие поиски.

Первые аддитивные машины стали появляться в Самарском университете еще с 2010-х годов. Некоторые работают до сих пор, пройдя не одну реконструкцию. Сегодня и аддитивное направление, и другие технологии, которым обучают в Самаре, дополнены целой экосистемой лабораторий, испытательных стендов, технологиями постобработки. Значимой вехой развития стало создание в 2025 году центра аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД) с госкорпорацией «Росатом».

Начать с малых дел

Евгений Пиженков, заведующий учебной лабораторией, старший преподаватель УрФУ им. Б. Н. Ельцина, рассказал, как «аддитивная грамотность» прививается в самой основе традиционного производства — на этапе обучения конструированию инструмента.

Первый SLM-принтер появился в УрФУ в 2013 году. Вскоре возникла идея совместного проекта со Свердловским инструментальным заводом — выполнить НИОКР по разработке опытных образцов сборного режущего инструмента. С оборудованием было и остается непросто: принтер западного производства полюбился, но «устал» и ремонту не подлежит; принтер восточного производства капризней и с качеством сложнее.

Проблематику аддитивных технологий в УрФУ разделили между собой две кафедры: процессы

проектирования и механику печати осваивает и преподает кафедра станков и инструмента, процессы материаловедения — литейщики. Постепенно она растекается и на другие направления — прототипирование, реверс-инжиниринг, 3D-конструирование. Продвижению аддитивной печати на «инструментальной» кафедре и в среде ее индустриальных партнеров помогает тот факт, что на фоне современного станка, тем более ракетного двигателя, инструмент — изделие гораздо более простое. Одна или несколько деталей, габариты невелики: напечатать можно быстро, нюансы постобработки не всегда важны; главное — прочность. Нет сложного процесса сертификации изделий, и это открывает путь для освоения технологий промышленностью, а значит — каждый, кто идет на производство, получает благодаря знанию аддитивных технологий преимущество.

На сегодняшний день важно, чтобы у студентов было как можно больше практики, проектного обучения. По сути, именно в этом русле уже пять лет преподается 3D-печать на кафедре станков и инструмента. Идеи подбрасывают несколько производственных партнеров из инструментальной отрасли, то есть студенты работают над реальными проектами, партнеры же получают практический результат.

Пионеры, дети рабочих

Пионером формирования самостоятельной программы по аддитивным технологиям стал МИСИС. Заведующий лабораторией аддитивного производства МИСИС Станислав Чернышихин рассказал об особом пути, по которому пошел этот вуз. В используемой образовательной модели главное — взаимосвязь между наукой и образованием. Программа обучения «Аддитивные технологии» сформировалась в рамках ПИИШ «Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии» — она помогла создать ряд научно-образовательных пространств и закупить оборудование. Обучение опирается на цепочку научно-исследовательских и экспериментальных возможностей МИСИС. В стенах университета можно выполнить моделирование сплава, выплавить его, изготовить порошок на нескольких типах «атомизаторов»: не промышленный объем, но учебные и исследовательские нужды удовлетворяет. Диапазон работы с материалами — от легкоплавкого магния до жаростойкого вольфрама. Базовая технология — SLM, в линейке восемь установок, из них две собраны в МИСИС. Есть и целый ряд других установок — для печати литейных форм, пластиковых моделей и т.д.

Напечатав изделие, молодые исследователи получают широкие возможности по изучению результата — для этого нужна развитая база материаловедческих исследований. Это микрокомпьютерная томография (она тоже появилась в рамках ПИИШ), различные виды микроскопии, оборудование термического и механического анализа. Есть возможность проведения натурных испытаний. Плюс команда, которая работает на этом оборудовании, — это и позволило



собрать практикоориентированную магистерскую программу.

По мнению выступающего, успешная формула создания программы по подготовке высококвалифицированных кадров — это функция от количества денег, которые получил вуз, с поправкой на коэффициент удачной трансформации денег в оборудование (здесь не все просто, и, хотя деньги в начале цепочки, они — не главное). Далее — увлеченная команда, чтобы оборудование не простаивало и направление развивалось. Лучший способ мотивировать и выучить такую команду — это участие в работах, оплаченных реальными заказчиками. А на фундаменте этих двух составляющих и появляется качественная услуга образования, формируются программы подготовки востребованных специалистов, готовых к новым вызовам и новым технологиям.

Сборная отличников

В ходе выставки прошел студенческий конкурс перспективных проектов в аддитивных технологиях «Будущее отрасли: конкурс молодых ученых». Студенты из ведущих вузов страны — МГТУ им. Н. Э. Баумана, Уральского федерального университета, Самарского университета, НИТУ «МИСИС», СПбПУ, РТУ МИРЭА, СПбГМТУ — представили на суд жюри свои разработки и научные исследования, продемонстрировав высокий уровень знаний и инновационный потенциал проектов в области аддитивных технологий и новых материалов.

Первокурсник СПбГМТУ Алексей Алексеев рассказал об исследовании слоистых стальных материалов — комбинации аустенитных и мартенситных сталей, возможности варьировать магнитные и прочностные свойства. И продемонстрировал, действительно глубоко удивив жюри, инновационный результат — напечатанный монолитный ротор электродвигателя.

Именно этой работе решением жюри было отдано первое место.

Студент из Самарского государственного университета Вадим Хупутдинов рассказал о непростой задаче по борьбе за идеальную гладкость изделий. Не секрет, что поверхность напечатанного изделия шероховата, и в некоторых случаях это недопустимо. Автор исследовал факторы, которые влияют на гладкость поверхности, и определил диапазоны наиболее подходящих параметров. Члены жюри высоко оценили результаты работы, отдав конкурсанту второе место, а также поинтересовались, как режимы влияют на пористость изделия, которая не менее критична и тоже является узким местом технологии, — автор подтвердил, что это предмет уже стартовавшего следующего исследования.

Постобработке был посвящен целый ряд работ. Третьекурсницы МГТУ им. Н. Э. Баумана Варвара Середина и Анна Михайлова сосредоточились на проблеме постобработки поверхности пескоструйной технологией и лазерной полировкой, методах оценки, гладко ли получилось, — интерферометрии, использовании механического профилометра, микроскопии. Работа первокурсника магистратуры из Самарского университета Дениса Шуватова была посвящена электрохимической полировке. Члены жюри всерьез ушли в проблему полировки изогнутых каналов изделия и посоветовали связаться с предприятием, которое штурмует эту же задачу: «Тот, кто найдет решение, получит неплохой рынок».

Участники уделили внимание и композитам. Доклад аспиранта МИСИС Леонида Федоренко был посвящен влиянию нитрида алюминия и нитрида циркония на композитный алюмоматричный материал. Исследование показало, что важный фактор — это разница в смачиваемости материалов: решающее значение для печати имеет краевой угол смачиваемости, то есть форма капли. Жюри забеспокоилось, не носит ли исследование умозрительный характер, но оказалось, что эти материалы перспективны для космической промышленности, они легче и прочней металла. Осталось убедиться в трещиностойкости, усталостной прочности, провести циклические испытания и т.д. А научному исследованию было отдано третье призовое место.

«Ассоциация развития аддитивных технологий в сотрудничестве с вузами уже четвертый год подряд проводит конкурс студенческих проектов. И мы видим, как растут наши молодые ученые, те, кто будет завтра работать в аддитивном производстве. Их проекты уже не теория, а конкретные технологии для двигателестроения, станкостроения, атомной и нефтегазовой отрасли страны, отработанные и созданные на аддитивных установках и 3D-принтерах отечественного производства. Конкурс показал, что российская инженерная школа готова решать задачи импортозамещения», — прокомментировала итоги конкурса Ольга Оспенникова, доктор технических наук, исполнительный директор АРАТ, советник президента АО «ТВЭЛ».

Автор: Евгений Рожков

Фото: МИСИС

Инженеры будущего

Каких специалистов по аддитивным технологиям готовят в Университете «МИСИС»



Магистерская программа «Аддитивные технологии» является одним из самых востребованных направлений в столичном Университете «МИСИС». Здесь получают образование как студенты, пришедшие после окончания обучения в бакалавриате, так и сотрудники высокотехнологических компаний, заинтересованных в развитии нужных компетенций. «Вестник атомпрома» спросил Александра Комиссарова, директора Института «Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии» (МАСТ) МИСИС, о самых перспективных проектах студентов, о том, на каком оборудовании проводится обучение и как вуз закрывает потенциальные потребности работодателей в специалистах-аддитивщиках.

— Александр, насколько магистерская программа «Аддитивные технологии» востребована сегодня? Что говорит статистика?

— Мы регулярно отслеживаем, как абитуриенты находят наши программы в интернете: считаем переходы с внешних ресурсов на страницы образовательных программ. Так вот, «Аддитивные технологии» — сейчас самая популярная программа

нашего института, причем с кратным отрывом. На другие программы — несколько тысяч кликов в месяц, на «Аддитивные технологии» — десятки тысяч. В ноябре прошлого года пик составил более 150 000 переходов.

— Ноябрь — нетипичный месяц для выбора вуза. Как вы это объясняете?

— Здесь, на самом деле, есть несколько причин. Во-первых, многие университеты проводят осенние дни открытых дверей именно в ноябре, когда учебный год уже идет полным ходом и можно показать лаборатории и оборудование «в работе». Абитуриенты приходят, смотрят, мотивируются — и после этого сами начинают активно искать подробности о программе, читать страницы, сравнивать. Во-вторых, в ноябре традиционно выходят обзоры магистерских программ по инженерным направлениям на крупных профильных площадках вроде «Хабра» или на других информационных ресурсах — для тех, кто хочет пойти в промышленность или R&D. Ребята читают эти материалы, видят интересные проекты, упоминания нашей программы — и уже целенаправленно переходят на наш сайт, чтобы узнать больше. В-третьих, ноябрь — это время, когда студенты четвертого курса окончательно определяют с тем, что делать после бакалавриата, и начинают сами погружаться в поиск направления для продолжения обучения: они не ждут,



Александр Комиссаров — кандидат технических наук, доцент, директор Института «Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии» (МАСТ) Университета науки и технологий «МИСИС», заведующий лабораторией «Гибридные наноструктурные материалы». Научные специализации: материаловедение, физика прочности, механика разрушения. Окончил аспирантуру МИСИС в 2014 году. Под его руководством Институт «МАСТ» занял первое место среди десяти отраслевых передовых инженерных школ «Росатома» по итогам 2024 года и вошел в первую группу лидеров программы ПИШ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

пока им что-то прорекламируют, а сознательно выбирают перспективные направления. И аддитивные технологии сегодня — одно из самых притягательных и перспективных направлений. Так что ноябрьский пик — это не мистика, а естественный всплеск живого интереса.

— Из каких отраслей к вам приходят студенты?

— Вообще, аддитивные технологии — межотраслевая история. Наш ключевой индустриальный партнер — госкорпорация «Росатом», поэтому многие студенты приходят с его предприятий. Есть студенты из авиационной отрасли, из медицины. Мы активно движемся в направлении развития машиностроения — именно здесь сейчас острее всего стоит задача импортозамещения: иностранные производители ушли, нужно срочно воссоздать детали и узлы.

При этом мы намеренно не делим абитуриентов по жесткому шаблону «инженер из компании X» или «выпускник вуза Y». Наша задача — собрать сильную, разнородную команду. К нам приходят действующие инженеры, которые хотят освоить новейший инструментарий 3D-печати для решения конкретных задач на производстве, а также амбициозные выпускники технических вузов, нацеленные на карьеру в наукоемких отраслях.

В конечном счете важнее не то, где человек работал до поступления, а то, кем он станет после выпуска. И здесь статистика очень конкретна: 100% наших выпускников трудоустраиваются. Именно так выглядит

портрет нашего студента — это человек, который уже сделал ставку на свою востребованность.

— На рынке есть ощутимый дефицит кадров с аддитивной специализацией?

— Спрос явно опережает предложение. Характерный признак: практически все наши студенты находят работодателя еще в процессе обучения. Одни приходят уже «окрашенными». Мы так называем студентов из числа перспективных сотрудников, направленных к нам учиться самими предприятиями. Другие, обычные студенты, знакомятся с будущим работодателем через стажировки и конференции, на которые мы активно их отправляем. Проблема еще в том, что компании-работодатели часто не знают, где взять специалиста-аддитивщика. Мы работаем над этим: активно участвуем в технических конференциях, в выставках, продвигаем студентов как будущих сотрудников.

— Каких специалистов вы готовите? Ведь в аддитивных технологиях тоже много специальностей.

— В рамках нашего направления есть три программы, которые вместе закрывают весь цикл аддитивного производства. Первая — конструкторы. Специалисты, которые сразу проектируют изделие с расчетом на аддитивное изготовление, а не переделывают под 3D-печать то, что придумано для фрезерного станка. На данной программе ребята также учатся работать на промышленных принтерах.

Вторая — материаловеды. Программа называется «Цифровое материаловедение»: студенты разрабатывают новые материалы с нуля — те, которых еще нет на рынке. Синтезируют порошок, печатают опытные образцы, тестируют, дорабатывают.

Третья — специалисты по сертификации изделий аддитивного производства. Это очень недооцененное направление: нормативная база для аддитивного направления в России только формируется. Нужны специалисты, которые одновременно понимают технологию и умеют работать со стандартами и техническими условиями.

Смысл в том, что предприятию, которое хочет внедрить аддитивные технологии, мы предлагаем не одного специалиста, а сразу трех, которые в связке закрывают весь блок.

— На каком оборудовании учатся студенты? Надеюсь, на отечественном?

— У нас не лабораторные, а промышленные принтеры — студенты работают именно на них. Основные принтеры — от российской компании ONSINT из Зеленограда. Выбрали ее в том числе из-за близости. Если что-то происходит с принтером, сервисный инженер приезжает в тот же день. Что особенно ценно, наши предложения по улучшению принтеров они реально внедряют.

Установка горячего изостатического прессования — тоже российская, произведена на предприятии в Коломне. Это редкое оборудование даже по меркам исследовательских центров: оно устраняет дефекты и пористость в напечатанных изделиях, доводя структуру до практически монолита. Есть собственные атоматизеры — для получения металлических порошков, испытательные машины, исследовательский томограф. Все это позволяет пройти полный цикл — от идеи и разработки материала до готового изделия и его контроля.

Из ПО частично используем программный комплекс от «Росатома» — для расчетов по напряженно-деформированному состоянию и топологической оптимизации. Зарубежные лицензии, купленные ранее, формально действуют. Параллельно студенты сами пишут модули, которые дополняют существующий инструментарий.

— А как устроен учебный процесс?

— В программе четыре семестра. Первый — ядро: базовые дисциплины по аддитивным технологиям читаются сразу для всех трех программ вместе. Это эффективно и для студентов (они понимают контекст друг друга), и для преподавателей.

Второй и третий семестры — разделение по направлениям подготовки. Студенты расходятся по своим направлениям, углубляются в специализацию, ведут проекты. Именно в это время многие уже работают на предприятиях — либо как стажеры, либо как сотрудники.

Четвертый семестр — полное погружение в научно-исследовательскую работу. Студент дорабатывает свой проект, задача — получить от предприятия заключение о том, что результаты квалификационной работы внедрены или использованы в производстве. Это реальная цель, а не формальность. Программу мы обновляем ежегодно: собираем обратную связь от предприятий и студентов, убираем устаревшее, добавляем актуальное. Стараемся, чтобы выпускник уходил со знаниями, которые нужны прямо сейчас, а не два года назад.

