

# ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№ 5 | июнь | 2023

*Главная тема*

## **Аддитивные технологии**

*3D-печать: промышленное  
применение и перспективы  
развития рынка*

*В номере*

Цифровые продукты 34

Молодежная политика 40

Атомный ликбез 50



# Уважаемые читатели!

40 лет назад методом стереолитографии — первым из освоенных способов 3D-печати — было создано первое изделие, а с начала XXI века аддитивные технологии в мире стали развиваться бурными темпами. Главная тема номера рассказывает о том, как этот процесс происходит в России и что для этого делает Росатом: сегодня предприятия госкорпорации производят промышленные 3D-принтеры, а также материалы для печати, создается сеть Центров аддитивных технологий общего доступа, демонстрирующих преимущества внедрения 3D-печати на производстве, ведется системная работа с вузами для подготовки будущих специалистов в этой сфере.

Также читайте о перспективах коммерциализации цифровых продуктов, решений и услуг Росатома, о том, как строится работа с молодежью в организациях «Росэнергоатома» и в городах присутствия концерна, и о пути, по которому корпуса реакторов и парогенераторы отправились с «Атоммаша» на АЭС «Куданкулам» и Тяньваньскую АЭС.

А еще вы узнаете, что нужно для того, чтобы нуклид стал изотопом, и в каких случаях следует употреблять каждый из этих терминов.

**ВЕСТНИК  
АТОМПРОМА**

№ 5, июнь 2023 года

Информационно-аналитическое издание

Фото на обложке  
АО «ТВЭЛ»

**Главный редактор**  
Юлия Долгова

**Выпускающий редактор**  
Ольга Еременко

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

**Корректор**  
Алина Бомбенкова

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

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

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

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

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

Тираж 2000 экземпляров.  
Цена свободная.  
Подписано в печать: 21.06.2023

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

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

Журнал отпечатан:  
ООО «АртФормат»  
115477, г. Москва, ул. Зюзинская,  
д. 6, стр. 2.  
Тел.: +7 (968) 724-35-91  
№ заказа: Аф-005/23.

## Содержание

Главная тема

КОРОТКО

**Промышленная 3D-революция** **4**  
*Как применение аддитивных технологий развивается на предприятиях Росатома и в России в целом*

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

**Аддитивные технологии: всероссийский охват и микронная точность** **6**  
*Гендиректор «РусАТ» Илья Кавелашвили — о технологическом ландшафте и перспективах развития отечественного аддитивного рынка*

КОРОТКО

**Центры притяжения** **13**  
*Росатом создает сеть Центров аддитивных технологий общего доступа*

ФОТОРЕПОРТАЖ

**Печатающая будущее** **14**  
*Сеть ЦАТОД обеспечит доступность продуктов и услуг 3D-печати для широкого круга заказчиков*

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

**На пути к выращиванию реакторов** **16**  
*Исполнительный директор АРАТ Ольга Оспенникова рассказывает о ключевых тенденциях российского рынка аддитивных технологий*

ПЕРСПЕКТИВЫ

**3D-печать в большом формате** **24**  
*Аддитивные технологии меняют машиностроение и металлургию*

ЭТО ИНТЕРЕСНО

**Аддитивная вселенная** **30**  
*Что умеют и где используются технологии 3D-печати*

Цифровые продукты

**Коммерческая ДНК для ядерной «цифры»** **34**  
*Гендиректор РЦР Александр Вибе — о формировании единого цифрового торгового дома, предлагающего внешним заказчикам продукты и услуги отраслевых компаний-разработчиков*

Молодежная политика

**«Концерну в ближайшие 10 лет потребуется свыше 8000 выпускников высших учебных заведений»** **40**  
*Дмитрий Гастен, директор по персоналу и социальной политике «Росэнергоатома» — о работе с молодежью*

ИЦАЭ

**Научный флешмоб** **44**  
*Как в сети ИЦАЭ встречали баржи с оборудованием для зарубежных АЭС*

Атомный ликбез

**Кирпичики мироздания** **50**  
*Изотопы и нуклиды: разные понятия или синонимы?*

Особое мнение

**Капитал не по Марксу** **56**  
*Как экономические волны создавали, разрушали и трансформировали государства*

# Промышленная 3D-революция

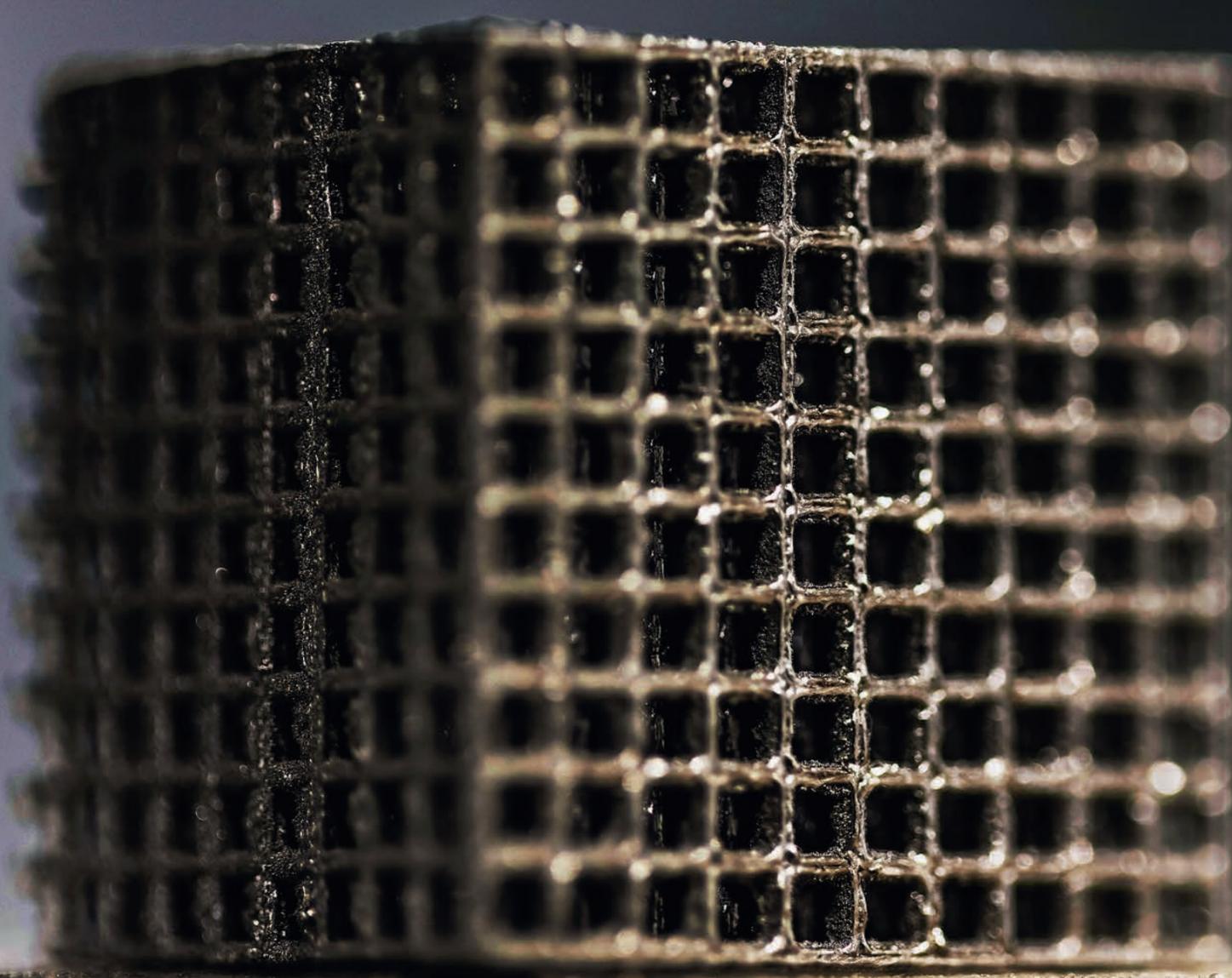


Фото: АО «ТВЭЛ»

Аддитивное производство — это процесс объединения материала для создания объекта на основе заранее разработанной цифровой модели. Изделие печатается 3D-принтером — методом послойного нанесения металла, пластика, полимера, бетона и других материалов. Применение аддитивных технологий открывает широкие горизонты для создания изделий практически любых форм и размеров, от мельчайших деталей до многотонных сооружений. Такие технологии дают возможность более гибкого конструирования и более быстрого изготовления изделий, производство которых традиционными способами имеет высокую трудоемкость, поэтому 3D-печать — это эффективный инструмент для ускорения разработки и вывода на рынок новой продукции.

Среди преимуществ аддитивного производства — оперативность изготовления изделий, в том числе запчастей «по первому требованию», снижение затрат при прототипировании и мелкосерийном производстве, сокращение количества комплектующих в конечном изделии, создание изделий со сложной конфигурацией и внутренней структурой, производство которых другими методами невозможно или затруднено, возможность сочетать разные материалы в одном изделии, экологичность — уменьшение количества отходов, улучшение условий труда.

Главная тема номера рассказывает, как применение аддитивных технологий развивается на предприятиях Росатома и в России в целом.

Текст: Алексей Комольцев

Фото: ООО «Русатом — Аддитивные технологии», АО «ТВЭЛ»

# Аддитивные технологии: всероссийский охват и микронная точность

Гендиректор «РусАТ» Илья Кавелашвили — о технологическом ландшафте и перспективах развития отечественного аддитивного рынка

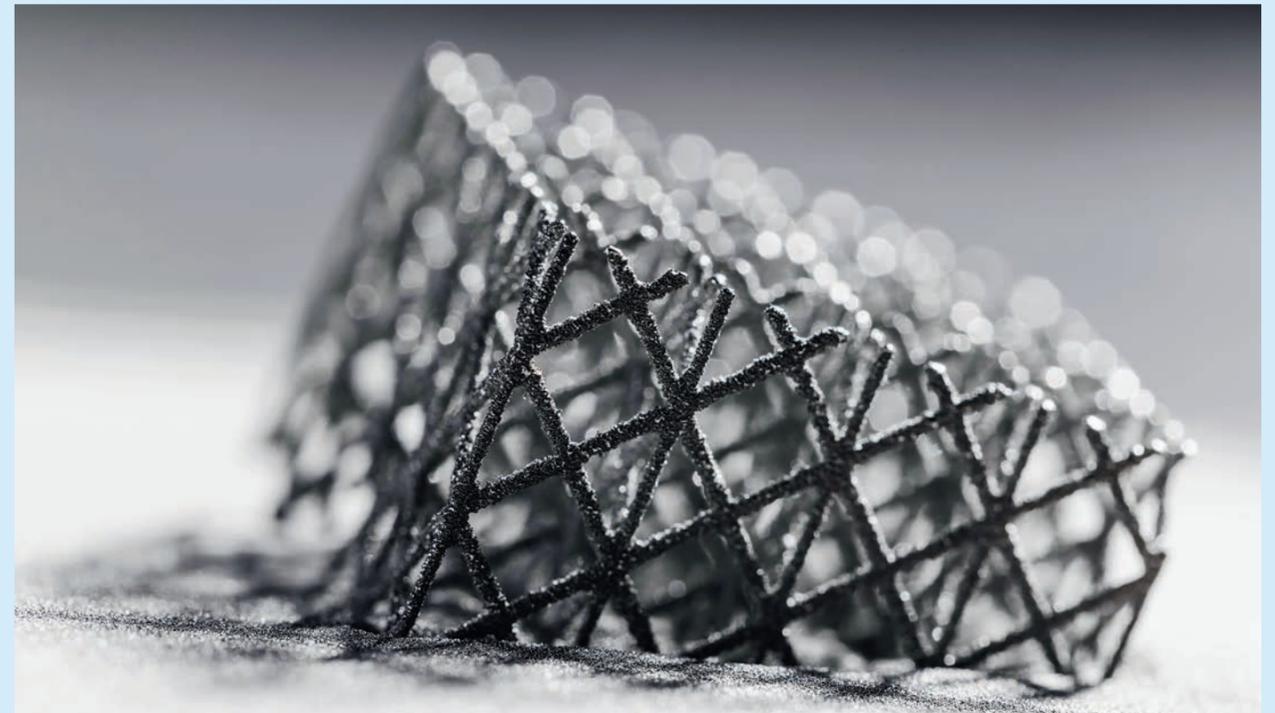


**О том, как обеспечивается технологическая независимость страны в освоении 3D-печати, «Вестнику атомпрома» рассказывает генеральный директор отраслевого интегратора «Русатом — Аддитивные технологии» («РусАТ») Илья Кавелашвили.**

— Илья Владимирович, компания-интегратор в области аддитивных технологий создана пять лет назад, вы возглавили ее в начале прошлого года. Что удалось сделать?

— Главное достижение в том, что бизнес-интегратор состоялся: собрана качественная научная, инженерная и производственная команда, обеспечены все критически важные составляющие для развития новой отрасли. Сегодня мы оцениваем нашу долю на рынке аддитивных технологий в стране от четверти до трети общероссийского объема: это неудивительно, поскольку отрасль только создается. Напомню, ответственность за выполнение дорожной карты по развитию аддитивных технологий в стране Росатому доверило правительство — в 2019 году был подписан документ, согласно которому на госкорпорацию была возложена ответственность за формирование ключевых элементов новой отрасли. Хотя аддитивные технологии в России начали развиваться лишь недавно, собранная команда «РусАТ» объединила усилия отраслевых предприятий и координирует освоение 3D-печати в других технологически развитых компаниях, в системе образования. Созданы современные и конкурентоспособные принтеры, налажено производство материалов. Мы первыми изготовили в стране принтер с размером рабочей поверхности 600 на 600 мм — RusMelt 600M — и переходим к освоению серийного производства RusMelt 610M. Таким образом, решена главная задача, ради которой был создан интегратор «РусАТ», — заложена основа технологического ландшафта для дальнейшего развития аддитивных технологий.

Команду непосредственно бизнес-интегратора нам пришлось формировать через подбор состоявшихся специалистов разных предприятий, которые оказались готовы включиться в новую сферу. Но мы объединяем усилия более 20 отраслевых предприятий, четырех дивизионов Росатома. Одни предприятия занимаются научными разработками, другие — производством оборудования, третьи — выпуском материалов. Есть и отраслевые предприятия, ставшие заказчиками, они уже осваивают или ведут печать нужных изделий. Такие внутренние отраслевые клиенты нам особенно ценны: их появление говорит, что в аддитивные технологии начинают верить даже в такой ответственной отрасли, как атомная промышленность. Буквально на днях было принято решение, что 3D-печать надо внедрять не только на задачах без сложных разрешительных процедур, но и в атомном машиностроении — когда напечатанные изделия будут работать в условиях



излучений или обеспечивать безопасность эксплуатации. Рабочую группу, которая будет координировать эту задачу, по распоряжению главы отрасли возглавил Андрей Шевченко: ему поручена проработка отраслевой дорожной карты.

**— Федеральная карта была сформирована до значимых изменений в российской внешней торговле. Каким образом новые условия повлияли на работу?**

— Необходимость достижения технологической независимости, особенно по критически важным направлениям, была очевидна еще до 2022 года. Мы заблаговременно начали ориентироваться на технологии и оборудование, которые имели наибольший потенциал для стратегически важных отраслей. Это печать металлом — селективное лазерное сплавление, прямое лазерное выращивание. Значительные усилия были направлены на самообеспечение материалами — металлическими порошками, проволокой. Работа с металлом стала приоритетной, остальные направления — печать полимерами и другими востребованными в промышленности материалами — отнесены ко второй волне развития. Нам важно и нужно, учитывая коммерческий аспект деятельности, обладать широкими компетенциями, чтобы предлагать заказчику весь спектр решений. Но многие позиции сегодня представлены зарубежными поставками из дружественных стран, критической ситуации с поставками оборудования и материалов для полимерной печати нет: эта техника появляется даже в быту. Таким образом, конкретные действия

С помощью аддитивных технологий можно вырастить изделие сложной конфигурации целиком, без лишних соединений

по реализации федеральной дорожной карты были уточнены исходя из приоритета технологической независимости.

Выступая бизнес-интегратором, мы не только объединили отраслевые возможности, но и привлекаем научные, конструкторские институты других отраслей, расположенные в Москве, Санкт-Петербурге, Казани, других городах. Хотя аддитивная отрасль только формируется, в стране местами были собраны начальные компетенции. Частично эта работа дублировалась, не носила системного скоординированного характера. Мы смогли обеспечить ее координацию. Это упорядочило процессы, дало возможность сконцентрировать силы и средства на востребованных задачах. На самых актуальных направлениях мы смогли сосредоточиться на получении практического результата: например, сегодня актуальна разработка 3D-принтера для печати электронных плат. В стране были отдельные наработки и понимание задачи, но чтобы придать этой работе направленность, потребовались дополнительные коммуникации, организационные усилия, вложения. Теперь проект, уже нацеленный на практические результаты, набирает зрелость и скоро начнет функционировать.

**— Каковы узкие места развития технологии?**

— Главная сложность сегодня — это нехватка специалистов, более того, в проблеме кадрового голода есть целый ряд аспектов. Нужно работать и с системой образования, и с лицами, ответственными за внедрение технологий на предприятиях. Нет избытка и тех,

«Важнейшая задача — это донесение возможностей 3D-печати до тех, кто сегодня управляет развитием предприятий.

Мы должны показать возможности аддитивных технологий и то, каким образом данные технологии могут быть применимы на конкретном предприятии, донести эту информацию до главного технолога, генерального директора, до тех, от кого зависит производство».

кто способен производить и налаживать оборудование. Появляются качественные инженерные идеи, есть финансовые возможности, но формирование полноценной команды под проект, с грамотными и нацеленными на результат специалистами, занимает время. А снимать специалистов с освоенных направлений мы не можем, поскольку ослабим эти участки.

Важнейшая задача — это донесение возможностей 3D-печати до тех, кто сегодня управляет развитием предприятий. Даже в контуре предприятий Росатома, где с инновациями традиционно умеют работать, мы должны показать возможности аддитивных технологий и то, каким образом данные технологии могут быть применимы на конкретном предприятии, донести эту информацию до главного технолога, генерального директора, до тех, от кого зависит производство. Ведь их предприятия работают, выпускают продукцию мирового класса, опираясь на традиционные технологии. Мы же предлагаем и затраты, и переосмысление процессов, зачастую перепроектирование изделий.

Наш опыт показывает, что технологии 3D приживаются, только если нас поддерживают и генеральный директор, и главный технолог: если один из них настроен скептически, внедрение не состоится. Ведь в чем проблема внедрения аддитивных технологий? В стране существует традиционная производственная инфраструктура, она «поглощает» станки. Если бы мы изготавливали станки, то предлагали бы их сотням предприятий, где есть и такие станки, и станочники, и училище, которое их готовит. Где-то спишут старые станки, где-то решат развиваться и так далее — рынок сформирован. А мы предложили 3D-машины, которых почти нигде нет и благодаря которым можно будет отказаться от множества уже действующих

станков и привычных процессов, нужно будет переучить специалистов. Причем аддитивная машина, на первоначальном этапе, и сама по себе недешевая, но это лишь примерно четверть вложений в запуск аддитивного производства. К ней надо добавить вспомогательное оборудование, научиться работать с материалами, найти специалистов, поменять конструкцию детали и технологию, встроить все это в технологическую цепочку производства. Разумеется, пройти все испытания изделий. Мы понимаем, что не все к этому готовы (даже если есть возможность использовать 3D) и потребуются годы.

— Каким образом можно преодолевать этот консерватизм?

— Во-первых, мы много и системно работаем с вузами. Молодежь, которая завтра придет на предприятия, знакомится с 3D-производством уже со студенческой скамьи, и завтра выпускники будут нашими союзниками. В ведущих технических вузах, как и в науке и промышленности, занимались аддитивными технологиями тоже разрозненно: где-то, самостоятельно или при поддержке шефских предприятий, покупали первые принтеры, формировали программы обучения. «РусАТ» стал точкой объединения этих усилий, чтобы вузы не бежали каждый своим путем. Первая волна вузов, с которыми мы начали работать, — это ведущие технологические университеты сильнейших отраслей: НИЯУ МИФИ, МИСиС, КНИТУ-КАИ, МИРЭА и другие. Сегодня мы взаимодействуем с 14 вузами, как правило опорными техническими университетами. Но уже возникает новая волна: технологией интересуются и медики, и сельское хозяйство, и строители, и добывающие компании. Я сам удивился недавно, почему ректор сельскохозяйственного вуза активно интересуется 3D, а ответ был простой: закупленная импортная

техника, любая вейлка и культиватор, нуждаются в запчастях, а экспорт затруднен. Наши технологии и реверс-инжиниринг позволяют эту зависимость преодолеть.

Во-вторых, во взаимодействии с вузами развиваются и наши Центры аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД), концепцию которых мы реализовали и тиражируем. Это не только возможность осуществлять на местах услугу обратного инжиниринга, но и демонстрация аддитивных технологий для руководителей, инженеров, студентов. Свои «экскурсионные программы» есть и для школьника, и для студента, и для конструктора действующего предприятия. Для школьника это станет профориентацией, студента мотивирует выбрать тему проекта, а с конструктором мы договоримся о НИОКР, пробном изделии, даже постановке на производство серии изделий. С вузами мы заключаем соглашения, в рамках которых они в такие центры вносят компетенции, иногда оборудование, а главное, обязуются вместе с нами разработать учебные программы по всем уровням. В том числе такие программы и профстандарты, чтобы студенты могли перемещаться между образовательными площадками, используя гибкие форматы образования. Вовлекаются в эту работу и представители региональных предприятий. Таким образом мы формируем центры будущих промышленных кластеров, которые изначально учитывают экономику и потребности территорий и отраслей. Что касается нас, то «РусАТ» вкладывается в эту работу компетенциями в области аддитивных технологий по выстраиванию процессов организации аддитивного производства и реинжиниринга; мы готовы помогать в коммерциализации. Такие кластеры формируются во Владивостоке, Томске, Перми, Казани, Белгороде, Астрахани, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде, и этот список все время пополняется. Именно эти центры общего пользования, ставшие учебно-демонстрационными площадками, через какое-то время должны стать «воронкой», которая начнет привлекать в регионы оборудование и материалы. Это не быстрый путь с точки зрения возврата инвестиций, но масштаб работы в этом случае — не дилерство станков, а смена технологического уклада.

В-третьих, мы формируем основу 3D-отрасли внутри Росатома, и в этом очень помогает позиция руководства госкорпорации. Уже сегодня на уровне Росатома 3D-технологии готовятся внедрять для ответственных задач. Демонстрационный экземпляр напечатанной детали выгородки реактора ВВЭР-1200, который мы показываем на выставках, был изготовлен на самом большом DMD-принтере в России, созданном по инициативе Алексея Лихачева.

В феврале этого года мы провели важную бизнес-миссию в Нижнем Новгороде — открыли центр аддитивных технологий в «ОКБМ Африкантов», а затем провели конференцию для более чем сотни руководителей производственных предприятий. Сейчас мы видим, что внедрение 3D становится понемногу вопросом престижа руководителей — и это внедрение не как самоцель, а как инструмент для решения задач. Появляются ответственные за развитие аддитивных технологий, формируются КПЭ и так далее.

То, как мы развиваем 3D внутри атомной отрасли, поможет нам и в освоении других направлений. Начав с простых деталей и демонстрационных экземпляров, мы дали возможность принимающим решение лицам потрогать результаты — в прямом смысле слова. Переходя от простых изделий к более сложным, мы давали возможность последовательно убедиться и в качестве получаемой поверхности, и в прочности структуры материала, проводили испытания механических свойств. В абсолютном большинстве случаев детали, полученные аддитивным методом, не уступают традиционным. В случае с применением в Росатоме, нам предстоит реакторные испытания. И когда свойства изделий будут подтверждены (а мы в этом не сомневаемся), то службы госкорпорации и Ростехнадзора, ответственные за ядерную безопасность, смогут рекомендовать эту технологию в серийное производство (хотя реакторы даже при сегодняшнем объеме экспорта сложно считать серийным производством). Пройдя эту просветительскую работу в Росатоме



за три-четыре года, мы сможем на нашем примере убеждать и другие отрасли.

— То есть после освоения задач Росатома предстоит повторение этого же пути для других отраслей?

— Освоение технологических задач Росатома станет большим заделом для выхода на потребности всей промышленности. Мы участвуем в формировании сводного отраслевого перечня, который охватит спектр востребованных материалов с указанием их свойств. Эта работа практически выполнена, сейчас идет систематизация. Подобная работа, разрозненно и в разном объеме, проводилась и в других отраслях, и предстоит объединить, насколько возможно, эти базы данных. В Росатоме сосредоточились на нержавеющих сталях, титане, жаропрочных сталях, так как большинство предприятий испытывают необходимость в различной номенклатуре сплавов по этим

материалам. Оценив консолидированную потребность в материалах, мы в рамках рабочей группы сможем по всем позициям изучить возможность изготовления таких материалов, обеспечить производственную линейку и затем отпечатать опытные образцы, провести испытания.

Но при этом понятно, что часть информации, касающаяся критически важных технологий для ключевых корпораций, останется под грифом государственной и коммерческой тайны, и такие направления будут прорабатываться внутри отраслей. Тем не менее, опираясь и на общедоступные базы данных, и на ведомственные проработки, конструкторы смогут принимать решение об использовании аддитивных технологий для своих задач. Главное — понимать, что напечатанный материал обеспечит все требования не хуже, чем изготовленный традиционным методом.

