

ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№2 | март | 2025

Главная тема

Квантовые технологии

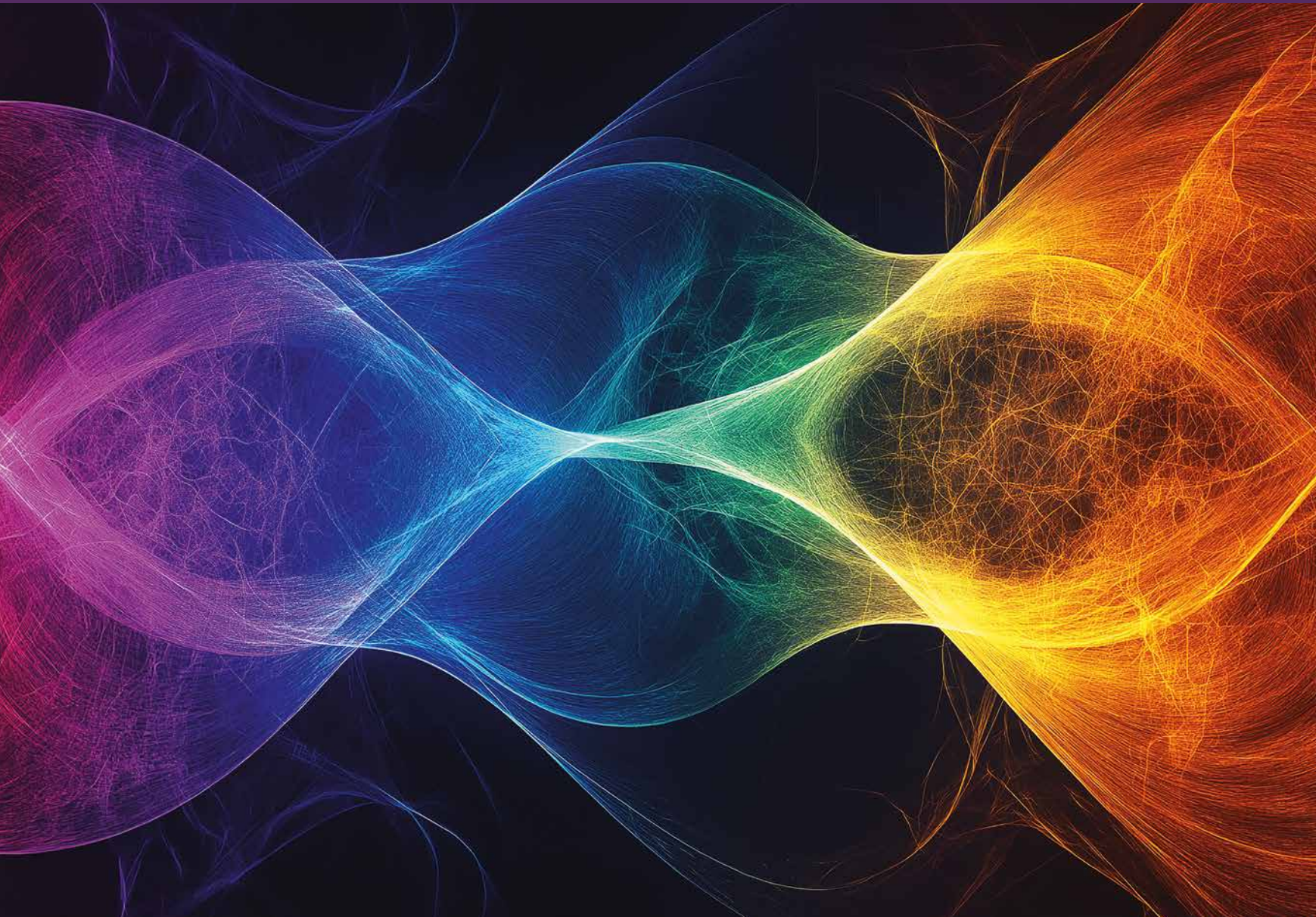
*Перспективы создания квантовой
индустрии в России*

В номере

Материалы будущего 36

Атом в Восточной Европе 42

Искусственный интеллект и право 46



Уважаемые читатели!

Сто лет назад ученые начали переосмысливать понятия классической физики, доказывая, что она дает лишь приблизительные представления о законах окружающего мира и работает только на макроуровне. На базе практического развития фундаментальных идей о квантовой природе материи и энергии появились технологические достижения, которые определяют облик современного мира — от оптоволоконной связи до солнечных панелей. Решение ООН объявить 2025 год Международным годом квантовой науки и технологий — это дань уважения роли квантовой теории в развитии современного общества.

Распространено мнение о том, что следующая ступень овладения квантовыми явлениями — на уровне управления квантовыми состояниями отдельных частиц — вопрос отдаленного будущего. Но это не так: приближается время, когда такие явления начнут использоваться для решения прикладных задач. С 2020 года «Росатом» отвечает за реализацию дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Квантовые вычисления». С 2026 года сфера ответственности «Росатома» существенно расширяется: перед госкорпорацией поставлена задача координации перспективного направления «Квантовые сенсоры». Главная тема номера рассказывает о результатах, достигнутых российскими учеными и инженерами, и планах на будущее, среди которых практическое применение квантовых технологий и построение основных элементов конкурентоспособной отечественной квантовой индустрии.

Также мы вспоминаем основные события Форума будущих технологий, приводим мнения экспертов о перспективах развития атомной энергетики в восточноевропейских странах и рассказываем о правовых проблемах, которые могут возникнуть при использовании искусственного интеллекта.

**ВЕСТНИК
АТОМПРОМА**

№ 2, март 2025 года

Информационно-аналитическое издание

Фото на обложке
Midjourney

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

Выпускающий редактор
Еременко О. В.

Дизайн и верстка
Бабич А. Е., Балдин В. В.

Корректор
Бомбенкова А. Н.

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

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

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

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

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

Тираж 1980 экземпляров.
Цена свободная.
Подписано в печать: 21.03.2025

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

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

Журнал отпечатан:
ООО «АртФормат»
115477, г. Москва, ул. Зюзинская, д. 6, стр. 2.
Тел.: +7 (968) 724-35-91
№ заказа: Аф-002/25.

Содержание

Главная тема	КОРОТКО	Квантовый скачок технологий: от прошлого к будущему 4 <i>Международный год квантовой науки и технологий</i>	События	В будущее с новыми материалами 36 <i>Главной темой Форума будущих технологий — 2025 стали новые материалы</i>
	СОБЫТИЯ	На пути к квантовой индустрии 6 <i>«Росатом» нацелен на масштабирование и практическое применение квантовых технологий</i>		Большой старт 40 <i>На стройплощадке энергоблока № 4 Ленинградской АЭС-2 состоялась заливка первого бетона в фундамент здания реактора</i>
ТЕНДЕНЦИИ	ПРЯМАЯ РЕЧЬ	Квантовый проект: курс на практику 10 <i>Директор по квантовым технологиям госкорпорации «Росатом» Екатерина Солнцева — о ключевых результатах и стратегических вызовах развития отечественной квантовой индустрии</i>	Мнения	Восточноевропейский атом 42 <i>Эксперты — о возможностях и перспективах атомного ренессанса</i>
	РАЗБОР	Кот Шрёдингера жив и намерен ловить мышей 14 <i>Советник генерального директора госкорпорации «Росатом» и сооснователь Российского квантового центра Руслан Юнусов — о том, когда применение квантовых технологий сможет перейти в практическую плоскость и что для этого нужно</i>		Уже не игрушка 46 <i>Можно ли защитить себя, свою личную жизнь и авторские права от искусственного интеллекта</i>
ДОСТИЖЕНИЯ	ПРАКТИКА	Квантовый ликбез 18 <i>Квантовая наука и квантовые технологии в вопросах и ответах</i>	ИЦАЭ	Квантовый фронтир 52 <i>Занимательно о сложном: где находится «святой Грааль» квантовых вычислений, в чем заключается задача трех миллионов тел и как раздвинуть границы ойкумены</i>
		Кубиты берут новые высоты 22 <i>Достижения и перспективы в области разработки российских квантовых компьютеров</i>		Русское моделирование 56 <i>В каких случаях и почему управленческие дефекты в России превращаются в преимущества</i>
ГОРИЗОНТЫ ПОЗНАНИЯ	ГОРИЗОНТЫ ПОЗНАНИЯ	Квант дела 28 <i>Как начинают использовать разработки квантовых стартапов</i>	Книжная полка	
		Вопрос философский 34 <i>Можно ли считать информацию формой энергии</i>		

Квантовый скачок технологий: от прошлого к будущему

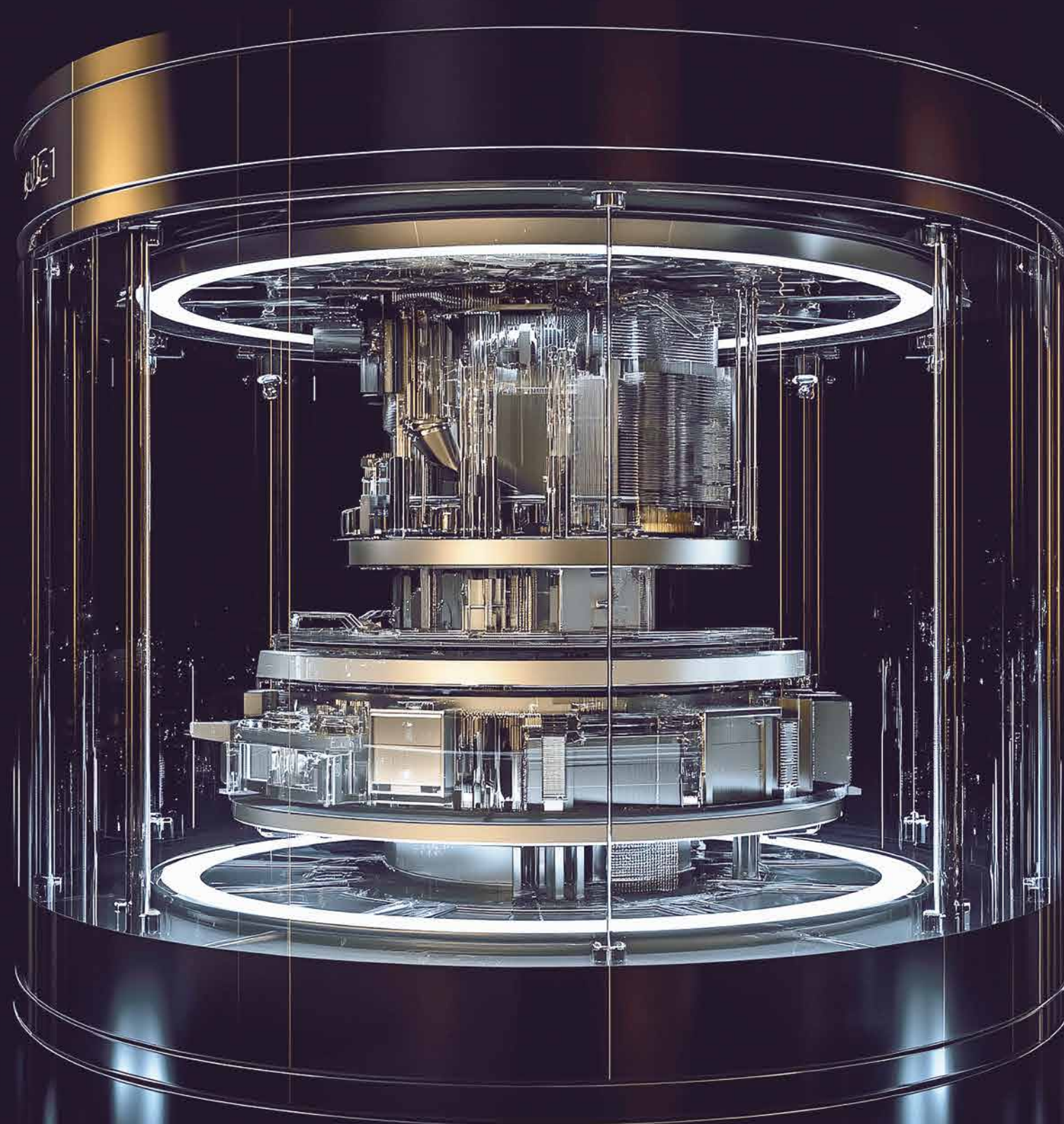
ООН провозгласила 2025 год Международным годом квантовой науки и технологий. И это не случайно: отсчет истории развития квантовой теории начался 100 лет назад. В 1925 году была опубликована статья Вернера Гейзенберга «О квантовомеханическом истолковании кинематических и механических соотношений». В этом же году Эрвин Шрёдингер сформулировал знаменитое уравнение, которое описывает изменение состояния частицы в квантовой физике. Эти работы опирались на физические открытия как минимум трех предшествующих десятилетий и, в свою очередь, положили начало серии теоретических исследований, которые полностью изменили весь корпус научных представлений о микро- и макромире.

За прошедший век квантовая теория заняла важное место во многих дисциплинах — физике, химии, инженерии, биологии — и произвела настоящую революцию в электронике и телекоммуникациях. Транзисторы, лазеры, редкоземельные магниты, светодиоды — это те изобретения, которые существуют благодаря исследованиям в области квантовой механики и которые привели к появлению компьютеров, солнечных батарей, магнитно-резонансной томографии и систем глобальной навигации. Предполагается, что развитие квантовых технологий поможет создать новые вычислительные и коммуникационные модели, которые ускорят инновации во множестве областей, в числе которых фармацевтика и медицина, транспорт и логистика, химия и материаловедение, экономика и финансы, кибербезопасность и системы искусственного интеллекта.

Таким образом, не будет преувеличением сказать, что разработки, опирающиеся на квантовую теорию, определяют облик современного мира и, возможно, уже в обозримом будущем сформируют совершенно новую индустриальную культуру, отличную от сегодняшней — основанной на полупроводниковой промышленности. Тем не менее все, что связано с квантовой тематикой, представляется невероятно сложной областью фундаментального знания и продолжает оставаться загадкой для людей, далеких от науки.

Международный год квантовой науки и технологий — глобальная инициатива, которая призвана отметить вклад этого направления в технический прогресс и дать новые знания о его красоте, мощи и важности. В течение года по всему миру будут проходить научные, просветительские и образовательные мероприятия по квантовой тематике, цель которых — объединить усилия ученых и представителей бизнеса в разработке и внедрении новых технологий, а также привлечь внимание самой широкой аудитории к этой сложной и удивительной области человеческого знания.

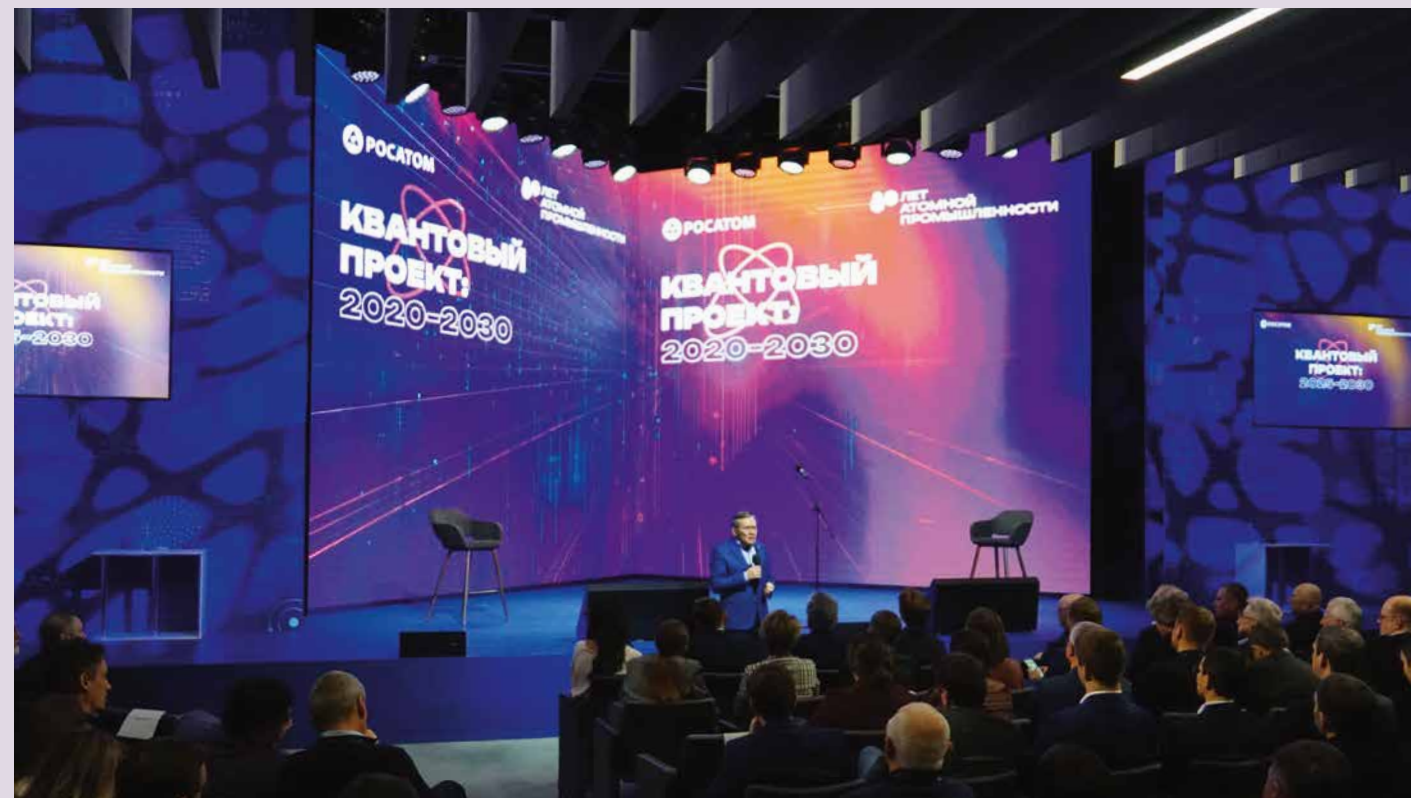
«Если квантовая теория не потрясла тебя — ты ее еще не понял», — эти слова принадлежат великому Нильсу Бору. Материалы главной темы номера не претендуют на то, чтобы познакомить читателя с основами квантовой механики. Но мы искренне надеемся, что они дадут повод испытать восхищение безграничным полетом человеческой мысли и гордость за людей, которые вносят важный вклад в развитие квантовой науки и технологий в России.