— Расскажите про конкретные проекты, которые сделали студенты. Какие из них наиболее любопытны?

— Один из ярких примеров — стоматологический файл из никелида титана. Файл — это инструмент для обработки зубного канала при удалении нерва. Обычно его делают из жесткого сплава. Наши студенты напечатали файл из сплава с эффектом памяти формы. То есть в исходном состоянии он сжат, стоматолог вводит его в канал, и при температуре тела инструмент «вспоминает» свою форму и раскрывается, захватывая нерв, — после чего нерв можно извлечь целиком. Тонкостенность изделия была серьезным технологическим вызовом: нужно получить очень тонкие стенки и при этом сохранить эффект памяти формы. Сейчас устройство проходит клиническую апробацию в медицинском учреждении.

Другой проект — печатные магниты сложной формы из сплава неодим-железо-бор. Обычно магниты делают стандартных форм методом спекания порошка. Аддитивная печать позволяет изготовить магнит любой геометрии — под конкретный конструктивный узел. Да, при печати магнитные свойства немного снижаются, но уникальная форма, которую иначе не получить, с избытком компенсирует эту небольшую потерю — на практике такой магнит может работать даже эффективнее обычного за счет точной подгонки под задачу.

— Звучит впечатляюще. А как, с вашей точки зрения, изменится профессия специалиста по аддитивным технологиям через 10 лет? Какими проектами такие специалисты будут заниматься, как на их работу будет влиять наступающая эра ИИ?

— Я вам скажу, что эра искусственного интеллекта уже наступила. Показательный пример: недавно команда индийских исследователей с помощью ИИ спроектировала ракетный двигатель, напечатала его и испытала — и двигатель выдал заявленные характеристики. Весь цикл занял несколько месяцев. Раньше для этого требовались десятилетия.

Мне кажется, главное, чему нужно учить инженера будущего, — это скорость работы с гипотезами. Информационного шума станет очень много, ИИ будет генерировать сотни вариантов решений. Задача инженера — быстро проверять эти гипотезы в эксперименте, отбраковывать лишнее и доводить перспективные идеи до промышленного внедрения. Это совсем другой тип мышления, чем у нынешних инженеров. Думаю, через 10 лет студенты, которые придут к нам учиться, будут воспринимать аддитивные технологии как что-то само собой разумеющееся — как мы сейчас воспринимаем смартфон, хотя 20 лет назад это был хай-тек. И те проекты, которые сегодня нас восхищают, будут обыденными, а что будет на повестке дня, даже невозможно сейчас представить.

Справка

Магистерская программа «Аддитивные технологии» в МИСИС открыта в 2024 году. Срок обучения — два года. Студенты изучают 16 дисциплин, охватывающих методы аддитивного производства, работу с принтерами разных систем, материаловедение сырья для 3D-печати, физику синтеза, постобработку изделий, контроль качества, цифровое производство, а также 3D-печать металлическими и полимерными материалами. Практическая часть программы проходит в Инжиниринговом центре быстрого промышленного прототипирования высокой сложности «Кинетика».

Профессия с гарантией: как в Московском политехе и СПбПУ учат будущих аддитивщиков



Денис Гневашев

Руководитель образовательной программы «Аддитивные технологии» Передовой инженерной школы технологического лидерства ФДР (FDR) Московского политеха, доцент, кандидат технических наук

— Специалист по аддитивным технологиям (инженер в сфере аддитивных технологий, инженер 3D-печати, оператор 3D-печати) — это специалист, занимающийся проектированием и созданием 3D-моделей при помощи профессиональных программ и средств 3D-печати. Сегодня аддитивные технологии активно внедряются во всех областях современной промышленности, поэтому в мире наблюдается острый дефицит профессионалов этой специальности. Особенно много вакансий в авиакосмической отрасли, автомобилестроении, военно-промышленном комплексе, в области медицинского протезирования.

Сегодня любой школьник, выбравший себе профессию «специалист по аддитивным технологиям», может быть уверен в том, что он будет востребован у работодателей, поскольку эта профессия по праву считается профессией будущего.

Московский политех предлагает восьмисеместровую образовательную программу «Аддитивные технологии», направленную на подготовку молодых специалистов в области аддитивных технологий. Выпускники программы владеют инструментами и методами ТРИЗ, что позволяет им находить решения задач, связанных с поиском причин возникновения проблем при реализации технологии, эксплуатации оборудования, изготовлении изделия, а это является основой современного производства.

Первый выпуск программы бакалавриата «Аддитивные технологии» состоялся в 2018 году; в настоящее время студенты учатся на первом — четвертом курсах, и планируется новый набор студентов в 2026 году (от 33 бюджетных мест и до 10 коммерческих). К примеру, конкурс на данную программу в 2025 году составил более 12 человек на место, минимальный проходной балл был 213.

Среди абитуриентов вырос интерес к современному цифровому производству, к которому относятся аддитивные технологии. В рамках профориентации Московский политех проводит большую работу как со школами, так и с учебными заведениями среднего профессионального образования (СПО): выездные встречи, мастер-классы, хакатоны, расширенные дни открытых дверей, что позволяет более широко погрузить ребят в область аддитивных технологий.

Наша программа обучения высшего образования по профилю «Аддитивные технологии» (по направлению «Инноватика») готовит специалистов в области технологий цифрового производства 3D-печати (аддитивных технологий). Программа формирует знания и навыки специалистов в области изобретательства,

бизнес-моделирования и управления проектами для разработки и применения аддитивных технологий как отдельно, так и совместно с традиционными технологиями производства. Профессии трудоустройства — технолог аддитивного производства, инженер-конструктор аддитивного производства, специалист технической поддержки отдела аддитивных технологий, оператор управления и обслуживания установок 3D-печати.

Выпускники осуществляют деятельность в таких производственных сферах, как медицина (стоматология, слухопротезирование, имплантология), машиностроение (общее, энергомашиностроение, авиаракетостроение и др.), R&D (НИИ, конструкторские бюро).

Также на базе Московского политеха реализуется система ДПО. Программа повышения квалификации направлена на совершенствование профессиональных компетенций в области аддитивных технологий в соответствии с требованиями профессионального стандарта 40.159 (4-й и 5-й квалификационный уровень). Данная программа позволяет за необходимое время (от 36 до 72 часов) пройти обучение представителям предприятий и получить основные навыки в области аддитивных технологий с адаптацией на имеющейся базе оборудования предприятия.

Обучение по программе «Аддитивные технологии» проходит в Московском политехе в рамках Передовой инженерной школы технологического лидерства ФДР (FDR — от англ. Formula Dream Russia). Теоретические занятия проводятся в современных аудиториях, оснащенных необходимой мультимедийной аппаратурой. Практические и лабораторные навыки студенты осваивают в профильных лабораториях. Лаборатория аддитивных технологий оснащена современными цифровыми видами оборудования: 3D-сканерами для проведения изучения и исследования обратного инжиниринга, 3D-принтерами для изучения и исследований 3D-печати на основе технологий SLA, DLP, FDM, различным ПО (для построения и решения инженерных задач — CAD-программы, для решения прикладных и различных прочностных задач — CAE-программы).

В период с первого по седьмой семестр студенты образовательной программы вовлечены в проектную деятельность. У студента есть выбор: предложить свой проект для реализации либо начать реализовывать проект, предложенный Центром проектной деятельности университета или специалистами Передовой инженерной школы ФДР (FDR). Нарботанные студентом материалы по проекту могут быть использованы в восьмом семестре при выполнении выпускной квалификационной работы.

В конце первого, второго и третьего курса студенты проходят летнюю практику на предприятиях и в компаниях, специализирующихся на аддитивных технологиях либо их применяющих, основными партнерами являются предприятия, входящие в контур таких компаний, как «Росатом», «Ростех», ОДК, «Алмаз-Антей», «РУСАЛ», а также коммерческие компании из области аддитивных технологий — SIU System, HARZ Labs, «Кен-Тач.ру», «Эндопринт», «РЭК», центры аддитивных технологий города Москвы. Материалы, собранные и наработанные во время практики, используются студентами в курсовом проектировании или в проектной деятельности.

На четвертом курсе студенты проходят преддипломную практику также на предприятиях и в компаниях. При выборе места преддипломной практики акцент

делается на наличие возможности последующего трудоустройства выпускника. При таких контактных практиках студенты получают навыки и знания на промышленных базах (работа на современном оборудовании аддитивного производства, лекции от ведущих специалистов, работа над реальными проектами предприятий).

Что касается трудоустройства, то контактная практическая работа с предприятиями позволяет студентам уже с третьего курса определяться со своим будущим. И по завершении обучения и после защиты диплома студенты становятся сотрудниками выбранных организаций. Если взять организацию «РосАТ», входящую в структуру «Росатома», то более 10 человек являются выпускниками нашего направления, что позволяет говорить о высоком уровне подготовки.

— Аддитивные технологии относятся к числу наиболее динамично развивающихся и выступают катализатором новой промышленной революции в авиации, космической отрасли, медицине и других сферах. В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса работодателей к выпускникам этого направления. Спрос на специалистов, владеющих методами проектирования, производства и постобработки изделий с помощью аддитивных технологий, неуклонно увеличивается. Эти технологии уже оказали серьезное влияние на развитие проектирования и производства, и в будущем их значимость будет только возрастать, что создает для выпускников наиболее перспективные и конкурентоспособные условия на рынке труда.

Центр аддитивных технологий в СПбПУ основан в 2013 году. В 2019 году на его базе создан научно-образовательный центр «Конструкционные и функциональные материалы» (НОЦ «КиФМ»), который ведет подготовку магистров и аспирантов. Ежегодно программу «Материалы и технологические процессы аддитивного производства» оканчивают 15 студентов.

Основными инструментами для привлечения абитуриентов являются:

- проведение конкурса «Портфолио», победа в котором обеспечивает зачисление;
- демонстрация передового оборудования и лабораторной базы;
- акцент на практикоориентированность и решение реальных задач предприятий;
- информирование о трудоустройстве выпускников в крупнейшие госкорпорации;
- вовлечение студентов в научно-исследовательскую деятельность и работу над грантами (включая гранты РНФ).

НОЦ «Конструкционные и функциональные материалы» реализует отдельную магистерскую программу высшего образования «Материалы и технологиче-

ские процессы аддитивного производства» в рамках направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов». Выпускники могут занимать следующие позиции: специалист в области аддитивного производства; инженер / специалист по 3D-печати; специалист по эксплуатации и обслуживанию аддитивных машин и оборудования; исследователь научного центра; инженер-технолог действующего аддитивного производства; дизайнер продуктов (создание сложных геометрических форм); консультант по аддитивным технологиям; менеджер проектов в области аддитивных технологий; предприниматель в сфере аддитивного производства. Программа готовит специалистов, способных разрабатывать новые материалы для аддитивных технологий; создавать и корректировать цифровые модели; организовывать и вести технологический процесс на установках аддитивного производства.

В вузе имеется собственная передовая инфраструктура. НОЦ «Конструкционные и функциональные материалы» оснащен оборудованием, которое занимает лидирующие позиции как в Санкт-Петербурге, так и в России.

Обучение полностью практикоориентированное. Студенты работают в лабораториях и решают актуальные материаловедческие, конструкторские и производственные задачи в рамках договоров с промышленными предприятиями и грантов Российского научного фонда. Эти разработки становятся основой для выпускных квалификационных работ. Если говорить о трудоустройстве выпускников, то в качестве примеров можно привести такие организации, как «Алмаз-Антей», «Газпромнефть», «Росатом», «Роскосмос», ОСК, «Северсталь», Балтийская промышленная компания. Практически все выпускники, заинтересованные в дальнейшем развитии в этой сфере, смогли трудоустроиться. Часть из них продолжает работать в НОЦ, совмещая деятельность с обучением в аспирантуре.



**Людмила
Разумова**

Руководитель программы аддитивных технологий СПбПУ, доцент, кандидат технических наук

Спрос есть, предложение будет

Производство средств производства: приоритеты промышленной политики и инструменты технологического лидерства

На пленарной сессии выставки «Металлообработка-2026» представители власти и бизнеса обсудили вопросы реализации нацпроекта «Средства производства и автоматизации», и эта тематика актуальна для «Росатома» по двум причинам. Первая: госкорпорация — крупнейший потребитель этих самых средств. Вторая: «Росатом» активен как минимум в двух из обсуждаемых направлений — в создании роботов и в аддитивных технологиях.

Поле для развития

Ключевым на мероприятии и уже разбежавшимся по новостям стало выступление заместителя министра промышленности и торговли РФ Михаила Иванова. Он напомнил, что развитие станкоинструментальной промышленности — одна из ключевых задач технологического суверенитета. Нацпроект «Средства производства и автоматизации» относится к лидерским, требует достижения превосходства в станкостроении, робототехнике, аддитивных технологиях, литейном производстве, «превосходными» должны быть и кадры.

Итоги первого года реализации нацпроекта таковы. Российский рынок станкоинструментальной продукции в 2025-м составил 393 млрд рублей, объем производства российских станков достиг 136 млрд рублей, а доля отечественной продукции на российском рынке составила 34%. В станкоинструментальной отрасли более 400 предприятий, продукция 128 включена в реестр российской промышленной продукции. 70 предприятий занимаются производством инструмента, более 40 — производством станков. Явный успех в аддитивных технологиях: российские промышленники получили возможность изготавливать детали сложных форм с минимальными затратами материала — металла, пластика и даже бетона. Аддитивное оборудование выпускают более 60 российских площадок, освоено 5 видов трехмерной печати, в реестре российского оборудования уже 16 моделей 3D-принтеров от четырех производителей. В целом же в реестре российской продукции содержится более 25 тыс. записей о российских станках, инструменте, оснастке, комплектующих. Если же говорить не только о станкостроении, но и о промышленности в целом, в реестре уже почти 500 тыс. записей, таков масштаб проведенной работы.

Эксперты отмечают снижение объема рынка по сравнению с 2024-м и снижение доли российской продукции: «давит» дешевый импорт. От него не отказаться, поскольку отрасль нуждается в перевооружении, а инвестиционный ресурс недостаточен, да и доля российского производителя средств производства невелика. Поэтому политика строится на мерах поддержки российского производителя, о них и рассказал далее Михаил Иванов.

Для развития станкоинструментальной промышленности реализуется комплекс мероприятий — до 20 мер господдержки. В 2025 году профинансированы проекты на сумму более 7 млрд рублей, а до 2028 года заложено свыше 45 млрд рублей. В основном это финансирование мероприятий нацпроекта: субсидируются НИОКР по созданию новых видов продукции — в прошлом году на эти цели выделено более 2 млрд рублей. С прошлого года заработал новый инструмент поддержки отечественных разработок — субсидия заказчику специализированного уникального оборудования, без которого невозможно выстроить технологически независимую цепочку на том или ином переделе. Заказчик самостоятельно выбирает отечественного производителя и софинансирует разработку, предоставляя якорный заказ на оборудование. Новая программа развернута Минпромторгом и Фондом содействия инновациям; в 2025 году поддержали более 20 проектов на сумму почти 300 млн рублей. Можно получить грантовую поддержку, в среднем это 30 млн рублей: в этом году действуют уже три трека. Займы Фонда развития промышленности (ФРП) в прошлом году составили 4,5 млрд рублей. Новый проект Федеральной корпорации по развитию малого и среднего предпринимательства (Корпорации МСП) и МСП Банка — льготное кредитование по их направлениям; 29 предприятий в прошлом году получили в сумме около 3 млрд рублей. А Фонд развития промышленности поддержал уже тысячу производств; тысячным стало именно станкоинструментальное предприятие, «Вириал» в Санкт-Петербурге, с проектом серийного выпуска сменных пластин и заготовок осевого инструмента для станков с ЧПУ.