Таким образом, тот факт, что отрасль ориентирует нас, как бизнес-интегратора, на внутренние задачи Росатома, — это не отмена усилий по реализации федеральной дорожной карты, а важный шаг для ее реализации. Лучшая возможность убедить других приобрести наши технологии — это освоить их у себя и продемонстрировать результаты. Кроме того, поскольку технология сложна и требует больших вложений, то и ряд шагов по освоению производства изделий мы можем выполнить на наших площадках, с нашим оборудованием. Если машиностроительное предприятие рассчитывает научиться печатать двигатель, ему логичнее обратиться вначале туда, где уже умеют печатать сложные изделия, а мы, пройдя (на коммерческой основе) все первоначальные этапы отработки технологии, сможем предоставить заказчику и опытный образец, и решение по оборудованию. Таким образом мы будем зарабатывать на рынке, чтобы вкладываться в дальнейшее развитие технологий. И это заставляет нас не только действовать в русле стратегических задач Росатома, но и придерживаться коммерческой логики, делая проекты коммерчески конкурентоспособными. И взаимодействие с заказчиками внешних отраслей мы планируем выстраивать на рыночной основе.

Самый сложный, но необходимый клиент для нас — это предприятия, где традиционно предъявляются очень жесткие требования к оборудованию и материалам. Например, это авиационные, реактивные двигатели. Лишь пройдя серию испытаний, сертификаций, опытную эксплуатацию, можно «прописаться» в соответствующих технических условиях и стандартах. Но поскольку мы осваиваем технологию, которая должна прижиться в Росатоме с его сложнейшими и специфическими требованиями, то и подобные корпорации мы видим как наших потенциальных клиентов. Поэтому при разработке нашей первой печатной машины мы отталкивались от требований ключевых потребителей, таких как «Роскосмос», «Ростех» и других. Причем эти требования ничем не уступают зарубежным решениям ведущих производителей.

«Мы заблаговременно начали ориентироваться на технологии и оборудование, которые имели наибольший потенциал для стратегически важных отраслей. Это печать металлом — селективное лазерное сплавление, прямое лазерное выращивание. Значительные усилия были направлены на самообеспечение материалами — металлическими порошками, проволокой».

На фото

Центр аддитивных технологий общего доступа в НПО «Центротех»



— Актуально ли для технологий «РусАТ» присутствие на внешних рынках и есть ли давление внешнего рынка на внутрисоветский?

— Даже работая в сегодняшних непростых условиях закрытых границ и со стратегически значимыми компаниями, мы не рассчитываем на длительное сохранение такой ситуации и не намерены закрыться лоббизмом, секретностью отрасли и так далее. Бизнес-интегратор ориентирован именно на коммерческую деятельность, и мы обеспечиваем конкурентоспособность нашего принтера с пониманием всех аспектов конкуренции в мире и достигнутых возможностей по качеству и по ценам.

Добавлю, что нам предстоит не только убедить другие отрасли в перспективах аддитивных технологий. Мы активно идем на рынки дружественных стран — в Индию, Китай, Латинскую Америку. Сложность в том, что в большинстве из них отрасль 3D-печати тоже лишь формируется и объемы невелики, но в этом же и плюс: заходя с нашими решениями, мы можем начинать осваивать расширяющийся рынок. Это еще один мотив делать проект именно как коммерческий.

— В какой мере принтеры «РусАТ» обрели технологическую независимость?

— Ключевые элементы машины — лазер, коллиматор и сканатор (оптическая система, которая направляет лазерное излучение в нужную точку) и система управления, которая манипулирует всеми элементами. Российские лазер и сканатор уже разработаны в Росатоме, и мы планируем в 2023 году установить первые изделия на наши машины. Переходя к серийному производству принтеров, мы рассчитываем до 50% изделий оснастить лазерами и сканаторами, произведенными (собранными) в Росатоме. Можно было бы закрыть и все 100%, но некоторые заказчики примут работу, только если уже есть наработанный референс.

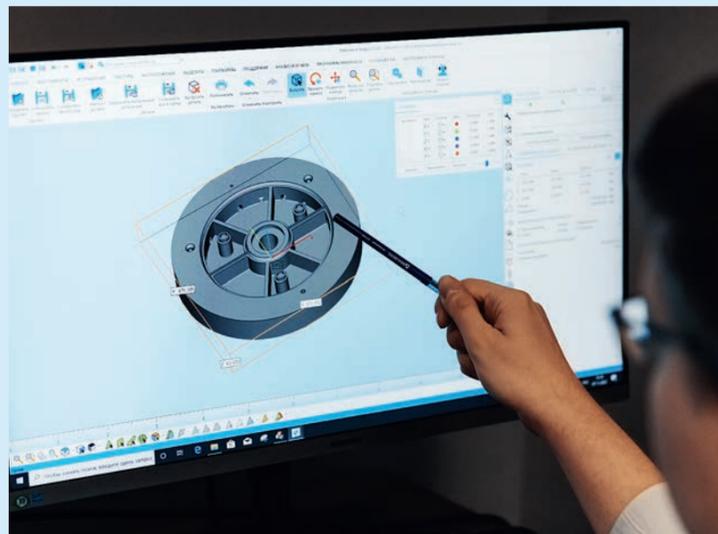
Мы сами заинтересованы, чтобы российских комплектующих было больше, поскольку благодаря масштабу это приведет к снижению цены. Но, разумеется, предстоит пройти испытания, опытную эксплуатацию — и я надеюсь на оперативную и лояльную обратную связь разработчиков, чтобы мы совместно довели эти комплектующие до совершенства.

Что касается системы управления, на сегодняшний день все принтеры производства «РусАТ» оснащаются программным обеспечением собственной разработки. На данный момент ведутся работы по улучшению функционала и оптимизации. Основная задача разработчиков — сделать стабильный и простой в управлении принтер, не уступающий по качеству иностранным, а также российским внеотраслевым (вне контура Росатома) конкурентам.

Говоря об импортозамещении, добавлю, что и в этой работе важно учитывать коммерческую составляющую. У нас нет самоцели добиться исключительно российского изделия, нужно подстраиваться под требования заказчика и оперировать набором элементов, чтобы обеспечивать требования под разную специфику. С одной стороны, чем больше мы будем покупать российских лазеров и сканаторов, тем дешевле они будут становиться. С другой стороны, сложно конкурировать с доступными мировыми образцами, тем более что внешнеэкономическая работа с развитыми в технологическом отношении и при этом дружественными странами только развивается.

— Когда спрос на 3D-принтеры вырастет, в какой мере вы сможете опираться на возможности Росатома? Потребуется ли расширять кооперацию?

— У нас сегодня ведущая производственная площадка — это НПО «Центротех» в Новоуральске; в ближайшее время к производству принтеров подключится и ФГУП «Приборостроительный завод» в ЗАТО Трехгорный. По большому счету, для изготовления



**На фото**

Применение аддитивных технологий дает возможность оперативно решать конструкторские задачи в соответствии с потребностями заказчиков

3D-принтера надо качественно собрать раму и камеру шахты построения — для этого достаточно иметь заготовительную технологию, сварку, фрезерное оборудование. В условиях этих производств принтеры собираются и проходят первоначальную наладку и диагностику. Окончательная комплектация и наладка осуществляется уже в Москве, на площадке Московского завода полиметаллов, который входит в состав Топливной компании «ТВЭЛ». Для такого распределения задач есть ряд причин. Для качественной работы лазерных элементов и сканаторов необходима их настройка с микронной точностью. Заказчик желает присутствовать на процессах наладки, испытаний и сдачи, выращивания первых деталей, а Новоуральск и Трехгорный далеко и не рассчитаны на регулярные визиты гостей. Пока оборудование не вышло в серию, специалисты финальной наладки в дефиците, поэтому ключевой процесс сборки и наладки лучше контролировать непосредственно.

То есть собственно в производственных площадках проблемы нет. Но нам предстоит непростая задача по формированию своей сервисной службы, поскольку скоро наши изделия окажутся в условиях действующих производств у заказчиков. У нас уже четыре принтера на гарантийном обслуживании, а скоро добавятся еще семь. Сервисным инженерам предстоит ездить по стране, обеспечивать работоспособность машин в гарантийный и постгарантийный период. При этом подготовленный сервисник должен досконально разбираться в машине, а для этого лучший способ — предоставить ему возможность собрать несколько принтеров, вначале на площадках в наших ЦАТОД, а затем пройти процесс финальной отладки уже в Москве. Такая подготовка займет до полугода, но именно она позволит нам вырастить нужных сервисников, способных обеспечить быстроту обслуживания и работающих самостоятельно. Возможность организовать

качественный сервис, в том числе для стратегических предприятий, — одно из наших конкурентных преимуществ.

— Каковы востребованные направления, не связанные с металлом? В контексте задач Росатома говорят и о биотехнологиях, и о задачах по строительству, и о других задачах.

— Я уже упоминал направление по печати электронных плат. Интерес, наряду с металлическим направлением, представляет работа с керамикой. Технология очень сложная, изделия требуют существенной постобработки, но и возможности таковы, что потенциальные заказчики глубоко заинтересованы в освоении аддитивного метода. Ежегодно в мире пока продается значительно меньше таких машин, по сравнению с машинами по металлу, но интерес к направлению большой.

Строительное направление тоже может быть востребовано, и мы изучаем несколько вариантов партнерства. В частности, приглашали на нашу конференцию в Нижнем Новгороде представителей фирмы-стартапа, которые в демонстрационных целях уже напечатали здание на Черноморском побережье, а теперь сосредоточены на малых архитектурных формах (для них не требуется прохождение сложной строительной экспертизы). Видим, что эта технология активно развивается за рубежом; там тоже видны проблемы с сертификацией зданий, поэтому активно платежеспособного спроса, такого как в машиностроении, у этого направления нет.

Есть и другие задачи, в том числе актуальные для атомной отрасли, которые можно реализовать с использованием аддитивных технологий. Например, из зарубежных источников мы знаем, что есть опыт печати даже изделий из урана. Многие из таких направлений подхватывают в других отраслях: например, биопринтинг — печать органов — интересует ученых МИСиС, хотя это институт стали и сплавов.

— В заключение хотел бы вернуться к вашему опыту управления НПО «Центротех», где формировалась основа проекта аддитивных технологий. В какой мере этой работе помог режим ТОР — экономических преференций, которые действуют в большинстве ЗАТО и моногородов присутствия Росатома?

— Режим территории опережающего развития позволяет повысить эффективность бизнеса за счет налоговых льгот: легче создавать рабочие места, расширять производство, и это, безусловно, плюс. Но при работе на уровне бизнес-интегратора надо учитывать, что эта помощь не должна оставаться только на уровне предприятия — важно снижение стоимости изделий. Предприятия, которые пользуются льготами, должны рассматривать себя в симбиозе с отраслью. Тогда и вся отрасль будет получать максимальный эффект от льготных режимов, будь то промышленные кластеры, ТОР или индустриальные парки.

# Центры притяжения

*Росатом развивает сеть Центров аддитивных технологий общего доступа*

**Центры аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД) — это демонстрационно-технологические производственные площадки, которые предлагают комплексное решение по организации аддитивного производства для демонстрации возможностей технологий 3D-печати.**

**Задачи ЦАТОД:**

- оказание услуг печати изделий различной сложности и различных объемов;
- решение конструкторских задач, а именно проектирование и оптимизация изготавливаемых деталей в соответствии с потребностями заказчиков;
- демонстрация возможностей аддитивных технологий потенциальным заказчикам как внутри отрасли, так и вне контура госкорпорации «Росатом»;
- выполнение сборки, пусконаладочных работ, испытаний и усовершенствование опытных образцов аддитивного оборудования, разрабатываемых компанией «Русатом — Аддитивные технологии» в рамках различных НИОКР;
- создание образовательных программ по направлению аддитивного производства, обучение и повышение квалификации персонала.

**В настоящее время открыты три производственных центра:**

- в Москве на базе интегратора ООО «Русатом — Аддитивные технологии», где идет разработка аддитивного оборудования и проводятся научные и научно-технические исследования;
- в Новоуральске Свердловской области на базе ООО «НПО «Центротех», где предоставляются коммерческие услуги по 3D-печати;
- в Нижнем Новгороде на базе АО «ОКБМ Африкантов», где отрабатываются технологии, за счет чего существенно ускоряется внедрение аддитивного производства в атомной промышленности.

В планах — реализация проекта по созданию образовательных ЦАТОД на базе опорных вузов Росатома в разных регионах страны.

**Образовательные ЦАТОД позволяют:**

- проводить НИОКР по направлению «Аддитивные технологии»;
- популяризировать аддитивные технологии среди молодежи;
- вывести обучение специалистов в сфере аддитивных технологий на новый технологический уровень, создать кадровый резерв;
- обеспечить доступность аддитивных технологий для широкого круга потребителей как на локальном, так и на федеральном уровне.

**Технологическая цепочка ЦАТОД**

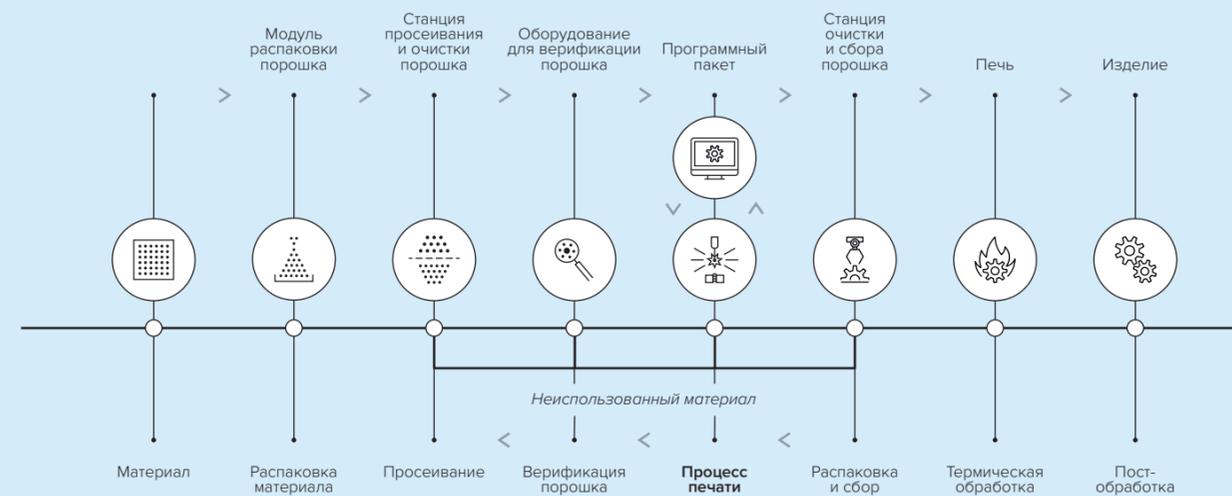


Фото: АО «ТВЭЛ», ООО «Русатом — Аддитивные технологии», редакция газеты «Страна Росатом» / Алексей Башкиров, Артем Зайцев

# Печатая будущее

Сеть ЦАТОД обеспечит доступность продуктов и услуг 3D-печати для широкого круга заказчиков



1



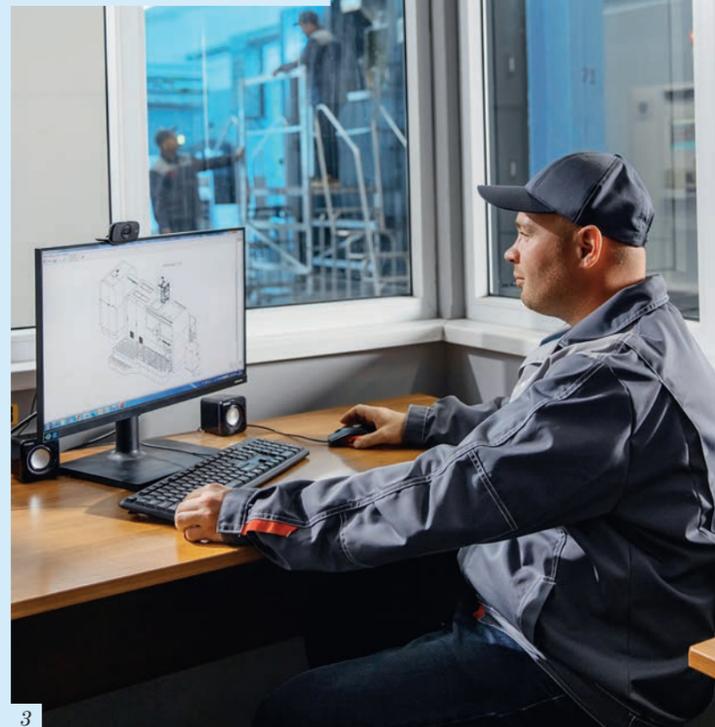
2

1. Демонстрация возможностей аддитивных технологий в ЦАТОД НПО «Центротех» в Новоуральске

2. Аддитивное производство — практически безотходное, так как дает возможность сразу напечатать изделие необходимой формы

3. 3D-печать осуществляется в соответствии с предварительно разработанной компьютерной моделью изделия (ЦАТОД НПО «Центротех»)

4. Президент АО «ТВЭЛ» Наталья Никипелова на церемонии открытия первого Центра в Москве, 23 декабря 2020 года



3



4



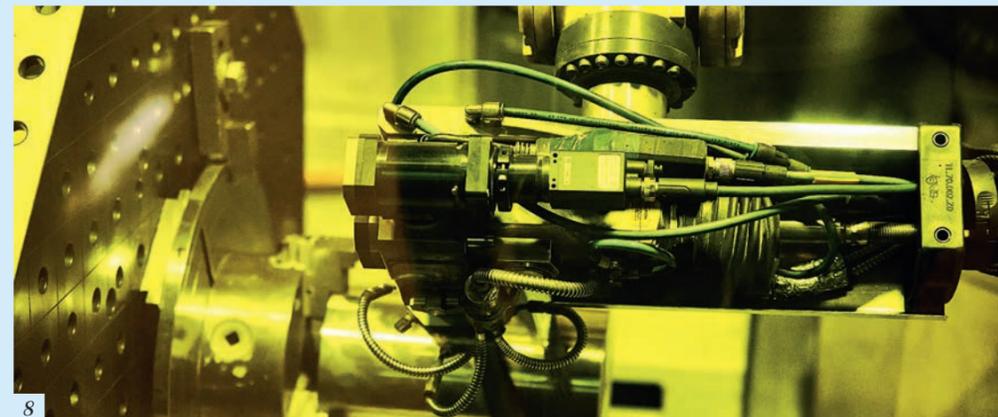
6



7



5



8

5. Принтер RusMelt 300M с размером рабочей камеры 300 на 300 мм на площадке ЦАТОД в Москве

6. Насосное оборудование реактора РИТМ-200 (ЦАТОД на площадке «ОКБМ Африкантов» в Нижнем Новгороде)

7. ЦАТОД в «ОКБМ Африкантов» открылся 3 февраля 2023 года. Его специфика — фокус на выполнении заказов предприятий Росатома, что ускорит внедрение технологий аддитивного производства в атомной промышленности

8. Оборудование для аддитивного производства — сложное и высокотехнологичное (часть одного из 3D-принтеров в ЦАТОД в «ОКБМ Африкантов»)

Текст: Ирина Дорохова  
 Фото: АО «ТВЭЛ», ООО «Русатом — Аддитивные технологии», АРАТ, редакция газеты «Страна Росатом» / Алексей Башкиров, фотобанк «Фотодженика»



## На пути к выращиванию реакторов

Как аддитивные технологии развиваются в России

Экспертной полнотой знаний о той или иной отрасли владеют профильные ассоциации, поэтому «Вестник атомпрома» обратился к исполнительному директору Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ) Ольге Оспенниковой с просьбой охарактеризовать текущее состояние аддитивного рынка России и обозначить ключевые тенденции, влияющие на положение дел на нем.

— Ольга Геннадиевна, для создания общей картины дайте, пожалуйста, экспертную оценку российского аддитивного рынка. Какие сегменты представлены в России?

— Российский рынок аддитивных технологий развивается довольно быстрыми темпами и в настоящее время достаточно сбалансирован. На рынке присутствуют различные производители оборудования для 3D-печати, производители материалов, центры аддитивных технологий, компании, оказывающие инженеринговые услуги в области аддитивных технологий, организации по разработке специализированного ПО. В России используют все основные материалы, что и во всем мире, — металлы, пластик, фотополимеры.

Исключение — строительный сегмент, потому что он в России находится в самом начале развития. Причины в ограничениях по применению 3D-печати для строительства зданий и сооружений. Они разные,

как естественные, так и административные: это и холодный влажный климат на большей части России, и особые требования к строительным смесям (обеспечение вязкости, высокая адгезия между слоями, нормированные сроки твердения, обеспечение устойчивости формы готового изделия), и ограниченная высотность объектов для 3D-строительства, и не до конца сформированная нормативная база. Однако ряд проектов по строительной 3D-печати существует, игроки на рынке инвестируют в это направление.

— В каких сегментах на российском аддитивном рынке представлен Росатом?

— Госкорпорация фокусируется в первую очередь на развитии промышленных систем 3D-печати металлами, а также на развитии сегмента металлических порошков различного состава. В контуре Росатома есть также предприятия, которые разрабатывают и выпускают 3D-принтеры для печати пластиком и другими материалами. Растет объем услуг НИОКР, которые выполняют предприятия Росатома как самостоятельно, так и вместе с бизнес-партнерами и научными организациями. Строительный сегмент Росатом пока не рассматривает как приоритетный и стратегический.

— Насколько Россия в целом импортнезависима в аддитивном сегменте?

— В России представлен довольно широкий номенклатурный ряд оборудования российского производства для аддитивной отрасли — 3D-принтеры с различными размерами рабочих камер, которые работают с разными сплавами. Есть и российские решения для трехмерной печати пластиком. Увеличение доли собственного производства — это тенденция: предприятия расширяют номенклатуру, совершенствуют и наращивают объем производства. За последние несколько лет российские производители серьезно продвинулись в создании 3D-принтеров. В частности, их выводит на рынок Росатом. В сегменте материалов Россия также наращивает собственное производство металлических порошков, пластиковых и фотополимерных материалов для 3D-печати, доля импорта снижается.

Конечно, текущая ситуация накладывает ограничения на поставку высокотехнологичного оборудования из США, Европы, Японии и других стран. Но рынок приспособливается: все большую роль начинают играть оборудование и материалы местного производства и поставки некоторых видов оборудования из Китая, Индии, Турции. Перебалансировка рынка идет, и мы полагаем, что компании из этих стран увеличат свою долю рынка. Российские компании также ведут себя активно, расширяют номенклатуру, совершенствуют и наращивают объемы выпуска материалов, поэтому и их доля увеличивается.

— Удовлетворяет ли внутреннее производство спрос?

— На российском рынке доминируют три основные технологии. Первая — PBF (Powder Bed Fusion — синтез на подложке), на ее долю приходится около 55% рынка. Вторая — DED (Direct Energy Deposition — прямой подвод энергии и материала), она занимает около 7% рынка. Третья — MEX (Material Extrusion — экструзия материала), на которую приходится более 24% рынка. В сумме, как мы видим, на них приходится более 85% всего российского рынка. Спрос на эти технологии может быть удовлетворен российскими компаниями и частично — поставками из дружественных стран.

А вот такие технологии, как VPP (Vat Photopolymerization — фотополимеризация в ванне), BJ (Binder Jetting — струйное нанесение материала), SHL (листовая ламинация), BIO (3D-биопечать), в меньшей степени освоены российскими производителями. Поэтому, чтобы удовлетворить спрос на них, следует ориентироваться на импорт из дружественных стран.

— Каков объем российского рынка в денежном выражении?

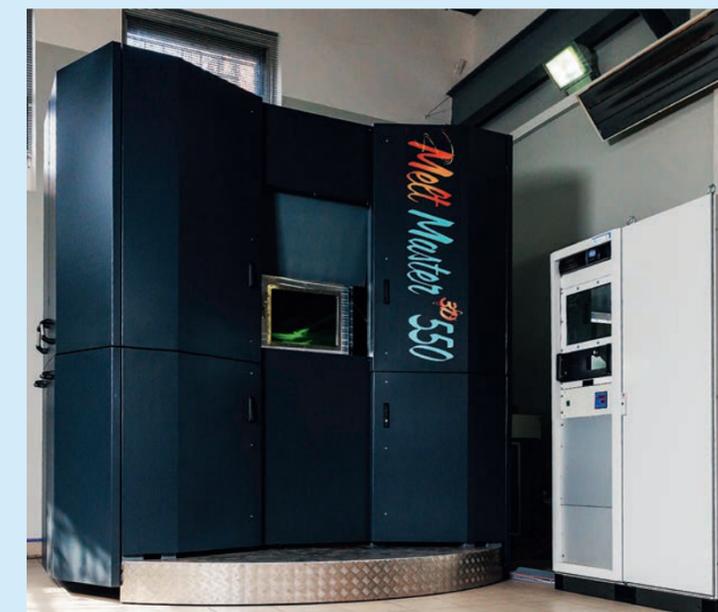
— В настоящее время объем российского рынка аддитивных технологий составляет порядка 6 млрд рублей. Из них примерно 2,5 млрд рублей приходится на оборудование для 3D-печати и комплектующие, 1,2 млрд рублей — на материалы и около 2,3 млрд рублей — на услуги 3D-печати. И, как видите, услуги — это ощутимая часть рынка.