Текст: Дарья Быстрова
 Фото: «Росатом Квантовые технологии»

На пути к квантовой индустрии

«Росатом» нацелен на масштабирование и практическое применение квантовых технологий



8 февраля в Москве, в музее «АТОМ» на ВДНХ, прошла стратегическая сессия госкорпорации «Росатом» «Квантовый проект: 2020–2030», в ходе которой были подведены итоги реализации дорожной карты развития квантовых вычислений на 2020–2024 годы, а также обсуждены подходы к следующему этапу работы на горизонте 2030 года. Участники стратегической сессии поддержали активизацию деятельности госкорпорации в квантовой сфере.

Первые итоги

Реализацию первой дорожной карты по квантовым вычислениям можно признать успешной: достигнуты целевые показатели, обеспечившие рывок России в мировых научных и технологических процессах, а также заложены основы экосистемы квантовых технологий, включая исследовательскую инфраструктуру, сообщество ученых и инженеров, систему

образовательных программ и проектов. Таков общий вывод стратегической сессии госкорпорации «Росатом» «Квантовый проект: 2020–2030».

Основным достижением стало создание единого коллектива исследователей, в который вошли свыше 600 ученых из более чем 20 ведущих российских вузов и академических институтов. Их усилиями был совершен российский прорыв в сфере квантовых вычислений: в 2024 году при координации «Росатома» учеными Физического института им. П. Н. Лебедева РАН и Российского квантового центра был создан российский 50-кубитный квантовый компьютер на ионах, а учеными МГУ им. М. В. Ломоносова и Российского квантового центра — прототип 50-кубитного квантового вычислителя на одиночных нейтральных атомах рубидия.

В целом созданы работающие квантовые вычислители на всех четырех платформах, которые считаются в мире приоритетными в качестве основы для квантовых вычислителей, — ионах, атомах, фотонах, сверхпроводниках. За этот период Россия вошла

в число шести стран, которые обладают квантовыми компьютерами объемом 50 кубитов и выше.

Смотреть вперед

Реализация дорожной карты по квантовым вычислениям на 2025–2030 годы будет нацелена на достижение качественных эффектов развития квантовых технологий в России. В их числе — масштабирование проекта для обеспечения технологического суверенитета и глобальной конкурентоспособности России в стратегической перспективе. Главное в этом направлении — овладение практикой промышленного использования квантовых технологий. Также одна из важных задач — построение основных элементов национальной квантовой индустрии, конкурентоспособной в международном масштабе. При этом в соответствии с нацпроектом «Экономика данных» сфера ответственности «Росатома» существенно расширится: перед госкорпорацией поставлена задача координации высокотехнологичного направления «Квантовые сенсоры».

Генеральный директор госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев в своем выступлении на стратегической сессии отметил развитие позиций России в области квантовых вычислений, подчеркнул, что тематика квантовых технологий прочно вошла в повестку страны, и назвал приоритетной задачей запуск их практического применения в экономике и социальной сфере.

Директор по квантовым технологиям госкорпорации «Росатом» Екатерина Солнцева назвала переход от исследований в области квантовых вычислений к их практическому применению серьезным вызовом нового этапа квантового проекта, ответом на который станет усиление квантового направления как в части стратегического управления, так и с точки зрения систематизации потенциала российской науки и промышленности.

«Нас ждет серьезная работа в рамках «пилотов» по подтверждению эффективности применения квантовых технологий для решения задач в интересах «Росатома», партнеров и страны в целом. В этой связи возрастает роль атомной отрасли как полигона для тестирования и выработки лучших практик промышленного применения «квантов». Мы понимаем, что для общего успеха нужна концентрация усилий в масштабах страны: этому послужит создание единой национальной платформы развития квантовых технологий. Мы готовы к активной совместной работе», — сообщила Екатерина Солнцева.

Советник главы «Росатома», сооснователь Российского квантового центра Руслан Юнусов отметил, что дальнейшая работа в области квантовых технологий требует укрепления экосистемы квантового проекта в соответствии с масштабом задач новой дорожной карты и нацпроекта «Экономика данных». «За время работы над проектом в области квантовых вычислений в России сформировалась сильная научная



Алексей Лихачев

Генеральный директор госкорпорации «Росатом»:

— Подводя итог дорожной карты по квантовым вычислениям, в первую очередь отмечу, что в стране появилось квантовое сообщество, и полученные результаты — наша совместная заслуга. Мы работаем на всех основных платформах, на которых в мире создаются квантовые вычислители, у нас есть возможность обмениваться мнениями, получать государственную помощь, представлять свои результаты, запускать программы и проекты, связанные с подготовкой кадров и международной деятельностью. Ну и, конечно, искать главное измерение — практическое применение квантовых технологий в нашей жизни. И мне бы хотелось, чтобы применение квантовых технологий однозначно было в приоритете и воспринималось как прорыв.

Второе, квантовая тематика стала частью повестки страны. Этого не было до 2020 года, это стало возможным благодаря прежде всего президенту России и благодаря нашей с вами работе.

И третье, из страны, которая еще недавно находилась вне квантовой борьбы, мы все-таки вошли в статус страны, которая сейчас очевидно сокращает разрыв.

Таков содержательный результат очень «стартаповского» и очень энтузиастского этапа квантового проекта. Нам поставлены новые задачи. В их числе — квантовые компьютеры уже не в десятках, а в сотнях кубитов, количество квантовых сервисных решений, добавляется тематика, связанная с квантовыми сенсорами. Надо понять, как мы будем складывать эту большую квантовую мозаику, потому что нам нужно на рубеже 2030 года очень четко сформулировать образ результата. Он должен быть одновременно очень духоподъемным, мобилизующим и реалистичным. Особый фундаментальный вызов здесь состоит в том, чтобы создать идею, которая позволит утвердить роль и место квантовых технологий в стране.

экосистема: по нашим оценкам, до 80% профильных команд страны активно участвовали в работе над дорожной картой. Мы продолжаем развивать эту экосистему как базу создания в стране квантовой индустрии, не просто привлекая высококвалифицированных специалистов, но организуя подготовку талантливых кадров внутри страны, чтобы к моменту внедрения квантового компьютера в реальных секторах экономики наши специалисты уже обладали

необходимыми компетенциями для достижения поставленных государством целей. К этому стоит добавить включение в работу индустриальных партнеров, которые призваны стать квалифицированными заказчиками внедрения квантовых технологий», — рассказал Руслан Юнусов.

Квантовая профориентация

Подготовка кадров, которые будут развивать квантовый проект и сделают его прорывным инструментом для решения индустриальных задач, — еще одна тема, которая обсуждалась на стратсессии. До 2030 года необходимо подготовить не менее 1500 специалистов, которые будут разрабатывать и применять квантовые технологии. Генеральный директор АНО «Корпоративная Академия Росатома» Юлия Ужакина сообщила, что в настоящее время работа ведется на трех уровнях — в школах, в вузах и в рамках дополнительного профессионального образования: «За три года достигнуты серьезные результаты: только «Урок цифры» по теме квантовых технологий охватил 8,5 млн школьников. Сегодня на первое место выходит качество профориентации: наша задача — выявить талантливых ребят, чьи навыки совпадут с амбициями квантового проекта. Для этого нужны два подхода: массовые программы, которые погружают молодежь в тему, и точечные проекты, дающие компетенции

для реализации конкретных задач квантового проекта. К таким проектам можно отнести программы бакалавриата и магистратуры в МИФИ и ЛЭТИ, на которых учатся будущие специалисты, решающие задачи квантовой эры», — отметила Юлия Ужакина.

Глава «Корпоративной Академии Росатома» предложила создать совет по образованию в рамках Национальной квантовой лаборатории. Эта инициатива призвана обеспечить координацию работы по подготовке кадров для российского квантового проекта и обеспечить требуемый уровень образовательных программ.

Взгляд ученых

Директор Физического института им. П. Н. Лебедева РАН Николай Колачевский призвал гордиться российскими учеными, рассказал о приходе научной молодежи в квантовую сферу и отметил, что российским исследователям придется добиваться результатов в условиях серьезной международной квантовой гонки.

«Когда мы говорим про науку, за каждым ее красивым образом стоит большая работа людей. Что удалось за эти пять лет сделать в квантовой сфере? Это сильные научные коллективы, которые добились значительных результатов, и мы можем ими гордиться. Выросло новое поколение ученых, и это очень важно: возникла возможность масштабирования количества научных групп. Это исторический шаг, потому что следующие шесть лет над квантовыми задачами будут ответственно работать в качестве лидеров не только те, кто начинал, но и те молодые исследователи, которые сформировали внутреннее желание быть лидером лаборатории или группы. Нам нужно гордиться нашими алгоритмистами и развивать это направление, потому что без грамотных математиков, приземленных «к железу», цели, которые мы обсуждаем, трудно достижимы. Мы можем гордиться тем, что получили результаты, которые можем продемонстрировать, в том числе на мировом уровне. Какие уроки мы вынесли? Пожалуй, больше всего беспокоит то, что квантовая гонка — это очень агрессивная гонка технологий. Но если мы освоим и сможем использовать передовые технологии, нанофабрикации, оптические технологии, технологии сенсоров, которые будут использоваться для квантовых вычислителей, то мы прочно закрепимся в числе стран, лидирующих в квантовых технологиях. При этом важно помнить, что четыре платформы, на которых создаются квантовые вычислители, не исчерпывают научное знание. Наверняка будут еще прорывы. И на этом надо сфокусировать значительные усилия, которые позволят сделать неожиданные шаги вперед», — считает Николай Колачевский.

Научный руководитель Национального центра физики и математики (НЦФМ) академик РАН Александр Сергеев в ходе стратегической сессии отметил важную роль квантового направления в технологическом ландшафте будущего и указал, что научно-технический потенциал «Росатома» является основой

развития, а в перспективе — применения квантовых технологий в атомной отрасли.

«Росатом» — это корпорация мирового уровня, которая является глобальным лидером в области атомных технологий. Но «Росатому» по силам выйти в лидеры не только в науке и технологиях в области атомной энергетики, а и в ряде других направлений. И если мы сейчас посмотрим на направления, которые будут определять мировой научно-технологический прогресс, то очевидно, что квантовые технологии будут играть в будущем очень существенную роль. Замечу, что сама атомная отрасль связана с квантовыми технологиями: деление ядра, синтез ядра, сверхпроводимость... На самом деле для нас не ново то, что

мы занимаемся квантовой технологией. Но в чем суть момента, который мы сейчас обсуждаем? Суть второй квантовой революции заключается в том, что квантовые технологии заявили о своем существенном присутствии в информационных технологиях. Получение информации, хранение информации, передача информации, обработка информации. Понятно, что у различных квантовых технологий есть разные степени зрелости, к примеру, квантовые вычисления — самое непростое направление. Но в целом мы уже сейчас видим существенное применение квантовых технологий. И очень хорошо, что в атомной отрасли есть предприятия, которые готовы работать по этой тематике», — подчеркнул Александр Сергеев.

Подробности

С 2020 года «Росатом» отвечает за реализацию дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Квантовые вычисления». Паритетно с государством госкорпорация вкладывает собственные внебюджетные средства в реализацию дорожной карты: общий объем финансирования на 2020–2024 годы составил 24 млрд рублей, из которых 12 млрд было вложено «Росатомом».

Важной задачей дорожной карты стало создание российского квантового компьютера — проект реализуется научными коллективами Российского квантового центра (РКЦ), Физического института им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН), МГУ им. М. В. Ломоносова, Университета науки и технологий «МИСИС», МФТИ и других ведущих научных центров. Россия, наряду с США и Китаем, находится в числе трех стран-лидеров, создавших квантовые компьютеры на всех четырех основных платформах. Важным результатом реализации квантовой дорожной карты является создание уникального коллектива ученых и инженеров, в который входят более 1000 специалистов, включая порядка 600 ученых.

Создание квантовых вычислителей сопровождается формированием в России системы квантового образования, которая охватывает среднее и высшее профессиональное образование, а также усилия по переподготовке учительского состава.

Сферы применения квантовых технологий



Одной из приоритетных сфер применения квантовых вычислений в будущем станут **фармацевтика и медицина** в целом: появится возможность моделировать сложные молекулы при создании новых лекарств, а также получат развитие персонализированные медицинские технологии, позволяющие врачу в кратчайшие сроки разработать персональные рекомендации для лечения человека с учетом конкретных факторов его заболевания и особенностей организма. Также квантовые вычисления будут применяться для прогнозирования новых эпидемий.



Эксперты отмечают, что принципиально новые возможности **моделирования молекул и химических процессов**, которые появятся с применением квантового компьютера, дадут толчок развитию целого ряда индустрий, связанных с химической наукой. А в ИТ-сфере интеграция квантовых вычислений в индустриальное ПО позволит инженерам создавать более продвинутые технологии, например, в судостроении и авиапромышленности.



Важное направление применения квантов — **транспорт и логистика**. Составление оптимальных маршрутов и расписаний движения транспорта позволит решать проблемы пробок, а стихийно возникающие ограничения, например из-за аварий, будут учитываться в режиме реального времени. Это приведет к сокращению задержек в движении общественного транспорта и позволит автомобилистам тратить меньше времени на дорогу. В логистике применение квантовых вычислений облегчит, потенциально удешевит и ускорит доставку грузов по различным маршрутам.



В **финансовом секторе** квантовые вычисления необходимы для минимизации рисков и более точной оценки кредитоспособности организации или человека. А на производстве они помогут, к примеру, составлять оптимальный план выполнения заказов или обеспечивать организацию труда.



Квантовые технологии выведут на принципиально новый уровень **возможности искусственного интеллекта**: они усилят ИИ в части ускорения машинного обучения, распознавания и анализа изображений, речи и текста, обработки больших данных и т.д. Кроме того, квантовые компьютеры смогут решать те же задачи эффективнее, быстрее, с меньшими энергозатратами.

Текст: Денис Викторов

Фото: «Росатом Квантовые технологии», газета «Страна Росатом» / Алексей Башкиров

Квантовый проект: курс на практику

Масштабные задачи в области квантовых технологий и ключевые преимущества атомной отрасли для их решения

Директор по квантовым технологиям госкорпорации «Росатом» кандидат физико-математических наук Екатерина Солнцева рассказала «Вестнику атомпрома» о ключевых результатах и стратегических вызовах развития отечественной квантовой индустрии.



— Екатерина Борисовна, в 2024 году завершилась реализация первого этапа дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления», за осуществление которой отвечает госкорпорация «Росатом». Каких результатов удалось добиться?

— В День российской науки — 8 февраля 2025 года — в музее «АТОМ» на ВДНХ мы провели масштабную стратегическую сессию, посвященную отечественному квантовому проекту. Говоря о реализации дорожной карты «Квантовые вычисления» в 2020–2024 годах, генеральный директор «Росатома» Алексей Евгеньевич Лихачев назвал три ключевых итога.

В стране появилось квантовое сообщество. Все полученные в ходе реализации дорожной карты результаты — это совместная заслуга ученых, инженеров, управленцев, которых «Росатом» объединил для решения большой задачи государственного масштаба.

Квантовая тематика стала частью повестки страны. Это стало возможным благодаря решениям президента и правительства, усилиям Минцифры России и РАН, слаженной работе всех участников квантового проекта.

И главное, еще недавно Россия находилась вне квантовой борьбы, а сегодня мы достигли статуса страны, которая смогла вплотную приблизиться к «квантовым» лидерам.

Уже на первом Форуме будущих технологий в 2023 году были представлены яркие достижения отечественного квантового проекта. Тогда президенту России была впервые продемонстрирована работа 16-кубитного российского квантового вычислителя на ионной физической платформе.

На втором Форуме будущих технологий, в феврале 2024 года, президенту были представлены квантовые вычислители на атомах, на двух видах платформы на ионах (иттербия и кальция), а также на фотонах и сверхпроводниках.

Общий объем финансирования дорожной карты «Квантовые вычисления» на 2020–2024 годы составил 24 млрд рублей, из которых половина была вложена «Росатомом». Так что наша отрасль — не только

организатор, но и ключевой соинвестор отечественного квантового проекта.