Среди новых инициатив — обязательная закупка за счет займов ФРП российского оборудования, если имеются серийные отечественные изделия. Это дополнительно стимулирует спрос на продукцию станкостроителей. В числе других мер поддержки спроса — субсидии, направленные на компенсацию производителям скидок, предоставленных покупателям. Это мероприятие в составе нацпроекта

На фото

На выставке «Металлообработка-2026» «Росатом» представил комплексные решения для роботизации производств стратегических отраслей промышленности



позволило поддержать выпуск продукции на сумму более 7 млрд рублей.

С сентября 2026 года изменится учет станкоинструментальной продукции, внесены изменения в ОКПД 2 (Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности) в части металлообрабатывающего оборудования с учетом современной классификации станков. Внесены изменения в статистические коды, добавлено порядка 130 видов продукции, что позволит обеспечить более детализированный учет, улучшить анализ структуры производства и потребления, точнее оценивать и более адресно направлять меры поддержки.

Михаил Иванов напомнил, что президент России поставил задачу к 2030 году войти в топ-25 стран по уровню роботизации. Некоторое продвижение есть: в 2023-м мы были в топ-43, в 2024-м — в топ-41; оценка 2025 года появится после выхода мировой статистики. Но поле для развития, несомненно, есть: за год в реестр российской промышленной продукции включено 16 моделей промышленных роботов от пяти компаний. Дело должно пойти быстрее, поскольку после донастройки в этом году ПП № 719 (критерии отнесения промышленной продукции к промышленной продукции, не имеющей аналогов, произведенных в РФ) введена балльная система для шарнирно-сочлененных, коллаборативных, дельта- и ряда других роботов. Освоен выпуск различных типов промышленных роботов — шарнирно-сочлененных, параллельных, линейных, цилиндрических, а также SCARA-роботов (тип, использующий для горизонтального позиционирования вращательное сочленение рычагов с вертикальной осью). В их числе наиболее востребованные модели: манипуляторы грузоподъемностью от 12 до 25 кг, от 60 до 120 кг

и консольные грузоподъемностью 45 кг. В рамках субсидий на НИОКР разрабатываются роботизированные комплексы с российскими системами LiDAR (лазерная локация): манипуляторы грузоподъемностью от 25 до 50 кг и до 200 кг с применением отечественных редукторов, шестиосевой роботоманипулятор грузоподъемностью от 6 кг и ряд другой продукции. На задачи роботизации до 2028 года в бюджете запланировано более 40 млрд рублей.

Формируется технологическая инфраструктура робототехнической отрасли. Ее основу составят около 30 центров развития робототехники в регионах. Первый был создан в 2024 году на базе Университета «Иннополис» в Татарстане. В 2025 году отобраны еще семь, каждый из них имеет свою направленность и учитывает региональную специализацию. Например, центр на базе компании «Промобот» (Пермский край) делает упор на роботизацию в машиностроении, металлообработке и приборостроении. В 2026 и 2027 годах планируется создать по семь центров, в 2028 году — еще восемь. Расширение сети запланировано на все федеральные округа с учетом специализации под потребности промышленности регионов. «Иннополис» уже ведет работу по подготовке кадров; отрасль новая, поэтому кадрам — особое внимание. Также активны СТАНКИН и МГТУ им. Н. Э. Баумана. Центр развития промышленной робототехники реализует разработанные образовательные треки от программирования промышленных роботов до технико-технологического аудита предприятий. По этим программам в 2025 году обучено уже около тысячи специалистов. В этом году запланирован выпуск новых программ, включая переподготовку по направлению роботизации производства.

Активно действует и Федеральный центр компетенций, оказывающий предприятиям содействие

в оценке потенциала автоматизации на всех этапах производственного цикла. В прошедшем году такой аудит был проведен на 120 предприятиях в 45 регионах. В 2026 году запланировано проведение до 300 аналогичных мероприятий, а в целом до 2030 года — порядка 1,5 тыс. аудитов. Они осуществляются на предприятиях обрабатывающей промышленности, цель — оказать содействие компаниям в роботизации производственных процессов. В числе отраслевых лидеров — производство металлических изделий, пищевая промышленность, производство электрооборудования. Процесс оценки занимает не более двух месяцев, по завершении предприятие получает отчет с финансово-экономическим обоснованием внедрения промышленных роботов на конкретном производственном участке. Учитывая все принимаемые меры поддержки, финансовые и методологические, в Минпромторге рассчитывают на более активное включение в процессы роботизации всех отечественных производителей. Финансирование в рамках нацпроекта в бюджете предусмотрено.

Отступать некуда, впереди лидерство

Председатель комитета Госдумы по промышленности и торговле Владимир Гутенев обратил внимание на историческую параллель: разговор о станкостроении идет сразу после празднования Дня Победы. Именно отечественная промышленность и в небольшой степени станкостроение определили скорость и масштаб победы в 1945-м. Сегодня тоже необходимократно, а по некоторым позициям на порядки нарастить объемы производства — и в целях национальной безопасности, и для гражданского рынка в рамках импортозамещения. Для всего этого, безусловно, требуется технологическое оборудование, требуются станки.

Производителям оборудования приходится работать в исключительно сложных условиях: санкции не ослабевают, есть конкуренция со стороны производителей из дружественных стран. Ситуация усугубляется сложностями с инвестициями в покупку новых линий и станков: инвестор скован текущей процентной ставкой, но более динамичное снижение процентной ставки изменит ситуацию к лучшему. Кроме того, вызов для промышленности, от легкой до высокотехнологичной, — переукрепление рубля: многие задачи решаются с большой долей трансграничных операций. Сохраняется и дефицит инженерных кадров.

В этих условиях законодатели не только формируют правовое поле, но и участвуют в проектировании будущего, вовлечены в обсуждение профессиональных вопросов, помогают Минпромторгу принимать оптимальные решения. Идет напряженный диалог с финансовым блоком правительства. Находит поддержку законодателей выделение субсидий на НИОКР, грантовые программы, льготное финансирование по линии Фонда развития промышленности. Налажена поддержка предпринимателей через профильную Корпорацию МСП.

Один из значимых успехов — программа компенсации скидок, которые предоставляются производителями российских роботов заказчикам. Максимальный размер субсидии для производителей в 2025 году превышает 410 млн рублей, а предельная компенсация скидки достигает 50%. Но проблемным вопросом дальнейшего развития поддержки является выделяемое финансирование. Впрочем, этот вопрос решается — удалось договориться о кратном увеличении. Если в 2025 году на мероприятия нацпроекта «Средства производства и автоматизации» было выделено 12 млрд рублей, то в этом — 24,7 млрд рублей, на 2027 год ожидается до 27,5 млрд рублей и в 2028 году — до 35 млрд рублей. Это большие средства, но крайне важно, чтобы они были потрачены эффективно.

В идеологической базе законодателей и нормотворцев, которую Владимир Гутенев считает необходимым сохранить в будущем созыве, — понимание автоматизации и повышения производительности труда как фактора социально-экономического развития (а не угрозы рынку труда). Именно в таком ключе задача рассматривалась на «правительственном часе» с участием первого заместителя председателя правительства РФ Дениса Мантурова в октябре 2025-го. В числе рекомендаций правительству по итогам мероприятия — развитие механизма СПИК (включая новую формулу — 3.0) в интересах автоматизации и роботизации производственных процессов. Есть пункт об использовании экспериментальных правовых режимов для внедрения технологических инноваций, направленных на повышение эффективности предприятий. Рекомендована разработка программ субсидирования части затрат на приобретение отечественного оборудования, программного обеспечения, проведение НИОКР, на уплату процентов по кредитам в российских банках. Предлагается включить промышленную робототехнику в перечень электронной и радиоэлектронной продукции для применения пониженных ставок по налогу на прибыль и страховых взносов.

Владимир Гутенев обратил внимание, что для эффективного взаимодействия любой отрасли с властью необходима консолидированная экспертная база: воля, лидеры, целенаправленная работа. Существовавший ранее экспертный совет по станкостроению в настоящее время практически не функционирует, и есть надежда, что его «перезагрузка» будет выполнена новой командой руководителей МГТУ «СТАНКИН». Вдохновляющий пример — работа советов, которые были созданы производителями дорожно-строительной, сельскохозяйственной, автотранспортной техники.

Главное — выработка общей идеологии, формирование группы лидеров, работа бизнеса с властью, разработчиками ПО. Динамика станкостроения в целом положительная, но пока она не соответствует вызовам времени, в котором живет страна. Нужно использовать потенциальный спрос на оборудование в нашей стране. Емкость внутреннего рынка огромна: можно и нужно воссоздать отрасль, которая

является одним из важнейших элементов в каркасе экономики.

Сложности и возможности

Продолживший дискуссии председатель комитета Госдумы по защите конкуренции Валерий Гартунг дополнил коллегу, обратив внимание на основное противоречие — несовпадение желания развивать отрасль и возможностей бюджета. По его словам, снижение мирового спроса привело к тому, что мировой лидер по ППС перенаправил часть оборудования туда, откуда ушел Запад. Как следствие, российскому станкостроителю приходится конкурировать с одной из мощнейших экономик мира с ее условиями переизбытка производства и неограниченного субсидирования. По тем же автомобилям: на российский рынок был завезен объем годового спроса.

Что касается конкуренции по роботам, в 2025 году пять российских предприятий произвели 414 промышленных роботов; Китай за это же время — 250 тыс. Конкурировать на внутреннем рынке можно, если разница — хотя бы на порядок, то есть 25 тыс. роботов могут противостоять конкурентам. За прошлый год российский рынок роботов составил примерно 4 тыс. единиц, то есть не более 10–15% составляет российская продукция. И далеко не у всех этих роботов российские редукторы, а это технологически сложная часть. То же самое — двигатели, энкодеры (датчики положения). В Китае не самый крупный производитель выпускает 50 тыс. редукторов в год, у нас же производство 5 тыс. стало бы рекордом.

Что делать? Линейка мер поддержки разработана, но ее надо насытить деньгами. Если российский рынок составляет примерно 400 млрд рублей, а мы хотим достичь доли российской продукции до половины, отечественные производители должны выпустить продукцию на 200 млрд рублей. 50-процентная скидка для покупателей в теории достаточна, чтобы себестоимость российской продукции сравнялась с китайской, но тогда нужно субсидировать 100 млрд рублей. Взять эти деньги можно из отраслей, которые, в отличие от машиностроителей, работают с высокой рентабельностью — это финансовый сектор и сырьевика. Кроме того, спрос нужно поддержать прежде всего в тех отраслях, где зарубежные роботы (и в целом станки) неуместны. Поможет и формирование в окологосударственных отраслях долгосрочных контрактов на продукцию с фиксированной ценой.

Уйти из «зоопарка»

Меры поддержки бывают не только финансовыми, а барьеры — не только следствием отсутствия денег, отметил руководитель Росстандарта Антон Шалаев. В качестве наиболее яркого примера он привел недавно принятый набор стандартов на информационные модели промышленной робототехники. Это единый набор правил для программного взаимодействия между роботами и системами их управления — унификация языка общения роботов. Он позволяет обеспечить

системную интеграцию роботов в автоматизированную систему (добавим, что также выступивший на мероприятии представитель ОАК отметил проблему непроработанной системной интеграции: у нас есть российские станки, но нет производственных линий). Даже когда предприятие находит средства и инвестиции на закупку промышленных роботов и установку автоматизированных линий, происходит парадокс: они «не дружат» из-за «зоопарка» технических и программных решений. Но, с опорой на российский и зарубежный опыт, первая линейка стандартов была принята (что характерно, одними из первых этими стандартами заинтересовались зарубежные партнеры). Это пример, как стандарт может снимать барьер для внедрения нашей робототехники, и практический шаг в рамках стандартизации показателей нацпроекта.

Актуализация национальных стандартов в области станкоинструментальной промышленности продолжится. Ведь хотя российский фонд ГОСТов с еще советскими корнями количественно обогнал зарубежную библиотеку (формально российский фонд огромен, 2,5 тыс. ГОСТов касаются станкоинструментальной промышленности), но с точки зрения качества — они перестали использоваться: станкостроение за полвека ушло вперед. А стандарты же, принятые в рыночное время «методом обложки», не учитывали специфику российской промышленности. Работа при поддержке Минпромторга и правительства заключается в сокращении числа стандартов вдвое к 2030 году, они подлежат коренной переработке исходя из современных реалий и интересов российской экономики. Зарубежный опыт будет учитываться, но не копироваться, поскольку именно копирование открывает дорогу импорту, не важно, из дружественных или не очень дружественных стран. Уже переработаны 200 стандартов по станкам, инструменту и особенно оснастке — эти ГОСТы застряли в 1960-х. Создаются стандарты в области цифровизации, измерительной аппаратуры, электрооборудования станков, норм точности, методов испытаний.

Мало разрабатывать стандарты — необходимо иметь возможность подтвердить соответствие их требованиям. В нацпроекте заложено создание испытательной базы для подтверждения соответствия качеству по всем ключевым направлениям станкоинструментальной промышленности. Эта база в постсоветской России была практически утрачена. Начаты работы по созданию трех испытательных центров: в Ростовской области, Республике Башкортостан и в Москве. Уже есть возможность проводить испытания станкостроительной продукции и комплектующих по широкому кругу показателей: параметры вибрации, шумовые характеристики, электробезопасность, электромагнитная совместимость, линейные и угловые перемещения и др. Несколько десятков показателей уже сейчас могут подлежать нормальным, понятным инструментальным испытаниям. Недавно принят закон, устанавливающий государственный контроль за отдельными видами промышленной продукции, в том числе по ряду позиций станкоинструментальной продукции. Это тоже мера защиты от конкурентов.

«Росатом» представил технологии роботизации стратегических производств на выставке «Металлообработка-2026»

Участникам выставки показали сварочные комплексы, промышленные роботы для полировки и шлифовки, а также настольные роботы для работы в ограниченном пространстве.

15 мая 2026 года в МВЦ «Крокус Экспо» в Москве завершилась международная выставка «Металлообработка-2026» — ключевое событие в сфере станкостроения и металлообрабатывающей промышленности. Мероприятие традиционно прошло при поддержке Минпромторга России.

Отраслевой интегратор по робототехнике ООО «АтомИнтелМаш» (входит в АО «Росатом Сервис», Электроэнергетический дивизион «Росатома») представил комплексные решения для роботизации производств, отвечающие требованиям обеспечения критической инфраструктуры и стратегических отраслей промышленности.

На стенде компании можно было увидеть интеллектуальный сварочный комплекс на линейном треке с повышением производительности на 50% и снижением себестоимости на 30%, робот полировки и шлифовки с позиционером для обработки высокоточных компонентов, роботизированный комплекс загрузки и выгрузки станков с числовым программным управлением для автономного функционирования 24/7, а также интерактивную демонстрационную зону с настольным роботом для покраски, сварки и упаковки в условиях ограниченного пространства.