— А каков объем мирового аддитивного рынка?

— Приведу данные наиболее авторитетной и известной консалтинговой компании в аддитивном сегменте, Wohlers Associates, которая ведет

На фото

3D-принтер разработки ЦНИИТМАШ





На фото

Металлический порошок производства НПО «Центротех»

мониторинг и выполняет ежегодные исследования мирового рынка аддитивных технологий. По их информации, общий объем продуктов и услуг по направлению «аддитивные технологии» в мире в 2021 году составил \$15,2 млрд. Это на 19,5% больше, чем в 2020 году. По итогам 2022 года рост продолжился, прирост по отношению к 2021 году составил 18,3%, в абсолютных цифрах объем рынка превысил \$18 млрд.

— Может ли Россия стать экспортером в аддитивном сегменте?

— Думаю, да. Если раньше безусловными лидерами в производстве оборудования для аддитивных технологий были Европа и США, то теперь мы видим быстрое развитие компаний в дружественных нам странах — Китае, Индии, других странах Азии, Латинской Америки. Промышленные 3D-принтеры многих китайских производителей имеют характеристики, аналогичные продукции компаний из США и Европы, то есть компетенции компаний из Китая существенно усилились за последние годы.

В Китай экспорт маловероятен, речь, скорее, может идти о создании совместных предприятий для локализации их продукции на территории России. А вот Индия и другие страны Азии вполне могут стать экспортным направлением. В качестве объектов поставок рассматриваются не только принтеры, но и комплекты с порошками. Напомню, в НПО «Центротех» налажено производство металлических порошков для 3D-печати, объем — до 20 тонн в год. Росатом расширяет номенклатуру порошков. На Чепецком механическом заводе планируется запуск производства порошков из титана и титановых сплавов, прежде всего ВТ6, и из жаропрочных материалов. Титановые сплавы широко применяются в судостроении и авиации. Жаропрочные, на основе никеля, например инконель, идут в газотурбинные двигатели беспилотников. Думаем, что увеличение объемов производства приведет к росту рынка порошков до 2 млрд рублей к 2030 году. В натуральном измерении рынок может превысить 70 тонн, из них почти половина будет приходиться на стальные порошки, а остальной объем распределится между жаропрочными и титановыми сплавами, кобальтом и алюминием. Поскольку оборудование для жаропрочных порошков может выпускать и нержавейку, при колебаниях спроса можно будет быстро подстроиться.

— Это значит, что на ЧМЗ появится новое производство?

— Да, проект одобрен, находится на стадии закупки оборудования. Уже выполнены предварительные строительные-монтажные работы, идет подготовка площадки. К концу этого года ЧМЗ планирует получить оборудование и начать его монтаж и наладку.

— Вы сказали, что Росатом выводит на рынок 3D-принтеры. Но от экспертов приходилось

слышать, что дальше пилотных образцов дело не движется. Когда Росатом выйдет на серийное производство?

— Во-первых, первая коммерческая поставка уже состоялась. В первом квартале этого года «РусАТ» продал «трехсотый» принтер, то есть машину с размером рабочей камеры 300 на 300 мм компании «СП «Квант» в Сколково. Сейчас там идет устройство площадки, принтер готовят к вводу в эксплуатацию. Во-вторых, на полноценное серийное производство Росатом выйдет уже в конце этого года. Интегратор набирает пул заказчиков, и первое «железо» уже запущено в работу. Поясню: с момента, когда чертежи поступают в работу, до полного готового к отгрузке принтера проходит месяцев восемь-девять.

— Сколько принтеров Росатом может выпускать в год?

— Мощности НПО «Центротех» позволяют выпускать порядка восьми машин в год. Если расширить узкие места, возможно, получится дойти до десяти. Кроме того, «РусАТ» договорился с ФГУП «Приборостроительный завод», будет размещать часть заказов у них. Уже идет проработка чертежей, некоторые детали запущены в работу. Также Росатом разрабатывает новые модели. Например, на выставке «Металлообработка-2023» была представлена уникальная установка, которую по заказу «РусАТ» и «ТВЭЛ» создала «Корабелка» — Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. Это двухроботовый принтер для прямого лазерного выращивания с диаметром рабочей камеры 2,5 м. Посетители увидели, как установка выращивала изделия из металлов прямо на выставке. Затем машина уехала обратно в Санкт-Петербург, чтобы на ней по заказу «ОКБМ Африкантов» выращивать изделия для реакторных испытаний. Это будет одно из первых применений синтезированных, то есть напечатанных на 3D-принтере, материалов в ядерной энергетике. Потом, ориентировочно в первом квартале следующего года, машина вернется в Москву, займет свое место в Центре аддитивных технологий, и на ней будет работать уже «РусАТ».

Также «РусАТ» совместно с РФЯЦ-ВНИИЭФ сейчас дорабатывает виртуальный принтер, это будет очень интересная история. Новый программный комплекс откроет широкие возможности для проектирования изделий, оптимизации конструкций и устранил сложности с компоновкой деталей на платформе и оптимизацией работы мультилазерных систем. Думаю, что где-то через полгода его уже начнут активно продвигать. Еще одна разработка — это машина, работающая по технологии селективного лазерного сплавления с рабочим пространством 600 мм по каждому измерению. Это опытный образец, он уже существует «в железе», «РусАТ» выявляет и устраняет недостатки, работает с ПО. Надеемся, что первый коммерческий образец

появится к концу 2024 года. Долго ли это? «РусАТ» идет по правилам разработки конструкторской документации, есть порядок с соответствующими ГОСТами, чтобы гарантировать покупателям надежность оборудования.

— Заказы уже есть?

— Да, формируется список. В частности, с авиастроителями есть некоторые договоренности по выращиванию крупногабаритных деталей. Поясню: одно из ограничений аддитивных технологий — это габариты. Нельзя вырастить бесконечно большую конструкцию. Например, для технологии селективного лазерного сплавления, или, иначе, синтеза на подложке, максимальный объем — куб со стороной 600 мм. Все, что больше, — уже поэлементное выращивание с последующей сваркой или иными способами соединения элементов в конструкцию. У прямого лазерного выращивания, когда в лазерную головку напрямую подается порошок либо проволока, не такие жесткие ограничения. Хотя камера диаметром 2,5 м — самая большая, установок такого размера в мире единицы. Но мы планируем с «Корабелкой» идти дальше и создать принтер, на котором можно выращивать детали до 4 м. В нем уже будет шесть роботов. Для него интегратор также собирает заказы, это перспективный проект на несколько лет вперед.

Цифры

~6 млрд руб.

составляет в настоящее время объем российского рынка аддитивных технологий

18%

составил прирост мирового рынка аддитивных технологий в 2022 году по отношению к 2021 году, превысив \$18 млрд (по данным консалтинговой компании Wohlers Associates)

>120

организаций

в России развивают у себя аддитивные технологии (согласно опросу APAT в 2022 году)

— Уже можно небольшой реактор построить...

— Да, по сути, на это и ориентируются. В феврале проходило крупное отраслевое мероприятие в Нижнем Новгороде, там были Кирилл Борисович Комаров, руководители дивизионов. И представители «ТВЭЛ» и «РусАТ» в своих презентациях стремились донести до конструкторов, что такое аддитивные технологии. Интерес был очень большой, и «Гидропресс» даже вышел с инициативой попробовать широко применить аддитивные технологии для выращивания реакторов малой мощности.

— Можно ли говорить о том, что аддитивные технологии постепенно выходят на массовый рынок?

— Если говорить о крупных игроках, то, например, предприятия Росатома и «Ростеха», а также некоторые ведущие научные и промышленные организации в России уже активно используют аддитивные технологии в научно-исследовательской и производственной деятельности. С помощью 3D-принтеров можно быстро и недорого создать, например, прототип.

Но главное, на мой взгляд, в том, что аддитивные технологии уже перестали быть «дорогой игрушкой» и заняли достойное место среди ключевых технологий цифровой промышленности. Стадия неприятия уже прошла, конструкторы с интересом смотрят на аддитивные технологии, так как они экономят материал, время, снижают риск ошибок. Конечно, нет смысла выращивать какой-то вал простой конфигурации с помощью аддитивных технологий. Такую деталь проще выточить из прутка, и это займет мало времени и не потребует создания специальной оснастки. Аддитивными методами есть смысл выращивать детали со сложной конструкцией внутренних

полостей, которые делаются сейчас из, условно, 15 отдельных частей. Их потом соединяют, например сваривают, просто потому, что внутренние каналы никак по-другому не оформить. А аддитивные технологии позволяют вырастить деталь целиком, убрав максимум соединений, которые требуют дополнительной работы и снижают ресурс, потому что все-таки любая сварка — это снижение прочностных характеристик. И если посчитать в целом трудоемкость, то аддитивные технологии позволяют сократить время изготовления деталей в десятки раз. Деталь традиционным способом, например литьем с механообработкой, изготавливается несколько недель, а аддитивными методами — дней 10–15. Надо также учитывать выход в годное: у традиционных методов он может быть очень низким, порядка 30%, остальное — в отходы или на переплавку. Но даже при возврате в процесс — в деталь уже вложены деньги, энергия, время, труд, материал. С учетом всех факторов аддитивные технологии дают очень серьезную экономию.

Еще один момент: можно поспорить об использовании аддитивных технологий для старых, уже освоенных в изготовлении изделий, но для новых синтезирование дает еще и сокращение затрат на стадию подготовки производства, то есть изготовление технологической оснастки, пресс-форм, штамповой оснастки. Все это уходит, остается только работа программиста, технолога, подготовка порошковых материалов или проволоки, после чего следует собственно выращивание деталей достаточно большого объема всего за две недели.

Кроме того, не надо воспринимать 3D-печать только как инструмент для производства образцов. Технология масштабируема. Если у вас есть одна машина, то можно поставить вторую, и они будут выращивать одинаково, обеспечивая повторяемость. Например, если «РусАТ» поставит «трехсотый» принтер, то и десять таких принтеров будут обеспечивать те же режимы.

— Ассоциация объединяет ключевых игроков отрасли. Назовите их, пожалуйста.

— Когда мы создавали Ассоциацию развития аддитивных технологий, то пригласили самых крупных игроков. Это Росатом в лице «Русатом — Аддитивные технологии», «Роскосмос» в лице НПО «Техномаш», «Ростех» в лице Центра аддитивных технологий. Кроме интегратора, от Росатома вошли ЦНИИТМАШ и НПО «Луч». ЦНИИТМАШ — потому что это головной материаловедческий институт, и его специалисты нужны в Ассоциации, чтобы давать экспертную материаловедческую оценку. Одной из последних разработок НПО «ЛУЧ» является трехосевой лазерный сканатор для российских 3D-принтеров по металлу. «РусАТ» же больше нацелен на создание и продажу оборудования, на программное обеспечение. Но на той отраслевой сессии, о которой я говорила выше, Кирилл Борисович Комаров дал поручение проработать возможность зонтичного участия отраслевых предприятий, чтобы привлечь конструкторов,

«Аддитивные технологии уже перестали быть «дорогой игрушкой» и заняли достойное место среди ключевых технологий цифровой промышленности. Конструкторы с интересом смотрят на аддитивные технологии, так как они экономят материал, время, снижают риск ошибок».

чтобы Росатом был представлен зонтиком предприятий. Мы уже начали с госкорпорацией это поручение прорабатывать, но пока окончательного решения нет. Но в целом Ассоциация — это не чисто отраслевая история. Мы ее создавали, чтобы она объединила максимальное количество различных отраслей, чтобы знать и сообща решать проблемы всех предприятий.

— Какие, например?

— Например, во всех отраслях есть проблема сертификации. Суть ее заключается в том, что сейчас каждый сертифицирует конкретную деталь в конкретном изделии. Скажем, вырастили форсунку, поставили ее в двигатель — провели аттестацию, оформили весь объем нормативной документации, получили разрешение на применение и запустили в серию. Так, например, действуют сейчас авиаторы. Мы же ставим вопрос о сертификации самой аддитивной технологии и материалов, используемых в этой технологии. То есть нужно сертифицировать не изделие, а технологическую цепочку и создать для нее нормативную базу, чтобы конструкторам было проще принимать решения об использовании выращенных деталей в том или ином изделии.

Конечно, специфика в разных отраслях есть и будет. Чтобы учесть все тонкости, в Росатоме создана рабочая группа, в которую вошли ключевые разработчики изделий и интеграторы. И она выработала стратегию, каким образом в отрасли будут широким фронтом внедряться аддитивные технологии. Эта стратегия — не столько регламентированный документ, сколько план действий под контролем рабочей группы. Начинаем мы, безусловно, с более простых, ответственных деталей, на которые не нужно оформлять большой объем документации. Для каждого изделия выбираем набор таких деталей, начинаем их выращивать, постепенно нарабатывая опыт по изготовлению, эксплуатации, по характеристикам материалов, ведь у каждого материала огромное количество физико-механических свойств, которые зависят также от установки, на которой происходит выращивание.

И таким образом постепенно будет формироваться база данных свойств материалов изделий, выращенных при помощи 3D-печати.

— Поясните, пожалуйста, для чего нужна эта база данных.

— Есть порошок нержавеющей стали, у него есть какие-то свойства. Как только мы вырастили из него деталь, он приобрел свойства монолитного материала. И у нас есть такая же деталь, изготовленная отливкой или деформированием. Их свойства известны давно. А свойств синтезированного материала у нас нет. Поэтому конструктор спрашивает: «У меня есть отливка и есть штамповка, а у вас что? Оно лучше, хуже, насколько?» И нарабатываемая база данных свойств материалов готовых деталей должна снимать сомнения конструкторов в возможности их применения.

— Сертификация идет в этом направлении?

— Совершенно верно. Идя от простых, постепенно в отрасли начинают оформлять документы на более сложные детали, потому что на них требуется гораздо больший объем доказательной документации. И так будет нарабатываться общая база данных. В итоге, как мы надеемся, накопление данных позволит нам сократить срок испытания реакторных материалов с существующих 30 лет до двух.

— Звучит как революция.

— А у нас задача такая. Возвращаясь к работе Ассоциации: мы хорошо знаем, что происходит в авиации, в судостроении, поэтому сейчас на нашей площадке, учитывая опыт этих и других отраслей, пробуем сформировать единую политику на уровне Минпромторга с привлечением Росстандарта и разрешительных органов. В частности, мы планируем проведение крупного мероприятия с Минпромторгом на базе ВНИИ «Центр», это совет главных конструкторов предприятий ОПК. Хотим пригласить на него специалистов из Росатома, из «Ростеха», чтобы они рассказали главным конструкторам, металлургам и технологам

На фото

3D-печать дает возможность выращивать изделия со сложной конструкцией внутренних полостей, которые другими методами изготавливаются из отдельных частей. Это позволяет сократить время изготовления в десятки раз



«Мы ставим вопрос о сертификации самой аддитивной технологии и материалов, используемых в этой технологии. То есть нужно сертифицировать не изделие, а технологическую цепочку и создать для нее нормативную базу, чтобы конструкторам было проще принимать решения об использовании выращенных деталей в том или ином изделии».

об уже полученном опыте. И хотим рабочую группу, аналогичную той, которая уже есть в Росатоме, создать на базе совета главных конструкторов для того, чтобы посмотреть на их проблематику. Такую работу мы планируем начать во втором квартале этого года.

— Среди отраслей, где используются аддитивные технологии, вы назвали судостроение, авиастроение, энергетическое машиностроение. А станкостроение? Создать 3D-печатью станок или детали для него реалистично?

— Да, вполне. Росатом развивает и это направление — как реверс-инжиниринг. Сейчас в России много зарубежного оборудования, для которого не поставляются комплектующие, запчасти в дефиците. И уже есть опыт работы с теми, кто эксплуатирует металлообрабатывающее или прокатное оборудование. Берется деталь, на которую нет никакой конструкторской документации, она оцифровывается, для нее строится математическая модель, и уже дальше по этой модели выпускается комплект конструкторской документации, и деталь изготавливается. Конечно, она может быть изготовлена не только с помощью аддитивных технологий, это может быть комплексное производство: что-то напечатано, что-то изготовлено традиционными методами. Сейчас это очень востребовано. Думаю, что санкции и запрет поставок положительно скажутся на применении аддитивных технологий в России. Ассоциация тоже в эту работу включилась. Мы планируем на нашем сайте сделать что-то вроде маркетплейса, чтобы аккумулировать запросы различных предприятий, не только членов Ассоциации, и смотреть, где можно те или иные детали изготовить. Сейчас идет финальная дошлифовка, личные кабинеты уже находятся в опытной эксплуатации. В первом полугодии этого года, думаю, маркетплейс уже будет работать.

— Кроме сертификации, какие еще проблемы есть в аддитивной отрасли?

— Как у всех — недостаток высококвалифицированных конструкторов и технологов. Они должны объединять компетенции материаловеда и программиста, потому что технология в 3D-печати перекладывается на программный код для принтера. Чтобы решить эту проблему, создаются центры аддитивных технологий в вузах. Мы эту работу ведем с казанским КНИТУ-КАИ, Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом и Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого. Идея в том, чтобы студенты выполняли не абстрактные лабораторные работы, а реальные заказы от промышленности, а преподаватели повышали квалификацию благодаря сотрудничеству с технологами и инженерами предприятий.

Еще одна проблема — нехватка средств у предприятий на закупку 3D-принтеров. В ее решении и стимулировании спроса мы, считая, неплохо продвинулись — с участием Ассоциации был разработан федеральный проект по развитию станкоинструментальной промышленности. В нем участвовали более 400 экспертов — производители оборудования, научные учреждения, заказчики. Мы предложили несколько мер господдержки. Первая — поддержка НИОКР, нацеленных на создание не только оборудования для аддитивного производства, но и комплектующих к нему. Вторая мера — субсидии на закупку 3D-принтеров с учетом индивидуальных требований заказчика, чтобы он был уверен, что за государственные деньги, за которые ему придется отвечать, он получит то, что действительно поможет решить его проблемы.

— Какие тенденции проявляются на аддитивном рынке России?

— Если говорить об оборудовании, то мы видим увеличение доли промышленных систем для работы с металлами: их доля достигла почти 60%. Аналогично

доля металлических порошков в общем объеме всех материалов для 3D-печати выросла до 65%. Это значит, что предприятия все активнее внедряют аддитивные технологии для работы с металлами.

Еще одна тенденция — рост спроса на выращивание крупногабаритных изделий. Думаю, что на маленьких принтерах уже наработан определенный опыт изготовления деталей и уже, наверное, хочется идти в большие габариты. А это говорит о том, что появился вкус к аддитивным технологиям. Например, в авиации производители смотрят уже на кронштейны для креплений крыла, там же много поворотных устройств, они сложной конструкции. И за счет применения аддитивных технологий конструкторы видят большой потенциал для снижения веса. Можно применить так называемый бионический дизайн и топологическую оптимизацию. Суть в чем: берется деталь, изготовленная традиционным способом, с определенными габаритами и конфигурацией. Затем делается прочностной расчет для выявления наиболее и наименее нагруженных мест. С наименее нагруженных мест убирается лишний металл, и деталь приобретает более сложную, но и более оптимальную конструкцию, будучи практически равномерно нагруженной по всему объему. Это позволяет увеличить жизнеспособность детали, ее надежность в конструкции и косвенным образом ресурс ее работы в конструкции. Поэтому конструкторы хотят выращивать более сложные и габаритные детали.

Третьей тенденцией я бы назвала расширение числа отраслей, интересующихся возможностями 3D-печати. Интерес проявляют нефтегазовая отрасль, энергетика, автомобилестроение.

— Как, на ваш взгляд, будет развиваться аддитивный рынок в России?

— Мы видим два сценария развития. Первый — в соответствии с обновленной Стратегией развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года, разработанной Минпромторгом. Ассоциация как раз занимается ее актуализацией. Прогноз, заложенный в стратегии, — к 2030 году объем российского аддитивного рынка достигнет 13,2 млрд рублей. Но не исключено, что рост окажется куда более серьезным, учитывая соглашение, которое Росатом подписал с правительством России по дорожной карте «Технологии новых материалов и веществ». Если реализуется заложенный в дорожной карте инновационный сценарий, объем рынка вырастет до 23,5 млрд рублей. Конечно, мы рассчитываем, что реализуется именно он. Мы постоянно мониторим ситуацию, опрашиваем предприятия. Согласно прошлогоднему опросу мы видим, что уже более 120 организаций так или иначе развивают у себя аддитивные технологии. Мы также получили 339 запросов от предприятий по различным направлениям внедрения аддитивных технологий. Поэтому считаем, что шансы на ускоренный рост рынка вполне реалистичны.

На фото

Представленная в мае 2023 года Установка ПЛВ (совместная разработка Росатома и ИЛИСТ) позволяет выращивать изделия высотой до 1 м и длиной и шириной до 2,2 м из порошков нержавеющей и жаропрочных сталей и никелевых сплавов



Текст: Ирина Дорохова

Фото: редакция газеты «Страна Росатом» / Алексей Башкиров

## 3D-печать в большом формате

Как аддитивные технологии меняют машиностроение и металлургию

**На форуме «Металлообработка-2023», прошедшем в Москве 22–26 мая, одной из ключевых тем стало развитие аддитивных технологий в России. Участники отрасли рассказывали о своих достижениях, основных проблемах и путях их решения, государственной политике и направлениях господдержки в этой области.**

### Роль государства

О госполитике в области аддитивных технологий на форуме рассказал заместитель директора по технологическому развитию госкорпорации «Росатом» Дмитрий Иванец. Он напомнил, что еще в 2019 году Росатом подписал соглашение с правительством РФ по направлению «Технологии новых материалов и веществ», одной из составляющих которого являются аддитивные технологии. В рамках направления была разработана дорожная карта, где были указаны сроки, ресурсы, мероприятия, планируемые результаты.

В сентябре прошлого года на совещании у вице-преьера Андрея Белоусова концепцию соглашения и дорожную карту пересмотрели. Во-первых, было определено, что государство будет предоставлять половину финансирования в рамках направления. Причина — высокие риски и затраты. Российскому бизнесу, даже такому крупному, как госкорпорация, они не под силу.

Во-вторых, соглашения станут открытыми. Это значит, что любая компания или организация (например, научная) может присоединиться к соглашению, взяв на себя обязательства по развитию того или иного продукта в обмен на господдержку.

В декабре 2022 года актуализированную дорожную карту по новым материалам и веществам утвердила коллегия Военно-промышленной комиссии РФ. В январе 2023 года гендиректор Росатома Алексей Лихачев и глава Минпромторга Денис Мантуров подписали соглашение о намерениях по разработке более ста продуктов в четырех сегментах (композиты, редкие и редкоземельные металлы, аддитивные технологии и цифровое материаловедение). Кроме того, готовятся два соглашения с Центрами НТИ в Новосибирском государственном университете и Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана. Основные положения госполитики заданы в Стратегии развития аддитивных технологий в РФ на период до 2030 года, принятой в июле 2021 года. Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ) консолидирует усилия участников аддитивного рынка, участвует в разработке регулирующих документов, обеспечивает экспертное сопровождение проектов.

Участники сессий много говорили о направлениях господдержки аддитивной отрасли. Так, один из механизмов обеспечивается постановлением правительства № 162 («Об утверждении Правил разработки,

утверждения, реализации, корректировки и завершения комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла в целях обеспечения реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации»). По словам Дмитрия Иванца, механизм работает, проекты на паритетной основе финансируются Минобрнауки и коммерческими организациями. Министерство оплачивает НИОКР, компании берут на себя обязательства по коммерциализации полученных результатов интеллектуальной деятельности. Опыт применения этого механизма уже есть в «соседнем» сегменте: запущен научно-технический проект по композитам, сейчас он находится на утверждении в правительстве.

Кроме того, с 2024 года начнется госфинансирование комплексной программы, которая стала ядром дорожной карты. В разработке программы участвовали АРАТ, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), Концерн ВКО «Алмаз — Антей», Курчатовский институт и предприятия Росатома. «Мы считаем, что поддержка государством этой программы даст серьезный толчок к развитию аддитивного направления», — заявил Дмитрий Иванец.

Участники встречи согласились, что эффективной мерой стала бы поддержка заказчиков 3D-принтеров. Так будет создан платежеспособный спрос, и это уже с помощью рыночных механизмов будет стимулировать производителей принтеров. Впрочем, им господдержка, по мнению участников форума, тоже не помешала бы.

В этом году разработан федеральный проект по развитию станкоинструментальной промышленности, в которой большим блоком представлены аддитивные технологии. Проект уже одобрен председателем



правительства, ожидается официальное утверждение. Участники аддитивного рынка надеются, что федеральный проект поддержит отрасль.

**Направления работы**

Как сообщил гендиректор «РусАТ» Илья Кавелашвили, компания (отраслевой интегратор в области аддитивных технологий) ведет работу в трех направлениях. Первое — НИОКР по созданию продуктов, материалов, оборудования и печати. Это направление финансируется из федерального бюджета в рамках программы развития техники, технологий и научных исследований и за счет средств госкорпорации в рамках Единого отраслевого тематического плана. Итоги этой работы — продукты с уровнем зрелости TRL 6. Один из индикаторов успешности направления — количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности, поэтому «РусАТ» уделяет большое внимание патентам.