Накопленным итогом расходы на финансирование квантовых программ среди ведущих в этом направлении стран за последние восемь лет были существенно выше, нежели в России. Но «Росатому» удалось эффективно построить работу с учеными и партнерами квантового проекта, что позволило нашей стране быстро получить результаты, хорошо заметные на «квантовой» карте мира. Всего за несколько лет напряженной работы по реализации дорожной карты удалось совершить настоящий рывок.

Решительно удалось продвинуться в части мощности квантовых вычислителей. К моменту старта дорожной карты в нашей стране был достигнут уровень двухкубитных вычислительных операций. А уже в 2024 году объем наиболее мощного российского квантового компьютера, созданного на ионной платформе при поддержке «Росатома» учеными ФИАН им. П. Н. Лебедева РАН и Российского квантового центра, составил 50 кубитов — при объеме самого мощного зарубежного универсального квантового вычислителя на уровне 56 кубитов (также на ионах).

Таким образом, мы вошли в клуб из шести стран, в которых созданы квантовые вычислители объемом 50 кубитов и выше. Кроме того, сегодня Россия — в числе трех стран, которые имеют действующие квантовые вычислители на всех четырех основных физических платформах.

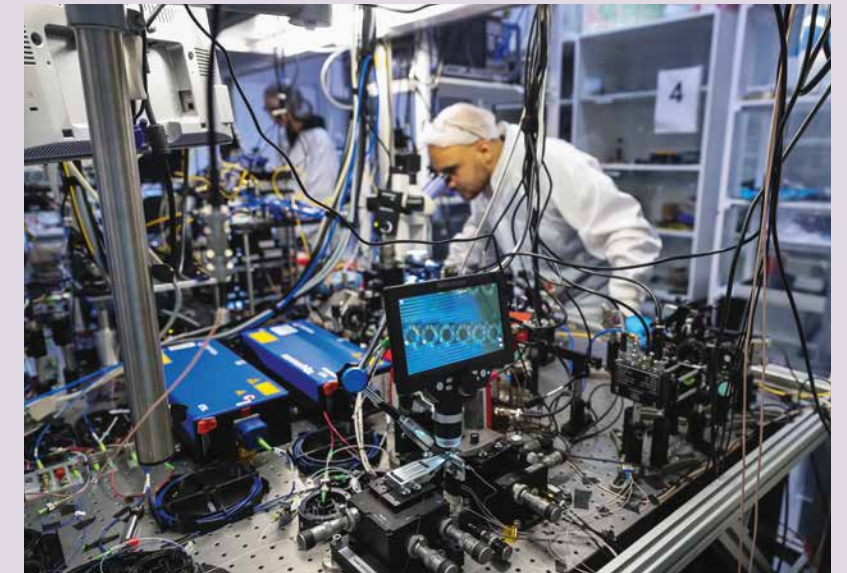
Результаты мирового уровня получены и по ряду других тематик. В частности, Россия вошла в тройку стран, показавших работу квантовых процессоров на основе кубитов — своего рода «расширенной версии» кубитов, что позволяет повысить эффективность вычислений.

— Судя по тому, какой интерес во всем мире вызывают квантовые технологии, принято в России на государственном уровне решения по координации этого направления оказались крайне своевременными.

— Для того, чтобы оценить достигнутые результаты, важно учитывать глобальные масштабы «квантового вызова», научно-практический и, конечно же, исторический контекст.

Первые национальные программы развития квантовых технологий в ряде зарубежных стран стартовали в 2014–2017 годах. В мире начало формироваться новое направление глобального технологического соревнования, что потребовало адекватного ответа. Поэтому квантовая тематика была включена в число технологических приоритетов нашей страны.

В 2019 году состоялось подписание соглашений о намерениях между правительством РФ и крупнейшими организациями с государственным участием по развитию ключевых высокотехнологичных направлений.



Одним из них как раз и стали квантовые вычисления, ответственность за развитие которых приняла на себя госкорпорация.

В 2020 году разработанная «Росатомом» дорожная карта была утверждена правительством. Государство поставило задачу организовать работу в стране так, чтобы сократить отставание в области квантовых вычислений от стран — технологических лидеров. И «Росатом» это сделал.

— Очевидно, что все эти достижения были бы невозможны без построения того, что принято называть экосистемой...

— Безусловно! Удалось создать основные элементы такой среды. Как следствие, сегодня над развитием квантовых технологий в России работают уже не отдельные энтузиасты, а сплоченные коллективы — всего более 1000 специалистов. Причем свыше 600 из них — ученые из более чем 15 ведущих вузов и научно-исследовательских центров страны. В том числе авторитетные в мировом масштабе исследователи и практики. Кстати, есть примеры возвращения ведущих ученых из-за рубежа. И это о многом говорит.

Передовые исследования требуют современного инструментария. Благодаря реализации дорожной карты отечественные команды, работающие над развитием квантовых вычислений, получили доступ к необходимой инфраструктуре, современному лабораторному оборудованию.

Образовательные мероприятия — еще одна наша постоянная вахта. Так, «Квантовый урок цифры» за три года охватил аудиторию численностью более 8,6 млн человек. В этом году мы продолжим эту работу: будем рассказывать о перспективах практически полезного использования квантовых технологий. Ведется большая работа с вузами. Ведь молодой российской квантовой отрасли нужен кадровый резерв.

— О квантовом компьютере часто говорят как о грядущей революции в области вычислений. Что изменится в нашей жизни, когда квантовые вычисления заменят классические компьютеры?

— Спасибо за вопрос! Дело в том, что вместе с нашими учеными в самых разных аудиториях мне часто приходится объяснять, почему квантовый компьютер — вовсе не замена компьютеров классических.

Традиционные вычислительные машины прекрасно справляются со множеством функций, ставших рутинными. Работа с таблицами и текстами, навигация по интернету, учетные задачи, управление станками, инженерная графика и компьютерные игры... Но с теми задачами (прежде всего оптимизационными, а также в сфере моделирования), которые как будто специально созданы для квантового компьютера и «ждут» его появления, классические вычислительные системы не справляются. И не справятся.

У квантовых вычислений есть своя уникальная ниша. Так что нас ждет не «битва» квантовых вычислителей с традиционными компьютерами, а их сотрудничество. Появятся гибридные системы, в которых квантовая составляющая возьмет на себя роль специализированного сопроцессора. А классический компьютер в такой паре будет распределять задачи по типам и брать на себя традиционные вычисления.

— Какие же задачи будет решать квантовый вычислитель? Можно ли привести пару примеров?

— В решении ряда задач (но, как мы только что обсудили, далеко не всех!) квантовые компьютеры будут в миллиарды раз быстрее классических. И это тот самый случай, когда количество перейдет в новое качество.

Никому не нужен абсолютно точный прогноз погоды на завтра, если классический суперкомпьютер выдаст

результат только спустя месяцы. Опять-таки никому не интересно решение «задачи коммивояжера», если доставку товаров требуется осуществить за неделю, а идеальный маршрут привычный нам компьютер будет подбирать полгода. Другое дело — квантовый вычислитель, который способен будет выдать оптимальное решение практически мгновенно.

Еще один пример. До сих пор практически любое лекарство создается в логике «одно для всех». Но такая медицина неизбирательна. Увы, после пандемии мир не понаслышке знает о том, что такое побочные эффекты применения массовых вакцин. А теперь представьте себе, что на квантовом компьютере мы сможем создавать персонализированные препараты для конкретного человека. Для конкретного организма с его уникальными особенностями. Это будет прорыв в сфере здравоохранения!

Нас ждет революция в материаловедении. Квантовому компьютеру потребуется всего день, чтобы рассчитать оптимальный состав будущего материала с заданными свойствами по неограниченному числу элементов. А классический суперкомпьютер потратит десятилетия (и огромное количество энергии!) на подбор состава перспективного материала, причем из ограниченного набора элементов.

Квантовые вычисления принесут изменения и в области кибербезопасности. По оценкам специалистов, криптографический алгоритм стандарта шифрования RSA с длиной ключа 2048 бит будет вскрыт квантовым вычислителем с 20 млн физических кубитов за 8 часов. А «неквантовый» компьютер будет работать над этой задачей... 1 млн лет.

Разрабатывая квантовые вычислители, мы открываем возможности для осуществления прорывов практически во всех сферах человеческой деятельности. Но для того чтобы это стало реальностью, требуется синергия квантовых и отраслевых компетенций.

— Представляется, что это как минимум часть ответа на следующий вопрос: почему именно «Росатом» в 2019 году был определен локомотивом развития квантовых вычислений в нашей стране.

— «Росатом» — одна из самых наукоемких корпораций в мире. Кроме того, при принятии государственных решений учитывались ключевые ценности «Росатома». И ответственность за результат, и умение быть на шаг впереди. Но есть еще один аргумент в пользу «Росатома». Широта промышленного ландшафта атомной отрасли — наше преимущество в квантовой гонке. Особенно если учесть, что зарождающаяся глобальная квантовая индустрия вступает в очень интересную фазу, когда теория начинает сходить с практикой.

В США квантовые вычисления развивают в первую очередь частные ИТ-компании. Европа делает ставку на университеты и научно-исследовательские

центры. Китай — на государственные лаборатории. Да, все эти игроки сотрудничают с партнерами в других отраслях. Но в «Росатоме» квантовые технологии и практические задачи в прямом смысле сосредоточены в одних руках.

Атомная отрасль — уникальный полигон для тестирования и внедрения квантовых технологий в практику. Это серьезная возможность. И мы просто обязаны ее использовать на благо корпорации и страны.

В прошлом году «Росатом» первым среди ведущих промышленных компаний разработал программу внедрения квантовых вычислений. В том числе квантовых алгоритмов. Проекты по их апробации на модельных задачах во взаимодействии с дивизионами отрасли уже стартовали. А с 2026 года мы планируем постепенный переход от решения модельных задач к задачам практическим.

Активизируется и работа с рыночными промышленными партнерами. В конце февраля 2025 года на Форуме будущих технологий «Росатом» представил инициативу по созданию специальной коммуникационной площадки. Надеемся, она поможет объединить вокруг проблематики практического использования квантовых вычислений широкий круг первых потенциальных заказчиков.

Для того чтобы успешно решать большие задачи, их необходимо правильно ставить. Формулировать. Этим мы и займемся в тесной кооперации с представителями самых разных рынков и индустрий. А в перспективе — с международными партнерами. Тем более что во многих дружественных странах растет запрос на системное сотрудничество с Россией в квантовой сфере.

— Из материалов состоявшейся в феврале стратегической сессии следует, что второй этап отечественного квантового проекта в существенной мере будет нацелен на овладение практикой применения этих прорывных технологий. Это так?

— Совершенно верно. Именно так перед нами поставил задачу глава «Росатома» Алексей Евгеньевич Лихачев: искать главное измерение — практическое применение квантовых технологий в нашей жизни. Таким образом, квантовая тема становится важной частью общеотраслевой повестки госкорпорации.

Одним из ключевых ожидаемых результатов к 2030 году станет применение российского квантового компьютера, конкурентоспособного на мировом рынке, в решении практических задач науки, экономики и госсектора. Интенсивный поиск промышленных применений параллельно с созданием квантового компьютера позволит России одной из первых в мире начать внедрение квантовых вычислений в промышленности. А значит — получить новые возможности повышения эффективности ключевых отраслей экономики.

«Разрабатывая квантовые вычислители, мы открываем возможности для осуществления прорывов практически во всех сферах человеческой деятельности. Но для того чтобы это стало реальностью, требуется синергия квантовых и отраслевых компетенций».

Надо сказать, что в ближайшем будущем значительную долю рынка квантовых вычислений будут формировать не продажи конечных физических устройств (которые пока «живут» в лабораторных условиях), а предоставление облачного доступа к ним. Работа по развитию таких сервисов уже идет.

И, наконец, в соответствии с нацпроектом «Экономика данных», начиная с 2026 года сфера ответственности «Росатома» в области квантовых технологий расширится: перед госкорпорацией поставлена задача развития еще одного высокотехнологичного направления — «Квантовые сенсоры».

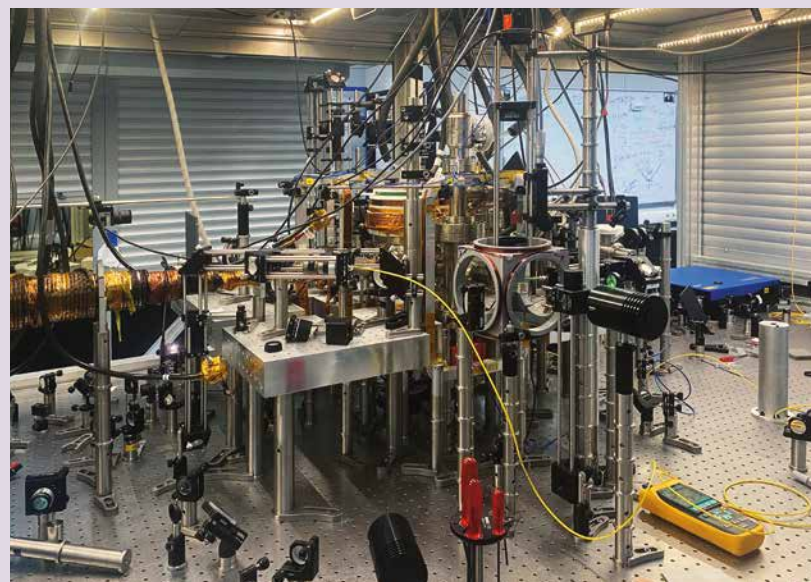
— Все эти задачи требуют четкой координации как внутри отрасли, так и во взаимодействии с широким кругом партнеров по квантовой экосистеме. Как будет строиться система управления вторым этапом российского квантового проекта?

— Такая система уже утверждена генеральным директором госкорпорации. Алексей Евгеньевич Лихачев лично возглавил Комитет по квантовым технологиям. А я, как видите, сегодня впервые выступаю перед аудиторией «Вестника атомпрома» в новой должности — директора по квантовым технологиям госкорпорации «Росатом». Пользуясь случаем, хочу поблагодарить отрасль за доверие!

В этой работе мне будет помогать новый департамент по квантовым технологиям, который учрежден в структуре госкорпорации. В числе его задач — координация квантового проекта, разработка стратегии развития квантовых и смежных технологий, привлечение дополнительного финансирования и формирование партнерств, способствующих становлению нового квантового бизнеса «Росатома».

Впереди большие, но очень интересные научно-практические задачи. Поэтому искренне приглашаю отраслевое сообщество к активному сотрудничеству в рамках развития стратегически важной для «Росатома» и страны темы — квантовых технологий!

— Екатерина Борисовна, большое спасибо за беседу и успехов в этой работе!



Текст подготовил Алексей Комольцев

Фото: газета «Страна Росатом» / Алексей Башкиров, ООО «НСТ», Томский государственный университет

Кот Шрёдингера жив и намерен ловить мышей

Когда применение квантовых технологий сможет перейти в практическую плоскость и что для этого нужно



Советник генерального директора госкорпорации «Росатом» и сооснователь Российского квантового центра Руслан Юнусов рассказал «Вестнику атомпрома», почему технологии квантовых вычислений уже не новость и каких изменений ожидать, когда мир перейдет от «квантового превосходства» к «квантовой полезности».

Новое — хорошо забытое сложное

Квантовая физика объективно сложна, она противоречит всем интуитивным представлениям, которые

укоренились в культуре человека. Без специального понятийного, терминологического, математического аппарата понять суть этих технологий почти невозможно. Но приближается время, когда квантовые явления, происходящие на уровне атомов и элементарных частиц, начнут широко использоваться для решения практических задач.

В результате первой квантовой революции мы научились использовать одновременно миллиарды атомов. Теперь же пришло время второй квантовой революции: ее отличие в том, что мы научились управлять отдельными частицами и их квантовыми состояниями. На этом уровне открываются новые возможности — использование таких явлений, как, например, квантовая суперпозиция или запутанность.

У обычных компьютеров, в которых процессор построен на транзисторах, сложность растет пропорционально числу транзисторов (каждый бит способен быть в одном из двух значений — 0 или 1). Соответственно, обычный процессор из 40 млрд транзисторов будет работать вдвое быстрее того, у которого 20 млрд.

У квантового же компьютера, благодаря способности элементов быть одновременно в нескольких состояниях, сложность состояния квантовых систем, как и вычислительная мощность, растет экспоненциально, по формуле 2 в степени числа кубитов. Если представить квантовые процессоры будущего, на 20 млрд и на 40 млрд кубитов, то второй окажется производительнее в 2 в степени 20 млрд раз — сегодня для такого числа даже нет названия.

Уже при сегодняшнем, «лабораторном» состоянии квантовых вычислений, с процессорами на десятки кубитов, технология демонстрирует потенциал для опережения производительности лучших суперкомпьютеров с их миллиардами транзисторов. Корпорация Google еще в 2019 году объявила о достижении «квантового превосходства» — способности квантового процессора решить тестовую задачу, недоступную (на тот момент) полупроводниковым устройствам.