Робототехнические комплексы спроектированы с учетом требований высокотехнологичных отрас-

лей и обеспечивают минимизацию человеческого фактора, работу без перерывов и повышение стабильности критических процессов. Каждое решение прошло комплекс испытаний и успешно интегрировано в производственные линии на российских предприятиях.

«Все, что мы представляем на выставке, — готовые промышленные системы, соответствующие требованиям высокотехнологичных отраслей, которые можно внедрять на предприятиях здесь и сейчас. Автоматизация производственных линий позволяеткратно увеличить выпуск продукции без пропорционального роста затрат и обеспечить стабильное качество в круглосуточном режиме. Именно такие практические результаты становятся фундаментом технологического суверенитета. При этом мы масштабируем положительный эффект и тиражируем успешные решения через формирование сети доверенных интеграторов: открываем партнерам доступ к стратегическим проектам госкорпорации «Росатом», передаем экспертизу и обеспечиваем поддержку на всех этапах внедрения», — отметил генеральный директор ООО «АтомИнтелМаш» Андрей Громов.

В сессии «Масштабирование промышленной робототехники: от успешных кейсов внедрения к новым возможностям рынка» принял участие коммерческий директор ООО «АтомИнтелМаш» Александр Петров. Участники дискуссии обсудили, нужна ли национальная сеть рынку робототехники в России.

«В России в настоящее время работает 300–400 системных интеграторов, в Германии — более 1000, а в Китае — свыше 5000. При этом 70% российских интеграторов сосредоточены в Москве и Санкт-Петербурге. Это не рыночная проблема, а инфраструктурная. При этом инфраструктуру рынок сам не построит — эта задача лежит на государстве и бизнесе. Поэтому национальная сеть определенно нужна», — отметил Александр Петров.

Также 14 мая на площадке выставки для широкой аудитории был проведен совместный семинар ООО «АтомИнтелМаш» и Горнорудного дивизиона «Росатома» на тему «Робототехника в экстремальных условиях». Участники семинара представили опыт практического применения промышленных манипуляторов и роботов в стратегических отраслях, осветили актуальные аспекты роботизации в условиях радиации и загрязнения, включая работу с радиоактивными материалами и отработавшим ядерным топливом, операции в опасных зонах без участия персонала, дезактивацию и утилизацию опасных отходов, обслуживание оборудования в защищенных зонах и др.



Ормузский счет мировой торговли

Кризис в Ормузском проливе наглядно показал уязвимость глобальной логистики. Долгосрочными последствиями конфликта для мировой экономики уже сейчас становятся устойчиво высокие страховые премии, ускоренный переход на альтернативные маршруты и изменение подхода к вопросам энергобезопасности целых государств. На момент подписания номера в печать сообщения СМИ о сроках разблокировки пролива остаются противоречивыми. Однако очевидно, что даже при самом благоприятном

для мировой логистики исходе текущего кризиса грузоотправителям и судовладельцам придется еще долго взвешивать риски, опасаясь новой волны нестабильности в регионе. «Вестник атомпрома» узнал у экспертов, как конфликт на Ближнем Востоке влияет на мировые поставки энергоносителей и других ресурсов, как мировому сообществу удавалось справиться с подобными вызовами, как может трансформироваться карта мировых логистических маршрутов и есть ли для этого быстрые решения.

«Глобальная логистика — это живой организм»

— Представляется, что наиболее разрушительное воздействие на мировую логистику и на мировую экономику в целом оказывают не военные действия, а режим санкций и запретов. Глобальная логистика как часть глобальной экономики — это живой организм, который всегда приспособится к таким внезапным факторам, как военные действия, стихийные бедствия и проч. Так, хотя действия хуситов в Красном море переориентировали пути морской торговли вокруг Африки (помимо другого переформатирования сложившейся морской логистики), но в конечном итоге увеличение длины маршрута повысило цены на перевозки и компенсировало ввод новых судовых мощностей, что позволило морским линиям не только избежать прогнозируемых убытков и вынужденного списания судов, но и в целом закончить год в прибыли. Но если разрушают (с помощью санкций, запретов платежей и т.д.) саму систему торговли, то тут уже прогноз становится неутешительным.

Если говорить о других уязвимых точках, то есть узкое место, которое очень важно для Китая, — Малаккский пролив, где проходит значительная часть морской торговли Китая. Для снижения своей уязвимости от этого маршрута Китай пытался построить альтернативные маршруты: трубопровод и железную дорогу через Мьянму к порту на побережье Индийского залива и железную дорогу через Пакистан. Сейчас из-за военных действий в Мьянме мьянманский маршрут не работает. Другая неудача Китая — железная дорога через Пакистан к порту Гвадар. В октябре 2025 года Китай

вышел из этого проекта, в основном из-за чудовищной коррупции и отсутствия управления в Пакистане.

С 2022 года произошло резкое изменение логистических маршрутов: многие операторы перестали возить грузы сухопутным путем через Россию. Тогда же получил второе дыхание Средний коридор, проходящий вне территории России (и Ирана). Но в то время из-за низкой инфраструктурной оснащенности он не смог перенаправить на себя все грузовые потоки. Однако к настоящему времени, существенно обновив свою логистическую инфраструктуру, он стал опасным конкурентом маршруту через территорию РФ.

Для повышения суверенитета РФ необходимо развивать все возможные логистические направления: не ограничиваться только развитием Восточного полигона. Необходимо на деле, а не на словах развивать инфраструктуру МТК «Север — Юг», расширять транспортные подходы к черноморским портам (учитывая, что сейчас погрузка черноморских портов ограничена недостаточностью железнодорожных путей). Чем больше существует различных работающих логистических маршрутов, тем устойчивее система страны в целом.

Если рассматривать такой логистический маршрут, как Трансарктический транспортный коридор (ТТК), то его капиталоемкость значительно выше, чем у любых других морских маршрутов. Трансарктическая логистика кардинально отличается от других морских



Илья Федулов

Научный сотрудник отдела экономических проблем Института востоковедения РАН (ИВ РАН), заместитель главного редактора журнала «Восточная аналитика», кандидат технических наук

коридоров. Береговая инфраструктура строится и эксплуатируется в условиях вечной мерзлоты (и в условиях возможного потепления климата), в условиях более чем полугодового полного заледенения некоторых участков морского маршрута. (Кстати, не все знают, что каспийский маршрут МТК «Север — Юг» каждый год сталкивается с нехваткой ледоколов в Астрахани,

и в прошлом году время ожидания ледовой проводки у Астрахани достигало нескольких недель!)

При этом нужна круглогодичная навигация, без которой невозможно обеспечить конкурентные условия для перевозок. В то же время круглогодичный морской маршрут вокруг Африки всегда будет существовать.



**Александр
Данилов**

Директор Института торговой политики НИУ «ВШЭ», доктор экономических наук

«Диверсификация — фундамент экономического суверенитета»

— Иранский кризис затронул большинство импортеров углеводородов, при этом основной удар пришелся на страны Азии, включая такие крупные экономики, как Япония, Китай, Индия, а также страны Юго-Восточной Азии. Таким образом, конфликт способен привести к сдерживанию экономического роста в наиболее динамичном регионе мира. События в ходе иранского кризиса подтвердили, что высокая концентрация мощностей и логистики является крайне рискованным фактором для мировой энергетики и системы снабжения критическими ресурсами в целом (как известно, и для торговли другими товарами, например серой, удобрениями, Ормузский пролив — важный транспортный маршрут). Это делает всю систему уязвимой с точки зрения как случайных и природных факторов, так и политических и иных социальных катаклизмов. Кризис свидетельствует, что проблема диверсификации источников энергоресурсов и инфраструктуры для доступа к ним становится фундаментальной предпосылкой экономического суверенитета в современном мире.

Следует отметить, что трудности с поставками жидкого топлива могут привести к сбоям в дальнейших логистических цепочках. В первую очередь это касается авиаперевозок. Рост цен на авиатопливо уже привел к трудностям у европейских и даже американских авиакомпаний. Однако это может сказаться не только на пассажирских перевозках, но и на грузовых логистических цепочках. Например, более 40% экспортных перевозок Японии осуществляются воздушным транспортом (это дорогостоящая продукция, включая различные сложные компоненты и, в частности, микрочипы). При этом требуется все более активное использование воздушного транспорта по мере роста обмена дорогами электронными и другими компонентами. Следует отметить, что производство, например, микрочипов, в том числе для технологий ИИ, также очень высоко сконцентрировано в небольшом числе стран — прежде всего на Тайване.

Мировая транспортная система морских перевозок во многом построена на использовании удобных маршрутов, которые проходят через естественные узкие места, что делает ее крайне уязвимой как для стихийных природных или техногенных факторов,

так и для различных конфликтов и подрывных действий. Роль Ормузского пролива полностью проявилась в условиях военного конфликта. Практически такое же значение, как Ормузский пролив, для снабжения углеводородами Азиатского региона (прежде всего Японии, Сингапура, Кореи, Китая) имеет Малаккский пролив — типичные объемы транспортировки нефти примерно одинаковы.

Другими чувствительными точками глобальной морской логистики являются: средиземноморские проливы (Босфор и Дарданеллы — Турция), Суэцкий канал (контролирует Египет — примерно 10% мировой торговли нефтью) и Панамский канал (Панама), так называемые Датские проливы (система проливов между Балтийским и Северным морями — примерно 8% мировой торговли нефтью, контролируются Данией и Швецией). Имеется целый ряд примеров нарушения судоходства, в частности в Суэцком канале. Можно назвать закрытие судоходства на несколько месяцев после национализации канала Египтом в 1956–1957 годах (был открыт с участием войск ООН), закрытие судоходства между арабо-израильскими войнами — с 1967 по 1975 год, блокирование канала из-за аварии контейнеровоза в 2021-м (блокировка на шесть дней). Даже короткая блокировка Суэцкого канала была чувствительной для мировой торговли.

Очевидно, что быстрые и легкие решения для снижения рисков в глобальной транспортной системе вряд ли возможны. Маршруты морской транспортировки зависят от географии. Создание альтернативных путей транспортировки требует значительных затрат и не лишено системных недостатков. Возможным частичным решением может быть развитие воздушных грузовых перевозок и в некоторых случаях новых сухопутных транспортных коридоров (например, коридор «Север — Юг» через Иран или Пакистан, маршрут через Монголию и Китай). Однако эти проекты (например, коридор «Север — Юг») часто также наталкиваются на проблемы международных конфликтов. В современных условиях практически единственным эффективным и быстрым решением может быть договорно-дипломатический путь. Примерами являются совместная работа советского и американского флота

по разминированию Суэцкого канала в 1975 году после арабо-израильских войн, а в дальнейшем урегулирование конфликта между Египтом и Израилем, международные операции по борьбе с пиратством. Таким образом, ключевым фактором для «быстрого» и «дешевого» решения проблемы является соблюдение международного права — договоров, которые регулируют судоходство в отдельных важных проблемных местах, определяя их открытый статус и общие принципы международного морского права.

Другим — «технологическим» — направлением снижения рисков является развитие альтернативных источников энергии (ядерная, ветровая, солнечная, гидроэнергетика), которые не зависят от снабжения массовыми энергоносителями и поэтому не зависят от глобальной логистики. Однако и это направление не может рассматриваться как быстрый путь решения проблемы логистических рисков, так как требует инвестиций и времени. Однако следует заметить, что теперь развитие альтернативных источников энергии (а также, например, электродвижения — как альтернативных по источнику энергии видов транспорта) следует рассматривать не только как модное экологическое увлечение, которое влечет только расходы, но пока не дает текущей выгоды, а как один из потенциальных механизмов политики диверсификации и укрепления энергетического суверенитета и снижения логистических рисков.

Строительство трубопроводов представляется естественной реакцией на проблемы морской транспортировки жидкого топлива. Однако и они имеют существенные недостатки. Привязка трубопровода к географическим факторам еще больше, чем у морской транспортировки. При этом трубопроводный транспорт также подвержен рискам, связанным с политическими, социальными и военными

конфликтами. Это неоднократно подтверждалось проблемами использования трубопроводов на Ближнем Востоке в условиях конфликтов (хотя в ряде случаев они продолжали частично работать), проблемами использования системы трубопроводов из РФ в Европу в условиях санкций. Кроме того, массированное использование трубопроводного транспорта может только усиливать риски, связанные с высокой концентрацией мощностей энергетической системы, и в ряде случаев снизить уровень гибкости и диверсификации торговли.

Если говорить о логистическом суверенитете России, то очевидно, что его обеспечение может быть достигнуто только на основе комплекса усилий по различным направлениям, которые должны охватывать технологию, экономику, торговую политику, многосторонние договоренности, международное право. Во-первых, нужно развивать и укреплять транспортные мощности, прежде всего в области гибких способов транспортировки — морского, воздушного транспорта. Во-вторых, развивать транспортную инфраструктуру как в стране, так и за рубежом, включая логистические мощности и новые транспортные сухопутные маршруты, для обеспечения диверсифицированной географии транспортной инфраструктуры. В-третьих, в отношении обеспечения присутствия на мировом энергетическом рынке необходимо расширять деятельность в области альтернативной энергетики (ядерная энергетика, солнечная, ветровая и т.п.). В-четвертых, активно действовать в направлении формирования двусторонней и многосторонней договорно-правовой базы, направленной на обеспечение работы глобальной логистической системы на недискриминационной основе. В-пятых, стремиться к сотрудничеству в направлении снижения рисков международных и региональных конфликтов, которые создают глобальные логистические риски.

«Логистический суверенитет — это наличие нескольких независимых контуров экспорта»

— В 2025 году через Ормузский пролив проходило в среднем около 20–21 млн баррелей нефти и нефтепродуктов в сутки, а также свыше 100 млрд м³ СПГ — порядка четверти мирового производства. Азия в условиях кризиса остается диспропорционально уязвимой: в 2025 году она оставалась ключевым направлением энергопоставок через Ормузский пролив (около 80% нефтяных потоков и почти 90% экспорта СПГ) с Китаем, Индией и Южной Кореей в качестве крупнейших импортеров энергоресурсов.

К сложностям существующей логистической цепочки в первую очередь относится ограниченная заменимость маршрутов. На текущий момент Ормузский пролив (~20 млн баррелей в сутки, б/с), Суэцкий канал

(~5 млн б/с), Баб-эль-Мандебский (~4 млн б/с) и Малаккский (~23 млн б/с) проливы остаются ключевыми узкими местами глобальной энергетической и морской логистики. Сбой в одной точке меняет не только маршруты судна, но и график поставок сырья на НПЗ, потребность в бункерном топливе, загрузку портовой инфраструктуры и условия фрахта. Системная уязвимость состоит в том, что Ормузский пролив, Баб-эль-Мандеб и Суэцкий канал образуют единый региональный контур риска для поставок из Персидского залива в Европу, тогда как Малаккский пролив является ключевым звеном поставок ближневосточных энергоресурсов в Восточную и Юго-Восточную Азию. Чувствительность системы показывают даже краткосрочные инциденты: шестидневная блокировка Суэцкого канала



Виктория Трифонова

Старший аналитик аналитического центра «Яков и Партнёры»

контейнеровозом Ever Given в 2021 году задержала более 400 судов, а объем остановленного торгового потока оценивался примерно в \$9–10 млрд в день.