Второе направление — инвестиционные проекты в рамках отраслевой стратегической программы. «РусАТ» — ее оператор. Главная задача программы — серийный продукт с уровнем зрелости TRL 9. Еще одна задача направления — создание необходимой инфраструктуры.

Третье направление — внедрение аддитивных технологий на предприятиях, прежде всего отраслевых. Как сообщил Илья Кавелашвили, уже более 20 предприятий Росатома в той или иной мере применяют аддитивные технологии в производстве. «Как мы идем на предприятия: у нас есть ежегодный план проведения технологических аудитов, мы в 2022 году провели аудит 12 предприятий, в этом году — 10. Специалисты «РусАТ» выезжают на производства и помогают конструкторам и технологам найти точки входа и применения аддитивных технологий. Где-то получается сразу, и появляются пилотные проекты. Где-то история более сложная, так как требуется доработка конструкторской документации. Эффект от этих аудитов очень хороший. Может, не так быстро, как хотелось бы, но все предприятия,

где мы побывали, в той или иной мере начинают внедрять аддитивные технологии», — рассказал Илья Кавелашвили. Кроме того, «РусАТ» работает над созданием Центров аддитивных технологий общего доступа. В феврале такой открылся в нижегородском «ОКБМ Африкантов».

Работа, которая ведется в рамках всех трех направлений, — подготовка кадров. Вместе с АРАТ и Технической академией Росатома «РусАТ» разработал программу обучения аддитивным технологиям. В нее входят базовый курс для руководителей и специализированный курс для конструкторов-технологов. В прошлом году обучение прошли около 50 человек, на этот год подано более 100 заявок. «Программа уже пользуется популярностью, другие корпорации просят ее у нас для обучения своих специалистов», — отметил Илья Кавелашвили.

Специалистов пока не хватает. Одна из причин — недостаточный объем бюджетного набора студентов. Как сообщил ректор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) Глеб Туричин, в университете только 15 бюджетных мест по специальности «цифровые лазерные и аддитивные технологии». По его словам, для удовлетворения потребностей страны необходимо выпускать 60 специалистов в год.

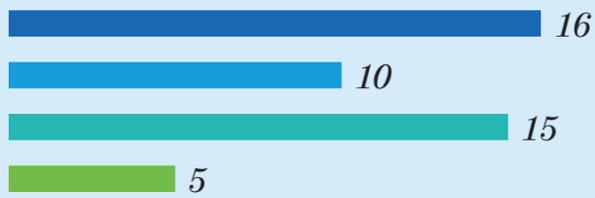
**Аддитивные технологии «в железе»**

О разработках оборудования и изготовлении изделий аддитивными методами на сессиях в рамках выставки рассказывали представители «Ростеха», «Роскосмоса», Росатома. Так, в прошлом году в Росатоме заработала установка ЭЛУНП. Ее особенность — возможность работать в вакууме. «РусАТ» ведет переговоры об экспортном заказе на две такие установки, до середины июня должна быть готова конкурсная документация.

Также в Росатоме разрабатывают и производят свои лазеры и сканаторы. Так, НПО «Луч» разработало и изготовило трехосевой лазерный сканатор, представив его в марте этого года на выставке «Фотоника-2023. Мир лазеров и оптики». Сканатором комплектуются установки, работающие по технологии селективного лазерного сплавления (SLM). Опытные образцы уже прошли испытания, и первый серийный 3D-принтер, созданный «РусАТ», оснащен именно этим сканатором.

Гордость «РусАТ» — самый большой в России DMD-принтер (Установка ПЛВ), который компания представила на выставке. Это совместная разработка специалистов Росатома и Института лазерных и сварочных технологий (ИЛИСТ), который входит в СПбГМТУ. Принтер позволяет выращивать изделия высотой до 1 м и длиной и шириной до 2,2 м из порошков нержавеющей и жаропрочных сталей и никелевых сплавов. Можно даже сочетать их, создавая мультиметаллические изделия, где тот или иной материал будет находиться в строго определенном месте.

**Количество внутриотраслевых проектов Росатома в аддитивном сегменте**



- Создание оборудования
- Создание и аттестация материалов для печати
- Создание центров аддитивных технологий и пилоты по печати изделий
- Создание специализированного ПО

**Цитата**

**Глеб Туричин**  
Ректор СПбГМТУ:

“

DMD-принтер — это первая установка, где два робота работают вместе, не мешая друг другу своими температурными полями

”

Принтер работает по технологии прямого лазерного выращивания (DMD). Суть ее такова: в принтер с помощью аргона подается металлический порошок, где он под воздействием лазера плавится. Робот подает расплав и, ведя головку в соответствии с заложенной программой, постепенно выращивает изделие. Работа ведется в аргоновой среде, чтобы металлы не контактировали с кислородом и азотом из атмосферы и не образовывали оксиды и нитриды, которые ухудшают качество изделия. Для непосвященного человека процесс выращивания похож на аккуратный трехмерный рисунок гелевой ручкой или тонким фломастером.

Главная особенность Установки ПЛВ — два шестиосевых робота, а не один, как обычно. Благодаря этому работа идет вдвое быстрее, принтер печатает со скоростью около 2,4 кг/ч. «Наше оборудование — чемпионы производительности, но изделие массой 9 тонн один робот делал бы примерно год и четыре месяца, а это долго. Пришлось решать задачу кратного увеличения производительности технологической установки», — рассказал Глеб Туричин. Решение, по его словам, лежало на поверхности — увеличить число работающих технологических инструментов — не один робот и лазер, а два. «Но надо было, чтобы они работали вместе, не оказывая друг на друга и на металл термического влияния. Крупногабаритное изделие сильно садится (сокращается в объеме. — Прим. ред.) в процессе выращивания, и надо смоделировать эту усадку, решив термомеханическую задачу. Мы попробовали. Не с первого раза, но научились это делать. Дальше эффект

можно масштабировать», — заявил ректор СПбГМТУ, а также директор и главный конструктор ИЛИСТ Глеб Туричин.

Принтер был изготовлен 11 месяцев назад, теперь проходят ресурсные и технологические испытания. Процесс, судя по промежуточным результатам, идет успешно. Так, на принтере было напечатано кольцо выгородки реактора ВВЭР, которое было представлено на выставке «Атомэкспо-2022». Также на нем напечатали фрагмент выгородки реактора ВВЭР-1200 высотой 1 м и массой 700 кг. Сейчас

**На фото**

Замдиректора департамента станкостроения и тяжелого машиностроения Минпромторга Александр Львов, ректор СПбГМТУ Глеб Туричин, гендиректор «РусАТ» Илья Кавелашвили и исполнительный директор АРАТ Ольга Оспенникова на презентации самого большого в России DMD-принтера (Установка ПЛВ)



изделие проходит материаловедческие испытания. К концу года все они, включая реакторные, должны быть закончены. Затем будет приниматься решение о полномасштабной печати выгордки. «Мы уже почти завершили сертификацию для использования машины для выращивания реакторов. Любой корпус реактора с габаритами меньше 2,2 м на 1 м машина делает вполне удовлетворительного качества», — заверил Глеб Туричин. Второй двухроторный принтер должен быть собран в этом или следующем году для работы в НИКИЭТ им. Н. А. Доллежала. Следующий этап — создание шестироторных машин.

Еще одно направление развития — виртуальный принтер, который, по словам Ильи Кавелашвили, должен стать помощником любого конструктора или технолога. Версия для селективного лазерного сплавления уже дошла до уровня зрелости TRL 6. «В этом и следующем году мы создаем DMD-версию, а дальше будем открывать проект по созданию готового продукта для предприятий», — сообщил глава «РусАТ».

Аддитивные технологии позволяют изготавливать изделия не только быстрее, но и дешевле. Так, фланец электрохимического генератора, разработанного НПО «Центротех», по традиционной технологии изготавливается семь-восемь месяцев, а с помощью печати с учетом финишной обработки — полтора месяца. При этом себестоимость напечатанного — вчетверо ниже.

Аддитивную печать пробуют и предприятия, производящие ядерное топливо. Пример — антидебризные фильтры, которые защищают твэлы в ТВС. Чтобы упростить производство (сейчас в каждом фильтре 40 деталей), их напечатали, после чего доработали документацию.

В прошлом году «РусАТ» напечатал импеллер, который применяется в технологическом процессе АО «Машиностроительный завод». Он успешно прошел опытные испытания, его внесли в конструкторскую документацию, и в этом году «РусАТ» получил заказ на серийную печать 52 изделий, их уже можно использовать.

### Статус-кво и тенденции российского аддитивного рынка

Все более глубокое проникновение аддитивных технологий в российскую промышленность — главная тенденция. Как отметил Глеб Туричин, аддитивные технологии незаметно превратились в действительность. И если в 2014 году, когда СПбГМУ начал заниматься 3D-печатью, для всех это была экзотика, то сейчас, когда множество изделий стали печататься серийно, становится очевидно, что это вовсе не только изготовление образцов, а технология, которую промышленность широко использует.

В освоении аддитивных технологий российские предприятия, по словам Ильи Кавелашвили,

преодолевают три барьера: «не знаю», «не хочу» (старое лучше, потому что и так работает и не требует усилий для внедрения) и «не могу» (нет денег, специалистов, оборудования и т. д.). «Пока еще продолжается период «бури и натиска», — подтвердил Глеб Туричин. — Использование аддитивных технологий несистемное, где-то прорывы вперед, а где-то люди чего-то ждут. А ждать не надо, потому что потом все ниши будут заняты». Ниша, которую занял ИЛИСТ, — крупногабаритные изделия массой в сотни килограммов и даже тонны. «Пока человечество не может просверлить что-то на глубину 1 м, чтобы сверло не ушло от оси. Соответственно, надо увеличивать расстояние между каналами охлаждения. Увеличили — теплообмен ухудшился. И оказалось, что аддитивная технология — наилучшее решение», — привел пример Глеб Туричин, говоря о внутриреакторных устройствах. Таким образом, вторая тенденция — это вхождение аддитивных технологий в тяжелое машиностроение.

Третья тенденция — появление в металлургии новой подотрасли, ориентированной на аддитивные технологии. Если сейчас для изготовления реакторов металлургии делают большие поковки, то в будущем понадобятся десятки и сотни тонн порошка. В Росатоме уже готовятся к технологическим изменениям и наращивают возможности порошковой металлургии. Как сообщил Илья Кавелашвили, в отрасли будут работать три установки. Одна, мощностью 25 тонн в год, в НПО «Центротех» — по выпуску порошков из нержавеющей стали. Еще одна, производительностью 50 тонн в год, будет установлена на ЧМЗ. Она сможет выпускать порошок из нержавеющей



и инконеля (семейство аустенитных никель-хромовых жаропрочных сплавов), переключаясь на тот или иной вид в зависимости от спроса. Там же будет работать и еще одна установка, которая будет производить титановые порошки. Мощность — также 50 тонн в год. «Если все наши планы будут реализованы, потребуются еще установки», — отметил Илья Кавелашвили.

Росатом — не единственный производитель порошков для аддитивной промышленности. Порошки из алюминия, например, уже производит «Русал», «Северсталь» также интересуется производством порошков. «Конечно, речь идет о небольших объемах, но некоторое перераспределение все же произойдет», — отметил Илья Кавелашвили.

Участники рынка оценивают объем потребления порошков для 3D-печати в России в 15 тонн, эта цифра будет расти. Правда, это не столько объем рынка, сколько объем производства: большинство производителей не продают порошок, предпочитая на месте производить из него изделия. «Прибавочная стоимость на изделия выше, чем на порошок. На примере Запада: если порошок стоит 40 евро, то изделие — уже 200. И в России довольно много предприятий, обладающих полным циклом производства: они и производят порошки, и выращивают изделия, и проводят постобработку. Такие предприятия есть, помимо Росатома, в контурах «Роскосмоса», «Ростеха», — рассказала начальник отделения металлических материалов и металлургических технологий компании «Композит» Алла Логачева.

Четвертая тенденция — активное нормотворчество, в частности, в системе стандартизации. Росатом разработал 17 госстандартов, касающихся материалов и оборудования для аддитивной отрасли, еще девять в работе. Идут процессы, нацеленные на то, чтобы разрешить использование напечатанных изделий в активной зоне реактора. Для этого создана рабочая группа, куда вошли главные конструкторы, представители заказчиков, которые потом будут эксплуатировать атомные станции, Ростехнадзор, изготовители изделий. «Надо будет провести реакторные испытания и понять, как излучение действует на деталь, изготовленную аддитивным способом. Мы должны доказать, что аддитивная технология как минимум не ухудшает, а может, и улучшает качества изделия. Мы осознаем, что путь этот непростой, мы его пройдем вместе с Ростехнадзором», — пояснил Илья Кавелашвили.

Подобный опыт АРАТ планирует распространить и на ОПК. «Думаю, что это откроет дорогу аддитивным технологиям в применении в различных отраслях промышленности», — заявила исполнительный директор АРАТ Ольга Оспенникова. В разных отраслях действуют разные системы сертификации и допусков, и АРАТ стремится к тому, чтобы подтверждения, полученные в одной отрасли, действовали и в других.

«Последние 20 лет сертификационная система строилась не для того, чтобы облегчить выход на рынок инновационных технологий, а для того, чтобы, на мой взгляд, превратить сертификацию в бизнес-процесс. А в таком варианте сертификация — процесс долгий и дорогой», — посетовал Глеб Туричин. — И так бы мы и жили, если бы не потребности прошлого года. А когда очень нужно, то все вспомнили, что генеральный конструктор имеет право своей подписью разрешить использование технологии, если он верит в ее результат. Так это сейчас и работает. Не будет сертификационная система нормально работать — технология продолжит развиваться. Системы не станет. Но, надеюсь, мы с вами увидим прозрачную, дешевую, быстро работающую сертификацию».

### На фото

Робот Установки ПЛВ, который подает в головку расплавленный под воздействием лазера металлический порошок и, ведя ее в соответствии с заложенной программой, постепенно выращивает изделие

### Цитата

**Илья Кавелашвили**

Генеральный директор «РусАТ»:

“

Мы идем в тяжелое машиностроение — от печати килограммами переходим к печати тоннами. Аддитивные технологии сэкономят нам большое количество материала, повысят производительность труда и качество наших изделий. У Росатома большая программа по их внедрению

”

Текст: Сергей Петровский

Фото: wikipedia.org, Европейское патентное ведомство (epo.org), РИА Новости, ICON Technology

# Аддитивная вселенная

Что умеют и где используются технологии 3D-печати

**Напечатать жилой дом или деталь размером в несколько микрон, протез, учитывающий индивидуальные особенности пациента, или костюм Железного человека — рассказываем, чему аддитивные технологии научились за 40 лет и что у них впереди.**

## 1. Сложение против вычитания

При традиционном изготовлении различных изделий, деталей (и даже некоторых произведений искусства) обработка осуществляется путем удаления частей заготовки: от куска исходного материала «вычитается» все ненужное, чтобы получить требуемую форму. Скульптор отсекает от глыбы мрамора все лишнее (эти слова приписываются Родену, который, возможно, повторил их за Микеланджело), примерно так же работают токари, фрезеровщики, штамповщики, при этом лишний материал идет в отходы. Использование же аддитивных технологий подразумевает создание трехмерных объектов путем послойного добавления материала с помощью специальных принтеров, то есть поэтапное выращивание готового изделия. Общее название группы технологий произошло от английского слова add — «добавлять» (или от латинского additio — «добавление»).

Многие считают, что 3D-печать — это противоположность всем стандартным методам производства

и обработки. Но, строго говоря, многие традиционные способы, такие как клепка, сварка, склеивание, привинчивание, тоже являются «аддитивными», так как при их применении происходит добавление отдельных частей для создания целого изделия. Поэтому для разграничения понятий стал применяться термин «субтрактивные методы производства», подразумевающий фрезеровку, сверление, шлифование, опилку и т. п. Использование аддитивных технологий противопоставляется именно таким способам.

## 2. Неоспоримые плюсы

Аддитивные технологии — важная часть перехода к следующему индустриальному укладу. 3D-печать имеет весомые плюсы. Во-первых, это быстрота изготовления: сложную деталь можно произвести за недели вместо месяцев или за дни вместо недель. Таким образом кардинально сокращаются время и затраты, например, при изготовлении прототипов изделий или пресс-форм для литья, а штучное производство приближается по цене к серийному. Во-вторых, можно говорить, что аддитивное производство — практически безотходное, так как сразу изготавливается изделие необходимой формы (при производстве некоторых деталей коэффициент использования материалов увеличивается на порядок). Бракованные изделия можно опять превратить в исходный материал, как в случае печати металлом. Третий плюс — отсутствие швов, стыков и соединений: с помощью аддитивных технологий можно получить изделия очень сложной формы с уникальными характеристиками, в том числе с сочетанием разных материалов в одной детали. Это особенно важно для автомобильной, авиационной и космической отраслей, где уменьшение веса изделия и улучшение технических характеристик имеет определяющее значение.

## 3. Весомые минусы

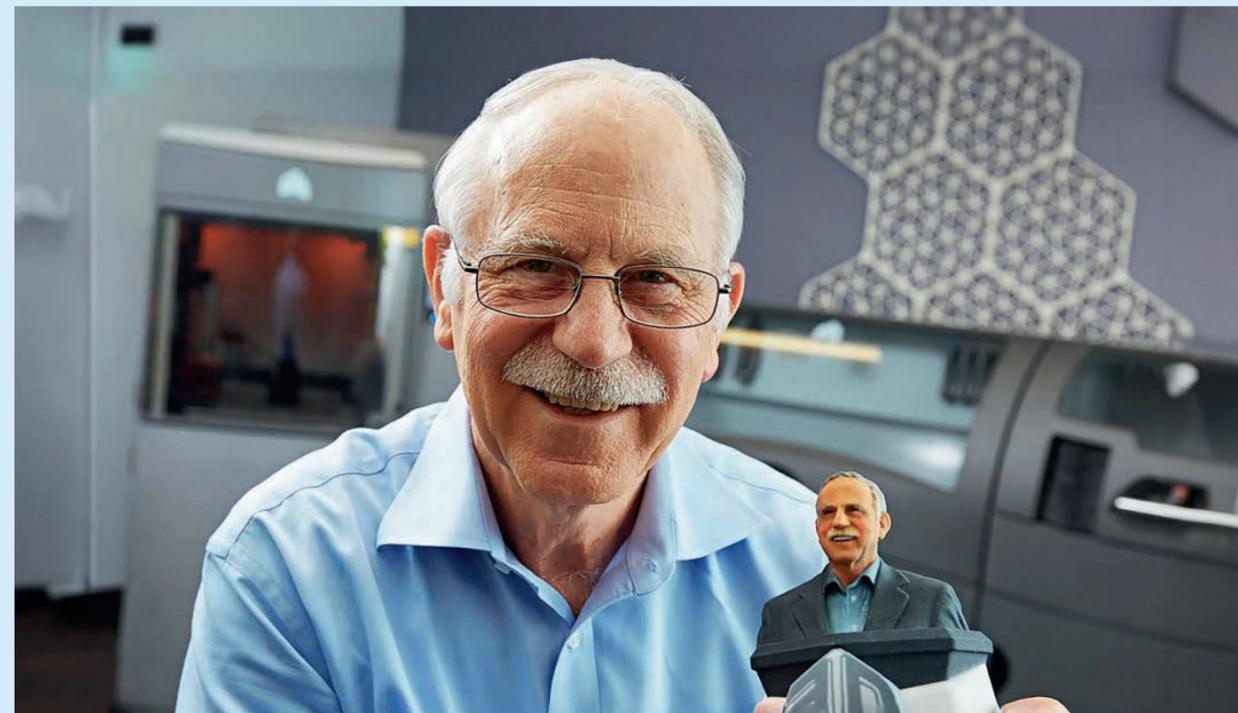
Может показаться, что светлое аддитивное будущее уже не за горами, но важно понимать, что не каждый бизнес имеет возможности интегрировать эти технологии в свои процессы, прежде всего в силу ограничений по спектру используемых материалов и размерам рабочих камер принтеров. Кроме того, это не всегда экономически целесообразно: основное препятствие для более широкого внедрения — высокая стоимость 3D-принтеров: в прошлом году цена оборудования для промышленного аддитивного производства составляла от \$300 тыс. до \$1,5 млн (по данным Data Bridge Market Research). Стоимость промышленных расходных материалов также высока. Поэтому аддитивные технологии в ближайшее время будут востребованы

### На фото

Архитекторы Майкл Хансмейер и Бенджамин Дилленбургер напечатали «Цифровой Гротеск II». Детали грота — отсылка к декоративной лепнине XVIII века



В 2014 году Чак Халл получил награду Европейского патентного ведомства за изобретение 3D-печати



и рентабельны там, где стоимость изготовления условного «килограмма готового изделия» наиболее высока, то есть в самых высокотехнологичных отраслях.

Среди других препятствий — нехватка профессионалов в аддитивной сфере (как разработчиков оборудования, так и производителей, готовых внедрять новые технологии), а также все еще достаточно высокий уровень недоверия специалистов к конечным характеристикам новых изделий и их неизменности в течение всего срока службы, особенно в наиболее ответственных отраслях, таких как тяжелое машиностроение. А некоторые экономисты даже считают, что дальнейшее развитие аддитивных технологий ведет человечество назад — к натуральному хозяйству, когда каждая семья не выходя из дома будет печатать себе одежду, предметы быта и даже еду, что негативно скажется на многих сегментах экономики.

## 4. Когда родилась 3D-печать

В начале 1980-х исследователи из Японии и Франции независимо друг от друга подали заявки для регистрации патентов на устройства, которые можно считать прообразами современных фотополимерных 3D-принтеров, однако никому из них не удалось доказать перспективность своих проектов и добиться их финансирования.

В патентной гонке победил американец Чарльз (Чак) Халл. Он работал в компании, которая занималась технологиями, связанными с ультрафиолетовым излучением, в частности с разработкой

светочувствительных полимеров. Проводя испытания очередного полимера, Халл решил попробовать последовательно формировать слои, отверждая их ультрафиолетом, чтобы создавать трехмерные изделия произвольной формы. Через несколько месяцев напряженной работы (а трудиться над своим проектом ему приходилось в свободное от основных обязанностей время) изобретатель сконструировал систему, в которой УФ-лампа освещала емкость с фотополимером. Код, передающий команды принтеру, Халл тоже написал сам. В 1983 году машина выдала первое изделие: за 45 минут аппарат создал небольшую, умещающуюся на ладони, чашу. Новая технология получила название стереолитография. В дальнейшем Халл выяснил, что для 3D-печати можно использовать любые постепенно затвердевающие материалы.

Патент Халл получил в 1984 году, а первый серийный 3D-принтер был выпущен в 1987-м. Несмотря на то что General Motors и Mercedes-Benz вскоре стали использовать стереолитографию для изготовления и испытания прототипов отдельных деталей, изобретение 3D-печати в то время не произвело революции в промышленности. Бурное развитие аддитивного производства началось только в XXI веке, и с тех пор оно завоевывает все новые и новые сферы.

## 5. Большие и маленькие

Аддитивные технологии имеют большие перспективы в строительстве, особенно малоэтажном. Среди преимуществ — многократное сокращение сроков возведения объектов, что особенно важно



**На фото**

Сотрудники российской лаборатории 3D Bioprinting Solutions напечатали на отечественном биопринтере органоидную конструкцию щитовидной железы мыши

для быстрого предоставления жилья населению в зонах стихийных бедствий, экологичность (безотходное производство, нет шума и пыли), возможность строить объекты любой формы, сокращение травматизма на стройплощадках. Правда, пока есть и минусы, например необходимость хорошей погоды для работы строительных 3D-принтеров и меньшая прочность конструкций в связи с не до конца отработанными технологиями армирования. Один из примеров реализованных проектов — офис площадью 250 м<sup>2</sup> в Дубае, построенный с помощью порталного 3D-принтера за 17 дней, его интерьер также был изготовлен с помощью аддитивных технологий. Среди возможных применений технологии в будущем — строительство значительных по высоте объектов (башен для ветроустановок, опор мостов и т. п.), особенно в труднодоступных местах, где использование обычной строительной техники затруднено. На практике это должно выглядеть так: несколько роботов постепенно взбираются по строящемуся объекту и перемещают платформу с печатающей головкой, которая выращивает слой за слоем.

Возможности 3D-печати уникальны и тем, что наряду с очень большими объектами дают возможность создания и весьма миниатюрных. Принтеры для электронной промышленности работают с микронным разрешением. Одно из основных преимуществ аддитивных технологий для радиоэлектроники — отсутствие зависимости цены изделия от размера партии: пресс-формы для каждого нового изделия не нужны, достаточно внести корректировки в CAD-файлы.

**6. Спасая жизни**

Медицина — одна из самых динамично развивающихся областей применения аддитивных технологий. Студенты изучают анатомию, а хирурги готовятся к сложным операциям с помощью реалистичных моделей, напечатанных на 3D-принтере. Аддитивными

методами производятся несерийные медицинские инструменты и вспомогательное оборудование.