В активном поиске

Впрочем, даже сейчас, спустя шесть лет, «квантовое превосходство» остается лишь заявкой на большое будущее. Чтобы квантовые компьютеры оказались применимы для решения практических задач, предстоит

пройти огромный путь — не только в количестве, но и в качестве кубитов, а также в технологиях управления их работой, борьбе с шумами и ошибками. Нельзя однозначно сказать, что лидирует тот, у кого собран компьютер с наибольшим количеством кубитов: страны-лидеры обладают квантовыми процессорами от 50 до 1000 кубитов, но реально соревнование идет в производительности процессора. Решающее значение для вычислительной мощности имеет качество кубитов и точность работы с ними. Производительность квантового процессора — это баланс между количеством и качеством. При низком качестве кубитов увеличение их числа только ухудшает ситуацию — приводит к росту шума и ошибок, поскольку кубиты влияют друг на друга, взаимно ухудшая работу соседей. Сложность системы растет на величину 2 в степени числа кубитов, но при этом увеличиваются и шумы, усложняется контроль за системой. Наибольшую вычислительную мощность нужно искать «на диагонали» между количеством и качеством кубитов. Даже при незначительном количестве кубитов можно добиться достаточного для решения задач качества операций, работая с уменьшением шумов, оптимизируя алгоритмы коррекции ошибок.

В мире и в России идет поиск возможностей улучшить качество работы квантовых процессоров на всех технологических платформах: блокируются внешние шумы, повышается точность управления квантовыми системами, развиваются алгоритмы коррекции ошибок, ведутся разработки логических кубитов — объединение групп физических кубитов в одну вычислительную единицу с более высоким качеством операций.

Важный шаг, который еще предстоит, — это обеспечить решение с помощью квантовых компьютеров полезных задач, которые не по силам суперкомпьютерам. Этот шаг пока не сделал никто в мире. Возвращаясь к примеру Google 2019 года, когда было объявлено о квантовом превосходстве: квантовый компьютер с 53 рабочими кубитами демонстрировал достаточно большое количество ошибок, но тестовую задачу решил. Приняв вызов, сторонники полупроводниковых технологий улучшили свои алгоритмы и смогли «восстановить репутацию» классических компьютеров. Лишь спустя пять лет, осенью 2024 года, представители Google опубликовали описание решения тестовой задачи на квантовом компьютере, но уже мощностью 70 кубитов с кардинально улучшенным качеством работы, благодаря алгоритму анализа и коррекции ошибок. Точность операций продемонстрирована выше 99,6%. Условный порог точности, за которым технология вычислений может считаться стабильно работающей, — 99,99%. При этом транзисторная технология сегодня показывает не 4, а 20 десятков точности. Тем не менее контрольный эксперимент показал, что решение подобной тестовой задачи на классическом суперкомпьютере было бы в миллионы раз дольше. Но даже этой машине от Google далеко до практического применения, поскольку решение тестовой задачи — это еще не полезность. Однако квантовое сообщество верит в успех технологии,

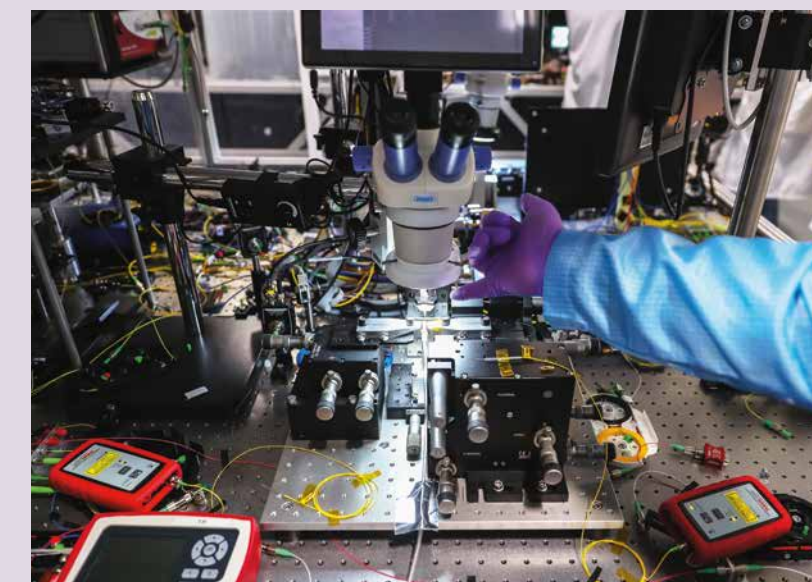
Квантовые технологии используются людьми уже не одно десятилетие. Сама квантовая физика — ровесница прошлого века; Макс Планк создал свою формулу в 1900-м, затем в 1905-м Эйнштейн объяснил квантовую природу фотоэффекта; Нильс Бор развил квантовую теорию атома в 1913-м и ввел понятие «квантовый скачок». Популярными объяснения квантовой механики, такие как «кот Шрёдингера» (одновременно живой и мертвый), тоже возникли до Второй мировой войны. В процессе развития фундаментальных идей о квантовой природе материи и энергии появились транзисторы, лазеры и светодиоды, состоялось освоение энергии атома, возникла скоростная оптоволоконная связь и еще многое другое. Все это результат первой квантовой революции, использования «коллективных» квантовых эффектов.

и эта вера не мистическая, а основанная на понимании задач научного поиска.

Квантовый компьютер: выбор цели

Хотя мы сегодня не можем точно предсказать сроки появления универсального квантового компьютера, есть уверенность, что он появится.

Одна из первых областей, где можно ждать эффекта, — это решение оптимизационных задач, таких как маршрутизация большого количества транспортных средств или (что близко по сути) регулирование работы крупного конвейера на предприятии с номенклатурой в миллионы деталей. По аналогии решаются и задачи оптимизации распределения грузов при составлении логистических маршрутов или составлении расписаний общественного транспорта.



Одна из возможностей для повышения характеристик квантового компьютера — использование искусственного интеллекта для построения самих алгоритмов решения задач. Программист, который будет формулировать задачу, не сможет до тонкостей понимать, какие именно кубиты, с каким пространственным расположением лучше включить в решение, чтобы снизить возможность ошибок. Но конкретную последовательность выполнения действий, исходя из задачи минимизации ошибок, сможет решить за него программа.

Даже если решение таких задач станет на несколько процентов точнее, эти проценты за счет эффекта масштаба могут дать огромный выигрыш. Например, программа-навигатор рассчитывает каждому из нас маршрут. Если этот маршрут займет на 2–3% меньше времени, то в масштабе мегаполиса будут выиграны миллионы человеко-часов.

Огромные возможности открываются для моделирования материалов — эта задача пока качественно не решена с помощью классических вычислений и, возможно, не будет решена в транзисторной технологии. Например, на новый уровень выйдет решение задач разработки новых материалов для следующих поколений ядерных реакторов. Не меньшие возможности квантовые вычисления дадут для моделирования сложных химических процессов, конструирования молекул с заданными свойствами. Новый импульс получит фармакология: появится возможность разработки по-настоящему персонализированных лекарств.

Хотелось бы, чтобы эти и другие задачи были сформулированы самими заказчиками, с осознанием того, что кажущиеся неразрешимыми сегодня проблемы все-таки могут быть решены. Тем, кто не погружен в квантовую тематику, поможет знакомство с примерами «квантовой полезности». Если популяризация квантовых вычислений продолжится, то и количество желающих начать пилотные внедрения вырастет. Постепенно сложится система «кастомизации» задач, сформулированных на бизнес-языке, в алгоритмы и задачи, посильные квантовому компьютеру.

Не компьютером единым

Создание универсальной квантовой вычислительной машины, способной выполнять логические операции, — не единственный путь развития квантовых компьютеров. Даже если в 2030 году показать полезность на квантовом компьютере не удастся, это не значит, что мы не научимся решать задачи с помощью квантовых вычислений.

Возможно, успех будет достигнут в области квантовых симуляторов. Это не вычислительные, а моделирующие устройства, каждое из которых создается для решения одного направления задач. Эту задачу симулятор решает, моделируя с помощью квантовых явлений поведение сложных систем. Смоделировав определенную конфигурацию из кубитов, возбудив ее и дав прийти в стабильное состояние, симулятор дожидается ее перехода в энергетический минимум, который и будет решением задачи. Наиболее перспективно для подобных систем решение задач по моделированию новых материалов — например, создание сверхпроводников при комнатной температуре.

Задача коммивояжера, с большим спектром практических приложений, также формулируется с помощью графов и может быть решена на симуляторе.

В рамках дорожной карты квантовых вычислений разрабатывается несколько симуляторов, и возможно, что к 2030 году первые полезные задачи мы решим именно на них.

Экстрасенсорные способности

Кроме квантового компьютера и симуляторов, еще одно стратегически важное направление работы — создание квантовых сенсоров. Эта задача находится в сфере внимания «Росатома», а с 2026 года будет решаться госкорпорацией.

Благодаря квантовым явлениям можно освоить создание очень чувствительных и предельно миниатюрных приборов, способных отслеживать тончайшие физические явления. Например, датчики для отслеживания мельчайших изменений гравитации помогут предсказывать землетрясения и разыскивать полезные ископаемые. На основе квантовых датчиков можно сделать предельно точные, эталонные часы.

При поддержке «Росатома» проводятся научно-образовательные мероприятия, направленные на популяризацию квантовых технологий среди студентов и школьников



Поскольку квантовые датчики могут быть предельно малы, они могут использоваться в биотехнологиях — вплоть до работы внутри живой клетки организма. Такие устройства позволят с крайне высокой точностью распознавать, например, злокачественные клетки. Откроется возможность создания сверхчувствительных приборов для обнаружения различных веществ. Такой «электронный нос» определит минимальные концентрации молекул в воздухе до того, как концентрация станет опасной.

Квантовый скачок в цивилизационном аспекте

Перечислять возможные задачи можно долго, и собственно их поиск — это сама по себе задача, которую предстоит решать. Многие бизнесы глубоко не погружались в вопросы оптимизации процессов. Делая один из пилотных проектов по оптимизации логистики, мы получили оптимизацию на 30% — результат сенсационный. Разобрались и обнаружили ошибку в расчетном коде модели заказчика, когда устранили, то реальная оптимизация оказалась порядка 5%. Но если бы не пилотный проект, этот баг бы сохранился в модели, и кто знает, как бы он сказался на бизнесе. Такие эффекты в масштабе экономики — даже не сами результаты вычислений, а критический взгляд на уже построенные модели — могут оказаться на первых этапах даже важнее, чем сами результаты расчетов.

Еще один «побочный» полезный эффект работы над квантовыми технологиями — в том, что разрабатывая «железо» для квантового компьютера, мы вынуждены разрабатывать компоненты, приборы, системы управления. Это классическая управляющая электроника,

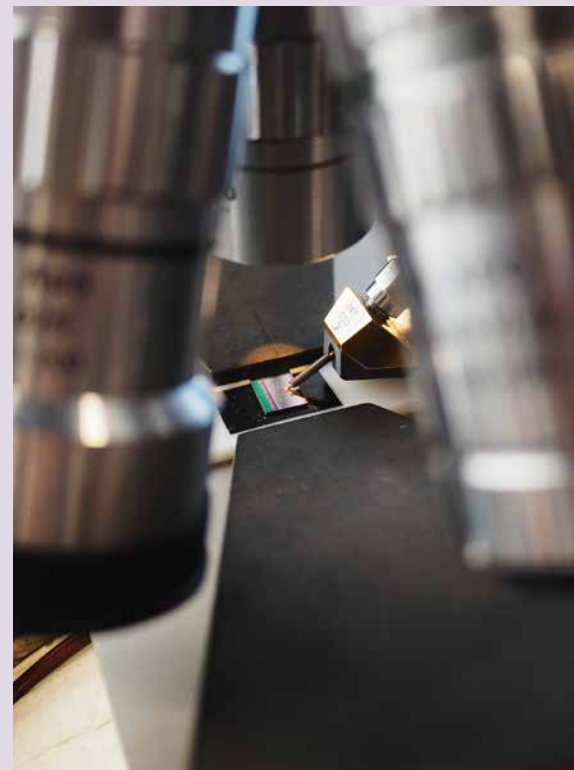
которая возникает не только как чипы, но и как приборы — они могут применяться не только для управления квантовым компьютером, но и, например, в АСУ ТП. Мы смогли разработать ряд изделий, которые нам перестали поставлять в связи с санкциями, — например, сверхточные лазеры с малыми шумами. Они могут использоваться как научный инструмент в широком диапазоне исследований. Это лишь два примера, на самом деле их больше.

Становление индустрии, которая сможет серийно производить и собирать в устройства элементы квантовых процессоров, сенсоров и т. д., — это выход в новую индустриальную культуру, которая должна будет по своей точности превзойти сегодняшнюю полупроводниковую промышленность.

Итак...

Стоит ли уделять внимание квантовым технологиям сейчас, ожидая, что они принесут свой экономический эффект в среднесрочной перспективе? Ответ: да, потому что высок шанс, что квантовые компьютеры начнут в ближайшие три, пять, семь лет решать сложные, ранее нерешаемые и экономически полезные задачи. Как и в любой инновационной отрасли, есть и скептические мнения: широко разошлось высказывание топ-менеджера NVIDIA, что перспектива «квантовой полезности» намного дальше, чем нам бы хотелось. Но стоит ли концентрироваться на негативе, если сам бизнес NVIDIA с ее ставкой на рынок оборудования для искусственного интеллекта был недавно неожиданно и тектонически потрясен появлением китайской более энергоэффективной модели ИИ? Такие же решения будут найдены и для прорыва в квантовом направлении.

Квантовый сенсор под микроскопом. Микроскоп нужен, чтобы иглой попасть в контакт, который в 10 000 раз больше сенсора



Квантовый ликбез

Квантовая наука и квантовые технологии в вопросах и ответах

Каковы основные положения квантовой физики?

Квант — это наименьшая дискретная единица физической величины (например, энергии), которая может быть передана или обменена в ходе взаимодействия. Это определение было введено Максом Планком в 1900 году, что стало основой для появления нового революционного направления науки — квантовой физики.

Среди основоположников новой теории также стояли Альберт Эйнштейн, Вернер Гейзенберг, Эрвин Шрёдингер и многие другие. Ими и были сформулированы базовые принципы, на которых основываются современные квантовые технологии. Коротко их можно сформулировать следующим образом.

- **Квантование величин** — энергия, момент импульса и другие физические параметры могут принимать лишь определенные дискретные значения.
- **Принцип неопределенности** — невозможно предсказать исход конкретного измерения, можно лишь вычислить вероятность получить тот или иной его исход.
- **Принцип суперпозиции** — частица может находиться в нескольких состояниях одновременно.
- **Принцип запрета клонирования** — нельзя создать точную копию квантового состояния.

Квантовая физика заложила фундамент для объяснения многих атомных и молекулярных процессов, более того, она стала основой многих современных технологий.

Что такое квантовые технологии?

Бурное развитие квантовой физики привело к появлению множества технологий, которые сегодня являются неотъемлемой частью нашей жизни. Квантовые эффекты лежат в основе полупроводниковых приборов, лазеров, оптоволоконной связи, ядерной энергетики и медицинской диагностики. Однако достижения квантовой механики не ограничиваются этими областями. В настоящее время активно развивается направление квантовых технологий, основанных на фундаментальных принципах квантовой механики.

Современные квантовые технологии принято делить на три ветви: квантовые вычисления, квантовая криптография и квантовая сенсорика.

Квантовые компьютеры способны решать задачи, недоступные классическим системам, квантовая криптография обеспечивает абсолютно защищенную передачу данных, а квантовые сенсоры позволяют проводить измерения с точностью, выходящей за пределы возможностей классических приборов.

Что такое квантовые вычисления?

В 1980 году Юрий Манин исследовал то, как молекулы ДНК записывают и считывают генетическую информацию. Он предположил, что такие процессы могут быть эффективно смоделированы с помощью квантовых систем.

Годом позже, в 1981 году, идею квантового компьютера сформулировал Ричард Фейнман в докладе о моделировании физических процессов. Он подчеркнул, что все явления подчиняются квантовым законам, а классическая физика является лишь их приближенным описанием. При этом моделирование даже простых квантовых систем с помощью классических машин сталкивается с проблемой экспоненциального роста вычислительной сложности.

Фейнман впервые предложил концепцию квантового симулятора — квантовой системы, способной

воспроизводить поведение более сложной квантовой системы, оставаясь при этом управляемой и предсказуемой. Такой подход позволил бы изучать новые квантовые явления, такие как сверхпроводимость и магнитные фазовые переходы, причем вместо громоздких классических вычислений сложные уравнения бы решала сама природа. Помимо этого, он предложил концепцию универсального квантового компьютера — устройства, которое можно перенастроить для решения различных задач, а не только для моделирования конкретных физических процессов.

Если поведение одиночного квантового объекта предсказуемо и относительно легко моделируется, то при увеличении числа частиц количество возможных состояний системы растет настолько быстро, что даже самые мощные классические суперкомпьютеры

не справляются с задачей. Это связано с тем, что классический компьютер оперирует битами, которые могут принимать одно из двух состояний: 0 или 1. Таким образом, система из N битов может одновременно находиться только в одном из возможных

состояний. В отличие от этого, в квантовых вычислениях основная единица информации — кубит. Кубит отличается тем, что он может находиться в состоянии суперпозиции 0 и 1, что позволяет ему представлять оба состояния одновременно.