С точки зрения альтернатив трубопроводы остаются среднесрочным инструментом, а не быстрой заменой морской логистики. По разным оценкам, доступная альтернативная инфраструктурная мощность маршрутов Саудовской Аравии и ОАЭ составляет 5–7 млн баррелей в сутки, или 30% от общего потока через пролив. Для СПГ, в свою очередь, полноценной замены Ормузу сейчас нет. В любом варианте обходные мощности закрывают только часть риска. Капиталоемкая и времязатратная трубопроводная диверсификация будет развиваться там, где есть устойчивый покупатель и гарантированный объем сбыта.

Логистический суверенитет целесообразно понимать как наличие нескольких независимых контуров экспорта: морского, трубопроводного, железнодорожного.

В отличие от крупнейших азиатских импортеров, Россия не зависит от Ормуза как от канала доступа к энергоресурсам, но зависит от устойчивости собственных экспортных коридоров — Балтики, Черного моря, Дальнего Востока, Арктики, существующей сети трубопроводов. Северный морской путь становится активной частью этого контура, выступая базой для дальнейшего развития Трансарктического транспортного коридора.

Иранский кризис способен ускорить интерес к СМП, но не превращает его в немедленную замену традиционным маршрутам морских поставок энергоресурсов. Его практическая роль — повышение ценности резервного маршрута для энергоносителей и массовых экспортных грузов, ориентированных на азиатские рынки, а также для ограниченного транзита, где экономия времени и снижение геополитического риска компенсируют требования к флоту ледового класса и сезонности.



Игорь Юшков

Ведущий аналитик Фонда национальной энергетической безопасности, эксперт Финансового университета при Правительстве РФ

«Текущая ситуация — окно возможностей для России»

— Северный морской путь сейчас развивается прежде всего как маршрут вывоза продукции из российских арктических регионов на внешние рынки, а не как глобальная транзитная трасса. Подавляющая часть грузов здесь — арктические углеводороды: сжиженный природный газ и газовый конденсат. Ключевую роль играет проект «Ямал СПГ», второй крупный игрок — «Арктик СПГ-2».

Перспективы развития Северного морского пути напрямую зависят от решения двух задач: обеспечения рынка сбыта и создания собственной транспортной инфраструктуры, в первую очередь флота газозовов арктического класса. В этом контексте нынешний кризис в Ормузском проливе играет для России и ее партнеров двойную роль. С одной стороны, рост цен на нефть приносит дополнительные доходы, с другой — заставляет Китай по-новому взглянуть на надежность маршрутов поставок.

Для Пекина все, что приходит «с юга» — через Ормуз, Малаккский пролив и другие узкие места, — становится все более рискованным. США теоретически могут создать ограничения не только в Ормузском, но и в Малаккском проливе, одновременно влияя на ближневосточные и африканские поставки. В этих условиях северное направление выглядит для Китая более безопасным: это касается не только перспективных газопроводов и нефтепроводов, но и морской логистики.

На повестке уже возможные проекты второго прямого нефтепровода из России в Китай — условного

«ВСТО-2» — и газопровода «Сила Сибири — 2». В 2025 году были согласованы технические параметры, финансирование и другие вопросы по трубе, однако стройка не начнется, пока не подписан коммерческий контракт на поставку газа. Обострение ситуации вокруг Ормузского пролива может подтолкнуть Пекин к принятию решения, ускорить подписание контракта и запуск проекта.

На этом фоне растет значение арктических проектов именно для Китая. Он уже сделал важный шаг — начал принимать подсанкционный российский СПГ, фактически игнорируя американские ограничения. Следующий шаг — более тесное сотрудничество в судостроении и поставках оборудования. Китайские верфи могут вместе с российскими компаниями ускорить строительство газозовов высоких ледовых классов, а также возобновить поставки модульного оборудования для СПГ-заводов.

Ранее модули для «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ-2» изготавливались именно в Китае. Возвращение к подобной кооперации позволило бы одновременно загрузить китайскую промышленность, обеспечить Россию критически важными судами и оборудованием и гарантировать Китаю стабильные арктические поставки топлива. Для России это также шанс приблизиться к целевым показателям грузопотока по Северному морскому пути.

Для Китая ключевым условием становится возможность круглогодичной навигации в восточной части СМП. Именно обеспечение круглогодичной проводки

через восточную часть СМП и выход в Берингов пролив критично для превращения северного маршрута в по-настоящему надежный коридор поставок в Китай. Маршрут вдоль российского побережья к азиатским портам несет заметно меньше геополитических рисков, чем путь через европейские воды, Суэцкий канал и Восточное Средиземноморье. Показателен недавний эпизод: газозов с грузом «Арктик СПГ-2» был атакован украинским морским дроном у берегов Ливии, получил серьезные повреждения борта и фактически утратил перспективы дальнейшей эксплуатации.

В этих условиях ставка на арктическую логистику и развитие Северного морского пути — не только долгосрочный инфраструктурный проект России, но и элемент энергетической безопасности для Китая. Для обеих сторон это шанс выстроить устойчивую систему поставок, менее зависимую от политически чувствительных узких мест мировой морской торговли.

Важно понимать, почему мы вообще говорим, что западные и южные маршруты становятся все более опасными. Фактически открыт ящик Пандоры: уничтожение энергетической инфраструктуры — газопроводов, нефтепроводов, экспортных морских терминалов, НПЗ, танкеров — стало нормой. Этот рубеж был пройден со взрывами на газопроводах «Северный поток»; после этого атаки на международные энергетические проекты перестали быть чем-то исключительным.

Еще один симптом — фактическая легализация силовых действий вокруг морских перевозок. В такой ситуации надежность поставок становится особой ценностью, и потребители готовы платить за то, чтобы груз просто дошел вовремя и в полном объеме.

Перекрытие Ормузского пролива уже привело к глубочайшему энергетическому кризису. В повседневной жизни мы пока не видим остановившихся автомобилей только потому, что после кризиса 1973 года страны-потребители создали стратегические запасы нефти. Однако тогда с рынка ушло около 10% мировой добычи, сегодня же речь идет примерно о 20% — нынешний кризис глубже и затрагивает гораздо больше позиций: не хватает не только нефти и газа, но и серы, гелия, азотных и фосфорных удобрений, которые завязаны на эти цепочки.

Ормузский кризис — это и прецедент: если один пролив можно частично «выключить» из мировой торговли, то почему бы не попытаться сделать то же самое с другими узкими местами — например, с Баб-эль-Мандебским или Малаккским проливами, ключевыми для артерий между Индийским океаном и Азией. Для Китая перекрытие Малаккского пролива было бы крайне болезненным ударом. В целом создается ощущение, что «теперь все можно», прежние правила игры размываются, и логистика становится все более политизированной.

Политическое давление распространяется и на каналные маршруты. США недавно открыто надавили на Панаму, добившись изъятия активов китайских компаний в стране и фактического вытеснения их из всего, что связано с Панамским каналом. Это тоже пример политизации критической инфраструктуры. Вопрос контроля над такими артериями становится ключевым.

При этом все чаще игнорируются нормы Конвенции ООН по морскому праву. Американцы задерживают суда по всему миру, охотятся за танкерами, в том числе у берегов Норвегии перехватывают танкер с венесуэльской нефтью, прорывающийся через санкционную блокаду, — с точки зрения международного права это незаконно. Франция, которая, в отличие от США, ратифицировала конвенцию, задерживает танкеры с российской нефтью в международных водах, формально ссылаясь на проверку флага и его соответствия требованиям; но, по сути, это воспринимается как форма легализованного пиратства.

На этом фоне таких инцидентов будет становиться больше, а мировая логистика — меняться. Еще один тревожный сигнал — заявления Ирана о намерении взимать плату за проход через Ормузский пролив, причем в дифференцированном режиме. Странам, на чьей территории есть американские военные базы или чье воздушное пространство используется для ударов по Ирану, проход может обойтись дороже; государства без американских баз, возможно, будут платить меньше или вообще получают право бесплатного прохода.

Это создает еще один прецедент — попытку брать плату не только за дополнительные услуги, но и за сам факт прохода через пролив. По Конвенции ООН по морскому праву взимать плату можно за доп-услуги, но не за сам проход (в отличие от каналов, вроде Суэцкого или Панамского). Теперь Иран стремится утвердить полный суверенитет над Ормузским проливом и изменить эту практику, а вместе с ней — правила игры в целом.

Для России все происходящее одновременно и вызов, и возможность. С одной стороны, усиливается хаос на южных маршрутах, с другой — это подталкивает страны и компании искать альтернативы и внимательнее смотреть на Северный морской путь. Пока транзитные грузы по СМП минимальны, и по ряду экономических параметров он уступает южным маршрутам. Но если учитывать фактор безопасности, отсутствие риска пиратских захватов и политически мотивированных перекрытий, у северного маршрута появляются серьезные преимущества на отдельных направлениях — особенно там, где есть претензии к грузоотправителю или бенефициару груза.

Именно эта растущая нестабильность на южных направлениях открывает для России окно возможностей для развития Северного морского пути как альтернативного, более защищенного коридора мировой торговли.

На зарядку становись

ЭЭС нового поколения: как «Росатом» трансформирует зарядную инфраструктуру

Электромобильность уже стала частью городской и междугородней инфраструктуры, однако следующий этап ее развития связан не только с увеличением числа зарядных станций. Для «Росатома» это еще и инженерная задача — сделать зарядку гибче, устойчивее и доступнее там, где классическая инфраструктурная модель упирается в ограничения сети, стоимость подключения или особенности городской среды. О том, как развиваются инновационные ЭЭС и какие решения готовит отрасль, «Вестнику атомпрома» рассказали директор бизнес-направления «Электромобильность» Топливного дивизиона «Росатом» Александр Бухвалов и начальник управления по технологии направления «Электромобильность» АО «ТВЭЛ» Кирилл Тимохин.

На фото

Инновационная мобильная ЭЭС дает возможность поддерживать новые пользовательские сценарии внутри городской среды

ЭЭС в России: сформированный рынок и следующий этап развития

В России на текущий момент уже развернута полноценная сеть электростанций, и рынок постепенно переходит к этапу ее качественного развития. Сейчас в нашей стране на одну публичную ЭЭС приходится примерно восемь электромобилей — это

показывает, что зарядная инфраструктура уже стала заметной частью транспортной системы.

Следующий этап связан не столько с самим фактом установки станций, сколько с их эффективностью: доступностью сетевой мощности, стоимостью технологического присоединения, устойчивостью эксплуатации и возможностью размещать быстрые зарядные решения в самых разных локациях.

По мнению директора бизнес-направления «Электромобильность» Александра Бухвалова, современная ЭЭС — это уже не просто точка подключения автомобиля к сети, а полноценная инженерная система с собственной логикой управления энергией: «Электростанцию назвать просто «розеткой» для электромобиля можно очень отдаленно. На самом деле это инженерное устройство, которое управляет передачей энергии от внешней сети к аккумуляторной батарее автомобиля. В основе таких станций лежит силовая электроника: преобразователи, контроллеры, защитные системы, интерфейсы связи с автомобилем и программное обеспечение, которое отвечает за корректный и безопасный процесс зарядки. Главная задача станции — принять энергию из сети, преобразовать ее в нужный для автомобиля формат и передать в батарею по соответствующему протоколу зарядки».

ЭЭС условно делятся на медленные и быстрые. Медленные станции работают на переменном токе и имеют меньшую мощность (обычно 7–11 кВт): энергия поступает в автомобиль, а уже бортовое оборудование машины преобразует ее для зарядки аккумулятора. Такой сценарий подходит для мест, где автомобиль может находиться долго: у загородного дома, на офисной парковке, у жилого комплекса или на стоянке, где зарядка не требует высокой скорости.

Быстрые станции работают иначе: они сами преобразуют энергию в постоянный ток и передают ее напрямую в аккумуляторную батарею электромобиля. Поэтому такие станции требуют значительно большей мощности (от 40 до 400 кВт), но позволяют сократить время зарядки. Их устанавливают там, где водителю важно быстро восполнить запас хода: на трассах, у АЗС, торговых центров, туристических объектов и других точек с активным автомобильным трафиком. Именно быстрые ЭЭС становятся основой публичной зарядной инфраструктуры, но одновременно





Александр Бухвалов,
директор бизнес-на-
правления «Электромо-
бильность» Топливного
дивизиона «Росатома»



Кирилл Тимохин,
начальник управления
по технологии направ-
ления «Электромотиль-
ность» АО «ТВЭЛ»

они сильнее зависят от доступности сетевой мощности и стоимости технологического присоединения.

Как в «Росатоме» пришли к идее инновационных ЭЭС

«Причина появления этих решений связана с естественным развитием рынка. Когда базовая сеть ЭЭС уже сформирована, следующей задачей становится не только расширение покрытия, но и повышение качества инфраструктуры. Быстрая зарядка должна появляться не только там, где уже есть достаточная сетевая мощность, но и там, где она особенно нужна пользователям: на междугородних маршрутах, у объектов городской инфраструктуры, на парковках, в жилых и деловых кластерах. Для этого классическую модель зарядной станции необходимо дополнить новыми техническими возможностями», — объясняет Александр Бухвалов.

Так появилась линейка инновационных решений для зарядной инфраструктуры: ЭЭС с накопителем энергии, мобильная зарядная станция и технология быстрой замены батарей. За этими решениями стоят разные сценарии применения, но общая инженерная логика: сделать быструю зарядку доступнее, гибче и менее зависимой от ограничений конкретной локации.

Для разработки таких решений у «Росатома» уже была необходимая технологическая база. В отраслевом контуре существуют компетенции в области накопителей энергии, силовой электроники, систем термостатирования и инженерного моделирования.

Проекты были одобрены к реализации в октябре 2025 года и начали развиваться в формате НИОКР. На первом этапе команда проработала техническую концепцию, подготовила эскизно-конструкторскую документацию, провела аналитические и патентные исследования, а также создала полноразмерный функциональный макет. Эти работы стали основой для дальнейшей разработки продуктовой линейки инновационных ЭЭС.

ЭЭС с накопителем энергии: решение для локаций с ограниченной сетевой мощностью

ЭЭС с накопителем энергии — это решение для масштабирования зарядной инфраструктуры в локациях, где установка классической быстрой станции затруднена. Встроенный аккумулятор позволяет размещать быструю ЭЭС там, где прямое подключение большой мощности экономически нецелесообразно или технически сложно: на междугородних маршрутах, у придорожных кафе и АЗС, в районах старой городской

застройки и в других местах, где пользователю важна быстрая зарядка без многочасового ожидания.

Ключевой принцип — разделение мощности подключения и мощности выдачи. Станция способна обеспечивать пиковую мощность зарядки до 150 кВт, но из внешней сети потребляет до 30 кВт. Для энергосистемы она ведет себя ближе к медленной станции, а для пользователя сохраняет сценарий быстрой зарядки. Этот эффект достигается за счет встроенного накопителя емкостью до 148 кВт·ч, собранного на базе модулей-юнибатов, которые производит бизнес-направление «Накопители энергии», входящее в Топливный дивизион «Росатома» (такие модули также применяются в электробусах).