Каждый человеческий организм уникален, поэтому аддитивное производство из биосовместимых материалов имеет огромный потенциал для использования в персонализированных медицинских практиках. Речь не только об искусственных суставах или стоматологических имплантах, но и о напечатанных на 3D-принтере уникальных по форме протезах конечностей, выполненных с учетом индивидуальных анатомических особенностей пациента.

Но еще более впечатляющими являются эксперименты с биопечатью, которая позволяет создавать с использованием живых клеток различные тканевые структуры, такие как ткань почек, кожи, кровеносных сосудов и др. Также тестируются напечатанные на 3D-принтере сложные микророботы, которые могут работать внутри человеческого тела для доставки лекарств или контроля за состоянием здоровья пациента.

**7. До космических высот**

Объекты, напечатанные на 3D-принтере, могут иметь меньший вес и при этом быть более прочными, чем произведенные традиционными методами, поэтому аэрокосмические компании с 2000-х годов широко используют аддитивные технологии при создании спутников и ракет-носителей, в том числе печатая детали двигателей (форсунки, камеры сгорания, насосы и т. д.). Так, компания SpaceX сделала ставку на печать металлом, считается, что это внесло большой вклад в экономичность и надежность ракеты-носителя Falcon 9. Также SpaceX производит шлемы для астронавтов по технологии 3D-печати пластиком.

**Подробности**

**Как в кино**

Аддитивные технологии успешно применяются в киноиндустрии, давая возможность создавать сложный реквизит, костюмы и декорации быстрее и дешевле, чем привычными способами. Так можно творить почти настоящих монстров, фантастические здания и даже целые альтернативные вселенные, причем стоимость будет ниже, чем с использованием компьютерной графики. Элементы, напечатанные на 3D-принтере, появлялись в «Черной пантере», «Железном человеке», «Хоббите», «Звездных войнах».

Если смотреть в будущее, 3D-производство — отличный способ сократить стоимость космических миссий и увеличить их продолжительность. Ведь все, что может понадобиться космонавтам на орбите или на других планетах, можно создать прямо на месте, не доставляя грузы с Земли. Например, NASA собирается печатать многие элементы будущей лунной базы, используя лунный грунт. Небольшой производственный цех прямо на борту космического корабля позволит создать все необходимое для дальних путешествий. Теоретически печатать можно будет почти все — запчасти, инструменты, скафандры, продукты питания, стройматериалы и многое другое. И это не просто мечты о будущем: в космосе уже есть 3D-принтер. Он размещен на МКС, где печатает различные инструменты и функциональные элементы для станции. Это уже второй принтер на МКС, а первый был доставлен туда в 2014 году, чтобы экспериментально доказать возможность аддитивного производства в условиях невесомости и микрогравитации.

**8. Вперед, к 4D**

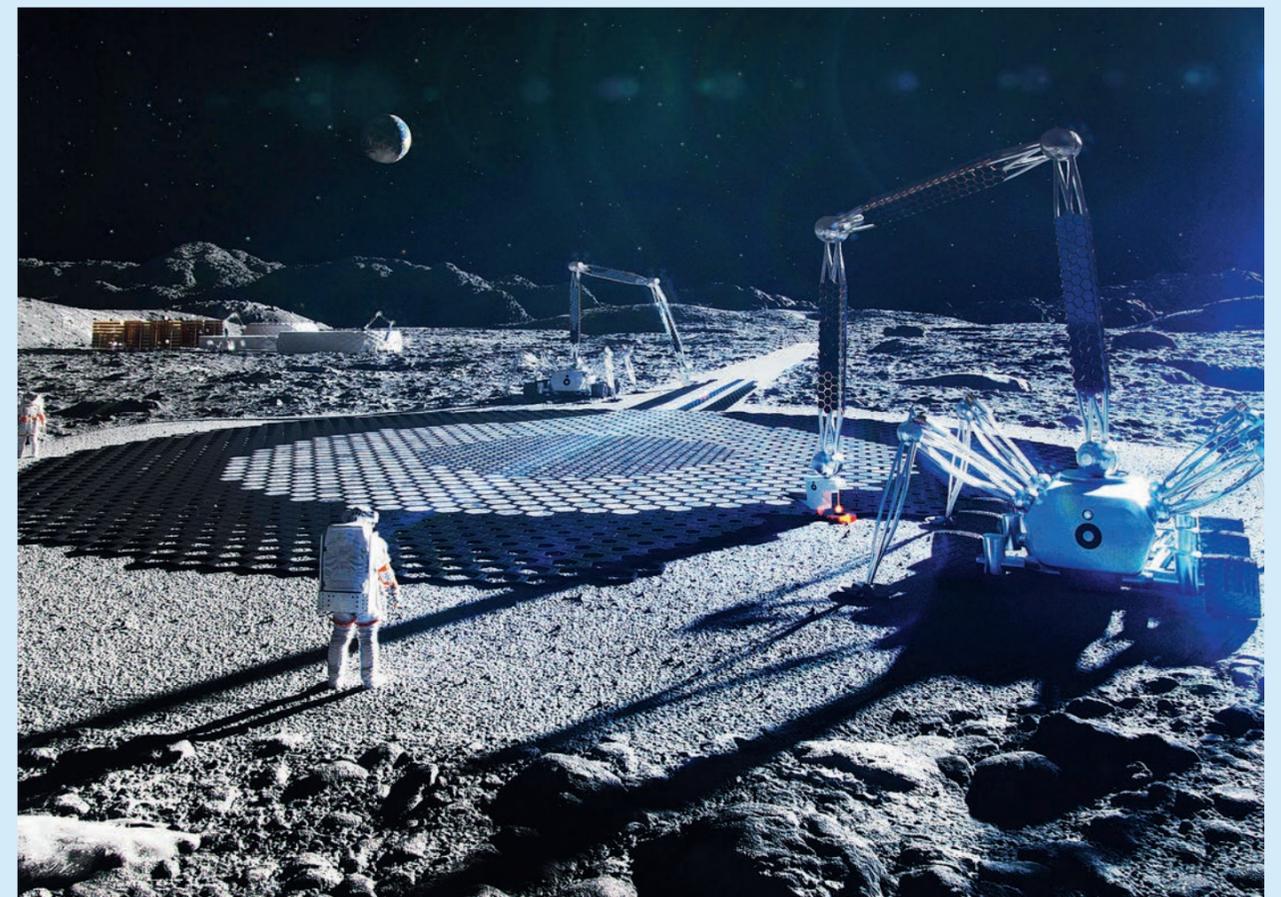
Самой перспективной аддитивной технологией многие эксперты считают 4D: к трем пространственным координатам здесь добавляется время. То есть

четвертое измерение в 4D-печати — это не размер, а параметр, который связан с положением объекта или его взаимодействием с другими предметами или окружающей средой. Это означает, что трехмерные объекты смогут меняться под влиянием различных факторов: температуры, влажности, солнечного света, механических действий. Здесь определяющую роль будут играть особые материалы, которые могут быть запрограммированы на изменение характеристик в зависимости от определенных обстоятельств.

Термин появился всего несколько лет назад, но технология уже воплощается в реальность. Где такие изделия будут применяться в первую очередь? В том же космосе. С помощью 4D-печати инженеры NASA уже создали защитную металлическую «ткань» в виде своеобразной кольчуги, которая может гнуться, растягиваться и сжиматься, но ее крайне сложно разорвать. Такое покрытие можно использовать для защиты спутников, скафандров и обитаемых модулей от столкновений с космическим мусором. Возможно и более земное применение технологии, например в автопроме: BMW представил концепт автомобиля с треугольными секциями кузова, напечатанными на 4D-принтере. На поворотах эти секции будут растягиваться, чтобы шины не терлись об арки.

**На фото**

Концепт компании ICON по применению технологий 3D-печати для строительства базы на Луне



Текст: Алексей Комольцев

Фото: ООО «Русатом — Цифровые решения», Росатом, фотобанк «Фотодженика»

# Коммерческая ДНК для ядерной «цифры»

Гендиректор РЦР Александр Вибе — о формировании единого цифрового торгового дома, предлагающего внешним заказчикам продукты и услуги отраслевых компаний-разработчиков



**Компания «Русатом — Цифровые решения» (РЦР) создана в 2019 году как бизнес-интегратор для продвижения цифровых продуктов, решений и услуг Росатома на российский рынок. В начале 2022-го ее возглавил Александр Вибе. Наша беседа о том, как коммерческий подход может быть применен сегодня на ниве продвижения цифрового портфеля Росатома.**

— Александр Павлович, как меняется «Русатом — Цифровые решения»?

— Компания, в которую я пришел на должность генерального директора в начале 2022 года, потребовала значительной «пересборки», и сегодня мы частично справились с этой задачей. Обновлена команда, к нам присоединяются высококлассные специалисты по продажам из крупных российских и ушедших западных компаний. Сегодня они видят возможность приложить свои знания и умения к цифровому предложению Росатома. В отрасли сформирован цифровой портфель, в котором 61 продукт, 20 из них предлагаются для российского рынка. РЦР — это единый цифровой торговый дом, предлагающий внешним заказчикам продукты, решения и услуги от компаний-разработчиков Росатома. Например, наши флагманские продукты «Логос» и «Сарус» разработаны в Сарове, перспективное решение для нефтегазовой сферы — в Снежинске. Решения для цифрового управления сооружением АЭС разрабатываются в инжиниринговом дивизионе. «Росэнергоатом» в лице компании «Атомдата» коммерциализирует инфраструктурные решения (дата-центры различного масштаба — от стационарных до легковозводимых, модульных и микро-ЦОД). В Топливной компании Росатома «ТВЭЛ» разрабатывают промышленный искусственный интеллект, решения для реверс-инжиниринга. «Гринатом» создал low-code платформу роботизации. Активно продвигаются разработки по цифровому управлению городским хозяйством от «Русатом — Инфраструктурные решения». В целом история возникновения этих продуктов сходная: госкорпорация заблаговременно занялась внутренней цифровизацией, создала и отладила решения для внутреннего потребления. Но многие из них потенциально интересны рынку за пределами атомной отрасли, а для Росатома актуально наращивание внешней выручки.

В числе отраслевых коммерческих проектов с грамотно выстроенной ролевой моделью можно особо отметить проект «ТВЭЛ» по созданию коммутаторов для построения и модернизации сетей передачи данных Т-КОМ: команда разработала стратегию продвижения, работает через дистрибьюторов, продукция недавно вошла в реестр телекоммуникационного оборудования российского происхождения (ТОРП), растут продажи. Мы, «Русатом — Цифровые

решения», как бизнес-интегратор, начали формировать еще одну историю успеха с пакетом программ для математического моделирования «Логос»: строим дистрибьюторскую сеть, взаимодействуем с 19 партнерами, уже хорошо налажены процессы продаж и технической поддержки. Находясь «в поле» с клиентами и взаимодействуя через дистрибьюторов, мы стремимся наладить оперативную обратную связь от рынка к разработчикам продукта.

Если говорить о том, как в целом выстроено взаимодействие с рынком в РЦР, мы работаем по трем бизнес-направлениям: это предприятия оборонно-промышленного (ОПК), топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и ведущие предприятия других высокотехнологичных отраслей промышленности. Все эти три блока имеют свою специфику. Например, заказчики в ОПК готовы работать с государственными субсидиями, а иные промышленные предприятия предпочитают коммерческие займы или собственные средства. В ТЭК особо требовательны к сервису и наиболее чувствительны к возможным неудачам при внедрении. В каждом из сегментов и в промышленных группах внутри этих сегментов существуют свои особенности в принятии решений, соответственно, у нас сформировано четкое понимание работы в этих сегментах, сконцентрирована высокая экспертиза и завоевано доверие. Нашу задачу я вижу в том, чтобы масштабировать такой системный подход и на продвижение других цифровых продуктов Росатома, строить успешный цифровой бизнес.

— Каковы объективные сложности для развития?

— Нужно признать, что сегодня не все разработки в цифровом портфеле качественно «упакованы» для рынка. Далеко не всегда владельцы продуктов имеют бизнес-модель по продаже, готовы обеспечить сервисную поддержку. По целому ряду продуктов, которые присутствуют в цифровом портфеле, процесс нужно выстраивать, иногда даже с нуля. Именно нам, как бизнес-интегратору, предстоит этим заняться.

Но незрелость продуктов — не единственная сложность. «Цифра» относится к новым бизнесам Росатома. На других ключевых новых бизнес-направлениях сложился понятный порядок: покупатели медицинских изотопов обратятся в «Русатом Хэлскеа», за ветроэнергетикой — в «НоваВинд», за аддитивными технологиями — в «РусАТ», за литиевыми аккумуляторами — в «РЭНЕРА» и так далее. Но в цифровом направлении такой централизации не сложилось. Мы насчитали 25 отраслевых компаний, включая нас, кто продает цифровые продукты и взаимодействует с клиентами. На внешний рынок продвигаются примерно два десятка продуктов, но успешны в коммерческом понимании лишь единицы. У многочисленных продавцов нет четких КПЭ по продаже, а если таковые и есть, то многие компании в 2022 году их не выполнили, но все сумели отчитаться, что год был сложный, что менялись приоритеты и так далее.

— 2022 год был и правда непростым...

**Александр Вибе** родился в Челябинске. Получил высшее экономическое образование в Германии и в России, окончив Ferdinand von Miller High School, Банковский колледж ИНК и Академию труда и социальных отношений. В 2021 году дополнительно получил бизнес-образование по программе Executive Digital MBA «Цифровая трансформация бизнеса».

Обладает более чем 10-летним опытом работы в России и за рубежом (включая Германию, Китай, Австрию и Швейцарию) в крупных корпорациях: в Mail.ru Group — на позиции директора по комплексным проектам (цифровые решения для B2B), в китайской Beijing Union of Food — в должности заместителя генерального директора, а также в консалтинговых компаниях Parameta Projektberatung (Германия) и KPMG (Россия).

Владеет обширной экспертизой в качестве директора проектов в международных трансграничных проектах и глобальных сделках M&A, а также в сфере интеграции цифровых решений и стратегии.

— Специфика новых условий действительно в том, что силы основных дивизионов и предприятий направлены на выполнение государственных задач. Аргумент «так поставили задачу» неопровержимый — основные функции приоритетны, уровень ответственности намного выше. В этих условиях разработчики, которые одновременно задействованы и на основных, и на коммерческих задачах, уделяют меньше внимания внешнему рынку. Таким образом, в цифровом направлении бизнеса пока не решена главная задача, которую я видел в момент прихода сюда и которая становится лишь актуальнее, — это формирование бизнес-интегратора как «одного окна», основного продавца цифровых продуктов Росатома. Появление единого центра ответственности, центра компетенций — это, на мой взгляд, основа грамотного корпоративного подхода, даже, можно сказать, корпоративной гигиены. Корпорацию на ИТ-рынке должен представлять если не единственный, то хотя бы основной продавец. Нужно развести зоны ответственности: бизнес-интегратору — концентрировать усилия на эффективности продаж и реальных результатах, а разработчикам и владельцам продуктов в дивизионах — сосредоточиться на основных задачах и не расплывать усилия на продвижение продуктов на внешнем рынке.

— В чем преимущества централизации для Росатома?

— Именно от Росатома ждут лидерских и качественных решений там, где требуется достижение технологической независимости. Но при этом на неатомных рынках не все понимают специфику Росатома, даже с учетом того, что мы — корпорация инновационная, лидирующая на мировом рынке атомной энергетики.

## «Госкорпорация заблаговременно занялась внутренней цифровизацией, создала и отладила решения для внутреннего потребления. Многие из них потенциально интересны рынку за пределами атомной отрасли, а для Росатома актуально наращивание внешней выручки».

Госкорпорация живет в своем ритме, с многоуровневой системой принятия решений, с высокой степенью закрытости. А на IT-рынке большинство потребителей ориентируются на скорость и сервис, достигнутые лидерами этого направления. От нас ждут высокой скорости принятия решений, наличия дистрибьюторской сети, гибкости в договорной и лицензионной политике, реакции на требования пользователей и так далее. Чтобы примирить в IT-направлении обе стихии, государственную и коммерческую, Росатому и нужна централизация функций продажи. Бизнес-интегратор, обладая компетенциями по маркетингу, умеет выстраивать дистрибьюторскую сеть, создавать «коробочный продукт», взаимодействовать с клиентами. При централизации коммерческие ИТ-структуры Росатома перестанут сталкиваться на тендерах. Мы уйдем от ситуаций, когда к потенциальному клиенту или на один тендер из атомной отрасли несогласованно приходят два-три продавца.

Заходя к клиентам централизованно, мы обеспечим структурированную, осмысленную обратную связь — это крайне важно для рыночного развития продуктов. Такую обратную связь мы сможем предоставить владельцу продукта, и это поможет внести корректировки в стратегию рыночного развития продукта. Например, мы приходим с продуктом по теплофизическим расчетам в крупный автомобильный холдинг. Клиент просит добавить функцию, которая позволит проводить моделирование температурных процессов в двигателе, согласен заплатить 50 млн рублей. Владелец продукта понимает, что такая доработка займет полгода и себестоимость работ будет те же 50 млн — казалось бы, смысла нет. Но единый торговый дом способен оценить рынок в целом: кроме этого конкретного заказчика есть еще пять, где запрошенный функционал тоже может быть востребован. Есть потенциальные клиенты в СНГ, в дружественных странах, может быть, в смежных отраслях — двигателестроении для флота и железных дорог. Если учитывать их, то потенциал такой доработки оказывается намного выше. Владелец продукта получает понимание, куда двигаться дальше, — не умозрительно определяя направления развития, а опираясь на потребности рынка. Именно выручка, которой озадачен бизнес-интегратор,

должна двигать разработку, формировать постановки задач на новые блоки. И такую информацию мы принесем владельцу продукта, который сегодня теряется от противоречивых запросов разных клиентов через разных продавцов.

Став «единым окном», мы сможем применить в масштабах отрасли весь инструментарий CRM: будем фиксировать, кто с какими клиентами работает, каковы вертикальные и горизонтальные связи в этих процессах, персональные контакты менеджеров и так далее. Тем самым снизим риск утраты контактов при уходе менеджеров из отрасли и повысим прозрачность процессов.

Добавлю, что другие крупные игроки рынка, например вертикально интегрированные добывающие компании с продвинутым блоком цифровизации, тоже стремящиеся на внешний рынок, идут именно таким путем. Мы видим в таких компаниях одну коммерческую структуру цифрового направления, лишь это подразделение ассоциируется со всеми продуктами от всего холдинга. При этом та же структура оказывает частую и большое количество услуг по цифровизации внутри холдинга. Это как бы продолжение CDO (chief digital officer), там формируются компетенции. Причем не у всех таких структур есть КПЭ по продажам, но мы готовы принять такую ответственность.

Таким образом, наше главное и стратегическое видение — это стать единым отраслевым торговым домом. Я, как руководитель, понимаю риск такого подхода — на нас ляжет ответственность за объем продаж. Но для коммерческих структур риск и вызов — ежедневная практика.

**— Если функция коммерции будет выведена в интегратор с полной ответственностью, то как будет разделена ответственность за сохранение потенциала разработчиков — постановщиков задач, создателей математических моделей, программистов? Этот ресурс востребован дважды — в качестве и атомщиков, и айтишников.**

— Мой ответ может показаться резким, но я пришел в атомную отрасль из коммерции и воспринимаю задачу в коммерческой логике. Чтобы уверенно конкурировать за людей с IT-отраслью, а нужно конкурировать именно за IT-специалистов, необходимо обеспечить заработную плату на уровне рынка. Это касается и руководителей проектов, и инженеров, и менеджеров по продажам. Любой менеджер по персоналу скажет, что деньги — не главный мотиватор, нарисует пирамиду Маслоу. Но уровни этой пирамиды включаются, когда реализована базовая потребность в зарплате. На общероссийском уровне, тем более в регионах, Росатом поддерживает уровень оплаты труда выше среднего. Но уровень заработной платы в IT определяется международной конкуренцией, разогревается мировыми лидерами, сами специалисты минимально привязаны к конкретной территории. Хорошие разработчики, способные к созданию сложной математики, с качественным техническим

## «Логос»

**Система математического моделирования и инженерного анализа «Логос»** (относится к промышленному программному обеспечению класса CAE) создана на основе многолетних разработок госкорпорации «Росатом».

В настоящее время семейство «Логос» состоит из пяти модулей: «Логос Аэро-Гидро» — для моделирования процессов в воздушной и водной средах; «Логос Тепло» — для оценки тепловых характеристик и режимов деталей и узлов; «Логос Прочность» — для решения статических и динамических прочностных задач; «Логос Гидрогеология» — для решения задач водного баланса территорий и моделирования экологических процессов в сложной геологической среде; «Логос Платформа» — для интеграции в единую платформу вычислительных модулей «Логос» и ПО класса CAE от различных российских разработчиков. В 2022 году созданы международные (англоязычные) версии этих программных модулей для экспорта в страны СНГ и ряд дружественных стран.

Сегодня линейка цифровых продуктов «Логос» становится востребованной за пределами атомной отрасли, обеспечивая независимость в данном классе ПО более чем 120 крупнейших предприятий различных отраслей. Применяется в высокотехнологичных отраслях, включая авиа-, судо- и машиностроение, ракетно-космическую отрасль, энергетику, индустрию новых материалов, сферу строительства крупных инфраструктурных объектов и пр. Является полностью отечественной разработкой, позволяет предприятиям избежать внешних рисков, связанных с возможными изменениями рыночной политики зарубежных поставщиков сопоставимых решений.

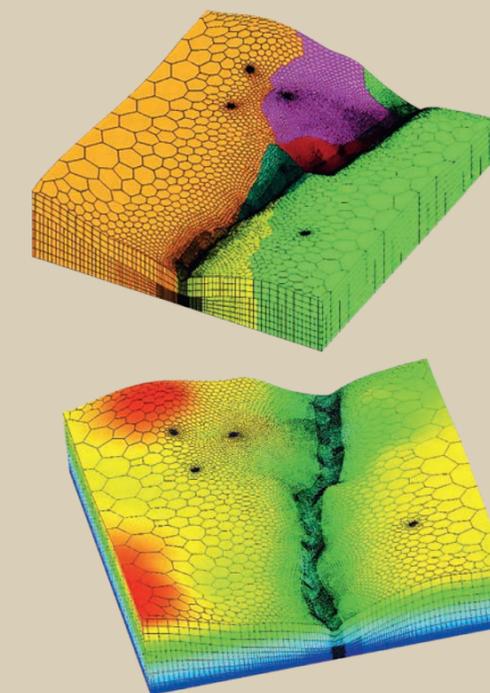
«Логос» прошел многолетнее тестирование в рамках атомной отрасли при решении самых ответственных задач, требующих высокого качества и точности расчетов, обеспечения безопасности сложнейших инженерных систем и сооружений.

## «Сарус»

**PLM-система Росатома «Сарус»** — технологически независимая система управления полным жизненным циклом изделий для промышленных предприятий. Брендовое название цифрового продукта созвучно названию города, где он создан, — это Саров Нижегородской области.

Система создавалась с 2018 года как моноплатформенное решение, полностью независимое от зарубежных технологий и элементов. Подтверждена ее кросс-платформенность — продукт может работать как на операционной системе Windows, так и на российской операционной системе Astra Linux. В числе преимуществ также стоит отметить применение суверенного российского геометрического ядра RKG

Модуль «Логос Платформа» — базовый продукт в проекте импортозамещения промышленного ПО класса CAE. В 2021 году Росатом выступил с инициативой объединения российских разработчиков для закрытия максимально широкого спектра запросов промышленников — был создан Консорциум российских разработчиков и потребителей CAD/CAE систем. Участники консорциума развивают вычислительную платформу для моделирования, на которую любой отечественный разработчик сможет интегрировать либо фрагмент программного обеспечения, либо полноценный софт классов CAD и CAE. Базой для интеграции является «Логос Платформа».



На фото

Примеры визуализации моделирования в программном модуле «Логос Гидрогеология»

образованием и опытом, даже внутри России могут найти работу с намного большими деньгами. Каждый из них может прочитать об уровне зарплаты в рыночных ИТ-компаниях, все знают про истории корпораций Amazon, Apple, Netflix. В западных ИТ-компаниях главный инженер, главный технолог, главный разработчик зарабатывают как CEO среднего уровня. Если мы хотим стать технологическим лидером ИТ, нужно пересматривать comp&ben (систему льгот и гарантий). Тот, кто способен создать востребованный продукт, должен понимать свои личные перспективы. Например, во многих компаниях это опцион акций через два-три года: это личный капитал, гарантии, прибавка к пенсии. Мотивация у ключевых сотрудников, лидеров разработок в этом случае совсем другая.

Впрочем, деньги — лишь часть проблемы, нужно развивать и другие факторы мотивации. Уникальные разработчики «капризные» по объективной причине: они трудятся ненормированно, проводят за компьютером и 10, и 15 часов в сутки. Для них нужно создавать особые условия. Прежде всего, избавиться от избыточной бюрократии. Понятно, что в большой корпорации процессы регламентированы, высока степень контроля. Но бюрократия, неизбежная для многоуровневой системы, не должна затрагивать уникальных исполнителей. Я, как генеральный директор, принял вместе с должностью специфику ведения дел, хотя раньше не знал ни контрольных поручений, ни служебных записок — и бывает, что половина дня уходит на формальные процедуры. Далеко не все разработчики, руководители проектов, менеджеры согласны принимать такое положение.