Для решения каких задач применимы квантовые компьютеры?

Квантовые алгоритмы и их преимущества

Вопреки распространенному мнению, целью создания квантовых компьютеров не является полная замена классических. Их предназначение — решение задач, с которыми классические машины не справляются. Существует ряд задач, в которых квантовые алгоритмы обеспечивают значительное преимущество.

Факторизация чисел и криптография

Современная криптография, включая широко используемое шифрование RSA, основана на сложности факторизации больших чисел, получаемых в результате перемножения двух простых множителей, которые, в свою очередь, делятся только на себя и на единицу. Факторизация такого произведения требует огромных вычислительных ресурсов, что не позволяет классическим алгоритмам производить ее с требуемой скоростью.

В 1994 году Питер Шор предложил квантовый алгоритм, который разлагает числа на простые множители экспоненциально быстрее классических методов. Так, для факторизации числа длиной 2048 символов классическому компьютеру потребуются миллионы лет, в то время как квантовый алгоритм справится с этим за считанные минуты, что позволит взламывать большинство современных криптографических систем. Его работоспособность была подтверждена экспериментально, в том числе в 2012 году, когда с помощью квантового компьютера удалось разложить число 21 на множители.

Квантовый поиск: алгоритм Гровера

Поиск элемента в неструктурированной базе данных классическим методом требует в среднем просмотра

половины элементов, а в худшем случае — полного перебора. Алгоритм квантового поиска, разработанный в 1996 году Ловом Гровером, предлагает квадратичное ускорение, находя нужный элемент за количество шагов, пропорциональное квадратному корню из числа записей.

Квантовые алгоритмы в химии и машинном обучении

Помимо криптографии и поиска, квантовые алгоритмы находят применение в других сложных задачах. Одним из примеров является вариационный квантовый решатель собственных значений (VQE), который позволяет моделировать химические реакции с точностью, недоступной классическим компьютерам при работе с крупными молекулами.

Квантовые вычисления также активно применяются в машинном обучении. Исследователи разрабатывают квантовые версии классических алгоритмов и используют квантовые методы для ускорения обработки данных в традиционных ML-моделях. Помимо этого, активно развиваются так называемые quantum-inspired algorithms — алгоритмы, предназначенные для классических компьютеров, однако использующие при этом некоторые принципы из квантовых вычислений. Подобные методы призваны улучшить производительность классических вычислительных систем, предлагая новые подходы к решению задач оптимизации, кластеризации и обработки больших данных.

При этом представленные выше примеры квантовых алгоритмов являются универсальными, поскольку задачи, на решение которых они направлены, находят применение и в других направлениях науки и техники.

Какие бывают кубиты?

Для создания кубита необходим объект, обладающий квантовым свойством суперпозиции. На данный момент существует несколько основных физических платформ, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Сверхпроводящие кубиты

Сверхпроводящие (сверхпроводниковые) кубиты — один из самых распространенных типов кубитов, используемых в квантовых процессорах Google, IBM, Rigetti. В России их разрабатывают в МФТИ, МИСИС и других центрах.

Они представляют собой сверхпроводящие микроскопические цепи, работающие при температурах, близких к абсолютному нулю. Благодаря сверхпроводимости ток в них протекает без сопротивления, подчиняясь законам квантовой механики. Управление осуществляется микроволновыми импульсами или магнитным полем.

К преимуществам можно отнести простоту масштабирования, возможность экспериментов с конфигурацией цепей и сравнительно низкие затраты на производство. Однако массовое производство приводит

к вариациям на атомарном уровне, что снижает стабильность и точность вычислений, требуя дополнительных усилий для коррекции ошибок.

Кубиты на холодных ионах

Еще один распространенный подход — использование охлажденных ионов, например, кальция или стронция. Ионы удерживаются в вакууме электромагнитными ловушками, а их движение подавляется лазерным охлаждением. Информация кодируется в устойчивых электронных состояниях, а управление кубитами осуществляется при помощи воздействия лазерного излучения.

Ионные компьютеры не требуют экстремально-го охлаждения, стабильнее сверхпроводниковых, но вычисляют медленнее и требуют сверхвысокого

вакуума, что усложняет масштабирование. В России исследования в этой области ведутся в Российском квантовом центре, МГУ, ФИАН.

Что еще можно использовать в качестве кубитов?

Помимо сверхпроводниковых и ионных кубитов, разрабатываются и другие технологии создания квантовых вычислительных систем. Среди таких подходов можно выделить фотонные кубиты, кубиты на дефектах кристаллической решетки алмазов, топологические кубиты, кубиты на основе ядерного магнитного резонанса и кубиты, реализованные с использованием квантовых точек. Каждая из этих технологий имеет свои уникальные свойства, а их дальнейшее развитие может способствовать созданию более устойчивых и масштабируемых квантовых компьютеров.

Когда можно ожидать широкого внедрения квантовых компьютеров?

Предсказать точные сроки широкого внедрения квантовых компьютеров на данный момент чрезвычайно сложно, что вызывает оживленные дискуссии среди ученых. Некоторые эксперты уверены, что в ближайшие десятилетия квантовые технологии достигнут достаточной зрелости для решения реальных задач в науке и промышленности. Их оптимизм подкреплен ускоренным развитием рынка квантовых технологий, которое способствует созданию более стабильных и устойчивых к помехам систем. Однако есть

и противоположная точка зрения: многие считают, что существующие проблемы, особенно фундаментальные, не могут быть решены в краткосрочной перспективе, поскольку для их устранения потребуются значительный прогресс в смежных областях науки. Наиболее вероятный сценарий предполагает, что в ближайшие десятилетия квантовые компьютеры смогут эффективно решать узкоспециализированные задачи, но для более широкого применения потребуются гораздо больше времени.

Как использовать квантовую механику для сохранения секретности передачи информации?

Сегодня информация — один из самых ценных ресурсов на планете. Каждый день в сети передаются огромные объемы данных, включая банковские реквизиты, паспортные данные и другую конфиденциальную информацию. Однако с ростом объема передаваемых данных неизбежно увеличивается и число утечек, взломов и кибератак.

Одним из ключевых преимуществ квантовых методов защиты информации является их способность обеспечивать принципиально новый уровень безопасности. Традиционные криптографические системы

основаны на математической сложности вычислений, что потенциально делает их уязвимыми, в том числе и для квантовых компьютеров. Квантовые протоколы используют фундаментальные законы квантовой механики. Современные коммуникации в основном осуществляются через оптоволоконные сети, и квантовые системы шифрования могут быть интегрированы в уже существующую инфраструктуру, значительно повышая уровень защищенности передаваемых данных. Такой подход уже применяется в Китае для защиты банковских транзакций и государственной связи.

Что такое квантовое распределение ключа?

Наиболее распространенным алгоритмом квантового распределения ключа (КРК) является протокол BB84, предложенный Чарльзом Беннетом и Жилем Brassаром в 1984 году. Представим, что два абонента, традиционно называемые Алиса и Боб, хотят обменяться секретным ключом для последующего

безопасного шифрования данных. Алиса создает последовательность кубитов, где некоторая характеристика каждого кубита, которым является фотон, соответствует одному биту ключа. Эти кубиты передаются Бобу по оптоволоконному каналу связи. Однако, согласно принципам квантовой механики,

любое измерение состояния кубита повлечет за собой разрушение этого состояния. Поэтому, если злоумышленник попытается перехватить передаваемый ключ, это неминуемо приведет к изменениям

в данных, что не останется без внимания Алисы и Боба. Таким образом, при достижении порогового уровня ошибок, скомпрометированный ключ отбрасывается.

Что такое квантовая телепортация?

Использование квантовой запутанности представляет собой еще один перспективный метод безопасной передачи информации. Согласно законам квантовой механики, два квантовых объекта могут быть связаны (запутаны) между собой таким образом, что изменение состояния одного из них немедленно изменяет состояние другого, независимо от расстояния между ними. Это явление лежит в основе технологии квантовой телепортации.

В квантовой телепортации создаются пары запутанных фотонов, один из которых получает отправитель данных (Алиса), а второй — получатель (Боб). Когда Алиса получает свой запутанный фотон, она взаимодействует с ним с помощью «кубита памяти»,

хранящего данные, которые она хочет передать. Это взаимодействие изменяет состояние ее фотона, и, поскольку он запутан с фотоном Боба, состояние его фотона изменяется моментально. Это явление фактически позволяет «телепортировать» данные из «кубита памяти» Алисы в кубит Боба.

Однако на данный момент данная технология представляет собой сложнейшую научную и инженерную задачу и находится на ранней стадии развития. Среди основных проблем — улучшение точности и эффективности процесса, разработка подходящих систем квантовой памяти и связи, а также масштабирование квантовой телепортации для реальных приложений.

Что такое квантовые сенсоры?

Квантовая сенсорика — область квантовых технологий, в которой устройства, работающие на принципах квантовой механики, позволяют измерять физические величины с недостижимой для классических устройств точностью.

Использование таких явлений, как квантовая запутанность, суперпозиция и туннелирование, дает квантовым сенсорам возможность обнаруживать малейшие изменения в гравитации, магнитных и электрических полях. Эти свойства находят применение в различных областях, таких как геологоразведка, биомедицина, высокоточная навигация и многие другие.

Одним из самых значимых достижений в области квантовой сенсорики являются атомные часы, которые способны фиксировать время с беспрецедентной точностью. Принцип работы любых часов основан на фиксации осцилляций механизма, который колеблется с постоянной частотой. В атомных часах вместо механических колебаний используются осцилляции электромагнитного излучения между уровнями атомов. С 1967 года секунда как базовая единица времени определяется как 9 192 631 770 периодов излучения, возникающего при переходе между сверхтонкими уровнями атома цезия-133.

На сегодняшний день самые точные атомные часы обладают ошибкой порядка одной секунды за 100 млн лет. Тем не менее для ряда научных задач такой точности недостаточно, и активно разрабатываются оптические атомные часы. Например, использование

атомов тория может повысить точность измерений еще на два порядка, что откроет новые возможности в научных исследованиях и усовершенствует существующие технологии.

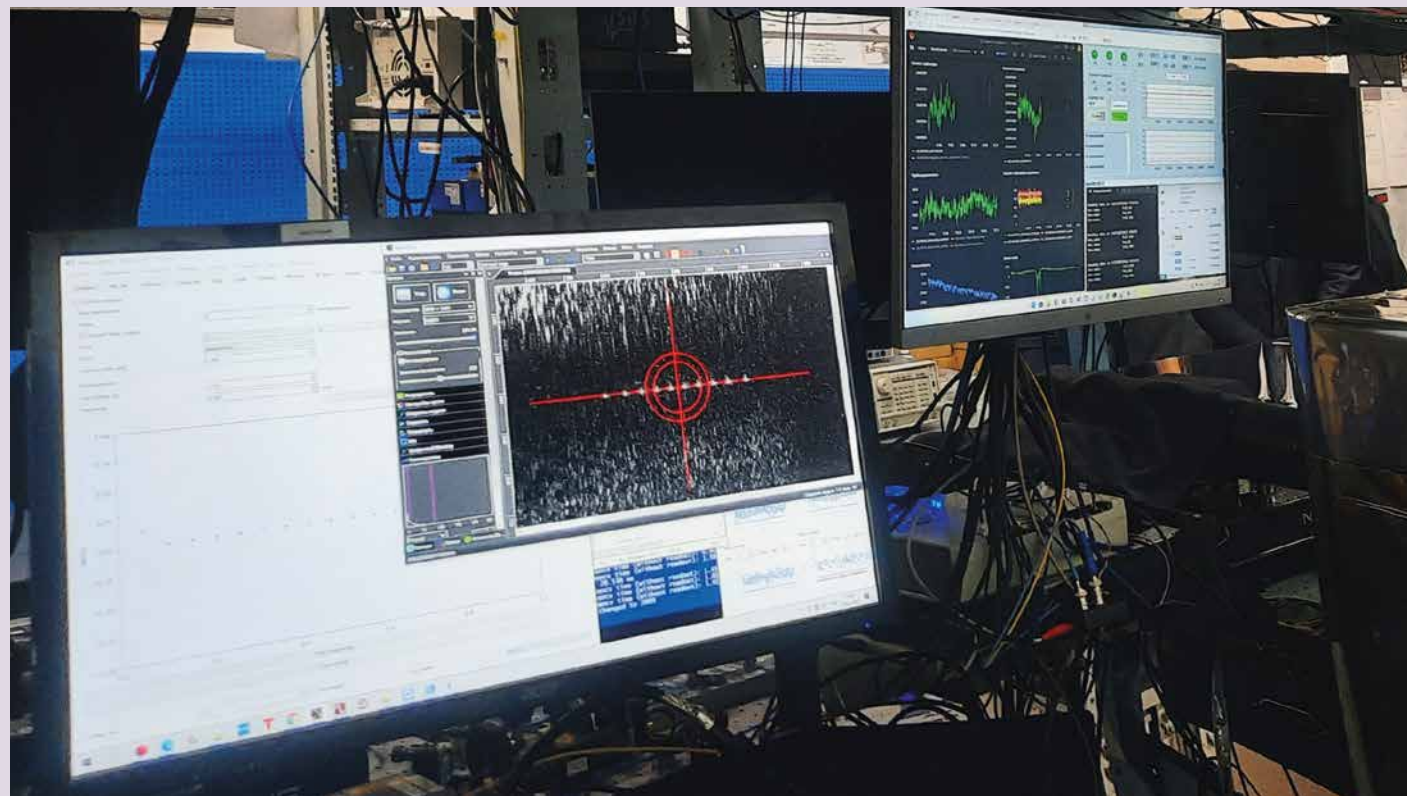
Другим примером квантовых детекторов являются квантовые магнитометры, работа которых основана на квантовых свойствах токов, протекающих в сверхпроводниках, уже успешно применяющиеся в медицинской диагностике.

Эти устройства способны регистрировать слабые магнитные сигналы с точностью до 10^{-15} Тл, что значительно превосходит предел классических приборов, ограниченных уровнем 10^{-10} Тл. Такое улучшение чувствительности позволяет более точно фиксировать магнитные сигналы, возникающие при активности головного мозга и сердца (10^{-10} – 10^{-13} Тл), что способствует разработке более точных и информативных методов диагностики заболеваний.

Также к ярким примерам современных квантовых сенсоров можно отнести сенсоры, которые используют квантовые эффекты, возникающие при замещении атома углерода атомом азота в кристаллической решетке алмаза (NV-центрах в алмазах). Подобные сенсоры позволяют отслеживать изменения электрических и магнитных полей на наноуровне. Это открывает новые горизонты для развития нанотехнологий, где такие сенсоры могут быть использованы для создания более точных и эффективных устройств в самых разных областях, от медицины до материаловедения.

Текст: Ирина Дорохова

Фото: ФИАН / Артем Доев; газета «Страна Росатом» / Алексей Башкиров, Евгений Погонин; пресс-служба МГУ



Кубиты берут новые высоты

Достижения и перспективы в области разработки российских квантовых компьютеров

Россия — одна из очень немногих в мире стран, которые могут похвастаться разработками квантового компьютера (или, иначе, вычислителя, процессора) на нескольких физических платформах. Эта работа ведется в рамках реализации дорожной карты высокотехнологичной области «Квантовые вычисления», которой руководит «Росатом». На первом этапе дорожной карты (он завершен в 2024 году) предполагалось развитие шести технологий, из которых наилучшие результаты показали

четыре: на базе ионов, атомов, сверхпроводников и фотонов. «Вестник атомпрома» решил разобраться, как устроен квантовый компьютер на каждой из этих четырех платформ, поэтому мы обратились к ключевым фигурам в каждом из направлений с просьбой рассказать о достигнутых результатах и перспективах разработок. Понять это непросто, но, надеемся, читатели смогут уложить в своей картине мира новый кусочек реальности, не похожей ни на что другое.

Квантовый компьютер на ионах

В России квантовые компьютеры на ионах развивают две команды: Илья Семерикова из совместной лаборатории ФИАН — РКЦ и Кирилла Лахманского из РКЦ. Первая команда показала более значимые результаты, поэтому мы обратились за подроб-

ностями к научному сотруднику Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, руководителю научной группы Российского квантового центра Илье Семерикову, который рассказал нам о достигнутых результатах и дальнейших перспективах исследований.

Достижения

В 2024 году наша команда показала квантовый компьютер, состоящий из 50 кубитов на 25 ионах иттербия. Все 25 ионов находятся в одной трехмерной ловушке. Она так называется, потому что электроды расположены в трех измерениях. В ней ионы выстроены в цепочку.

Каждый ион — физическая база одного кубита, в нем четыре энергетических уровня. Один кубит — математический эквивалент двух кубитов (систем с двумя энергетическими уровнями). На самом деле в квантовых системах уровней может быть сколько угодно, но работать более чем с четырьмя сложно.

На 50-кубитном компьютере мы выполнили одно- и двухкубитные операции с полной связанностью. Это значит, что операцию можно выполнить между любой парой кубитов. В частности, показали выполнение алгоритмов, включая специфические кудитные — многокубитные вентили Тоффоли (по имени итало-американского ученого Томмазо Тоффоли). Они важны для алгоритмов коррекции ошибок, используются в алгоритме Шора при разложении числа на простые множители. Мы опубликовали эту работу на arXiv.org, это электронный архив с открытым доступом для научных статей, и подаем публикацию в журнал PRL, сейчас статья проходит рецензирование.