Уникальная особенность такого типа ЭЭС — двунаправленный силовой преобразователь. Встроенный накопитель может не только принимать энергию из сети и отдавать ее электромобилу, но и использоваться как резервный источник электроэнергии, как инструмент сглаживания суточных пиков потребления и как фильтр для скачков напряжения в сети.

«По сути, такая станция с накопителем переносит часть энергетической нагрузки во времени: вместо того чтобы постоянно требовать от сети высокую подключенную мощность, станция постепенно заряжает внутренние батареи в периоды более низкой нагрузки, например ночью, а затем использует накопленную энергию для быстрой зарядки электромобилей в течение дня. Поэтому в ряде сценариев достаточно подвести около 30 кВт, что снижает требования к кабельным линиям, сетевой инфраструктуре и стоимости подключения», — комментирует начальник управления по технологии направления «Электромотильность» АО «ТВЭЛ» Кирилл Тимохин.

Когда автомобиль приезжает на зарядку, один из возможных алгоритмов предусматривает смешанную подачу мощности: часть берется из сети, часть — из батарей. Например, 50% мощности может поступать из доступных 30 кВт сетевого подключения, а оставшаяся часть — из накопителя. Когда автомобиля нет, контроллер зарядного коннектора и протокола видит отсутствие активной сессии, передает информацию в контроллер управления станцией, тот опрашивает BMS (Battery Management System — интеллектуальная система управления аккумуляторной батареей), получает данные о том, сколько энергии было израсходовано после последней зарядной сессии, и дает команду на подзарядку внутренних батарей. После этого срабатывает реле, и ток начинает поступать в накопители.

В перспективе планируется более умный алгоритм управления. После установки на конкретной

локации станция в течение двух-трех месяцев будет собирать телеметрию: когда происходят зарядные сессии, сколько энергии передается, в какие часы наблюдается максимальная загрузка. На основе этой информации строятся диаграммы загрузки. Если, например, выясняется, что пик спроса приходится на 18:00–19:00, когда люди возвращаются с работы и хотят подзарядить машины, контроллер сможет планировать заряд накопителей так, чтобы к этому времени батареи были заряжены на 100%.

Такая модель особенно востребована там, где сеть ограниченная, подстанция расположена далеко, доступная мощность недостаточна или увеличение технологического присоединения становится экономически неоправданным.

Мобильная зарядная станция для городской инфраструктуры

Мобильная ЭЭС — это станция, рассчитанная на городские и парковочные сценарии. Она представляет собой автономное передвижное устройство на колесах, которое может перемещаться в пределах заданной территории: парковки бизнес-центра, жилого комплекса, торгового центра, подземного паркинга или придорожной парковочной зоны. Пользователь вызывает станцию через клиентское приложение, после чего она самостоятельно подъезжает к автомобилю и выполняет зарядку.

Если ЭЭС с накопителем ориентирована прежде всего на локацию с ограниченной сетевой мощностью и сложным технологическим присоединением, то мобильная станция расширяет возможности зарядной инфраструктуры внутри городской среды. Она позволяет организовать быструю зарядку там, где установка достаточного количества стационарных точек затруднена или где зарядные места часто заняты.

В основе решения также лежит накопитель энергии. С учетом ограничений по габаритам, колесной базе и допустимой массе в мобильной ЭЭС используется аккумуляторная система общей емкостью до 105 кВт·ч. Станция обеспечивает быструю зарядку постоянным током с пиковой мощностью до 60 кВт. После завершения зарядной сессии она автономно возвращается к собственному модулю зарядки и восполняет запас энергии через пантограф мощностью до 30 кВт. Зарядка батареи электромобиля средней емкости занимает порядка 30 минут, что сопоставимо с параметрами современных станций быстрой зарядки.

«Такой сценарий меняет саму логику взаимодействия пользователя с инфраструктурой. Электромобиль не обязательно занимать конкретное место у стационарной ЭЭС: зарядная станция сама перемещается к автомобилю в пределах обслуживаемой зоны. Ночью, в периоды более низкой нагрузки на сеть, мобильная ЭЭС может заряжаться, а днем работать на парковке, обеспечивая быструю зарядку без необходимости переставлять автомобиль», — отмечает Александр Бухвалов.

Система навигации мобильной станции основана на сочетании виртуальных цифровых карт и технологий компьютерного зрения. Встроенная камера, лидар и радар определяют положение станции и окружающих объектов в пространстве, а виртуальная карта в операционной системе устройства обновляется в реальном времени с учетом препятствий и пешеходов.

Как команда учит мобильную станцию ориентироваться в реальной парковочной среде, поясняет Кирилл Тимохин: «Работу беспилотной части мы начинаем с оцифровки территории. Сначала создается цифровая карта конкретного парковочного пространства. После этого лабораторный образец мобильной ЭЭС с камерами, лидаром, радаром и контроллером приезжает на эту территорию. По заданным алгоритмам он выполняет первые тестовые заезды: объезды, подъезды к объектам, подъезды к автомобилям и отработку движения в ограниченной зоне. Сначала тестирование проводится на небольшом, локальном участке парковки, затем зона может расширяться до подземного паркинга, затем до комбинированного сценария: подземный паркинг, небольшой участок дороги и надземная парковка».

Виртуальные испытания в разработке инновационных ЭЭС

При разработке ЭЭС с накопителем энергии и мобильной зарядной станции команда использует виртуальные испытательные стенды. Это позволяет заранее увидеть, как будущая станция поведет себя в разных режимах работы, и проверить ключевые инженерные решения еще до физических испытаний.

Для такой станции особенно важны тепловые расчеты: специалисты оценивают работу батарей, силовой электроники и системы охлаждения при высоких нагрузках и разных температурных условиях. Для мобильной станции дополнительно проводятся прочностные расчеты, поскольку мобильная станция будет работать в парковочной среде и должна сохранять безопасность при возможных внешних воздействиях.

«На этапе разработки важно не только собрать физический образец, но и заранее проверить его поведение в разных эксплуатационных сценариях. Такой подход делает разработку более предсказуемой и надежной: часть сложных сценариев можно проверить в цифровой модели, заранее уточнить конструкцию и снизить риски на этапе прототипирования», — рассказывает Кирилл Тимохин.

Для расчетов команда применяет специализированные программные комплексы, а часть задач по инженерному моделированию выполняет «Центротех-Инжиниринг».

Технология быстрой замены батарей

Третий проект линейки инновационных ЭЭС «Росатома» — роботизированный комплекс быстрой

замены батарей на электромобилях. Эта технология позволяет сократить процесс зарядки автомобиля до 5–6 минут, что сопоставимо с обычной заправкой автомобиля с двигателем внутреннего сгорания.

«Значение такой технологии особенно велико для коммерческого транспорта. Один из сдерживающих факторов использования электромобилей в коммерческих целях — простой на зарядке. Если автомобиль должен долго заряжаться, снижается эффективность его использования: он меньше времени находится в эксплуатации и больше времени простаивает. Быстрая замена батареи решает эту проблему: вместо ожидания зарядки автомобиля пользователь получает уже заряженный аккумуляторный блок, а разряженная батарея остается на станции и заряжается отдельно», — объясняет Александр Бухвалов.

Важное преимущество такого подхода — возможность использования батареи как отдельного сервиса (Battery as a Service), без необходимости покупать ее вместе с автомобилем. В этом случае батарея может быть выведена из стоимости транспортного средства и предоставляться именно как сервис. Это способно снизить первоначальную стоимость электромобиля для пользователя или оператора автопарка.

Дополнительно станция быстрой замены батарей может рассматриваться как система накопления энергии. Если на станции находятся десятки батарей, они могут не только заряжаться, но и отдавать энергию в сеть в периоды пиковых нагрузок, балансируя мощность сети. Таким образом, технология замены батарей становится не только сервисом для транспорта, но и элементом распределенной энергетической инфраструктуры.

Формирование единой технологической экосистемы

«Развитие электромобильности постепенно меняет само представление о том, как должна выглядеть транспортная и энергетическая инфраструктура будущего. Если еще 10 лет назад ключевым вопросом было появление первых зарядных станций и адаптация рынка к новому типу транспорта, то сегодня речь идет уже о более глубокой трансформации: интеграции накопителей энергии, интеллектуального управления мощностью, автономных систем и новых моделей взаимодействия между автомобилем и инфраструктурой», — подчеркивает Александр Бухвалов.

На этом этапе особенно важно, что подобные решения начинают разрабатываться не как отдельные устройства, а как элементы единой технологической экосистемы. ЭЭС становится частью распределенной энергетической инфраструктуры, способной управлять нагрузкой, адаптироваться к условиям конкретной локации, работать с накопленной энергией, обеспечивать резервирование и поддерживать новые пользовательские сценарии.

Во многом именно такой подход сегодня формирует основу следующего этапа развития отрасли. Речь идет о поиске новых архитектурных решений для городской и междугородней мобильности. Станции с накопителями, мобильные ЭЭС и технологии быстрой замены батарей показывают, как могут выглядеть зарядные сервисы в условиях растущего спроса, ограниченной сетевой мощности и необходимости более гибкого управления энергией.

Для «Росатома» это направление является естественным продолжением существующих отраслевых компетенций. А сами проекты становятся частью более широкого процесса развития российской электромобильности, где вместе с ростом количества электромобилей меняются требования к зарядной инфраструктуре, управлению энергией и организации городской среды.

На фото

ЭЭС с накопителем энергии дает возможность интеллектуального управления мощностью в условиях сетевых ограничений



Проверка дожигания

На Белоярской АЭС завершилось облучение сборок с минорными актинидами

Одно из самых важных направлений научной и инженерной мысли в «Росатоме» — трансмутация минорных актинидов. Она снизит радиотоксичность отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и сократит срок стабилизации радиоактивных материалов. Все это — часть концепции замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ). В рамках создания удобной и безопасной технологии трансмутации «ТВЭЛ» и концерн «Росэнергоатом» впервые в мире выполнили программу опытно-промышленной эксплуатации уранплутониевого МОКС-топлива с добавлением минорных актинидов.

Идея трансмутации минорных актинидов в том, чтобы извлекать их из ОЯТ, добавлять в свежее топливо и загружать в быстрые реакторы. Там быстрые нейтроны, обладающие более высокой энергией, чем тепловые, врезаются в минорные актиниды, и те распадаются на более мелкие и безопасные осколки. У них гораздо меньший период полураспада, их радиотоксичность радикально ниже, поэтому переработка и условия их хранения проще и дешевле, а сроки на несколько порядков ниже: вместо 700 тыс. лет — порядка 300 лет.

Организации «Росатома», участвующие в разработке технологий, предложили две методики изготовления

топлива с добавлением минорных актинидов — гомогенную и гетерогенную.

Гомогенная технология

Способ извлечения из ОЯТ и разделения америция, кюрия, нептуния разработали ученые Бочваровского института. Вместе с коллегами из Горно-химического комбината (ГХК) они разработали технологию включения нептуния и америция в таблетки уранплутониевого МОКС-топлива. Опытные тепловыделяющие сборки (ТВС) с МОКС-топливом и минорными актинидами (МАМОКС-1) изготовили специалисты ГХК.

Три опытных ТВС с америцием-241 и нептунием-237 были загружены в активную зону реактора БН-800 Белоярской АЭС летом 2024 года. Они прошли эксплуатацию в течение трех топливных микрокампаний при номинальной мощности реактора. Как сообщили в «Росэнергоатоме», отклонений от нормальной эксплуатации МАМОКС-1 не было.

Во время планово-предупредительного ремонта энергоблока №4 Белоярской АЭС в апреле 2026 года опытные ТВС переместили во внутриреакторное хранилище. Сборки перемещались по закрытому тракту, поэтому увидеть и дать первичные оценки их состояния можно будет после извлечения из внутриреакторного хранилища через полгода. Затем они пройдут комплекс послереакторных исследований в Димитровграде. Поскольку количество твэлов с минорами в МАМОКС-1 невелико, перевозить сборки планируют с помощью штатного транспортно-упаковочного контейнера, используемого на БН-800.

Участники испытаний ожидают, что количество входящих в состав топлива минорных актинидов будет существенно снижено. Ранее расчеты и исследования показали, что количество минорных актинидов в топливе, облученном в быстром реакторе, стремится к равновесию. Так, если загрузить ТВС с обычным МОКС-топливом или добавить в топливную композицию 2–3% миноров, то доля минорных актинидов в облученном топливе будет одинакова — 0,5–1%.

«Ожидается, что выжигание минорных актинидов поможет в десятки раз снизить количество радиоактивных отходов, направляемых на окончательную изоляцию. Приблизительно за 60 лет работы реактор сможет утилизировать около 4 тонн минорных актинидов — это больше, чем вырабатывается в нескольких тепловых реакторах», — говорит директор Белоярской АЭС Юрий Носов.

Справка

Минорные актиниды — это трансурановые элементы (за исключением плутония). Они образуются в ядерном топливе при облучении в реакторе, когда атомы урана или плутония не расщепляются нейтронами, а поглощают их. Основные минорные актиниды — нептуний, америций и кюрий. Минорные актиниды обладают высокими радиотоксичностью и тепловыделением, у их изотопов длительный (у америция-243 — тысячи лет, у нептуния-237 — миллионы лет) период полураспада, поэтому они самые опасные компоненты радиоактивных отходов. Именно радиотоксичностью обусловлена необходимость их многоступенчатой сложной изоляции от окружающей среды. На профессиональном сленге атомщики минорные актиниды называют «миноры».

«Выжигание минорных актинидов в реакторе — это не разовый опыт, а долгосрочная стратегия. Перед тем как перевести это решение в промышленный масштаб, мы демонстрируем саму технологическую возможность, что эта идея работает», — комментирует старший вице-президент по научно-технической деятельности «ТВЭЛ» Александр Угрюмов.

В Топливном дивизионе сейчас уверенно говорят о том, что благодаря изготовленным сборкам технология изготовления МАМОКС-1 отработана. Ее зрелость позволила закладывать требование о возможности выпуска топлива с содержанием минорных актинидов на уровне 3–4% в проект промышленного производства топлива для перспективного БН-1200М.

«Мы намерены увеличить содержание минорных актинидов в опытных сборках с МОКС-топливом. Помимо этого, в конце 2025 года мы отработали технологию добавления минорных актинидов и в нитридное СНУП-топливо для быстрых реакторов», — комментирует Александр Угрюмов.

Гетерогенная технология

Особенность гетерогенного топлива в том, что топливо сконструировано не в таблетки, как обычно, а в виброуплотненные стержни с сердечниками на основе оксидов америция и нептуния — мавэлы (минорактинидные выжигающие элементы). Для обоснования гетерогенной технологии выжигания минорных актинидов в 2022 году мишени с минорными актинидами загрузили для облучения в реактор БОР-60. Их извлекли в 2024 году и провели послереакторные исследования. В ближайшее время ученые планируют приступить к изготовлению облучательных устройств для БОР-60, содержащих полномасштабные мавэлы и разбавитель. Облучение полномасштабных мавэлов станет базой для обоснования изготовления мавэлов и проведения с ними реакторных испытаний в БН-800. Отдельные твэлы или сборки планируются устанавливать в определенных зонах реактора.