Также необходимо более гибко подходить к организации рабочих мест. Опыт карантина показал, что даже базовый бизнес Росатома мог управляться дистанционно. Сейчас все работники опять возвращены в офис, но ИТ-специалистам и до пандемии было свойственно работать в удобной обстановке. В ИТ-сфере уделяется большое внимание комфортности и дружелюбности офиса, непринужденной атмосфере, наличию зон отдыха, в целом неформальному подходу. Если есть возможность организовать удаленные рабочие места, надо сделать это. Понятно, что часть работников Росатома должна всегда находиться на территории страны. И если разработки не носят особого назначения,

можно рассмотреть ротацию в регион с более благоприятным климатом. Например, дать возможность жить на Алтае или в Приморье и работать из бизнес-центра с хорошей wi-fi связью. Тем более в регионах присутствия Росатома есть ведомственные базы отдыха. Можно организовать работу из дома, если кому-то так удобнее. Можно пойти на введение гибкого графика работы. Все это не снизит, а повысит вовлеченность и трудовую отдачу. По опыту прошедшего года: даже при действии ограничений мы в «Русатом — Цифровые решения» смогли повысить вовлеченность в среднем с 45% до 75%.

Можно использовать и другие меры нематериальной мотивации, например расширить возможности корпоративных структур дополнительного образования внешними, действующими именно в ИТ-сфере, такими как Skillbox, GeekBrains. Важно поддерживать навыки для международной работы. Понятно, что сегодня экспортная деятельность ограничена, ряд компаний в санкционных списках. Но когда-нибудь международная напряженность снизится, и будут снова нужны языковые навыки, понимание зарубежных культурных норм, корпоративных культур. Тем более что Россия разворачивается на Восток. Многим ИТ-специалистам будет интересно узнать о специфике работы на зарубежных рынках, возможность развиваться — это весомый аргумент для рынка труда в ИТ-индустрии.

**— Если система «пряников» должна быть поднята на мировой уровень, то есть ли аспекты, где ИТ-специалистам отрасли тоже будет нужно в чем-то подтянуться?**

— Можно только уважать ту колоссальную работу, которая делается и в Москве, и в регионах присутствия, и в ЗАТО. Мы понимаем, что продукты, которые родились для собственных нужд в закрытых городах, решают конкретные потребности отрасли, но владельцы продуктов должны больше ориентироваться на рынок. Уровень масштабирования многих разработок ограничен, эффект мультипликатора отсутствует, если изначально в продуктах не было коммерческой ДНК. Например, система для моделирования стационарных и нестационарных режимов работы газотранспортных систем была создана для крупного, единственного в своем роде заказчика, и найти других потребителей крайне сложно. Мы пытаемся проработать эту тему, чтобы масштабировать ее на большее количество компаний ТЭК. Но изначально созданный продукт был узконаправленным инструментом, поэтому рост и масштабирование затруднительны.

Разработчики должны научиться быстрее реагировать на запросы клиентов. Например, «Логос» достиг определенной коммерческой зрелости, нашел покупателей, начал развиваться в логике рынка. Но наши зарубежные конкуренты сумели, создав основу продукта даже в оборонной сфере, вывести его из закрытого контура на рынок и дать возможность развиваться коммерческим путем. К сожалению, сложившийся сегодня путь параллельной работы, когда

одни и те же команды создают продукты для внутреннего пользования и параллельно ведут коммерческую разработку, мне видится сложным. Тот же уровень зарплаты на открытом рынке будет вымывать ценных специалистов из государственных задач, что недопустимо. Поэтому задача для отрасли — научиться формировать и отделять без ущерба для основной деятельности коммерчески ориентированные команды, позволять им развиваться на рынке. Нам придется разделить направления продуктов для внутреннего использования (под государственные задачи) и продуктов, которые будут эволюционировать в коммерческой среде. Причем коммерческие продукты с основы, с зародыша должны создаваться с коммерческой ДНК, нацеленной на четкий объем рынка.

При этом важно формировать уникальные предложения, не повторяя конкурентов, а сразу превосходя. В цифровом портфеле таких продуктов сегодня не много: успешный, зрелый пакет программ для математического моделирования «Логос» и находящийся в активной стадии развития «Сарус» — система управления жизненным циклом изделий для машиностроения. Если «Сарус» повторит успех «Логоса», то это будут два действительно уникальных лидерских продукта. Именно развивая «Сарус» и надо проявить умение быть гибкими и отточить умение подстраиваться под потребности клиента, в этом случае мы быстро потесним на рынке в том числе российских конкурентов, которые уже предлагают свои решения. В дальнейшем нужно выходить с тяжелым классом и на зарубежный рынок.

Добавлю, что предстоит выстроить работу по наполнению нашего цифрового портфеля. Уверен, что далеко не все потенциально коммерциализуемые разработки Росатома попали в наше поле зрения. Владельцы продуктов не спешат заявлять их как потенциально реализуемые на внешнем рынке по ряду причин. Первая — это материальная незаинтересованность, мы обсудили, как это преодолеть. Вторая причина — нехватка коммерческих знаний и ресурсов на продвижение. Бывает, что разработчики «сидят в камышах», но когда мы говорим о том, что профессиональный продавец берет на себя всю ответственность за работу с рынком, они становятся намного сговорчивее. Заинтересовав разработчиков попаданием в цифровой портфель, мы получим еще, может быть, сотню интересных коммерциализуемых проектов, не выискивая их по предприятиям Росатома, — они придут сами.

Моя позиция может в чем-то показаться резкой, но на самом деле даже год работы показал, что отрасль способна быстро меняться. Отдельно хочу поблагодарить Илью Васильевича Реброва, заместителя генерального директора по экономике и финансам госкорпорации «Росатом», который системно выстраивает работу интеграторов (он это называет «водораздел»). Мы взаимодействуем в еженедельном режиме, собираемся и обсуждаем систему продаж, разделение сфер деятельности между компаниями, другие вопросы.

**«Появление единого центра ответственности, центра компетенций — это, на мой взгляд, основа грамотного корпоративного подхода. Корпорацию на ИТ-рынке должен представлять если не единственный, то хотя бы основной продавец».**

Текст: Кирилл Быстров  
 Фото: АО «Концерн Росэнергоатом»

# «Концерну в ближайшие 10 лет потребуется свыше 8000 выпускников высших учебных заведений»

Дмитрий Гастен, директор по персоналу и социальной политике «Росэнергоатома», — о работе с молодежью



**Высокие темпы роста атомной энергетики, активное строительство новых энергоблоков в России и за рубежом и амбициозные задачи по новым продуктам, которые стоят перед атомной отраслью, требуют обеспечения кадрами и максимального вовлечения в масштабные проекты молодежи. О работе с молодыми сотрудниками электроэнергетического дивизиона и планах по набору и поддержке талантливых студентов «Вестник атомпрома» поговорил с директором по персоналу и социальной политике АО «Концерн Росэнергоатом» Дмитрием Гастеном.**

— Дмитрий Анатольевич, молодежное сообщество электроэнергетического дивизиона — одно из самых крупных и развитых в отрасли. Какие инструменты вы используете при работе с молодежью?

— Мы придерживаемся системного подхода в работе с нашими молодыми сотрудниками. Прежде всего, это разнообразные возможности для раскрытия их потенциала. Помимо отраслевых инициатив и мероприятий, наша молодежь активно участвует в дивизиональных проектах. Самые яркие из них — ежегодный Молодежный слет электроэнергетического дивизиона, Открытый конкурс на лучший научно-технический доклад, конкурс «Энергия молодых» и дивизиональный чемпионат профессионального мастерства REASkills. К примеру, благодаря молодежному слету мы вовлекаем молодых работников в глобальные задачи концерна «Росэнергоатом» и отрасли, в программы развития, а также поддерживаем инициативы молодежи. А конкурс на лучший научно-технический доклад уже три года зажигает новые звезды. Для сравнения: в 2022 году на конкурсе были представлены восемь дивизионов, это на два дивизиона больше, чем в предыдущем году. На конкурс пришло 70 студенческих работ от представителей 22 вузов (в 2021 году — 50 работ от 21 вуза).

Подчеркну, что экспертная комиссия конкурса отмечает высокую практическую ценность многих работ. Например, победитель в номинации «Лучший производственно-технический доклад» начальник ядерно-физической лаборатории отдела ядерной безопасности и надежности Нововоронежской АЭС Дмитрий Колотушкин предложил методику совместного проведения измерений, которые выполняются во время пуска реакторной установки после планово-предупредительного ремонта. Методика заключается в совместной проверке сцепленности поглощающих стержней системы управления и защиты и проверке соответствия координат фактического размещения сборок внутриреакторных детекторов в активной зоне координатам, отображаемым в аппаратуре системы внутриреакторного контроля. Общее сокращение

времени работ при использовании методики может составить до 18 часов на каждом энергоблоке, а оцененная дополнительная энерговыработка на два энергоблока Нововоронежской АЭС-2 — 57 млн кВт·ч в год.

— Коллектив «Росэнергоатома» регулярно пополняется выпускниками профильных вузов. Этот процесс соответствует тому, что для реализации стратегии «Видение-2030» на горизонте 2030 года Росатому необходимо трудоустроить порядка 70–80 тыс. студентов. Какие специальности и направления сейчас наиболее востребованы в организациях концерна?

— В топе направлений — «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», «Электроэнергетика и электротехника» и «Теплоэнергетика и теплотехника». В целом поток поступающих на направления, востребованные в атомной отрасли, не уменьшается, но при этом мы наблюдаем снижение числа выпускников школ, которые выбирают ЕГЭ по физике. А на наших направлениях без подготовки по физике никак нельзя. Нас эта тенденция настораживает, поэтому сегодня мы буквально со школьной скамьи пытаемся выращивать потенциальных сотрудников, увлекать детей точными науками.

Я считаю, что в этом могут помочь повышение качества преподавания, а также эффективное сотрудничество со школами и сообществом учителей. С этой целью госкорпорация запустила масштабную отраслевую программу «Учитель для Росатома», которая позволит решить проблемы нехватки учителей по профильным предметам в городах присутствия и увеличить долю школьников, сдающих соответствующие ЕГЭ для поступления в профильные для отрасли вузы. Недавно в федеральном центре знаний «Машук» мы провели конференцию «Учитель для Росатома. Физики», ставшую частью этой обширной программы. Совместно с участниками мероприятия — 136 учителями по физике из городов присутствия Росатома, студентами и преподавателями педвузов — мы анализировали текущие проблемы и искали новые подходы к преподаванию.

В наших ближайших планах — создание Экспертного совета учителей концерна «Росэнергоатом», который объединит учителей физики образовательных организаций городов присутствия концерна, а также повышение качества образования и привлечение кадров в атомные города. Кроме того, на днях между АО «Концерн Росэнергоатом» и Общероссийским общественно-государственным движением детей и молодежи «Движение первых» было подписано соглашение о сотрудничестве. Это позволит расширить возможности для реализации инициатив концерна на федеральном уровне, а также интегрироваться в государственную повестку по поддержке и развитию школьников.

— Не забывает ли компания о студентах других специальностей? Они тоже требуются «Росэнергоатому»?

**Сегодня в электроэнергетическом дивизионе:**

**25**

молодежных организаций

**20 000**

молодых специалистов и работников

**5000**

молодых работников и специалистов входят в состав молодежных организаций

**400**

мероприятий организованы молодежью в городах присутствия «Росэнергоатома»

— В 2022 году в организациях концерна прошли практику 1308 студентов, обучающихся по программам высшего образования, из них 596 — студенты направления «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». Более 700 выпускников вузов приняты на работу на наши станции и дочерние предприятия, в том числе по договорам раннего трудоустройства. Из них 300 человек завершили обучение по так называемым ядерным направлениям подготовки («Ядерная физика и технологии», «Ядерные реакторы и материалы», «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» и т.д.). Все остальные трудоустроенные молодые специалисты — как раз те самые другие специальности. Мы заинтересованы в выпускниках ИТ-направлений, в химиках, теплоэнергетиках, в специалистах по автоматизации систем управления, по материаловедению и прочим направлениям. Поэтому в конкурсах на соискание стипендий концерна, в программах поддержки и практиках участвуют студенты всех этих направлений подготовки.

— Какие «цифровые» специалисты нужны «Росэнергоатому»?

Молодые специалисты электроэнергетического дивизиона активно участвуют в профессиональных конкурсах и чемпионатах, таких как AtomSkills



— Специалисты направления «Информатика и вычислительная техника» в электроэнергетическом дивизионе сейчас очень востребованы. Нужны программисты, тестировщики, системные администраторы и IT-архитекторы, специалисты в области телекоммуникаций и машинного обучения, очень большой спрос на специалистов в области информационной безопасности, востребованы многие другие специальности. Концерн плотно работает с университетами, студенты проходят у нас практику. Молодые специалисты участвуют в профессиональных соревнованиях, например чемпионатах профессионального мастерства AtomSkills и Hi-Tech. Концерн дает молодежи возможность участвовать в крупнейших проектах, непосредственно связанных с производством на всех уровнях, решать сложные задачи в команде опытных профессионалов из разных предметных областей.

— Сейчас Росатом ведет строительство АЭС в Турции и других странах. Возможно ли туда попасть молодому специалисту?

— Стать работником атомной отрасли можно еще до окончания обучения в вузе. Но для трудоустройства на зарубежные площадки необходимо сначала получить в течение двух-трех лет опыт на российских АЭС. В организации концерна возможно трудоустройство на стартовые должности без опыта работы и с дальнейшим карьерным ростом. Студент может выбрать любую организацию «Росэнергоатома» и заключить срочный трудовой договор на этапе обучения в вузе с последующим постоянным трудовым договором после получения диплома. На стартовых должностях мы предоставляем зарплату, подъемные, компенсацию на приобретение бытового имущества и (до 90%) на аренду жилья, льготную ипотеку

со второго года работы, ДМС, широкие возможности для профессионального и карьерного развития.

— Есть ли возможность, уже непосредственно работая на предприятии «Росэнергоатома», заниматься научной деятельностью?

— Безусловно, работники АЭС напрямую не занимаются наукой, но в дочерних организациях концерна, например во ВНИИАЭС, созданы прекрасные условия для ведения научной деятельности, имеется необходимая лабораторная база, лицензии на НИОКР с применением радиоактивных веществ. Кроме того, Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций имеет замечательную стендовую базу по экспериментальной проверке теплогидравлических процессов для АЭС. И, конечно, наш Открытый конкурс на лучший научно-технический доклад предоставляет молодым работникам и студентам отличную возможность заявить о собственных научных разработках, получить поддержку для реализации своей идеи на производстве и присоединиться к научному сообществу Росатома. Например, победители конкурса в 2021 году стали членами отраслевого Совета молодых ученых.

— Каковы планы по набору студентов в ближайшем будущем?

— Концерну в ближайшие 10 лет потребуются свыше 8000 выпускников высших учебных заведений. Такая большая потребность обусловлена амбициозными и интересными задачами, которые стоят перед отраслью. В наших планах сооружение новых энергоблоков АЭС в России — 12 энергоблоков в перспективе до 2035 года и 17 энергоблоков в период с 2036

по 2045 год, а также строительство 14 энергоблоков за рубежом.

— Как «Росэнергоатом» поддерживает талантливых студентов?

— Концерн не только оказывает поддержку талантливым студентам, мы прилагаем усилия для того, чтобы выявлять таких ребят, чтобы раскрывать в молодежи потенциал. Для этого концерн инициирует и реализует большое количество конкурсов, проектов, образовательных и обучающих программ как научно-исследовательского, так и прикладного характера. В числе таких мероприятий Атомный брейн-ринг для студентов наших ключевых вузов, уже упоминавшийся Открытый конкурс на лучший научно-технический доклад, в котором уже два года подряд принимают участие студенты российских вузов, чемпионаты профессионального мастерства и многое другое. Активное участие студента в конкурсах и инициативах концерна обогащает портфолио и резюме выпускника вуза, делая его более привлекательным для будущего работодателя.

Кроме того, «Росэнергоатом» ежегодно проводит конкурс, по результатам которого присуждает именные стипендии. К примеру, в прошлом году в нем приняли участие 14 вузов, осуществляющих подготовку кадров для концерна: МИФИ с филиалами в Волгодонске, Обнинске, Балакове, ИГЭУ, ТПУ, УрФУ, МЭИ, СевГУ, НГТУ, ВГТУ, СПбПУ, СГТУ, КГЭУ. В рамках конкурса студенты и преподаватели профильных вузов страны получили стипендии и гранты от «Росэнергоатома» на 17,6 млн рублей. Конкурсная комиссия в составе руководителей и работников компании определила победителей, ими стали 82 студента, каждому из которых концерн единовременно выплатил стипендию в размере 100 тыс. рублей, а также 47 преподавателей, которые единовременно получили по 200 тыс. рублей в виде гранта.

— Сегодня «Росэнергоатом» активно помогает городам атомщиков. Каковы основные направления этой деятельности?

— Цель нашей работы — всестороннее развитие атомных городов, чтобы они стали точками притяжения людей, чтобы в них хотела оставаться молодежь и приезжали молодые талантливые профессионалы для работы на наших предприятиях. Для этого необходимы развитая инфраструктура, качественное медицинское обслуживание и хорошие сильные учителя в школах. Концерн уже давно оказывает поддержку медицинским работникам и учреждениям. Сейчас в фокусе нашего внимания — масштабная программа поддержки учителей в городах присутствия АЭС: обучение и развитие, материальная и нематериальная мотивация и информационная поддержка.

Мы говорим молодым специалистам: «Приезжайте, мы гарантируем развитие в разных направлениях». Это касается профессионального развития, качественного образования, жилищных условий, спорта,

досуговых активностей и многого другого. Возможности инфраструктуры в наших атомных городах не уступают столичным. Здесь есть кванториумы, ледовые арены, школы танцев, спортивные секции — все для того, чтобы жизнь была комфортной и интересной. Приведу несколько наиболее ярких примеров. Благодаря помощи «Росэнергоатома» в Нововоронеже построена ледовая арена, которой теперь гордится весь город. С 2018 года и по сегодняшний день в рамках Всероссийского конкурса лучших проектов создания комфортной городской среды благодаря поддержке концерна в атомных городах строятся современные парки и оборудуются объекты городской среды. Так появились парк «Солнце для всех» в Сосновом Бору (сейчас строится еще и сквер у ДК), парк Венецианова в Удомле, Таховский бульвар в Заречном (здесь же строится экопарк), «Новопарк» в Нововоронеже, парки «Северное сияние 1.0» и «Северное сияние 2.0» в Полярных Зорях, «Теплый берег — 1» и «Теплый берег — 2» в Курчатове, «АтомПарк-1» и «АтомПарк-2» в Десногорске, парк «Молодежный» в Волгодонске и городская набережная в Певеке.

— В заключение хочется узнать, что необходимо студентам и молодым работникам, чтобы добиться успеха в «Росэнергоатоме»?

— Приходя на предприятия концерна, молодые сотрудники получают опыт работы с оборудованием и далее могут вырасти до ключевых должностей персонала блочного щита управления АЭС, где наличие профильного образования — обязательный критерий для занятия таких позиций, как ведущий инженер по управлению реактором или по управлению турбиной, начальник смены реакторного или турбинного цеха и так далее, вплоть до главного инженера и директора АЭС. Вместе с тем требования к специалистам сейчас фокусируются на мультизадачности, универсальности и соответствии международным стандартам. Например, инженер сегодня — это мультидисциплинарная профессия, которая требует компетенций достаточно широкого профиля: помимо инженерно-технических дисциплин он должен знать основы экономики, чтобы понимать эффективность своих решений.

И конечно, важно участвовать в отраслевых и дивизиональных проектах развития, которые дают молодежи возможность реализовать собственные инициативы, получить новые профессиональные навыки и знания, а тем, кто хорошо проявит себя, — и дальнейшее карьерное продвижение. Помимо конкурсов и чемпионатов, о которых я уже упоминал, есть команды поддержки изменений, бизнес-лаборатории, сообщество амбассадоров Росатома, социальные проекты и многое другое. Каждый молодой работник может найти проект по душе и проявить лидерство, предложить свои идеи, присоединиться к команде единомышленников или самому собрать команду — примеров успешной самореализации в нашем дивизионе очень много: от экологических проектов до крупных бизнес-инициатив. Главное — желание расти и быть завтра лучше, чем сегодня.

# Научный флешмоб

Как в сети ИЦАЭ встречали баржи с оборудованием для зарубежных АЭС

В конце апреля 2023 года впервые в истории атомной промышленности на «Атоммаше» отгрузили сразу два комплекта основного оборудования — для АЭС «Куданкулам» в Индии и для Тяньваньской АЭС в Китае. Обе баржи вышли из Цимлянского водохранилища и по рекам и каналам благополучно добрались до Санкт-Петербурга, откуда продолжат путешествие к месту назначения морским путем.

Работники атомных предприятий провожали оборудование по маршруту следования барж флешмобами, а сотрудники Информационных центров по атомной энергии

(ИЦАЭ) провели научно-популярные лектории, на которых эксперты рассказали жителям Ульяновска, Саратова, Нижнего Новгорода и Санкт-Петербурга об устройстве реакторов ВВЭР и БН, плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) и истории атомной промышленности.

Такая масштабная акция по информационному сопровождению проекта проводится впервые, и практически все даты и время проведения лекций были запланированы так, чтобы в финале слушатели могли увидеть проходящую мимо баржу с корпусом реактора и четырьмя парогенераторами.



## Ульяновск. История отрасли и НИИАР

Лекция в Ульяновске прошла на берегу Волги. Сергей Погляд, эксперт по научным разработкам АО «ГНЦ НИИАР» и преподаватель ДИТИ НИЯУ МИФИ, начал с небольшого исторического экскурса, посвященного изучению атома.

«Самый страшный гвоздь в крышку классической механики вбил Столетов, когда открыл не просто фотоэффект, а красную границу фотоэффекта, и она никак не объяснялась на тот момент существующими теориями», — рассказал Сергей Погляд.

Очередной шаг для человечества, по мнению спикера, сделал Вильгельм Конрад Рентген, проводивший эксперименты с катодной трубкой. «Открытие он сделал практически случайно. Уходя, он закрыл машину чехлом, но увидел, что на столе лежит и светится бумага, покрытая слоем бария. Так он открыл X-лучи», — продолжил рассказ эксперт.

Затем последовали открытия Антуана Анри Беккереля, Эрнеста Резерфорда, Пьера и Марии Кюри, Джеймса Чедвика, Лео Сциларда и других ученых, постигавших тайны атома и создававших новую науку — ядерную физику.

Поначалу радиоактивность вошла в моду. Радий добавляли в воду, зубную пасту, продукты питания, а соли урана включали в состав стеклянной посуды, которая благодаря этому приобретала разные оттенки цвета в диапазоне от зеленовато-желтого до оранжевого. Некоторые даже использовали трубочки, заполненные радием, как источник света при чтении. «В начале XX века люди не понимали опасности

радиоактивности. Мария Склодовская-Кюри вручную перебирала урановую руду», — добавил эксперт.

Важным этапом для развития атомных технологий в конце 30-х годов XX века стали эксперименты Отто Гана и Фрица Штрассмана. «Физики облучали нейтронами уран и сильно удивлялись. Они в итоге находили более легкие атомы — барий, цезий, ксенон, а ожидали более тяжелых. Помогли им разобраться в результатах Лиза Мейтнер и Отто Фриш. Они предположили, что ядро не увеличивается в размерах, а расщепляется на два. В итоге стало понятно, как делится уран, и физики осознали, что осуществить цепную реакцию деления реально», — рассказал Сергей Погляд.

После ряда важных открытий, включая открытие спонтанной реакции деления ядра урана советскими физиками Константином Петряком и Георгием Флеровым, стало понятно, что расщепление атома — перспективное направление. В Чикаго на территории университета под стадионом в 1942 году собрали «Чикагскую поленницу» — первый в мире ядерный реактор. Свое название он получил, потому что его складывали из кусков чистого графита, который чередовали с металлическим ураном. На примере этого реактора стало понятно, что такая технология вполне может работать.

«В СССР поняли, что нужно включаться в эту тему, и возле Москвы, в деревне Щукино, на бывшем картофельном поле поставили палатку и начали строить реактор. Здания еще не было, а реактор в палатке уже строили. Он был похож на американский — графитовые блоки со вставками из металлического урана.

Достаточно большое количество материалов мы вывезли из побежденной Германии в 1945 году. В декабре 1946 года Ф-1 был успешно запущен. Его несколько раз перебирали вручную», — рассказал спикер.

Затем на Урале был построен «Маяк» со знаменитой «Аннушкой», нарабатывавшей оружейный плутоний. При этом Игорь Курчатов достаточно быстро понял, что атомную энергию можно и нужно использовать в мирных целях. На первой в мире атомной электростанции в Обнинске не только отработали технологию промышленных реакторов. Там же тренировалась экипажи атомных подводных лодок.

Сергей Погляд также остановился на особенностях исследовательских реакторов в НИИАР — Научно-исследовательском институте атомных реакторов, который располагается в Димитровграде.