Российский ионный компьютер близко подошел к мировому рекорду по объему, но пока уступает ему в достоверности операций. Мировой рекорд — 56 кубитов с достоверностью операций 99,9%. У нашего — 50 кубитов и достоверность 91–97%. Чтобы быть ограниченным не достоверностью, а числом кубитов, нужна достоверность выше 99,9%. Чтобы поднять достоверность, необходимо модернизировать установку. Этим мы и планируем заниматься в рамках следующей дорожной карты.

Это будет уже вторая модернизация. Первая, которая прошла в 2023 году, позволила увеличить число кубитов в квантовом процессоре с 16 до 50 и поднять достоверность до нынешнего уровня с «около 90%».

Перспективы

Главная цель второй модернизации — переход от оптического кубита к микроволновому. Сейчас мы кодируем информацию в оптическом кубите, где разница между энергетическими уровнями в ионе иттербия соответствует оптическому диапазону, это сотни терагерц, а перейдем мы в микроволновый диапазон, около 12 гигагерц, что на несколько порядков меньше. Образно говоря, разница между двумя энергетическими уровнями будет не как между первым и вторым этажом, а как между первой и второй ступеньками лестницы.

На микроволновых кубитах можно будет выполнять операции с гораздо более высокой достоверностью, так как на систему меньше влияют фазовые шумы

лазера, она менее чувствительна к шумам магнитного поля, у системы выше время когерентности, а именно время когерентности ограничивает достоверность операций на сегодня. И надо сказать, что самый мощный квантовый компьютер на ионах сделан на иттербии-171 на микроволновом кубите.

В настоящее время мы достраиваем вторую «машину» — комплекс оборудования, на котором будут создавать микроволновый компьютер. Планируем его запустить в этом году. Думаю, в течение 2025 года мы микроволновый компьютер покажем и поднимем достоверность двухкубитных операций выше 99%. Достоверность — это ключ к квантовым вычислениям.

Впрочем, в ФИАН оптический квантовый компьютер не забросят. На первой машине будем на 10 ионах и, соответственно, 20 кубитах запускать алгоритмы. Это оптимум, когда и кубитов достаточно, и достоверность высока. Сейчас средняя достоверность двухкубитных операций на массиве из 10 ионов составляет 96,3%. Есть большой список от наших коллег-алгоритмистов, которые хотели бы их запустить.

Алгоритмы коррекции ошибок запускать на ионном квантовом компьютере думаем лишь через несколько лет. Сначала надо поднять достоверность двухкубитных операций на аппаратном уровне выше 99,9%. Без этого эффективно запустить алгоритмы не получится. Да и во всем мире алгоритмы коррекции ошибок на самом деле не особо увеличивают достоверность операций.

Еще одно направление развития — планарные ловушки, которые должны заменить трехмерные. Их главное преимущество в том, что в планарных ловушках можно физически перемещать пару ионов с одного места на другое, в трехмерных такое невозможно. Использование планарных ловушек даст возможность ввести в систему гораздо большее число кубитов без потери качества двухкубитных операций.

В ФИАН сделали несколько поколений планарных ловушек, но пока ни одна модель не достигла нужных показателей. Мы надеемся, что в этом году все-таки создадим первое успешное поколение планарных ловушек, поймем туда ионы и будем с ними работать, потому что полноценное масштабирование свыше 50 кубитов с высокими достоверностями возможно только в сложных планарных системах.

Другой подход

Команда Кирилла Лахманского создает квантовый компьютер на ионах кальция. В рамках новой дорожной карты она будет работать над увеличением числа кубитов до 300.

Квантовый компьютер на нейтральных атомах

Над созданием квантового компьютера на базе нейтральных атомов работает группа Станислава Страупе, возглавляющего сектор квантовых вычислений центра квантовых технологий МГУ. Он рассказал о достигнутых результатах и задачах, которые решает группа.

В лаборатории МГУ работают сотрудники университета и Российского квантового центра. Нашу установку мы развиваем несколько лет, она постепенно совершенствуется.

В 2024 году мы улучшили прототип квантового процессора, усовершенствовав систему, которая формирует оптические пинцеты, что позволяет нам получать больше пинцетов. Оптический пинцет — это устройство, которое дает возможность захватывать и удерживать одиночные атомы, а также адресно воздействовать на отдельные атомы рубидия и управлять частотой кубитного перехода. Увеличение числа оптических пинцетов позволило собрать упорядоченный массив большего, чем прежде, размера. Сейчас мы за разумное время можем упорядоченным образом захватить в ловушки 50 атомов рубидия.

Чтобы захватывать атомы пинцетом, нужна определенная минимальная мощность. Чем больше пинцет, тем большая мощность лазера требуется. В прошлом году мы модифицировали систему, увеличили мощность и можем суммарно создавать массивы из более чем 200 пинцетов. Из этого большого массива мы собираем в упорядоченную часть до 50 атомов. Путь к дальнейшему масштабированию нашего компьютера — это увеличение мощности лазерной системы и увеличение времени жизни в атомных ловушках, чтобы во время сборки атомы из них не вылетали. В 2025 году у нас стоит задача сделать компьютер

на базе 70 атомов. Дальше — больше: до 300 упорядоченных атомов в ближайшие годы.

Мы начали выполнять различные операции с индивидуальной адресацией. Однокубитные операции делаем с точностью порядка 99,8–99,9%, двухкубитные — пока с меньшей. В контрольном эксперименте в декабре 2024 года был зафиксирован результат около 90%.

Поэтому самая главная наша задача сейчас — увеличение точности двухкубитных операций. Увеличить точность можно двумя способами. Первый — снизить температуру. Атомы в нашей системе, конечно, холодные, но не абсолютно, они в ловушке двигаются. Чем больше тепловое движение, тем больше вероятность ошибки. Дело в том, что операции выполняются сфокусированными лазерными пучками. Когда атом в пучке двигается, это приводит к случайным флуктуациям величины воздействия на него со стороны пучка, и это выглядит как декогеренция. Чем ниже температура, тем меньше тепловое движение, тем выше точность. Поэтому наша задача — это охлаждение системы как можно ближе к абсолютному нулю. Если сейчас у нас десятки микрокельвинов, то желательно получить единицы микрокельвинов.

Второй путь — отказаться от локальной адресации при возбуждении атомов, делать глобальные пучки. Для этого необходимо сильно повысить мощность лазерной системы, возбуждающей ридберговское (высоковозбужденное) состояние. В таком состоянии у атомов резко увеличивается дипольный момент (расстояние от ядра до границы атома — атомы «распухают»), и благодаря диполь-дипольному взаимодействию они начинают взаимодействовать друг с другом, становятся возможными запутывание кубитов и квантовые операции, прежде всего двухкубитные гейты. Чем жестче сфокусирован лазерный пучок возбуждения, тем меньше мощности требуется, чтобы быстро привести атомы в возбужденное состояние. Быстро, потому что чем больше атомы проводят в этом состоянии, тем хуже получается гейт. Но можно организовывать глобальное ридберговское возбуждение, а адресацию к отдельным атомам выполнять за счет их перемещения. Так делают в Гарварде, где также занимаются компьютерами на нейтральных атомах. Мы тоже можем пойти по этому пути, у нас лазер достаточной мощности теперь есть. Правда, систему ридберговского возбуждения собирать мы еще не начали. Думаю, что в этом году мы займемся сборкой, и это будет либо альтернатива, либо мы как-то оба пути совместим. Пока основная задача — уменьшить температуру системы и тем самым идти к повышению точности.

Наши 50 кубитов структурированы в прямоугольный массив. В перспективе их можно будет перемещать во время выполнения алгоритма и тем самым увеличивать связность квантового регистра. Поясню: если у заряженных ионов любой ион связан с любым, то в атомном регистре двухкубитные гейты можно

делать только между ближайшими соседями. А перемещая атомы в процессе алгоритма, это ограничение можно обойти. Мы примерно понимаем, как это делать: надо использовать тот же оптический пинцет, которым мы сортируем атомы, но сделать его не однолучевым, как сейчас, а многолучевым, чтобы несколькими лучами синхронно по одному алгоритму группы атомов передвигать. Тогда мы сможем эффективно менять конфигурацию массива в процессе алгоритма. Такую установку мы тоже делаем. Она разработана, но пока не внедрена, мы тестируем электронику и софт для управления многолучевым пинцетом. При перемещениях важно, чтобы атомы не нагревались, а их энергия не увеличивалась. Если подобрать оптимальные профили скорости перемещения и плавно разгонять, плавно тормозить по специальному закону, можно рассчитать процесс таким образом, чтобы увеличения энергии не происходило.

Для управления холодными атомами пока специализированные алгоритмы не нужны. Наш компилятор

использует алгоритмы, написанные с помощью, например, библиотеки IBM Qiskit, которой все пользуются, под нашу машину. Можно и специально под наше «железо» оптимизировать существующие алгоритмы и получить от этого какие-то преимущества, но пока это не приоритетная задача. Хотя думать об этом, конечно, надо, и в этом мы рассчитываем на коллег из Российского квантового центра.

На нашем компьютере уже можно запускать алгоритмы. Например, на двух кубитах мы можем рассчитать энергию основного состояния молекулы водорода. На большем числе кубитов возникает ограничение по точности. Прежде чем мы сможем вести расчеты на всех 50 атомах, мы должны значительно увеличить точность.

Мы не говорим пока, что наш квантовый компьютер делает что-то быстрее классического, но было бы хорошо, если бы в рамках новой квантовой дорожной карты, до 2030 года, это произошло.

Квантовый компьютер на сверхпроводниках

Созданием квантовых процессоров на сверхпроводниках занимается Университет науки и технологий «МИСИС» (НИТУ «МИСИС»). Об истории и текущих разработках для сверхпроводникового квантового процессора нам рассказал директор дизайн-центра квантового проектирования НИТУ «МИСИС» Наталия Малеева.

НИТУ «МИСИС» в сотрудничестве с Институтом нанотехнологий и микроэлектроники РАН, Московским физико-техническим институтом (МФТИ) и Российским квантовым центром (РКЦ) работает над созданием универсального масштабируемого сверхпроводникового квантового процессора.

Немного истории. Десять лет назад мы совместно с Институтом физики твердого тела РАН, МФТИ и РКЦ впервые в России спроектировали, изготовили и измерили сверхпроводниковый кубит. Следующим важным этапом стало создание двухкубитного процессора — элементарной ячейки любого квантового процессора.

Поясню. Сверхпроводниковые кубиты представляют собой электрические цепи, составленные из джозефсоновских контактов (два слоя сверхпроводника, разделенные несколькими нанометрами диэлектрика) и сверхпроводниковых сосредоточенных или распределенных пассивных элементов. Такие схемы представляют собой нелинейные квантовые осцилляторы (системы, совершающие колебания. — Примеч. ред.). В их энергетическом спектре можно выделить два нижних уровня, пригодных для выполнения квантовых операций. Мы изготавливаем

наши кубиты, напыляя тонкие алюминиевые пленки на подложки из кремния с помощью метода микролитографии. Готовый чип устанавливается в медный держатель образца. Его мы монтируем в криостат и охлаждаем до температуры 30 милликельвин. Это в 100 раз холоднее, чем в открытом космосе, или в 10 000 раз холоднее, чем комнатная температура.

Дальше мы двигались по пути наращивания числа трансмонов, совместно работающих в одном процессоре. Трансмон — это сверхпроводниковый кубит, который в нашем случае состоит из системы трех джозефсоновских контактов и большого конденсатора. За последние четыре года мы прошли путь от элементарной ячейки из двух трансмонов до процессора с восемью вычислительными трансмонами и выполнили на нем первые квантовые алгоритмы. Все это стало возможным благодаря, в частности, научной исследовательской инфраструктуре, развиваемой в НИТУ «МИСИС» при поддержке Минобрнауки в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (стратегический проект «Квантовый интернет»). Программа действует с 2021 года.

Восьмикубитный квантовый процессор работает в МИСИС уже год. Наш процессор состоит из восьми вычислительных трансмонов и десяти вспомогательных кубитов, которые позволяют включать и выключать связь между вычислительными трансмонами. Таким образом обеспечивается реализация логических операций, из которых составляются квантовые алгоритмы. Процессоры такого масштаба могут применяться для научных исследований, а также для прототипирования квантовых алгоритмов. На процессоре МИСИС мы уже приступили к этим





задачам — например, выполнили квантовый алгоритм на кутрите. Кутрит — это физическая система, где задействованы не два уровня, как в кубите, а три. Благодаря использованию трех уровней вычислительное пространство расширяется, и можно выполнить больше операций в единицу времени. Также мы выполнили на нашем процессоре первый алгоритм в интересах индустриального партнера. Это важный этап перехода от научных исследований к прикладному использованию.

Точность однокубитных операций нашего восьмикубитного процессора достигает 99,89%, точность двухкубитных операций лежит в интервале $97,9 \pm 0,3\%$. Это довольно высокие значения, и тем не менее мы видим пути совершенствования наших процессоров и работаем над увеличением точностей

Квантовый компьютер на фотонах

Над фотонным направлением работают несколько команд. Универсальный квантовый процессор разрабатывает команда Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, фотонный симулятор «Интегральная когерентная машина Изинга» — Российский квантовый центр (РКЦ). Старший научный сотрудник Российского квантового центра, руководитель группы сопровождения внутренних научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в компании «Росатом Квантовые технологии» Дмитрий Чермошенцев рассказал о том, как развиваются квантовые вычислители на фотонах.

Вычислители на фотонах представляют из себя фотонно-интегральные схемы (ФИС). Это

логических операций. Время выполнения однокубитной операции составляет 20 нс, двухкубитной — 55 нс при времени когерентности кубита порядка 10 мкс. Увеличение времени когерентности — еще одна важнейшая задача.

Сейчас мы продолжаем эксперименты на восьмикубитном процессоре, развиваем технологию изготовления кубитов, работаем над повышением их качества, над методами управления и считывания и над масштабированием. Процессор следующего поколения будет как минимум в два раза больше имеющегося. Также в этом году мы работаем над совмещением процессора МИСИС с облачной платформой, позволяющей удаленно получать доступ к работе с процессором. Еще одна амбициозная задача, которую мы поставили перед собой в этом году, — демонстрация логического кубита. Такая демонстрация — важная веха на пути к универсальному квантовому компьютеру.

Эти исследования мы проводим при поддержке «Росатома» в рамках дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления».

Параллельно с работой над трансмонным процессором мы занялись пионерскими работами по созданию квантового процессора на основе флаксоуимов (джозефсоновский контакт и большая индуктивность). Использование флаксоуимов привлекательно увеличением точности двухкубитных логических операций и времени жизни кубитов. Время жизни — одна из ключевых характеристик кубита. Если упростить, то это время, в течение которого кубит помнит, какое состояние в нем было записано. Дальнейшее масштабирование квантовых процессоров мы видим в использовании именно флаксоуимов в качестве вычислительных кубитов.

специальные полупроводниковые чипы, похожие на микросхемы в обычном, классическом, компьютере, только вместо электронов в них распространяются фотоны. Кубиты представляют из себя либо какие-то параметры фотонов или оптических мод, например поляризации или фазы, либо «путь» фотона. Условно, наличие или отсутствие фотона на детекторе. Иначе говоря, фотон заводится в ФИС, например, из стекла или нитрида кремния, на котором закодированы некоторые матрицы, при помощи систем интерферометров Маха — Цендера, управление которыми осуществляется при помощи нагрева.

Наш процессор на фотонах работает с 35 кубитами и реализует процедуру бозонного сэмплирования. Это специальная архитектура квантового компьютера. Достоверность двухкубитных операций в такой системе превышает 93%, это достаточно хороший результат, но нам есть куда стремиться. При фотонных вычислениях все происходит очень быстро,

поскольку все определяется временем распространения фотона внутри интегрального чипа. Параметры системы соответствуют показателям, которые прописаны в требованиях дорожной карты «Квантовые вычисления».

В прошлом году нашей основной задачей было масштабирование системы без существенного ухудшения качества операций. Для этого мы разработали специальную схему с линиями задержки, чтобы большее количество фотонов могло находиться внутри системы. Основная трудность — согласовывать время излучения от однофотонных источников, которые представляют из себя квантовые точки. Линии задержки позволяют удерживать фотон внутри системы какое-то время, что как раз помогло частично решить проблему с масштабированием.

Масштабирование фотонного квантового компьютера столь важно потому, что это постепенно приближает нас к порогу демонстрации квантового превосходства на задаче демонстрации квантового сэмплирования. Несколько команд в мире на других платформах уже достигли этой вехи. Например, Google реализовала это на сверхпроводящем чипе. На фотонном квантовом компьютере такая задача была решена китайской командой под руководством профессора Жан-Вей Пэна, однако их система была не интегральной, а собранной на оптическом столе.

Создать такую систему на чипе сложно из-за кросс-влияния элементов друг на друга при нагреве, ведь именно с помощью нагрева волноводов сейчас кодируются параметры в интегральные системы. Чтобы правильно учитывать кросс-воздействие, необходимо калибровать систему. Тут, думаю, может помочь искусственный интеллект.