Технологические усовершенствования

Параллельно идут исследования на иных этапах обращения с минорными актинидами. Так, была успешно испытана технология экстракции и хроматографического разделения минорных актинидов на модельных растворах. В ближайшее время ученые планируют испытать ее для извлечения и разделения америция и кюрия из реальных растворов ОЯТ и использовать полученный материал для изготовления сборок с МАМОКС-2. Также рассматриваются варианты совместного выделения минорных актинидов с ураном и плутонием. Возможность селективного или совместного выделения миноров планируется предусмотреть в проекте нового завода большой производительности по переработке ОЯТ.

Если америций и нептуний выжигают, то кюрий пока планируют выделять и хранить с тем, чтобы затем

использовать в качестве топлива для жидкосолевого реактора, который планируется соорудить на площадке ГХК.

Еще одно применение минорных актинидов — космическое топливо. Так, из нептуния традиционно нарабатывают плутоний-238. Это энергоноситель, без которого невозможно освоение дальнего космоса. Америций и кюрий теоретически могут стать альтернативным сырьем либо использоваться в радиоизотопных источниках тепла и электроэнергии. Пока космические программы скромны, много радиоизотопов им не требуется. Но в будущем направление минорных актинидов на нужды космической отрасли дополнит их выжигание.

Энергосистемы поколения IV — новое поколение ядерных энергетических комплексов с большей эффективностью использования топлива, увеличенной безопасностью, энергоэффективностью и сокращенным объемом ОЯТ по сравнению с действующими АЭС.

Россия — один из лидеров в разработке технологий поколения IV. В Томской области впервые в мировой практике на одной площадке создаются АЭС с реактором на быстрых нейтронах (БРЕСТ-ОД-300) и комплекс переработки ОЯТ и фабрикации топлива, обеспечивающие ЗЯТЦ. На площадке идут бетонирование виброизолированного фундамента турбины и генератора реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 и ресурсные испытания опытного образца главного циркуляционного насосного агрегата.

На Белоярской АЭС ведутся подготовительные работы по сооружению энергоблока с быстрым реактором БН-1200М. Старт работ по укладке бетона в основание фундаментной плиты здания реактора запланирован на 2027 год.



Экосистема мастерства

Что дает AtomSkills его участникам и производственным коллективам

AtomSkills — отраслевой чемпионат профессионального мастерства госкорпорации «Росатом», который проводится с 2016 года. Это масштабное движение, объединяющее все конкурсы профессионального мастерства, проводимые в атомной отрасли, и их участников — действующих специалистов, студентов профильных вузов и даже школьников — в единую экосистему подготовки и развития рабочих и инженерных кадров. Алексей Красавин, руководитель отдела организации чемпионатов Корпоративной Академии «Росатома», объяснил «Вестнику атомпрома», как устроен чемпионат, почему его можно сравнить с мундиалем, зачем предприятию отпускать лучших сотрудников на неделю соревнований и почему это выгодно всем.



Чистый позитив

— Алексей, как вы сами впервые оказались на AtomSkills и чем занимались тогда?

— На свой первый чемпионат я попал в 2016 году — и это был самый первый чемпионат госкорпорации «Росатом». Тогда я работал инженером-конструктором на предприятии «ЗиО-Подольск». Занимался проектированием и изготовлением оборудования для второго контура атомных станций, например теплообменников высокого давления, а также трубопроводов первого и второго контуров. Наш отдел разрабатывал рабочую документацию (не проектную, а именно производственную) и вел шефмонтаж.

— Как прошло первое выступление?

— Место я занял где-то в середине, остался без наград. Но, знаете, больше запомнился сам формат соревнования — свежий и живой. Оставило отпечаток общение с коллегами со всей отрасли из разных регионов. Для молодого специалиста это был чистый позитив и вдохновение.

— Как вы шли от участника к организатору?

— Сначала два года участвовал — в 2016-м и 2017-м. Потом два года был экспертом: оценивал работы конкурсантов. Затем стал тимлидером — так тогда называли тех, кто на предприятиях и в дивизионах

помогает организовывать подготовку и отбор участников. В 2020 году перешел в Корпоративную Академию «Росатома» и там уже влился в команду организаторов. Так что мне удалось пройти чемпионат во всех основных ролях.

Три павильона и семь фур оборудования

— AtomSkills называют крупнейшим корпоративным чемпионатом в мире. Что это значит на практике?

— Если в цифрах: 44 компетенции, то есть 44 профессиональных направления. Производственные специальности, инженерные, ИТ и охрана труда, экология, кризисные коммуникации и т.д. Участвуют лучшие из лучших: сначала отбор на предприятии, потом в дивизионе, и уже затем команда едет в Екатеринбург на чемпионат.

При этом соревнования открытые. Мы приглашаем партнеров: СИБУР, «Ростех», «Роскосмос», РЖД. Последние три года зовем и зарубежных участников — представителей подрядчиков из стран, где «Росатом» реализует или планирует проекты. На последнем чемпионате это были представители Казахстана и Узбекистана.

С точки зрения организации чемпионат проходит в трех выставочных павильонах, это примерно два-три футбольных поля. По логистике — семь-восемь фур, полностью загруженных оборудованием

и расходниками. Если найти аналогичные примеры, то сравню с чемпионатом мира по футболу: в 2026 году на него заявлено 48 команд, около 1900 участников в составах. У нас другая специфика и другие соревнования, но масштаб не меньше.

И еще важный момент: AtomSkills — не только соревнования. Это деловая программа, профориентационные проекты, выставки методик профессионального развития. То есть целый комплекс мероприятий экосистемы подготовки рабочих и инженерных кадров в атомной отрасли. Систему, которую создала и развивает команда Корпоративной Академии «Росатома».

Хорошо забытое старое

— Чемпионат работает по методике WorldSkills. Почему выбрана именно она и в чем ее особенности?

— WorldSkills — это, по сути, инструмент популяризации рабочих и инженерных профессий. Методика основывается на трех вопросах: что делают участники, как это оценивается и зачем все это нужно? Цели — профориентация среди молодежи и повышение профессионализма действующих работников. Если проводить исторические параллели: в Советском Союзе были конкурсы профессионального мастерства — по сути то же самое, только под другим названием. WorldSkills — это хорошо забытое

Тимлидер — представитель предприятия или дивизиона, координирующий подготовку участников и их участие в чемпионате.

Компетенция — конкретная профессия или специализация, по которой проводятся соревнования. Каждая компетенция имеет стандартизированные задания и критерии оценки.

старое, пришедшее с Запада, но по своей природе нам не чуждое.

Первые годы мы использовали эту методику как рамку. Потом начали адаптировать под специфику атомной отрасли, ведь не все можно было взять в чистом виде. Сегодня это уже собственная методика AtomSkills, которая опирается на наши технологические задачи и среднесрочные вызовы отрасли.

— Может быть, наивный вопрос, но все же: зачем вообще предприятию профессиональные соревнования? Люди и так работают.

— Первое — это возможность выйти из рутины. Ежедневная работа создает «зашоренность». Нет времени думать, некогда остановиться и посмотреть на процесс свежим взглядом. На чемпионате человек оказывается среди экспертного сообщества — таких же специалистов с разных предприятий. Можно



44

компетенции

> 1600

участников и экспертов

2

соревновательные лиги: профессиональная
и студенческая

18

команд дивизионов и предприятий «Росатома»
и трех крупных отечественных компаний
(«Роскосмос», ОСК, СИБУР)

студенты

76

вузов и колледжей

увидеть, как коллеги решают те же задачи, какими инструментами пользуются, перенять лучшие практики.

Второе — психологическая перезагрузка. Устойчивость важна не меньше, чем профессиональный рост. Человек возвращается с новыми силами и остается в ресурсном состоянии дольше. Это напрямую влияет на качество работы и производительность.

Третье — горизонтальные связи. Все, кто побывал на чемпионате, становятся частью сообщества. Потом можно позвонить или написать коллеге с другого предприятия и решить вопрос неформально: «делай как я: я узнал, что так проще и быстрее». Это живая передача лучших практик.

Кто «держит тыл»

— А как предприятие справляется, пока сотрудник уехал на чемпионат?

— Многое зависит от профессии и структуры предприятия. Офисный специалист и рабочий в цеху — это разные ситуации. Но в любом случае работник никогда не работает один: есть отдел, бригада, цех. Его коллеги и руководитель принимают решения на месте — как выполнить задачи меньшим числом людей.

Важно понимать: часть победы участника — это его коллектив. Именно он формирует культуру производства и дает участнику психологическое спокойствие: уезжай, мы справимся, потом не столкнешься с негативными последствиями. Это и есть культура команды и взаимопомощи.

— Отношение к чемпионату в целом изменилось за 10 лет? Люди привыкли?

— Если честно, к любой деятельности за пределами основного рабочего процесса всегда будет двоякое отношение. Всегда есть сторонники, и скептики. Согласно нашим регулярным опросам, к чемпионату в целом отношение хорошее.

Есть, конечно, люди, которые сомневаются в его пользе. И это наша задача — объяснить эту пользу понятнее и глубже. Потому что нагрузка на коллег участника, оставшихся на производстве, реально растёт. Хочется отдельно поблагодарить всех, кто «держит тыл», — именно они делают возможным участие их коллег в чемпионате.

Чемпионат — это еще и большая команда организаторов: коллектив Корпоративной Академии «Росатома», тимлидеры дивизионов и предприятий госкорпорации, главные эксперты компетенций, представители юниоров и студенческого сообщества «Росатома», партнеры из различных организаций Свердловской области. Это команда, благодаря которой у нас в стране проводится крупнейший в мире чемпионат профессионального мастерства.



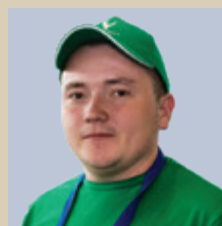


Дмитрий Кучерявин

Руководитель направления парогенераторов и трубопроводной арматуры на «Атоммаше»:

— До AtomSkills в подобных конкурсах я никогда не участвовал, хотя внутри всегда росло желание проверить себя, проверить свои способности сварщика. Все-таки у нас очень специфическая и ответственная работа: мы варим сложные узлы, от надежности которых напрямую зависит безопасность энергоблоков. Хотелось понять, чего я реально стою как специалист и на каком уровне нахожусь.

В итоге заявился на самый первый AtomSkills и победил в компетенции «Сварочные технологии». В том же году меня отправили представлять команду «Росатома» на общероссийский «Хайтек», где тоже получилось победить. На этом моя карьера как конкурсанта закончилась, но финал получился неожиданным. Сначала было признание от экспертов, медали и награждение от Алексея Лихачева и Сергея Кириенко. А потом все это как-то закрутилось и привело к встрече с Владимиром Путиным на всероссийском форуме «Наставник-2018». Для меня, как для обычного сварщика, это, конечно, было удивительно, о таком даже не думаешь, когда работаешь в цеху. Причем самым интересным на встрече с президентом был именно живой диалог. Удалось нормально пообщаться и обсудить реальные проблемы — дефицит рабочих рук, подготовку инженеров. Для меня эта беседа стала очень личной и важной историей.



Салават Юсупов

Заместитель директора по инновационным технологиям Озерского технического колледжа:

— Мой путь на AtomSkills начался в 2016 году. Я заявился как участник и занял третье место в компетенции «Мехатроника». Результат дал хороший толчок. Благодаря этой бронзе и последующей победе на чемпионате «Хайтек» я попал в сборную России, с которой в итоге поехал на WorldSkills для участия в компетенции «Мехатроника». Уже в следующем, 2017 году на AtomSkills я вернулся в другом качестве — как эксперт, а с 2021 по 2025 год дорос до позиции главного эксперта по своей компетенции.

После мирового первенства я перешел в отраслевой центр компетенций по мехатронике на базе «Маяка». Там мы с коллегами разработали автоматизированные производственные мини-линии, на которых отрабатываются навыки программирования, сборки узлов и агрегатов, а также изучение пневматических и электрических элементов. Сейчас эти наши комплексы по мехатронике используют на AtomSkills, «Хайтеке» и национальном чемпионате «Профессионалы».

Для меня чемпионат — это в первую очередь площадка, где можно перенять лучшие практики у коллег и, соответственно, поделиться своим опытом. Это постоянный обмен рабочими «фишками», который сильно двигает тебя вперед. Тем, кто сомневается, участвовать или нет в чемпионате, совет простой: отбросьте все сомнения и участвуйте.

Из жизни просвещающих

Как ИЦАЭ Екатеринбурга обрел свой дом и запустил в нем «цепную реакцию» познания



Говоря о просветительских проектах сети Информационных центров по атомной энергии, мы незаслуженно мало уделяли внимания их повседневной жизни. А между тем происходящее «за кулисами» ИЦАЭ часто не менее увлекательно, чем самые зажигательные научные ток-шоу. Сегодня у нас появился прекрасный повод исправиться — у Информационного центра по атомной энергии Екатеринбурга наконец появилась собственная площадка. О том, как это случилось и как сегодня живут коллеги из столицы Урала, — наш материал.

Путь домой

Айгуль Галимова, руководитель Информационного центра по атомной энергии Екатеринбурга, возглавляет его с 2022 года. И все это время это был единственный центр сети без постоянного места прописки. Лишь недавно, в конце марта 2026 года, сбылась заветная мечта Айгуль — ИЦАЭ Екатеринбурга обрел свой дом. Им стал креативный кластер «Л52», знаменитый в столице Урала «дом-расческа», уникальный памятник конструктивизма, который благодаря стараниям местных энтузиастов обретает новую жизнь.

О «бездомном» этапе Айгуль вспоминает со смешанными чувствами. «Это был очень ценный и интересный опыт. Сперва, конечно, было очень страшно — ведь мероприятия проводить все равно нужно. Пришлось много кочевать по незнакомым площадкам, было много технически сложных форматов, связывающих разные города сети. Но в результате нам это позволило расширить границы наших мероприятий, появилось много новых партнеров. И хотя сперва был страх, потом уже появилось понимание, что площадок, желающих нас принять и дружить с нами, очень много. И это очень подкрепляло веру в то, что мы делаем. Немного скучаю по этому драйву!»

Как это часто бывает, именно скитания по разным площадкам привели в итоге ИЦАЭ Екатеринбурга в их новый дом. «Один из наших давних партнеров и, прямо скажем, больших друзей — Музей истории Екатеринбурга. Мы много раз совместно проводили мероприятия на разных площадках музея: Science Drama в доме Качки на улице Карла Либкнехта, различные лекционные форматы в других локациях. Мы давно и долго дружили с музеем, — говорит Айгуль. — А потом узнали об их новом филиале — креативном кластере «Л52», который расположен в знаменитом доме Госпромтяжурала, знакомом екатеринбуржцам под названием «дом-расческа». Это памятник конструктивизма и самый большой дом-коммуна в СССР. Жили здесь научная интеллигенция, инженеры,

представители творческих профессий. И мы решили, что это взаимовыгодная ситуация, потому что мы получаем новую площадку в самом центре города и при этом помогаем вдохнуть новую жизнь в памятник архитектуры».

Разумеется, дорога в новый дом для ИЦАЭ Екатеринбурга простой не была. Как не была и быстрой. По словам Айгуль Галимовой, два года они вместе с Музеем истории Екатеринбурга и администрацией города вырабатывали юридические механизмы, позволяющие просветителям «прописаться» в «Л52». «В результате — создали прецедент. Сегодня здесь есть уже и другие резиденты — благотворительные фонды, гуманитарные проекты, которые после нас смогли заселиться, пройдя по проторенной нами дороге», — рассказывает руководитель ИЦАЭ Екатеринбурга.