«Реактору БОР-60 уже около 60 лет, и он до сих пор функционирует. Это хороший пример того, как надежная машина способна отработать дольше запланированных 40 лет. Реактор МИР исследует материалы для космических кораблей и спутников, атомных ледоколов, атомных подводных лодок, реакторов — другими словами, он работает, чтобы у Росатома были лучшие и самые прочные материалы. Название реактора СМ в основном расшифровывают как «самый мощный», но есть и вариант «Савелий Моисеевич» — в честь его конструктора Фейнберга. У реактора СМ-3 самый высокий нейтронный поток в мире. Это гордость НИИАР. СМ-3 помогает нам накапливать редкоземельные элементы», — рассказал эксперт.

По мнению Сергея Погледа, на наших глазах происходит мощный технологический рывок — совсем как на границе XIX и XX веков, когда ученые

познакомились с устройством атома. «Вот с таким качественно новым рывком на примере современных атомных технологий мы сегодня и познакомимся. Два корпуса одновременно мы делали раньше, а вот чтобы сразу два комплекта — такое в первый раз. Это очень крутой год. Оборудование для зарубежных АЭС на проплывающих по Волге баржах — это поколение III+. Первый реактор поколения III+ был построен и успешно запущен в 2016 году на Нововоронежской АЭС», — пояснил эксперт.

Сейчас Росатом строит реакторы поколения III+ в нескольких странах. «27 апреля на АЭС «Аккую» в Турции уже завезли ядерное топливо. И мой вопрос: «Зачем нам развиваться дальше?» А ответ не совсем тривиален. Урана-235, который нам необходим, в урановой руде меньше 1%. Чтобы получить тонну урана, который можно использовать в качестве топлива для АЭС, нужно перелопатить несколько сотен тысяч тонн породы. И соотношение урана-235 и урана-238 — это 1 атом на 141. Представьте себе гору угля, в которой изредка встречаются алмазы. И вот вы тратите массу времени и усилий, чтобы их оттуда извлечь, а потом ими топите, а остальное выбрасываете. Вот такая метафора, иллюстрирующая процесс добычи урана. Так вот, эту кучу невостребованного сырья тоже хочется вовлечь в оборот. Еще одна метафора — сырые березовые дрова. Можно сжечь кору, а можно просушить все полено и положить его в костер», — объяснил Сергей Погляд. Повысить эффективность использования уранового сырья можно, если использовать реакторы на быстрых нейтронах, которые могут работать на топливе, изготовленном из отработавшего топлива тепловых реакторов.

Завершилась лекция флешмобом на фоне проплывающей баржи.

## Саратов. Эволюция реакторов

Артем Байрамов, доцент Института энергетики СГТУ, доктор технических наук, поделился со слушателями своим мнением о том, в чем заключается секрет успеха Росатома. Саратовцы собрались на пляже в районе новой набережной, удобно разместившись на открытой веранде.

Сначала спикер рассказал о принципах работы ядерного реактора. «ВВЭР — это водо-водяной энергетический реактор. Он двухконтурный. В активной зоне реактора идет цепная ядерная реакция деления, при которой высвобождается колоссальная энергия. Она нагревает воду первого контура, в парогенераторе без прямого контакта первый контур нагревает воду второго, она превращается в пар, пар вращает турбину, турбина вырабатывает электричество», — пояснил эксперт.

Главный секрет успеха Росатома, по мнению Артема Байрамова, заключается в том, что госкорпорация развивается по эволюционному пути — на основе

существующих реакторных технологий создаются новые, вносятся уникальные конструктивные дополнения, повышающие эффективность и безопасность и более выгодные в экономическом плане. Так, проект ВВЭР-1200 базируется на основе ВВЭР-1000.

«Наша страна единственная в мире, в которой работают промышленные реакторы на быстрых нейтронах. Это БН-600 и БН-800 на Белоярской АЭС. Атомная энергетика — единственная отрасль, которая может сама себя обеспечить топливом за счет эксплуатации реакторов на тепловых и на быстрых нейтронах», — добавил спикер.

Артем Байрамов также объяснил слушателям, что программа модернизации существующих блоков позволяет увеличить срок службы реакторов еще на 20–30 лет, а срок службы новых реакторов составляет 60 лет. При этом стоимость электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, ниже за счет высокой энергоемкости топлива.

## Нижний Новгород. Плюсы ПАТЭС

Степан Дрожкин, сотрудник «ОКБМ Африкантов», рассказал нижегородцам о плавучих атомных теплоэлектростанциях (ПАТЭС). Площадкой для лекции была выбрана набережная около Академии «Маяк» — значимого для нижегородцев культурно-исторического объекта.

Эксперт отметил, что АЭС строят по всему миру и Росатом в этом направлении один из безусловных лидеров. «Новые блоки в России строят на Ленинградской, Курской, Смоленской АЭС — это ВВЭР, на Белоярской запланирован реактор на быстрых нейтронах, в Северске тоже строится быстрый реактор БРЕСТ на жидком свинце. За границей идет работа в Турции, Египте, Бангладеш, Индии, Китае, Венгрии, Белоруссии. Как видите, объемы строительства огромные!» — подчеркнул Степан Дрожкин.

«Все вышеперечисленные АЭС — это крупные заводы по производству электроэнергии. Но там, где электричества нужно не так много, выходят на первый план АЭС малой мощности. Мне посчастливилось работать на первой в мире плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов», — поделился спикер.

ПАТЭС — это атомный плавучий энергоблок (ПЭБ) плюс гидротехнические сооружения и объекты береговой площадки. По мнению Степана Дрожкина, будущее именно за такими АЭС малой мощности, потому что в их строительстве и эксплуатации много плюсов. Во-первых, их изготавливают на специализированном предприятии, и даже испытания ПЭБ проходят у причальной стенки завода. «Для тех, у кого есть автомобиль, подойдет такое сравнение. Одно дело — чинить машину в гараже, совсем

другое — в чистом поле», — привел метафору эксперт. Во-вторых, это мобильность во всех смыслах. Первоначально ПАТЭС планировали разместить в Северодвинске, затем в Вилочинске, а в итоге установили у Певека — портового города на Северном морском пути, так как понадобилось заместить мощности Билибинской АЭС, которую планируют вывести из эксплуатации. В-третьих, это простота управления и эксплуатации.

«Если обобщить, то, к примеру, пуск большой АЭС от начала разогрева реактора до выдачи электроэнергии в сеть — это несколько дней. Сложный технологический процесс требует участия сотни человек обслуживающего персонала. К пуску блока готовятся за неделю. А пуск ПАТЭС — это часы. То есть от момента получения разрешения на пуск до первых киловатт-часов в сети проходит менее половины суток!» — пояснил Степан Дрожкин.

На данный момент действующая ПАТЭС есть только в России. Кроме того, идет строительство серии модернизированных энергоблоков. Их мощность составит 100 МВт. Серия будет состоять из четырех МПЭБ, они предназначены для Баимского месторождения, расположенного в 100 км от Певека. Также разрабатываются проекты ПЭБ в 200 МВт. Они предназначены для месторождений в Охотском море. «Кстати, сейчас идет реализация проекта стационарной, то есть наземной, АЭС малой мощности в Якутии. На днях получена лицензия на строительство станции, ведутся геологические изыскания», — добавил спикер.

Степану Дрожкину довелось поработать на Кольской АЭС. «За шесть лет работы на КАЭС я поработал

### На фото

Лекция «Атомные реакторы нового поколения» в Саратове





#### На фото

Лекция «Передовые технологии в атомной промышленности России. Опыт эксплуатации самой северной АЭС в мире» прошла в Нижнем Новгороде

оператором-обходчиком, инженером и ведущим инженером по управлению реактором. Где-то в начале 2018-го я в шутку сказал своему другу: «Как здорово было бы устроиться на ПАТЭС... Проект новый, коллектив небольшой, перспективы...» Через месяц друг ответил: «Я звонил, меня берут, тебя тоже, вот номер телефона, звони. Надо ехать». Сказано — сделано. Звонок будущему начальнику, резюме, анкета. Прощай, КАЭС, здравствуй, ПАТЭС!» — рассказал спикер.

Первой задачей Степана Дрожкина стал контроль качества ТВС, а затем он сопровождал ПАТЭС из Мурманска в Певек: «На самом деле это удивительное ощущение — держать в руках ядерное топливо, ведь это сердце ядерного реактора, сердце ПАТЭС. Тщательно осмотрев эту ТВС, мы с коллегами подготовили ее к загрузке в реактор. Процесс этот очень ответственный и кропотливый, в итоге почти 300 ТВС загружали несколько недель».

По словам эксперта, жители Певека поначалу отнеслись к появлению атомщиков с некоторым недоверием. «И их можно понять: неуютно, когда в тихий уголок на краю земли приплывает чудо современной техники. Но потом, с получением первой электроэнергии, население успокоилось. Лампочки в квартирах перестали постоянно моргать. А когда ПАТЭС начала давать тепло в дома певекчан, жители стали

наконец понимать, что такое нормальное отопление: в квартире можно ходить без теплой кофты, а форточки открывать даже в сильные морозы. До ПАТЭС тепло и немного электричества Певеку давала Чаунская ТЭЦ постройки 1942 года. ТЭЦ старая и работала на угле, так что, помимо слабого тепла в батареях, весь город был присыпан угольной пылью. Так себе картинка», — вспомнил спикер.

Работа на АЭС, по мнению Степана Дрожкина, интересная и увлекательная. Будучи эксплуатационником, он постоянно мечтал что-то улучшить в конструкции, доработать проект, создать новое. И в 2022 году устроился на работу в «ОКБМ Африкантов» в отдел, который занимается ледоколами и ПАТЭС.

В завершение лекции спикер обратился к слушателям, среди которых преобладали студенты нижегородских вузов: «Да, у меня большой опыт в атомной энергетике. Да, мои коллеги спроектировали много реакторных установок. Но кто знает, возможно, мы все время не могли увидеть что-то важное, что должно кардинально улучшить АЭС. Порой глаз замыливается, начинаешь мыслить шаблонами. А у будущего поколения атомщиков может получиться то, чего не смогли достигнуть мы и те, кто делал проекты до нас. Спроектированные вами АЭС и ПАТЭС будут, несомненно, лучше».

## Санкт-Петербург. Лекция на воде

В Санкт-Петербурге завершилась речная часть путешествия барж, и сотрудники местного ИЦАЭ организовали для заинтересованных горожан ночную лекцию на прогулочном кораблике, чтобы они смогли увидеть, как реактор и парогенераторы проходят под разведенными мостами Невы.

С лекцией «Сердце АЭС, или Как начинается путь длиной 100 лет» выступил Николай Сметанин, руководитель направления по развитию процессов МТО АО «АЭМ-технологии».

«Главные секреты производства оборудования для АЭС заключены в металле, его свойствах, которые обеспечивают такие уникальные показатели, чтобы реактор мог проработать 100 лет. У реактора шесть основных частей, которые должны быть соединены друг с другом с помощью сварки. И важное достижение Ижорских заводов в последние годы — уменьшение количества сварных швов в новых моделях именно для того оборудования, которое сегодня направляется в Индию. Шесть частей реактора — пять кольцевых сварных швов», — отметил эксперт.

Работу над реакторами ВВЭР Ижорские заводы вели с 1970-х годов. Основные трудности при изготовлении крупногабаритного корпусного оборудования были в технологии изготовления и способах производства, которые бы обеспечили максимальные габариты корпуса с учетом возможности транспортировки по железной дороге и с сохранением всех проектных параметров. «Тогда, в конце 70-х, на Ижорских заводах создали целый отдел, занимавшийся нейтронно-физическими расчетами активной зоны, и в итоге предприятие позднее смогло спроектировать и изготовить корпус реактора ВВЭР-1000, современные «внуки» которого сейчас отгружаются нашим иностранным партнерам», — объяснил Николай Сметанин.

Долговечность и надежность оборудования обеспечивается наплавкой на внутреннюю поверхность

нержавеющей стали. Наплавка делается поэтапно — на патрубки, затем на внутренние поверхности и, наконец, по зонам сварных швов. Основной металл перлитного класса выдерживает давление в реакторе с проектным ресурсом 60 лет, с возможностью продления до 100 лет, а нержавеющая сталь обеспечивает антикоррозийную стойкость.

«Для основного корпусного оборудования АЭС необходимо получить надежные данные по всем характеристикам металла после производственных и эксплуатационных воздействий. Поэтому в заготовках предусматриваются специальные пробы в виде колец, которые используются как для испытаний металла, так и для изготовления производственных контрольных сварных соединений. Также эти пробы и производственные контрольные сварные соединения используются для изготовления образцов-свидетелей для испытаний металла в процессе эксплуатации», — рассказал спикер.

В конце прогулки участники увидели проплывающую по Неве баржу с оборудованием и приветствовали ее флешмобом.

#### На фото

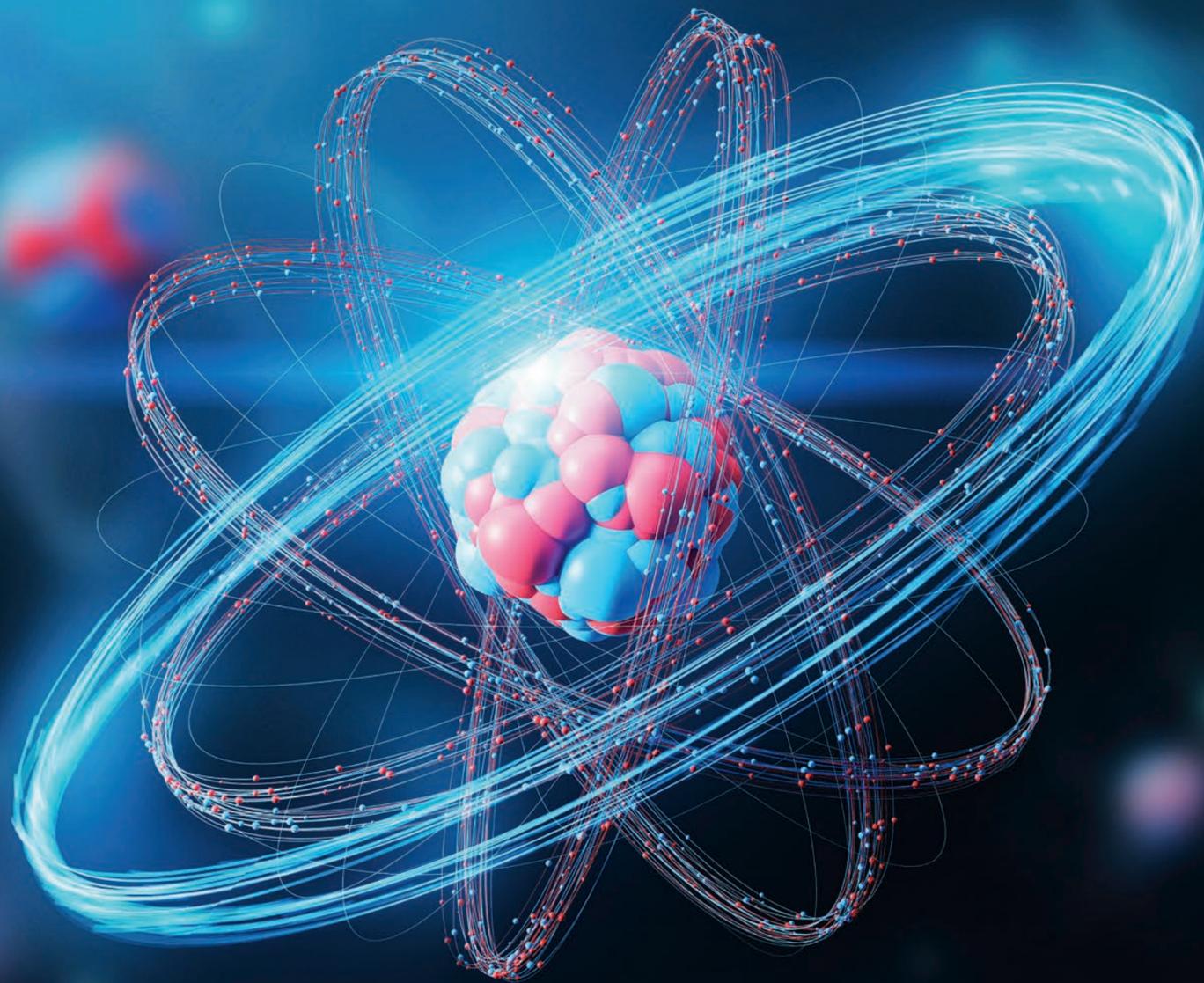
Лекция «Сердце АЭС, или Как начинается путь длиной 100 лет» в Санкт-Петербурге



### Коротко

Слушателями четырех лекториев — в Ульяновске, Саратове, Нижнем Новгороде и Санкт-Петербурге — стали старшеклассники, студенты технических вузов, сотрудники предприятий Росатома и горожане, интересующиеся наукой и технологиями.

Текст: Геннадий Скорынин, ветеран атомной отрасли, канд. техн. наук  
 Фото: фотобанк «Фотодженика», Resource Database



## Кирпичики мироздания

*Изотопы и нуклиды: разные понятия или синонимы?*

Популяризация знаний об истории, сегодняшних достижениях и будущем отрасли — важная часть работы Росатома. Однако даже в среде атомщиков нет единодушия в толковании некоторых ключевых терминов. Изотопами и нуклидами называют разновидности атомов, которые, сочетаясь во множестве комбинаций в составе молекул, образуют все разнообразие окружающего нас материального мира. Разбираемся, что означают эти понятия, какой была их эволюция и как их правильно употреблять сегодня.

### Эволюция понятия «изотопы»

По мере развития науки изменялись представления о строении материи и менялось определение термина «изотопы». Современное толкование этого понятия рекомендовано Международным союзом теоретической и прикладной химии (IUPAC): «Изотопы — это нуклиды, имеющие одинаковый атомный номер, но различное массовое число». В свою очередь, термин «нуклид» эта авторитетная организация в области химических стандартов и терминологии определяет как «вид атомов, характеризующийся определенным массовым числом, атомным номером и энергетическим состоянием ядер и имеющий время жизни, достаточное для наблюдения». Нуклид, ядро которого состоит из  $Z$  протонов и  $N$  нейтронов, обозначается как  ${}^A_ZX$ , где  $X$  — символ химического элемента в виде одной или двух букв латинского алфавита, введенный Йенсом Берцелиусом в 1814 году,  $A = Z + N$  — массовое число (число нуклонов в ядре), а  $Z$  — атомный номер элемента. Часто атомный номер  $Z$  внизу слева от символа не указывают, т. к. он, по сути, дублирует информацию о химическом элементе  $X$ , или обозначение нуклида записывают в одну строку, добавляя массовое число через дефис после символа. Например,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ ,  $\text{U-235}$  означают нуклид урана-235, а два нуклида  $\text{Ne-20}$  и  $\text{Ne-22}$ , относящиеся к одному химическому элементу, представляют изотопы неона.

Первоначально, когда в 1913 году Фредерик Содди предложил термин «изотопы» для химически идентичных атомов с разной массой, занимающих одну и ту же клетку в периодической таблице Менделеева, он привел научное определение изотопов как атомов, у которых «алгебраическая сумма положительных и отрицательных зарядов в ядре одинакова, тогда как арифметическая сумма зарядов различна»<sup>2</sup>. При этом автор исходил из представлений того времени, в соответствии с которыми считалось, что ядра атомов состоят из положительных ядер водорода и отрицательных электронов. Электрон как носитель элементарного отрицательного заряда открыл Джозеф Томсон в 1897 году, а существование элементарной частицы, представляющей положительный ион водорода, Эрнест Резерфорд окончательно доказал в 1919 году и предложил назвать ее протоном<sup>3</sup>. Название созвучно с термином «против», которым Уильям Праут называл атомы водорода, предполагая, что из этой первичной материи образованы атомы всех элементов. Гипотеза Праута, выдвинутая в 1815 году,

вызвала многочисленные дискуссии о строении атомов и о существовании изотопов.

Однако математическая формулировка Содди не прижилась из-за смены представлений. В 1932 году Джеймс Чедвик открыл электрически нейтральную частицу — нейтрон<sup>4</sup>, а Дмитрий Иваненко и Вернер Гейзенберг независимо друг от друга предложили протонно-нейтронную модель строения ядер атомов<sup>5,6</sup>. Изотопами стали называть атомы, ядра которых состоят из одинакового числа протонов, но разного числа нейтронов. Это наиболее прозрачное определение термина продержалось до 1947 года, пока в Чикаго не родилось новое слово — «нуклид»<sup>7</sup>.

### Словотворец из Чикаго

Автор нового термина профессор университета Чикаго Трумэн Пауль Коман (1916–2010) за свою продолжительную жизнь участвовал в реализации ряда ключевых событий в развитии атомной науки и техники. В 1938 году, после получения степени бакалавра химии в Гарвардском колледже, он работал в Металлургической лаборатории Чикагского университета, вовлеченной в Манхэттенский проект для работ по созданию атомной бомбы. В сентябре 1942 года Коман возглавлял группу химиков, которые готовили для анализа и взвешивания микрограммовый образец плутония, впервые полученный на циклотроне путем бомбардировки нейтронами массивной урановой болванки<sup>8</sup>. После защиты в 1943 году докторской диссертации в Университете штата Висконсин на тему «Производство радиоактивных индикаторов нейтронами»<sup>9</sup> Коман продолжил работу в Чикаго и в Хэнфорде в качестве исследователя-радиохимика. В активе его научных трудов подготовка секретного Руководства по измерению радиоактивности, изучение свойств радия, неодима-144, железа-60 и ряд других исследований<sup>10</sup>.

17 июля 1945 года, на следующий день после первого испытания плутониевой бомбы на полигоне «Тринити», Коман поставил подпись под петицией, подготовленной Лео Сцилардом, с призывом к президенту США Гарри Трумэну воздержаться от применения атомной бомбы против людей. На решение президента петиция влияния не оказала, а после атомных

1. Compendium of Chemical Terminology / International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), (Gold Book). Version 2.3.3. 2014–02–24.

2. Soddy F. Intra-atomic Charge // Nature. 1913. Vol. 92. P. 399–400.

3. Rutherford E. Collision of  $\alpha$ -particles with light atoms. I. Hydrogen. II. Velocity of the hydrogen atom. III. Nitrogen and oxygen atoms. IV. An anomalous effect in nitrogen // Philosophical Magazine. 1919. Vol. 37. P. 537–587.

4. Chadwick J. Possible existence of a neutron // Nature. 1932. Vol. 129. P. 402; The existence of a neutron // Proceedings of the Royal Society. 1932. Ser. A. Vol. 136. P. 692.

5. Iwanenko D. The neutron hypothesis // Nature. 1932. Vol. 129. P. 798.

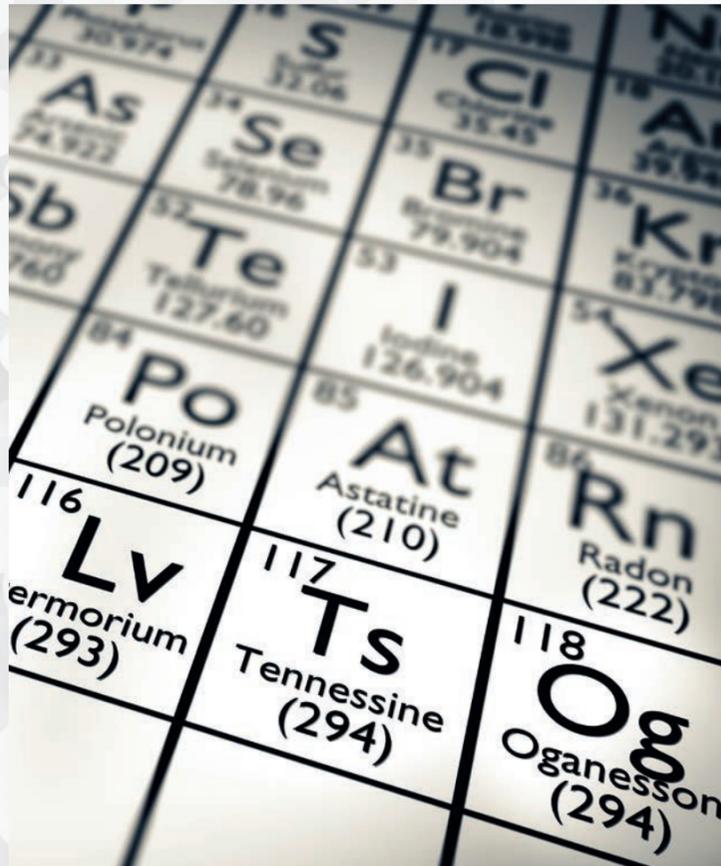
6. Heisenberg W. Über den Bau der Atomkerne // Zeitschrift für Physik. 1932. # 77. S. 1–11; 1932. # 78. S. 156–168; 1933. # 80. S. 587.

7. Kohman T. P. Proposed New Word: Nuclide // American Journal of Physics. 1947. V. 15. Issue 4. P. 356–357.

8. Recollections and Reminiscences at the 25th Anniversary of the first weighing of plutonium / University of Chicago. 1967. September 10.