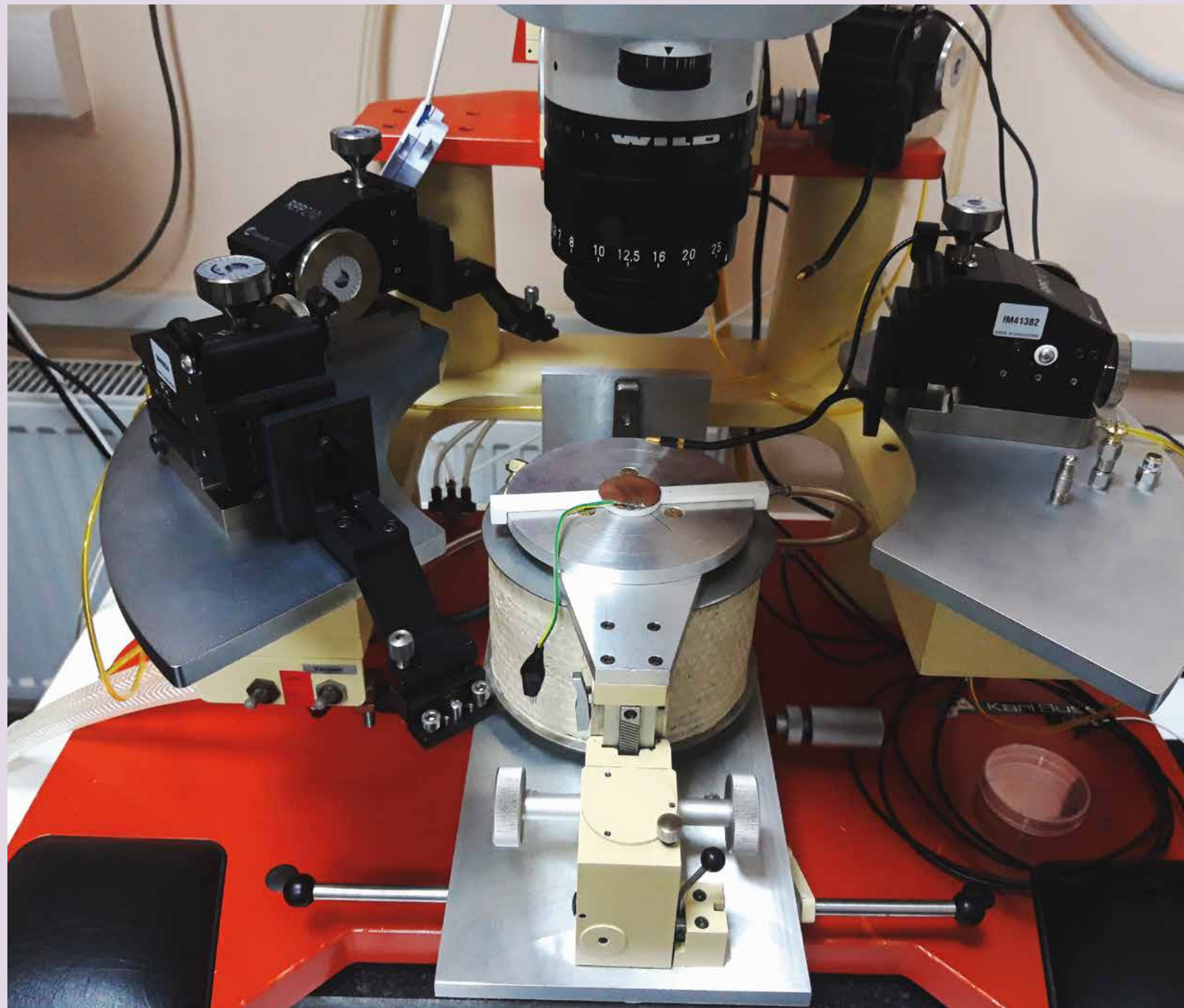
В рамках разработки устройств когерентных машин Изинга также стоит задача масштабирования системы. Это необходимо, чтобы начать решать прикладные задачи. На текущий момент по этому направлению командой Российского квантового центра был повторен лучший из известных результатов в случае интегральной структуры. Удалось связать два осциллятора на чипе из нитрида кремния и продемонстрировать возможность его программирования. Масштабирование таких систем позволит нам перейти к решению прикладных задач, которые формулируются на языке дискретной комбинаторной оптимизации. Это значит, что нам необходимо найти оптимум некоторой целевой функции на последовательности нулей и единиц. Если количество переменных очень большое, например 1000, то, чтобы точно решить эту задачу, нам необходимо на классическом компьютере проанализировать 2^{1000} переменных, что невозможно сделать за короткое время. А вот симуляторы типа Изинга такие задачи решать могут. Поэтому основная задача сейчас — переход от единиц переменных в таких системах к десяткам и тысячам, а цель — решение задач финансового сектора, логистики, оптимизация производственных цепочек и т. д.

Сейчас, на мой взгляд, мы находимся в том моменте времени, когда квантовые вычислители постепенно переходят из лабораторных образцов к системам, которые могут решать какие-то полезные задачи. Поэтому надо не только масштабировать вычислители, но и находить задачи, которые можно решать с их помощью наиболее эффективно. Кроме того, большие усилия по всему миру прикладываются для решения технологических сложностей при производстве чипов, ведь качество их изготовления напрямую влияет на потери в системе. Интегральная фотонная платформа очень привлекательна компактностью и тем, что ей не обязательно нужны сверхнизкие температуры для работы. Поэтому ФИС наиболее интересны с точки зрения создания гибридных квантово-классических компьютеров в будущем. Представьте, что такой небольшой квантово-оптический модуль установлен в вашем ноутбуке и подключается к работе классического компьютера, когда необходимо решить сложнейшую задачу.



Текст подготовила Ирина Дорохова
 Фото: ООО «НСТ», ООО «КуРэйт», ООО «Облачные квантовые технологии», ООО «КуАпп»

Зондовые измерения спинтронного элемента в лаборатории ООО «НСТ»



Квант дела

Как начинают использовать разработки квантовых стартапов

Одна из претензий, которую приходится выслушивать разработчикам квантовых технологий,— «зачем это все надо, если ваши устройства ничего не умеют?». Действительно, пока многого не могут,

но и говорить «ничего» — несправедливо. Практические применения квантовых технологий уже есть. Пять компаний поделились с «Вестником атомпрома» информацией о результатах своих разработок.

«Новые спинтронные технологии» (ООО «НСТ»)

Сфера деятельности

Разработка технологических решений в области спинтроники (значение этого и других терминов см. в Словаре) для умных сенсоров, СВЧ-детекторов с функцией харвестинга энергии и энергоэффективных вычислительных систем-аннилеров на основе стохастического бита.

Проекты и продукты

НСТ разрабатывает спинтронные устройства нового поколения:

- умные сенсоры с высокой чувствительностью к магнитным полям, в том числе магнитроды для мозга;
- СВЧ-детекторы с функцией харвестинга энергии;
- энергоэффективные вычислительные системы-аннилеры на основе стохастического бита.

Магнитроды для мозга — устройства для регистрации нейронной активности с высокой точностью. Они используют спинтронные сенсоры для регистрации слабых магнитных полей, генерируемых нейронами, обеспечивая неинвазивное или минимально инвазивное считывание мозговой активности. Магнитроды для мозга позволяют разрабатывать новые нейроинтерфейсы, методы исследования мозга и диагностики неврологических заболеваний.

СВЧ-детекторы с харвестингом энергии способны не только детектировать радиочастотные сигналы, но и извлекать из них энергию для питания маломощных беспроводных устройств. Спинтронные структуры преобразуют радиочастотные сигналы в постоянный ток, который можно использовать для питания датчиков, IoT-устройств и маломощных беспроводных систем. СВЧ-детекторы с харвестингом энергии уменьшают зависимость от батареек, позволяя создавать энергоавтономные датчики и беспроводные системы.

Аннилеры на основе стохастического бита предназначены для решения сложных оптимизационных задач и моделирования стохастических процессов. Они выполняют вероятностные вычисления, используя нестабильные магнитные состояния, для решения комбинаторных задач оптимизации маршрутов, биоинформатики, финансовых прогнозов и в машинном обучении. При решении задач с помощью аннилеров на основе стохастического бита требуется меньше энергии по сравнению с традиционными цифровыми компьютерами.

Результаты

Разработан дизайн сверхчувствительного сенсора для регистрации биомангнитных сигналов, оптимизированный для высокой точности детектирования слабых магнитных полей мозга.

Созданы экспериментальные образцы СВЧ-детекторов, проведены успешные испытания функции харвестинга энергии.

Оптимизированы параметры СВЧ-детекторов под конкретные промышленные применения, включая радиолокационные системы, телекоммуникации и беспроводные датчики.

Экспериментально показана работоспособность спинтронного стохастического бита, создан лабораторный стенд для его тестирования.

Применение

Разработки тестируются в лабораторных условиях, ведутся работы по доведению технологий до стадии промышленного внедрения, команда надеется на скорейшее применение в реальных задачах.

Планы

Оптимизация дизайна и изготовление первых экспериментальных образцов сверхчувствительных магнитродов для мозга.

Доработка и тестирование СВЧ-детекторов в промышленных условиях, адаптация под конкретные области применения.

Масштабирование стохастического бита аннилеров, развитие алгоритмов и тестирование в решении реальных задач бизнеса и науки.

Доработка лабораторного стенда и проведение более глубоких тестов систем стохастического бита.

Расширение партнерств для коммерциализации технологий и внедрения в промышленные и медицинские приложения.

Словарь

Спинтроника — область науки и техники, занимающаяся созданием, исследованием и применением электронных приборов (электроники), в которых спин электрона наравне с его зарядом используется для получения, обработки и передачи информации.

Харвестинг энергии — сбор энергии из окружающей среды (Wi-Fi, GSM, радиоволн) для питания маломощных носимых устройств или датчиков.

Аннилеры — это специальная разновидность квантовых вычислителей, созданная для решения NP-трудных оптимизационных задач.

Стохастический бит — бит, который пребывает в одном из двух состояний с определенной вероятностью, зависящей от величины и знака входного сигнала.

Нейроинтерфейс — система для обмена информацией между мозгом и электронным устройством.

QRate (ООО «КуРэйт»)

Сфера деятельности

QRate — научно-производственная компания, разрабатывающая комплексные программно-аппаратные решения на основе квантовых коммуникаций для обеспечения информационной безопасности, квантовой сенсорики и образования. QRate развивает технологию квантового распределения ключей (КРК, QKD) в интересах российских потребителей с 2017 года.

Проекты и продукты

Основная продуктовая линейка компании:

- QKD312 — программно-аппаратный комплекс квантового распределения ключей;
- QLab — учебная квантовая лаборатория для образовательных и научных проектов;
- QKDmini — миниатюрный передатчик квантовых ключей;
- QButterfly — полупроводниковый лавинный детектор одиночных фотонов.

Система КРК представляет из себя двух «абонентов», Алису и Боба, которые хотят иметь общий квантовый ключ для безопасной передачи данных. Алиса формирует последовательность одиночных фотонов с информацией, закодированной в квантовых состояниях фотонов, а Боб проводит измерения. Если в эти измерения вмешивается злоумышленник (Ева), то общий ключ не формируется и сообщения не отправляются.

Системы, использующие технологию КРК, позволяют решить криптографическую задачу выработки и распределения общих симметричных ключей между легитимными пользователями без участия человека. Выработанные ключи в дальнейшем используются для шифрования информации. Использование технологии КРК называется квантовой криптографией либо квантовыми коммуникациями, хотя термин «квантовые коммуникации» немного шире и предполагает методы передачи данных с помощью физических систем, реализованных на основе законов квантовой физики, а не только выработку и распределение общего симметричного ключа.



Результаты

Демонстрация квантовой защиты блокчейна, беспилотного транспорта, атмосферных оптических линий с использованием существующего коммерческого оборудования, создание квантовой сети между НИТУ «МИСИС» и МТУСИ, демонстрация защиты временного эталона и проч. Многие результаты, продемонстрированные QRate, получены впервые не только в России, но и в мире.

QRate активно поддерживает образование в области квантовых коммуникаций. Компания — участник консорциума НТИ «Квантовые коммуникации» и стратегический партнер НИТУ «МИСИС», сотрудничает со многими учебными заведениями России всех уровней. Сотрудники QRate участвовали в создании профессиональных стандартов в области квантовых коммуникаций, образовательных программ, программ «Профессионалы» со-ревновательных мероприятий по профессиональному мастерству.

Применение

Продукты QRate в области образования (QLab) и сенсорики (QButterfly) используют ведущие учебные и научные заведения России — НИТУ «МИСИС», НИЯУ «МИФИ», ТГУ, МТУСИ, КТЭП, ГУАП, колледж связи № 54, Сколтех и др.

Система QKD312 тестировалась в информационных системах крупных компаний: «Росатоме», «Сбере», «Газпромбанке», в аэропорту Шереметьево, «Газпроме» и проч. Участники тестов на практике убедились, что QKD312 может интегрироваться в действующие системы без обновления имеющейся инфраструктуры.

Планы и перспективы

Технические специалисты компании занимаются получением сертификата на систему QKD312. Сотрудники блока развития бизнеса способствуют формированию рынка: участвуют в разработке сервисов, использующих технологию КРК, и решений от технологических партнеров.

«КуБорд» (ООО «Облачные квантовые технологии»)

Сфера деятельности

Облачные квантовые вычисления: разработка программных эмуляторов квантовых вычислений и интерфейса доступа к ним, проектирование квантовых алгоритмов для решения научно-исследовательских и бизнес-задач.

Продукты

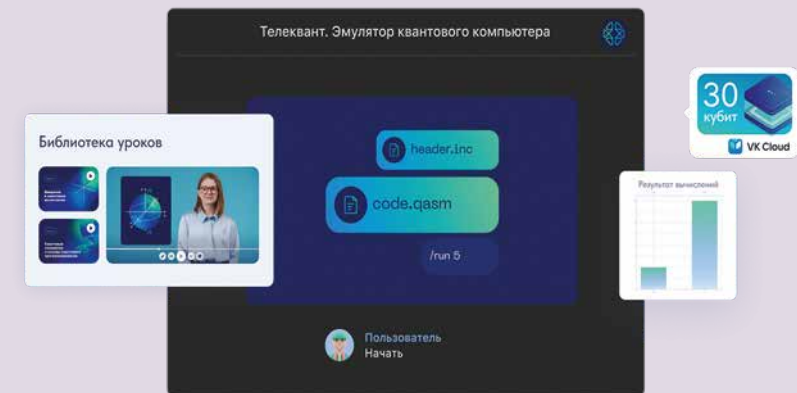
- Программные эмуляторы квантовых компьютеров.
- Облачная платформа квантовых вычислений QBoard.
- Образовательная платформа квантового программирования «Телеквант».
- Облачная операционная система Cloud OS.
- Облачная файловая система Cloud FS.

Программные эмуляторы квантовых компьютеров — это их «цифровые двойники». Они моделируют работу основных логических элементов квантового вычислителя на традиционных компьютерах. Эмуляторы реализуются на традиционных языках программирования и могут быть предоставлены бизнесу и научно-исследовательским организациям по модели On-Cloud (облачный доступ) и On-prem (интеграция в вычислительную инфраструктуру клиента). Эмуляторы полезны для приобретения навыков квантового программирования и апробации новых вычислительных подходов. В некоторых задачах оптимизации эмуляторы могут быть эффективнее традиционных программных пакетов.

Облачная платформа квантового программирования QBoard — low-code-сервис, который оперирует готовыми модулями квантовых алгоритмов и предоставляет пользователю доступ к квантовым компьютерам и программным эмуляторам через простой и понятный интерфейс.

Образовательная платформа квантового программирования «Телеквант» — единственный в России продукт для вузов и корпоративных университетов, совмещающий теорию и практику квантовых вычислений. Теория подается в форме коротких видеоуроков от высококвалифицированных специалистов индустрии квантовых вычислений. Практика — в форме задач и их решений с помощью программного эмулятора квантового компьютера. Библиотека уроков, заданий и эмулятор постоянно развиваются. Для работы с «Телеквантом» пользователю достаточно аккаунта в мессенджере «ВКонтакте» или Telegram и браузера. Бот «Телекванта» принимает от пользователя программный код на одном из самых популярных языков квантового программирования Qasm 2.0, проводит вычисления и выдает ответ. «Телеквант» позволяет учащемуся стать ближе к востребованной профессии квантового программиста.

Облачная операционная система Cloud OS — «сетевой супер-компьютер», который создан не на базе дорогостоящего специализированного оборудования и операционной системы, а как горизонтально масштабируемый кластер компьютеров произвольной мощности, объединенных в сетевом L2-сегменте (втором уровне модели взаимодействия открытых систем). Cloud OS обеспечивает полную функциональность операционной системы, предоставляет дистанционный доступ и использует подключенное оборудование с возможностью автоматического масштабирования.



Облачная файловая система Cloud FS хранит данные файлов в облачных объектных хранилищах (S3) и метаданные в NoSQL (нереляционных) базах данных.

Результаты

Разработаны и активно совершенствуются программные эмуляторы гейтовых квантовых компьютеров и эмуляторы, основанные на принципе программного аннилинга.