Не как у всех

Впрочем, «жить» в памятнике архитектуры оказалось ничуть не проще, чем в него «въехать». И дело здесь совсем не в бюрократических процедурах. «"Л52" — это объект культурного наследия, что нам приходится всегда держать в голове. В первую очередь учитывать это приходилось на стадии ремонта, — говорит Айгуль. — У сети ИЦАЭ есть общий для всех дизайн-макет оформления помещений. А вот для нас пришлось сделать исключение. Например, у нас двери не как у всех. Особые требования существуют и к сохранению аутентичного облика фасада здания. Поэтому у нас и окна необычные. Одним словом, в процессе ремонта нам постоянно приходилось искать консенсус. Но, кажется, у нас получилось: бригада, с которой мы работали, потом еще помогала отремонтировать другие этажи здания».

Несмотря на то что у сети ИЦАЭ действительно есть общий дизайн-код помещений, ни одного похожего вы не найдете. В оформлении всегда стараются



отталкиваться и от регионального контекста, учитывать специфику атомных предприятий региона, в котором расположен центр, а зачастую даже историю конкретных помещений. Екатеринбургский ИЦАЭ — прекрасный тому пример. «Понятно, что, когда речь идет о памятнике архитектуры, к этому вопросу приходится подходить с особым вниманием. Екатеринбург, как известно, столица стрит-арта. Традиция размещать на стенах наших центров муралы с известными учеными или знаковыми для региона инженерными решениями атомной промышленности пошла именно с нас, с нашего старого центра», — утверждает Айгуль Галимова.

Ничего удивительного, что и стены нового ИЦАЭ столицы Урала украшают огромные картины. «В видео-зале на стене у нас изображен реактор на быстрых нейтронах БН-800 — отсылка к нашей Белоярской АЭС, единственной отечественной атомной станции, где работают уникальные агрегаты — быстрые реакторы, — говорит Айгуль Галимова. — Наш центр расположен в обобщественном корпусе дома-коммуны, где были ясли, столовая и другие учреждения. Конкретно в наших помещениях была поликлиника, а точнее — рентген-кабинет. Поэтому мы решили нанести на стены мурал с изображением Вильгельма Конрада Рентгена — собственно изобретателя этой технологии. Это такой реверанс в сторону истории кабинета, где мы находимся. Но просто портрет — это как-то скучно. Поэтому на плечо ученого мы поместили крысенка — своего рода дань уважения этим животным, много сделавшим для развития науки. У него по специальной технологии покрашены косточки, и в темноте он светится, приводя в восторг наших самых маленьких посетителей».

Открытие обновленного ИЦАЭ Екатеринбурга состоялось 27 марта в рамках культурного форума Culturalica. На новоселье пришли представители





науки, власти и бизнеса. Среди гостей были коллеги из Управления культуры администрации Екатеринбурга, Белоярской АЭС и Свердловского химмаша. Научное и музейное сообщество представляли эксперты УрФУ, Института экологии растений и животных УрО РАН, Музея истории Екатеринбурга и Муниципального объединения библиотек. Также открытие посетили представители крупного бизнеса и медиа, включая компанию «Брусника» и портал 66.RU.

Торжественную церемонию, как это принято в ИЦАЭ, решили провести в неофициальном духе. Хотя и проходила она в присутствии официальных гостей, министр культуры Екатеринбурга Илья Марков вместо традиционного перерезания ленточки запустил «цепную реакцию». «Мы «разорвали» модель атома, скрепленную магнитами, символически высвободив заключенную в ней энергию просвещения. Нам было важно показать площадку и то, как она может функционировать. Поэтому после традиционного фуршета и речей у нас была интеллектуальная игра, наш фирменный „Адресалин“, — рассказывает Айгуль Галимова.

Оранжевое настроение

В мае 2026 года прошла всероссийская акция «Ночь музеев». ИЦАЭ Екатеринбург — уже много лет постоянный ее участник и одна из точек на карте акции. Но впервые за много лет — это не метафора.

Специально для этого события ИЦАЭ Екатеринбург подготовил научно-популярную программу для горожан. Ее открыла лекция «Жизнь на грани апгрейда: как найти место в мире будущего». Руководитель группы инноваций СКБ «Контур» и популяризатор науки Павел Скрипниченко предложил взглянуть на человеческий разум как на сложную операционную систему, которая в эпоху взлета искусственного интеллекта отчаянно нуждается в обновлении. Продолжил вечер уникальный формат лекции-экскурсии от Николая Нечаева — руководителя креативного кластера «Л52» и заведующего отделом Музея истории Екатеринбурга.

Он познакомил слушателей с историей знаменитого дома-коммуны и рассказал, как культурный ландшафт города трансформируется прямо сейчас.

Вместе с лекционной программой развернулась выставка интерактивных макетов от АО «Свердловский химмаш». Гости «Ночи музеев» смогли в буквальном смысле прикоснуться к атомным технологиям. Самым популярным экспонатом стала атомная станция из конструктора LEGO. Схематичный макет АЭС с мокрым хранилищем и имитацией процесса обращения с радиоактивными отходами собрали из разных наборов восьмилетний Егор и его папа Антон Ряпосов, руководитель конструкторской группы Свердловского химмаша.

По словам Антона Ряпосова, макет собран из 30 наборов LEGO City, связанных со стройкой и лабораториями. Сама сборка заняла около 16 часов. Он признается, что в работе им помогли нейросети и тематические ветки на Reddit, где, например, удалось найти наклейки для спецодежды и блочного щита управления.

Благодаря этому макету гости атомного центра узнали, как на АЭС решают проблему обращения и хранения радиоактивных отходов, а также познакомились с технологией замкнутого ядерного топливного цикла, при котором отработанное ядерное топливо не отправляется на захоронение, а перерабатывается для повторного использования.

«Новорожденному» центру всего несколько месяцев, а он уже пользуется большой (и, надо сказать, заслуженной) популярностью не только среди наших атомных коллег и посетителей научно-популярных событий из числа старожилов. В апреле в «Л52» прошли съемки нового клипа группы «Чайф». Музыканты вместе с глухими и слабослышащими артистами лаборатории «Тебя слышно» снимали клип на русском жестовом языке. Результат планируют показать на фестивале «Уральская ночь музыки». «Ребята из съемочной группы попросили часть съемок провести у нас. Ну как отказать? — рассказывает Айгуль. — А в качестве «автографа» музыканты покрасили стены у входа в ИЦАЭ в оранжевый — фирменный цвет группы «Чайф» и всей сети ИЦАЭ».

Вряд ли кто-то возьмется всерьез спорить с многовековой мудростью многочисленного корпуса пословиц и поговорок о важном, почти сакральном значении дома. Все правда — и про крепость, и про магию родных стен. Впрочем, сложно спорить и с тем, что собственно стены — это только начало. А настоящая магия начинается, когда в них поселяется жизнь — осязаемая история, нарисованная на стене бывшего рентген-кабинета, собранная из LEGO в виде макета АЭС, рассказанная жестовым языком в музыкальном видеоклипе.



Текст: Федор Буйновский,
обозреватель «Вестника атомпрома»

Иллюстрация: Nano Banana AI /
газета «Страна Росатом»

Мост между мирами

Физик и психоаналитик: как Паули и Юнг искали единый код реальности

Один из создателей квантовой механики и основатель аналитической психологии потратили четверть века, пытаясь доказать, что материя и сознание подчиняются общему порядку. Их союз остается редким примером того, как рождаются прорывные идеи.

В 1932 году один из самых блестящих и язвительных физиков XX века, будущий нобелевский лауреат, постучал в дверь психиатра. Вольфгангу Паули было чуть за 30. За плечами уже стоял сформулированный им принцип запрета, объяснивший строение электронных оболочек атомов, и предсказание частицы, которую назовут нейтрино. А в личной жизни была катастрофа: распавшийся за месяцы брак, недавняя смерть матери, ночи в барах и утренние срывы. Блестящий ум разваливался изнутри, и Паули сделал то, что для убежденного рационалиста выглядело почти капитуляцией. Он обратился за помощью к Карлу Густаву Юнгу.

То, что началось как терапия, превратилось в редкий интеллектуальный союз. 26 лет переписки, совместная книга и попытка перекинуть мост между двумя мирами, которые наука держала по разные стороны стены, — между материей и психикой, между формулой и сном. Для предпринимателя и руководителя эта история вовсе не про мистику. Она про то, как на самом деле рождаются прорывные идеи и почему ценные открытия часто приходят оттуда, откуда их не ждут.

Когда нобелевский лауреат пришел к психиатру

Паули называли совестью теоретической физики. Его едкое замечание могло обрушить чужую гипотезу одной фразой, а отзыв «это даже не неправильно» вошел в фольклор науки. Но внутренний мир ученого не подчинялся той же безупречной логике, что и его уравнения. Запрос на помощь был признанием, которое дорого стоит человеку, привыкшему все держать под контролем: рациональный аппарат, безотказный в физике, не справлялся с собственной психикой.

Юнг поступил неожиданно. Чтобы не давить авторитетом и не исказить материал интерпретациями знаменитого доктора, он передал Паули начинающему

аналитику Эрне Розенбаум, и физик стал приносить сырые, необработанные сны. Любопытная деталь: публикуя позже этот материал, Юнг ссылался на сновидца анонимно. Долгое время читатели не догадывались, что пациент, чьи сны легли в основу крупной работы по аналитической психологии, был будущим нобелевским лауреатом.

Сны и видение «мировых часов»

Примерно с 1932 по 1934 год Паули записал больше тысячи снов и зрительных впечатлений. Юнг увидел в них не шум уставшего мозга, а закономерность: их символика поразительно напоминала образы средневековых алхимиков. Это укрепляло его гипотезу о коллективном бессознательном, общем для всех людей слое психики, из которого всплывают одни и те же древние архетипы. Эти сны легли в основу его труда «Психология и алхимия».

Кульминацией стало видение «мировых часов»: сложная конструкция из нескольких циферблатов в разных плоскостях, движущихся в разном ритме, которая складывалась в образ, названный Юнгом



возвышенной гармонией. Физик, всю жизнь искавший скрытую симметрию между элементарными частицами, увидел во сне образ универсального порядка и почувствовал внутреннее равновесие. Человек на грани выгорания нашел опору не в новой теории и не в карьерном решении, а в структуре собственного бессознательного.

Синхронистичность: попытка узаконить совпадение

Главным плодом союза стала концепция синхронистичности, акаузального связующего принципа. Речь о связи между событиями, основанной не на причине и следствии, а на смысле: два события совпадают так, что совпадение кажется значимым, хотя одно не вызывает другое. В 1952 году вышла книга «Истолкование природы и психики», где под одной обложкой соседствовали статья Юнга о синхронистичности и исследование Паули. Это было заявление: физик и психолог считают, что говорят об одном предмете с двух сторон.

Почему человек безжалостной строгости не отмахнулся от такой идеи? Потому что квантовая механика, в создание которой он внес ключевой вклад, уже расшатала привычную картину мира. Строгая причинность уступила место вероятностям, а наблюдатель перестал быть нейтральным зрителем и начал влиять на результат измерения. При этом Паули играл роль строгого редактора, предостерегая Юнга от переноса психологических понятий прямо на физические процессы. Сегодня наследие их диалога обсуждают под названием гипотезы Паули и Юнга.

За годы переписки произошло кое-что менее заметное, но важное: их языки сблизились. Юнг все увереннее говорил о случайности и роли наблюдателя, Паули все чаще оперировал понятиями символа и образа. Оба нашли общую опорную метафору. Атом с его ядром и вращающимися электронами оказался похож на устройство психики, какой ее видел Юнг: с центральным сознательным «я» и окружающим слоем бессознательного. Это была не доказанная истина, а рабочая аналогия, но именно такие образы и запускают новое мышление.

Архетипы в науке и ставка на нейтрино

Вклад Паули в совместную книгу был по-настоящему смелым: он показал, как архетипические представления влияли на формирование научных теорий у Иоганна Кеплера. За убежденностью астронома, что планетные орбиты подчиняются гармоничным геометрическим соотношениям, стоял глубинный образ сферы как символа совершенства мироздания. Иначе говоря, новейшая по тем временам наука питалась древними символами, которые ее создатель не всегда осознавал. Отсюда неудобный, но ценный тезис: самая строгая дисциплина в мире приводится в движение интуицией, которая предшествует доказательству.

Лучшее доказательство этой мысли дал сам Паули, причем в чистой физике. В 1930 году, спасая закон

сохранения энергии при радиоактивном распаде, он постулировал невидимую частицу, уносящую недостающую энергию, и сам признавал, что совершил почти запретное, предсказав то, что казалось необнаружимым. Частицу назвали нейтрино и зафиксировали ее лишь в 1956 году, спустя 26 лет, всего за два года до смерти ученого. Смелый образ, рожденный раньше доказательства, годами вел науку вперед. Тот, кто умеет отличать обоснованную интуицию от пустой фантазии и не боится сделать ставку, получает преимущество, недоступное чистым прагматикам.

Число 137: одержимость длиной в жизнь

У этого союза была общая навязчивая идея, и звали ее 137. Так округленно выглядит обратная величина постоянной тонкой структуры, безразмерного числа, которое определяет силу электромагнитного взаимодействия и в котором словно сходятся электромагнетизм, теория относительности и квантовая механика. Ричард Фейнман называл ее одной из величайших загадок физики, магическим числом без объяснения. Паули потратил годы, пытаясь вывести его из первых принципов, и не преуспел. Сохранилась его полшутка о том, что первый вопрос дьяволу после смерти будет о смысле постоянной тонкой структуры.

А дальше случилось то, что выглядит как мрачная шутка судьбы. В декабре 1958 года смертельно больного Паули поместили в одну из больниц Цюриха. Его палата носила номер 137, и из нее он уже не вышел. Был ли это слепой случай или то самое значимое совпадение, о котором они спорили с Юнгом десятилетиями, доказать невозможно. Но трудно представить более точную иллюстрацию идеи синхронистичности, чем число-наваждение, ставшее последним адресом одержимого им человека.

Что эта история значит сегодня

Ценность союза Паули и Юнга не в том, доказали они что-либо о синхронистичности или нет. Большинство физиков и сегодня настроены скептически. Ценность в самом методе: два мировых эксперта вышли за границы своих дисциплин и в результате каждый стал мыслить шире и свободнее. Для бизнеса это знакомая формула, описанная задолго до модных разговоров об инновациях. Самые ценные идеи рождаются на стыках, там, где встречаются разные картины мира и разные языки.

Руководитель может вынести из этой истории три вывода. Строгость и интуиция не враги, а партнеры. Способность выдерживать неопределенность, не сводя сложное к простому раньше времени, есть признак сильного мышления, а не слабости. И, наконец, иррациональный источник идей нужно беречь, но выводы проверять безжалостно: Паули позволял себе видеть «мировые часы» во сне, но в физике не прощал ни одной неаккуратной строчки. В эпоху узких специалистов настоящее преимущество получает не тот, кто глубже всех закопался в одну область, а тот, кто замечает связь там, где другие видят лишь чужую территорию.

Фотофакт

На фото

Фото: «Аккую Нуклеар»

На блоке № 1 АЭС «Аккую» (Турция) завершена операция по загрузке имитационных тепловыделяющих сборок в реактор