9. Kohman T. P. The Production of Radioactive Indicators with Neutrons / University of Wisconsin-Madison. 1943. 304 p.

10. Truman P. Kohman's research while affiliated with Pittsburgh Technical Institute and other places [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Truman-P-Kohman-32745559>; Truman P. Kohman's research while affiliated with Carnegie Mellon University and other places [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Truman-P-Kohman-2035287677>



бомбардировок Хиросимы и Нагасаки генерал Лесли Гровс, руководивший Манхэттенским проектом, стал искать доказательства незаконного поведения Сциларда. Коман, как и большинство из 70 подписантов петиции, был отстранен от работы над ядерным оружием. В 1947 году химик Коман временно занимал должность профессора физики в университете Чикаго, а с 1948 по 1981 год преподавал химию и астрономию в Университете Карнеги — Меллона в Питтсбурге. В 1954 году он проводил эксперименты по применению нуклида алюминий-26 для определения возраста метеоритов, а позже участвовал в изучении некоторых образцов из 21,55 кг лунного грунта, доставленного в 1969 году на Землю экипажем Apollo 11. Уйдя в отставку в 1981-м, он продолжал до 1990 года преподавать вводный курс астрономии в школе. До конца своей жизни он выступал за мирное использование ядерной энергии.

Коман внес заметный вклад и в метрологию атомной физики. В 1959 году он в соавторстве с двумя коллегами обосновал переход на углеродную шкалу

при измерении масс атомов и элементарных частиц<sup>11</sup>. В 1960 году это предложение получило одобрение, было принято IUPAC и IUPAP (Международный союз теоретической и прикладной физики), и до настоящего времени атомная единица массы, равная 1/12 массы изотопа углерод-12, повсеместно применяется в научном мире вместо ранее использовавшейся кислородной шкалы. Но, в отличие от метрологии, со словотворчеством автор неологизма «нуклид», как говорится, попал пальцем в небо.

### Противоречивый термин

Коман предложил любой атом, после того как в его ядре будет сосчитано количество нейтронов и протонов, называть нуклидом. Это похоже на то, как человека после получения соответствующего документа с его реквизитами (например, свидетельства о рождении ребенка или паспорта для иностранца) можно называть гражданином. До 1947 года такие атомы называли изотопами, у каждого из них также было определено число нейтронов и протонов в ядре. Коман обратил внимание, что термин «изотопы» был первоначально установлен для группы атомов, и усомнился в правомерности применения этого термина для отдельного атома. Иначе говоря, для единственного числа понятия «изотопы» Коман придумал термин «нуклид»!

Предложение Комана получило поддержку IUPAC, который рекомендовал к изотопам относить различные виды атомов только одного элемента ( $Z = \text{const}$ ), а различные не только по числу нейтронов, но также и по числу протонов и электронов ядра и атомы следует называть нуклидами. Однако до сих пор позиции международных научных организаций не приведены к единообразию и термин «изотоп» в единственном числе продолжает широко применяться вместо нуклида, в том числе и в официальных материалах IUPAC и IUPAP. Несмотря на принятые в 1950-е годы международные соглашения, за многие десятилетия термин «нуклид» так и не смог заменить термин «изотоп» везде, где это было возможно.

Автор термина «нуклид» изначально заложил в него противоречие, назвав разновидность атома дословно видом ядра. Видимо, слово «атомид» показалось ему слишком банальным. Многие известные ученые продолжали использовать старую привычную терминологию или применяли термин «нуклид» как синоним слова «ядро». Так лауреат Нобелевской премии по физике Эмилио Сегре в монографии 1977 года<sup>12</sup> утверждает, что термины «ядро» и «нуклид» являются синонимами и могут быть взаимозаменяемыми. Таким образом, Сегре толковал предложенный Команом термин «нуклид» буквально — как разновидность ядра. Это один из примеров того, как смысл термина,

изначально в него заложенный, перестает соответствовать понятию, для обозначения которого этот термин используется. Впрочем, как и «атом», который, в противоречии с названием, оказался делимым на составные части.

### Альянс автора и редактора

Автор этих строк должен признаться, что не мог уловить разницу между терминами «изотоп» и «нуклид», пока не ознакомился с оригинальной статьей Комана<sup>13</sup>. По сути, в статье предложено название единственного числа слова «изотопы», первоначально определенного во множественном числе. Для опубликования статьи Коман летом 1947 года направил ее в редакцию «Американского журнала физики», ориентированного в основном на преподавателей этой дисциплины. В списке цитируемой литературы Коман указал статью главного редактора этого журнала Дуэйна Роллера под названием «Подход к изучению физической терминологии». Профессор Роллер в январе 1947 года стал обладателем медали Эрстеда за заслуги в преподавании физики, а в марте того же года в своем журнале привел в статье основные критерии формулировки терминов. Предложение Комана использовать два непохожих слова («нуклид» и «изотопы») для единственного и множественного числа одного понятия нарушало один из ключевых критериев Роллера, тем не менее статья Комана была принята и напечатана в июльском номере журнала. По-видимому, на решение главного редактора могло повлиять то, что в ссылках у Комана Роллер увидел свою фамилию в одном ряду с такими корифеями науки, как Уильям Харкинс, Георг Хевеши, Фриц Панет, Фредерик Содди, Фрэнсис Астон, Отто Ган, Лиза Мейтнер, Карл Вайцзеккер, Гленн Сиборг.

Вскоре после выхода в свет «Американского журнала физики» Коман позаботился, чтобы его нововведение стало достоянием не только учителей физики, но и ученых. В выпуске авторитетного научного еженедельника SCIENCE от 18 июля 1947 года в рубрике «Комментарии читателей» было напечатано краткое сообщение. В нем «читатель» Коман сообщил, что новое слово «нуклид» определяется как «разновидность атома, характеризующаяся строением его ядра» и предлагается использовать этот термин вместо таких «неверных или неудобных выражений, как изотоп, ядро, вид атома или вид ядра»<sup>14</sup>. За подробностями Коман отправил читателей журнала SCIENCE по ссылке на свою статью в журнале для преподавателей.

### От нуклидов к изомерам

В 1982 году IUPAC уточнил определение термина «нуклид», добавив к его характеристикам

«энергетическое состояние ядер и время жизни, достаточное для наблюдения». С этим добавлением стало возможным дать формальное определение для ядерных изомеров, которое теперь формулируется следующим образом: «Изомеры (ядерные) — это нуклиды, имеющие одинаковое массовое число и атомный номер, но находящиеся в разных ядерных энергетических состояниях»<sup>15</sup>. Оказалось, что у некоторых атомов с одинаковыми  $Z$  и  $A$  могут существовать разновидности, отличающиеся уровнем энергии ядра, другими ядерно-физическими характеристиками и называемые изомерами. Термин «изомеры» был предложен Берцелиусом в 1830 году для химических веществ, молекулы которых состоят из одинакового набора атомов, но отличаются свойствами из-за разного расположения атомов в пространстве.

Впервые с явлением ядерной изомерии столкнулся Отто Ган в 1921 году, когда обнаружил, что у радиоактивного ядра протактиния ( $Z = 91$ ,  $A = 234$ ) существуют две разновидности, с разными периодами полураспада. В 1935 году Игорь Курчатов с сотрудниками ленинградского ФТИ открыли изомерию у радиоактивного брома-80, образующегося при захвате нейтрона стабильным изотопом бром-79. Первую теорию ядерной изомерии описал Карл Вайцзеккер в 1936 году<sup>16</sup>. Для обозначения изомера после массового числа нуклида добавляется буква  $m$ , например  $^{234m}\text{Pa}$  или  $^{80m}\text{Br}$ . Если нуклид имеет более одного метастабильного возбужденного состояния, то они обозначаются в порядке роста энергии буквами  $m$ ,  $p$ ,  $q$  и далее по алфавиту либо буквой  $m$  с добавлением индекса:  $m_1$ ,  $m_2$  и т. д.

### Русские долго запрягают...

Эволюция терминологии в русскоязычных словарях и справочниках происходит с большой задержкой. До сих пор в большинстве отечественных изданий и онлайн-справочников термин «нуклид» определен без добавки, касающейся его энергетического состояния и времени жизни, а толкование термина «изомер» дается без привязки к термину «нуклид». Единственный русскоязычный источник, где удалось обнаружить современное толкование термина «нуклид», нашелся в базе данных «РОСТЕРМ», разработанной во Всероссийском научно-исследовательском институте классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ)<sup>17</sup>. Рабочая группа РГ 1 по теме «Терминология в области использования атомной энергии», созданная в составе Технического комитета по стандартизации ТК 322 «Атомная техника», объединяет представителей организаций, входящих в структуры Росатома и Ростехнадзора, а также других экспертов, специализирующихся в области использования атомной энергии.

11. Kohman T. P., Mattauach J. H., Wapstra A. H. New Reference Nuclide: The use of  $^{12}\text{C}$  as the basis for a unified scale of nuclidic masses and atomic weights is proposed // Science. 1958. Jun 20. Vol. 127 (3312). P. 1431–1432.

12. Segre E. Nuclei and Particles. 2nd edition. W. A. Benjamin, Inc., 1977.

13. Kohman T. P. Proposed New Word: Nuclide // American Journal of Physics. 1947. V. 15. Issue 4. P. 356–357.

14. Kohman T. P. Proposed Use of Nuclide // Science. 18 Jul. 1947. Vol. 106. Issue 2742. P. 62.

15. De Bruin M. Glossary of Terms Used in Nuclear Analytical Chemistry // International Union of Pure and Applied Chemistry. 1982. Vol. 54. No. 8. P. 1533–1554.

16. Ишханов Б. С. Радиоактивность: учеб. пособие / МГУ. М.: Университетская книга, 2011.

17. Национальная терминологическая база [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tk322.org/glossary>

Онлайн-словарь базы данных «РОСТЕРМ» выдает три варианта термина «нуклид». Два из них приводятся со ссылкой на устаревшие стандарты ГОСТ 15484-81 («Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения») и ГОСТ Р МЭК 60050-881-2008 («Международный электротехнический словарь. Глава 881. Радиология и радиологическая физика»). И только третий вариант по международному стандарту ISO 921:1997 («Ядерная энергия. Словарь») соответствует определению нуклида, сформулированному IUPAC в 1982 году.

### Нуклиды становятся изотопами

Возбужденное энергетическое состояние ядра, как и ограниченное время его жизни, характеризует нестабильность атома и является атрибутом радиоактивности. Поэтому эта добавка к формулировке термина в первую очередь затрагивает радиоактивные нуклиды, число которых уже приближается к четырём тысячам. Из 4122 всех нуклидов, описанных в 11-м издании Карты нуклидов Карлсруэ, вышедшем в марте 2022 года<sup>18</sup>, подавляющее большинство представляют радионуклиды, искусственно полученные в ядерных реакторах и на ускорителях элементарных частиц. Из 288 существующих в природе изотопов 253 стабильны, а еще 23 распадаются очень медленно с длительными периодами полураспада и не представляют радиационной опасности. Дюжина природных радиоактивных изотопов, включая изотопы урана и тория, сохранились с момента формирования Земли и называются первичными (primordial) радиоизотопами. Кроме того, в естественных условиях можно обнаружить в следовых количествах еще около шести десятков радиоизотопов, представляющих дочерние продукты распада трех радиоактивных семейств Th-232, U-235 и U-238 и космогенные радионуклиды.

Таким образом, в распоряжении Высшего Творца было всего около 350 разновидностей кирпичиков, из которых он умудрился создать все многообразие мироздания, включающего вещества и тела живой и минеральной природы. Свыше 90% известных на сегодня радионуклидов имеют рукотворное происхождение — они получены искусственно в ходе экспериментов в ядерных реакторах и на ускорителях элементарных частиц. Исследования продолжаются, и список нуклидов ежегодно пополняется на несколько десятков. В предыдущем, 10-м издании Карты нуклидов Карлсруэ, вышедшем в феврале 2018 года, насчитывалось 4040 нуклидов, включая 754 изомера.

Глядя на карту нуклидов и руководствуясь рекомендациями IUPAC, практически любой нуклид из 4122 представленных экземпляров можно назвать изотопом, так как у каждого из 117 химических

элементов имеется не менее двух разновидностей атомов, отличающихся массой. На сегодняшний день единственным исключением является самый тяжелый синтетический элемент, включенный в таблицу Менделеева под номером 118 и недавно получивший название оганесон (oganesson). Имя дано в честь физика Юрия Оганесяна, под руководством которого в Дубне осуществлен синтез ряда сверхтяжелых элементов. Пока ученым удалось наблюдать только один нуклид 118-го элемента — оганесон-294. Как только в экспериментах будет обнаружен атом оганесона с другим массовым числом, то, следуя правилам IUPAC, можно будет и нуклид  ${}^{294}\text{Og}$  назвать изотопом.

### Искусственное слово — для искусственных атомов

Из утверждения, что любой нуклид можно назвать изотопом, а любой изотоп — нуклидом, следует, что эти термины вопреки рекомендациям IUPAC являются синонимами. На практике во многих публикациях термин «нуклид» используется исключительно для обозначения радиоактивных атомов. Такое распределение сфер применения терминов представляется вполне логичным, если учесть, что большая часть искусственных нуклидов получена и изучена после 1947 года, когда появился искусственный термин «нуклид». Из уважения к научным заслугам Кюри, Томсона, Резерфорда, Содди, Астона и других основоположников современной науки, которые свои открытия совершали, не зная слова «нуклид», логично сохранить термин «изотоп» за каждым из объектов их исследований, включая существующие в природе стабильные и радиоактивные изотопы. Представляется целесообразным синтетический термин «нуклид» закрепить в нормативных документах за искусственно полученными радиоактивными атомами.

На практике многие авторитетные издания следуют подобному принципу разграничения терминов. Например, в тексте описания Международной системы единиц<sup>19</sup> термин «изотоп» используется для стабильных атомов водорода, углерода, кислорода, а термин «нуклид» встречается только с приставкой радио- для обозначения радиоактивных атомов. Похожая картина имеет место в словарях терминов, используемых в области ядерной безопасности и радиационной защиты, издаваемых МАГАТЭ на шести языках<sup>20</sup>. В глоссарии МАГАТЭ термин «изотоп» в основном используется для обозначения атомов урана, свинца и других природных элементов, а термин «нуклид» исключительно как радионуклид. В Большом словаре-справочнике синонимов русского языка системы ASIS<sup>21</sup> среди синонимов к слову «изотоп» указаны «стабильный дейтерий», а также «ионий» (историческое название тория-230) и «мезото-



рий» (историческое название радия-228 и актиния-228), а единственным синонимом к слову «нуклид» назван «радионуклид». Вызывает симпатии подход к терминам рабочей группы из пяти ядерных стран, подготовившей четырехязычный словарь ключевых ядерных терминов<sup>22</sup>. Изотопы в этом документе определены «по старинке», как «ядра с одинаковым числом протонов (то есть одного и того же химического элемента), но разным числом нейтронов, например  ${}^{235}\text{U}$  и  ${}^{238}\text{U}$  являются изотопами урана». Отдельной формулировки для термина «нуклид» в словаре не приводится, но в тексте неоднократно упоминаются радионуклиды.

### Реакция ученых на туманный термин

Как видно, нельзя утверждать, что такие солидные организации, как Международное бюро мер и весов в Париже, Национальный институт стандартов и технологий в США, Международное агентство по атомной энергии в Вене, как и коллектив составителей глоссария из пяти ведущих ядерных держав, безоговорочно выполнили рекомендации IUPAC в части применения терминов «изотоп» и «нуклид». На этом фоне интересно узнать, как к новому термину отнеслись известные ученые, чья деятельность проходила в период, охватывающий время до и после его появления.

Для примера проведен анализ некоторых трудов американского ученого Гленна Сиборга, удостоенного в 1951 году Нобелевской премии «за открытия в области химии трансурановых элементов», и советского физика-теоретика Якова Зельдовича, создавшего общую теорию ядерного взрыва и удостоенного высокого звания Героя Социалистического Труда. Результаты поиска терминов «nuclide» и «нуклид» в электронных копиях их работ<sup>23, 24</sup> оказались удивительными: ни тот, ни другой автор этот термин вообще не использовали (заметим, без какого-либо ущерба для качества изложения)! Можно предположить, что найдутся и другие ученые, проигнорировавшие этот весьма туманный термин. Впрочем, каждый автор в условиях сложившейся терминологической неопределенности вправе сам выбрать тот или иной подход к выбору терминов.

Кстати, сам Коман, доживший до 94 лет, забыл или не счел нужным включить упоминаемую статью в список своих избранных публикаций, размещенный в интернете<sup>25</sup>. Он или не посчитал свой вклад в терминологию достаточно значимым на фоне более существенных достижений, или испытывал разочарование старости, сожалел о незрелом рыцарстве молодости.

18. Magill J., Dreher R., Soti Z. Karlsruhe Nuclide Chart [Электронный ресурс]. 11th edition. 2022. Режим доступа: <https://www.nucleonica.com/wiki/index.php?title=Category%3AKNC>

19. The International System of Units (SI) / The BIPM and the Metre Convention. 9th edition. 2019.

20. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Вена, 2007; IAEA Nuclear Safety and Security Glossary / International Atomic Energy Agency. Vienna, 2022.

21. Тришин В. Н. Большой словарь-справочник синонимов русского языка системы ASIS [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа: <http://rus-yaz.niv.ru/doc/synonyms-trishin/index.htm?ysclid=ij37oz9xe683931327>

22. Глоссарий ключевых ядерных терминов «ядерной пятерки». Пекин, 2015.

23. Seaborg G., Corliss W. Man and atom building a new world through nuclear technology. New York: Dutton & Co., 1971.

24. Зельдович Я. Б. Избранные труды. Частицы, ядра, Вселенная. М.: Наука, 1985. 464 с.

25. Truman P. Kohman's research while affiliated with Pittsburgh Technical Institute and other places [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Truman-P-Kohman-32745559>; Truman P. Kohman's research while affiliated with Carnegie Mellon University and other places [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Truman-P-Kohman-2035287677>



**Федор Буйновский,**  
обозреватель «Вестника атомпрома»  
**Фото:** фотобанк «Фотодженика»

## Капитал не по Марксу

*Как экономические волны создавали, разрушали и трансформировали государства*

**Главная работа итальянского экономиста и исторического социолога Джованни Арриги «Долгий двадцатый век. Деньги, власть и истоки нашего времени» вышла на русском языке. Он писал ее 15 лет, с 1979 по 1994 год — именно в период слома несущих структур XX века.**

Сегодня исследования Арриги выглядят одной из самых обоснованных и продуктивных альтернатив общепринятым мнениям насчет глобальных трендов. Арриги предлагает аналитически необычную и в то же время панорамную интерпретацию капитализма как волнообразно отстраивающейся системы контроля (а не производства и не обмена) над рыночными отношениями и политикой государств. В исторической перспективе у Арриги встают на места и обретают системный, связный смысл очень многие явления.

### Как зародился европейский капитал

Например, у Арриги есть очень остроумное предположение о том, откуда у первых капиталистов появились деньги. Главная проблема капитализма — получить первоначальный капитал. А дальше, с капиталом, уже возможно всё. Мы привыкли считать, что европейские «хищники» сколотили капиталы на ограблении колоний. Но чтобы добраться до колоний, нужны были капиталы на hi-tech того времени — кораблестроение, огнестрельное оружие, навигационные инструменты, карты, обучение персонала и так далее. Мы знаем, что Испанию и Португалию снабдили капиталами североитальянские банкиры (потом испанские и португальские купцы-марраны снабдили ими Голландию, та — Англию и т. д.). Но откуда взяли капиталы североитальянцы?

Джованни Арриги в своей книге пишет, что эти капиталы дала им... сфера услуг того времени: «Первые масштабные финансовые сделки за Альпами проводились сиенскими дельцами, которые ездили в Англию и северные королевства как сборщики папских податей. Этот бизнес (в партнерстве с Римом и от имени Рима), который включал такие «невидимые статьи экспорта», как паломничества, индульгенции и отпущения грехов, сохранял свое значение для

континентальных операций и процветания флорентийских и сиенских банкирских домов в период их расцвета в XIV–XV веках. Этот грандиозный бизнес требовал опытного менеджмента, и, как отмечал торговец и хронист Джованни Виллани, флорентийцы «быстро уяснили те преимущества, которые они получали как банкиры папы, поскольку благодаря этому через их руки проходили самые большие объемы свободного капитала в мире».

В общем, этот капитал североитальянская финансовая олигархия скопила на обслуживании Римской церкви, оставляя себе за это определенный процент. Ну а далее капитал стал растекаться по всей Европе, порождая капитализм (т. е. власть капитала).

### Кто может победить гегемона

Для Арриги наиболее важной является концепция гегемонии. Это господство плюс согласие подчиниться. Арриги в качестве субъекта капиталистического становления видит державы-гегемоны. Они возникают, какое-то время правят своим миром, трансформируют его и, будучи не в состоянии контролировать результаты собственных инновационных действий, постепенно отходят на вторые роли. Речь не идет о нациях или цивилизациях. Государства рассматриваются строго как территориальные организации, которые в зависимости от историко-геополитического контекста принимали различные формы: капиталистические города-государства подобно Венеции в прошлом или Сингапуру сегодня, протонациональные союзы коммерческих городов в Нидерландах или Дубае и прочих эмиратах, действительно национальная Англия, но одновременно обладающая Британской империей, или ненациональная континентальная поселенческая демократия США.

Мирового гегемона невозможно победить в войне, потому что это сверхкапитал, а не армия и не территория. Гегемон может победить только самого себя, как это произошло с первым гегемоном, Голландией, когда сверхкапиталу стало тесно в ней. И он переполз в новую раковину — Англию.

Арриги пишет: «Как и в случаях многих корпораций XX века, сам успех и самодостаточность Голландской

Ост-Индской компании усиливали управленческую бюрократию, которая отвечала за ее повседневную деятельность. И эта растущая сила стала проявляться не столько за счет совета директоров компании, сколько за счет акционеров. В результате всё большая доля реальных и потенциальных доходов компании шла не на выплату дивидендов, а на расширение бюрократического аппарата и прежде всего на законные и незаконные вознаграждения окружению и высшему руководству компании. Главным эффектом этой тенденции было усиление привлекательности инвестиций в иностранные, особенно английские, фонды и акции и спекуляций ими на Амстердамской фондовой бирже. Именно в Англию выплеснутся избыточные капиталы голландских негоциантов. Амстердамская фондовая биржа, которая в начале XVII века работала как мощный «насос», выкачивавший избыточный капитал со всей Европы в голландские предприятия, столетием позже превратилась в столь же мощную машину, перекачивавшую голландский избыточный капитал в английские предприятия».

Проще говоря, акционеры Голландской Ост-Индской компании (десятки крупных семейств, реальные владельцы компании через капитал) увидели, что компания дряхлеет, менеджмент «попутал берега» и теперь набивает собственные карманы, а не карманы акционеров, и просто решили сменить старую раковину на новую, Голландию на Англию, откуда потом они переберутся в Америку.

### От осени Нью-Йорка к весне Пекина?

Арриги закончил «Долгий двадцатый век» предсказанием наступления «золотой осени финансов» в Америке. «Не случайно Бродель пользуется той же метафорой — «признак надвигающейся осени» — для характеристики финансовых экспансий, — пишет Джованни Арриги. — Ведь сбор плодов миновавшей фазы материальной экспансии — еще одна типичная черта всех завершающих этапов системных циклов накопления, которая предшествовала финансовой экспансии конца XIV — начала XV века».

Наряду с развитием финансовой олигархии масштабное потребление культурных продуктов представляло собой самый важный способ пожинания этих плодов, утверждает Арриги. Это потребление культуры отчасти являлось непосредственным результатом благоприятной коммерческой конъюнктуры, которая сделала инвестиции в покровительство искусству более полезной и даже более прибыльной формой утилизации избыточного капитала, чем его реинвестирование в торговлю. И, наконец, отчасти оно представляло собой непосредственный итог борьбы за статус между конкурирующими группами купцов, в ходе которой «пышное строительство стало стратегией возвышения одних семей над другими».

Рукопись книги была сдана в издательство в то время, когда на Уолл-Стрит только начинался колоссальный бум времен Билла Клинтона, «новой экономики» и всеобщей глобализации. В тех школах бизнеса,

где одолели «Долгий двадцатый век», многие тогда задумались (кое-где в США, но гораздо более в романской части Европы, Латинской Америке и особенно в Японии и Китае). Однако Арриги сам предупреждал, что «Долгий двадцатый век» был призван прояснить, но не предсказывать. В 1994-м, в год публикации книги, еще слишком многое оставалось неясным. Арриги признает в недавних статьях и выступлениях, что переоценивал рациональность американского правящего класса и потому совершенно не предвидел поворота Америки к столь авантюристическому варианту военного империализма, который произошел в президентство Буша-младшего.

Многое прояснилось за десятилетие, прошедшее после выхода в свет «Долгого двадцатого века». У этой книги есть продолжение, ожидающее своего перевода на русский. О прогнозе Арриги на XXI век можно догадаться из заголовка: «Адам Смит в Пекине». Но прежде чем оценивать перспективы Пекина как наследника коммерческой славы Венеции, Амстердама, Лондона и Нью-Йорка, надо разобраться с предшествующими волнами, которые создавали, разрушали и вновь переделывали современный мир.



Фото: АО «Новавинд»

5 июня Кузьминская ВЭС Росатома в Ставропольском крае начала поставлять электроэнергию в энергосистему России



# Давай поделимся

## От А до Я!

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

## Будьте в курсе!

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

## Выигрывайте призы!

Каждый месяц мы проводим конкурс среди подписчиков.

## Спрашивайте!

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

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