С помощью облачной платформы квантовых вычислений QBoard проведены два всероссийских хакатона по квантовому программированию Quant-NN, выполнены десятки индустриальных проектов по квантовым вычислениям и множество научно-исследовательских работ.

Образовательный сервис «Телеквант» является победителем всероссийских конкурсов и премий («Искусный интеллект — 2023» и «Гравитация-2023»). В 2024 году «Телеквант» стал одним из финалистов премии мэра российской столицы «Новатор Москвы», а также был включен в реестр российского программного обеспечения. Более 450 пользователей уже получили тестовый доступ к «Телекванту».

Применение

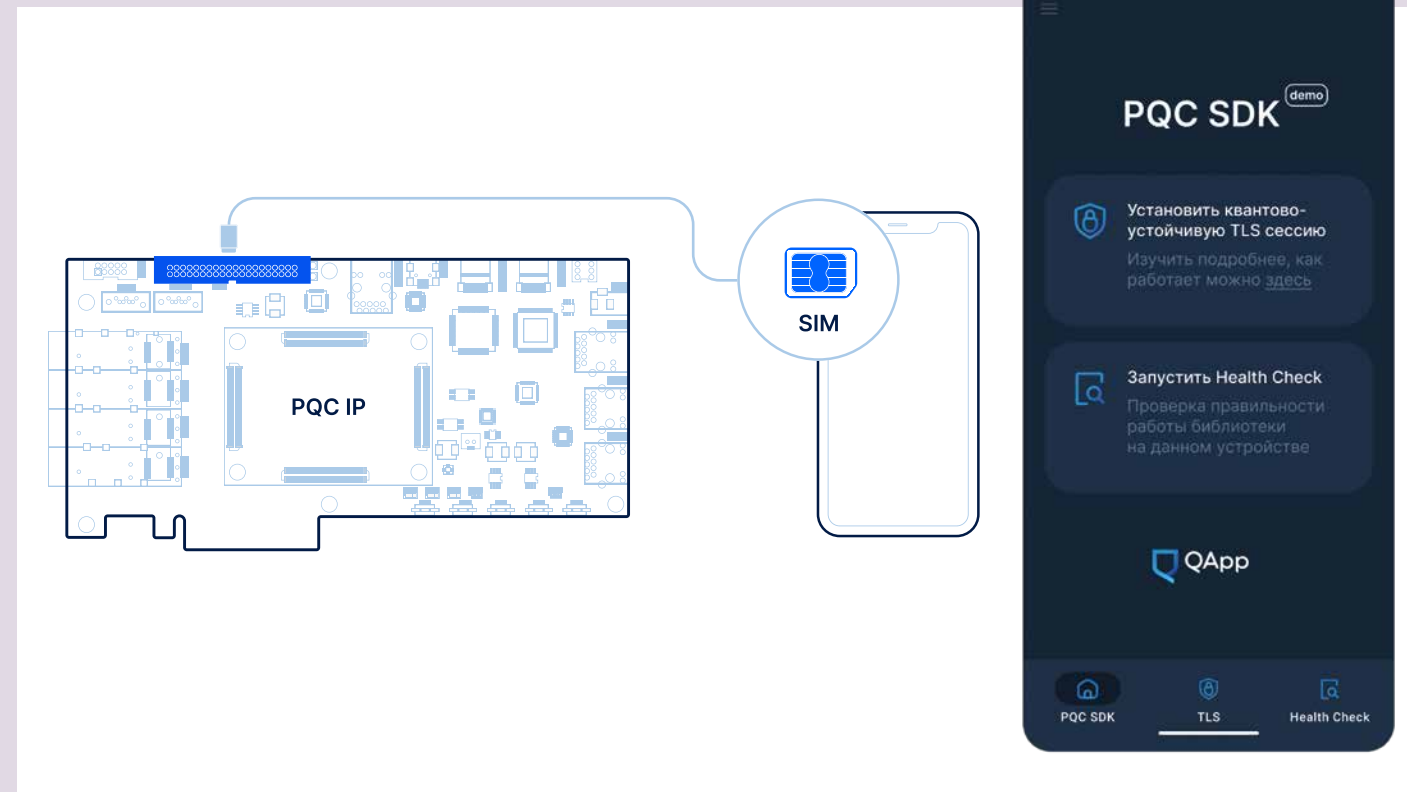
Компания применяет разработанные ею эмуляторы квантовых компьютеров в собственных исследовательских проектах и проектах, выполняемых в интересах финансовых, нефтегазовых и иных компаний.

Платформа QBoard ускоряет решение задач оптимизации, обработки больших данных и проведения сравнительных тестов перспективных вычислительных архитектур.

Планы

В развитии «Телекванта» приоритет на 2025 год — улучшение характеристик на основе обратной связи пользователей, увеличение количества видеоуроков и практических задач. Значительный объем новых материалов уже готов и будет опубликован в ближайшее время. Планы по другим продуктам компания не раскрывает.

QApp (ООО «КуАпп»)



Сфера деятельности

Программные решения в сфере кибербезопасности с использованием постквантовой криптографии и технологии конфиденциальных вычислений. Постквантовая криптография позволяет защитить ценные данные государства и бизнеса от кибератак с применением как классических, так и квантовых компьютеров, например, в клиент-серверном взаимодействии.

Конфиденциальные вычисления позволяют проводить совместную безопасную обработку данных, например, в решении задачи повышения точности модели кредитного скоринга.

Продукты и проекты

- Постквантовый алгоритм цифровой подписи «Гиперикум» (алгоритм — кандидат на включение в новые ГОСТы).
- Библиотека постквантовых алгоритмов и другие программные решения, упрощающие их интеграцию в информационную инфраструктуру бизнес-клиентов.
- Конечные программные решения для квантово-устойчивой защиты данных.
- Образовательный сервис по постквантовой криптографии.

В системное программное обеспечение входят:

- PQC SDK — библиотека постквантовых алгоритмов и средства, упрощающие их интеграцию в информационную инфраструктуру бизнес-клиентов;
- PQC PKI — инфраструктура квантово-устойчивого удостоверяющего центра;
- PQC IP — решение для аппаратного ускорения производительности постквантовых алгоритмов;

- PQCompute — ядро системы конфиденциальных вычислений, основанное на программном подходе (SMPC).

Конечные программные решения для защиты данных:

- PQC GATE — постквантовая защита данных при передаче;
- PQ VPN — квантово-устойчивые виртуальные частные сети;
- PQC CHAIN — квантово-устойчивый блокчейн;
- PQC TLS — квантово-устойчивый TLS-шлюз.

Образовательный сервис по постквантовой криптографии:

- PQ EDU — теория в видеоуроках и практические задачи.

Результаты

Публикация (совместно с компанией Positive Technologies) аналитического отчета «Безопасность квантовых технологий в сфере IT».

Победа в номинации «Кибербезопасность» всероссийской премии Startech.Awards 2024.

Участие в проектировании новых ГОСТов по постквантовым алгоритмам в профильных подгруппах технического комитета (ТК 26) Росстандарта.

Руководство рабочей группой по конфиденциальным вычислениям для решения задач финансовой отрасли. Рабочая группа сформирована представителями Ассоциации ФинТех, «Газпром-банка» и 12 промышленных компаний.

Планы компания не раскрывает.

QLU (ООО «М-Гранат»)

Сфера деятельности

Разработка сверхчувствительных твердотельных датчиков магнитного поля и интегрированных решений на их основе для биомедицинских приложений.

Проекты и продукты

- Универсальные датчики магнитных полей на основе когерентных состояний спинов в магнитоупорядоченных средах.
- Прецизионные системы визуализации магнитоконтрастных маркеров.

Универсальные датчики магнитных полей на основе когерентных состояний спинов в магнитоупорядоченных средах — это инновационные устройства, способные с высокой точностью измерять слабые магнитные поля за счет использования квантовых свойств спиновых систем. Задача проекта — создать такие датчики.

Принцип работы основан на детектировании радиочастотными и/или магнитооптическими методами спиновых состояний в феррит-гранатовой пленке, которые зависят от внешнего магнитного поля. Датчики могут использоваться в сферах, где требуется высокая точность и чувствительность к слабым магнитным полям.

В медицине датчики могут значительно улучшить такие методы диагностики, как магнитоэнцефалография (МЭГ) и магнитокордиография (МКГ), где регистрируются магнитные поля, создаваемые мозгом или сердцем. Датчики помогут обнаружить, например, эпилепсию или аритмию на ранних стадиях с минимальным вмешательством в организм пациента.

В материаловедении датчики позволят исследовать магнитные свойства наночастиц и тонких пленок. Они используются в разработке диагностических методов персональной медицины и таргетированной доставке лекарств, создании материалов с заданными свойствами.

В геофизике датчики могут применяться для изучения магнитных аномалий Земли, что важно для поиска полезных ископаемых, мониторинга вулканической активности и прогнозирования землетрясений.

В оборонной и аэрокосмической отраслях устройства пригодятся для навигации в отсутствие GPS, обнаружения подводных объектов, подземной связи или мониторинга космического пространства.

В проекте «Прецизионные системы визуализации магнитоконтрастных маркеров» одна из основных задач проекта — разработка томографа на базе высокочувствительных твердотельных датчиков магнитных полей для визуализации магнитных маркеров в биологических исследованиях.

Принцип работы такого томографа основан на методе магнито-релаксометрии: сначала намагничивание в режиме безопасных магнитных полей маркеров, помещенных внутрь небольших лабораторных животных (например, крыс, минипигов), затем регистрация процесса размагничивания маркеров. По

техническим характеристикам томограф должен быть сопоставим с представленными на рынке устройствами для магнитной диагностики (сканерами с магнитной визуализацией частиц — МРІ и классическими магнитно-резонансными томографами), но быть более доступным по цене.

Результаты

Чувствительность, время восстановления, динамический диапазон разработанных феррозондовых датчиков с когерентным переманчиванием вращающимся полем на основе эпитаксиальных пленок феррита-граната могут варьироваться в зависимости от конкретного применения. Для проведения МЭГ-исследований был создан датчик размером 30 x 30 x 0,5 мм с чувствительностью 40 фТл/√Гц, что сравнимо с измерительными системами на основе датчиков с магнитооптической накачкой и SQUID-систем.

Также для данного типа датчиков характерно малое время восстановления. После перегрузки импульсными магнитными полями (до 100 мТл) оно составляет меньше 1 мс. Динамический диапазон такой системы составляет 180 дБ.

Разрешающая способность компактных устройств для регистрации магнитных сигналов напрямую зависит от геометрических параметров магнитных датчиков, на базе которых они разработаны. Чем меньше будет размер датчика и выше его чувствительность, тем выше будет детализация сигнала и лучше изображение на мониторе. Геометрия такого феррозондового датчика может быть оптимизирована под различные применения. Оптимальная геометрия будет зависеть от типа решаемой задачи и влиять на ключевые характеристики.

По проекту «Прецизионные системы визуализации магнитоконтрастных маркеров» была проведена валидация работы феррозондового датчика с когерентным переманчиванием вращающимся полем в экспериментах in vitro и in vivo локализацией сигнала в объеме. Разработана концепция томографа, идет его сборка.

Применение

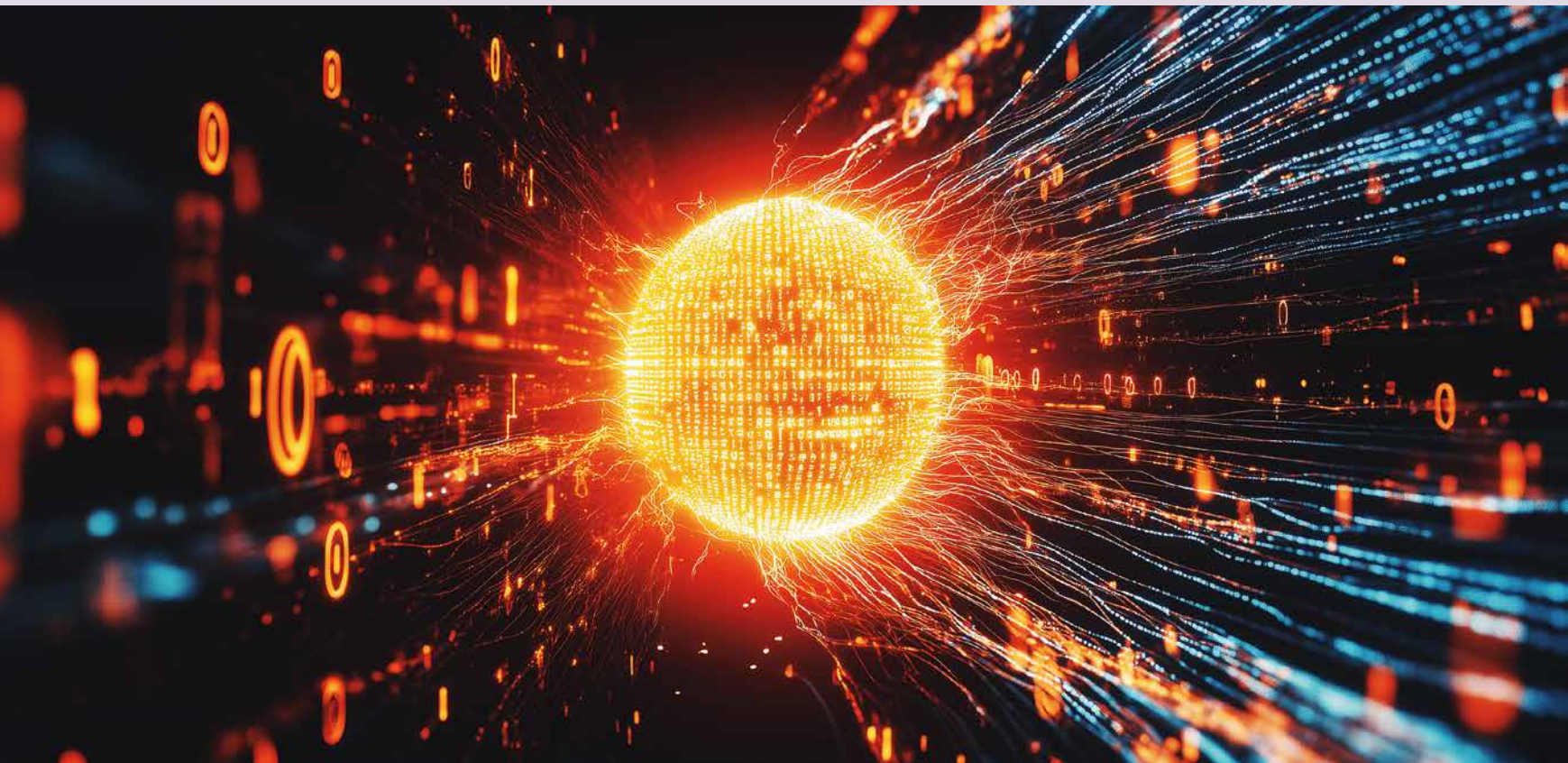
При помощи феррозондового датчика с когерентным переманчиванием вращающимся полем на основе эпитаксиальных пленок феррита-граната чувствительностью 40 фТл/√Гц были зарегистрированы альфа-ритмы сигнала головного мозга. Результаты сопоставлены с данными, полученными при помощи коммерчески доступного магнитометра с оптической накачкой. Результаты исследований опубликованы в журналах Human Brain Mapping (2021) и Sensors (2023).

На феррозондовый датчик для магнито-релаксометрии и разработанные магнитные маркеры были получены патенты на изобретения (RU 2 828 619 C1, RU 2 824 352 C1), а результаты исследований in vitro и in vivo опубликованы в двух статьях в IEEE Transactions on Biomedical Engineering (2023).

Планы

Работы по увеличению чувствительности феррозондовых датчиков, оптимизации состава, улучшению электронной обвязки и производственного цикла для повышения рентабельности.

Текст подготовила Ирина Дорохова
 Фото: Midjourney, Wikipedia, РКЦ, газета «Страна Росатом» / Алексей Башкиров



Вопрос философский

Можно ли считать информацию формой энергии

В конце 2024 года одна за другой появились новости об инвестициях ИТ-гигантов в атомные станции малой мощности. И примерно тогда же Нобелевскую премию по физике получили Джон Хопфилд и Джеффри Хинтон за основополагающие открытия и изобретения, которые сделали возможным машинное обучение с использованием искусственных нейросетей. В обоих случаях выстраивается связь между энергией и информацией. Энергия нужна, чтобы обрабатывать информацию. В системе Хопфилда эталонные значения программируются таким образом, что получают самую низкую энергию, и к этому нижнему значению, «долине», стремится система при обучении. И это не единственные примеры связи энергии и информации. В обычных транзисторах прохождение или непрохождение энергии приравнивается к 1 и 0 соответственно.

В квантовых системах то или иное энергетическое состояние связано с выполнением вычислений.

Все эти соответствия приводят к вопросу, каковы на самом глубинном физическом уровне отношения между энергией и информацией? И можно ли говорить о том, что информация — это форма энергии? И если так, то возможны ли иные, более прямые формы энергообеспечения центров обработки данных, нежели все преобразования, необходимые для привычной системы «вилка в розетку»? Можно ли представить ЦОД как вид аккумулятора или, наоборот, энергогенерирующий объект как разновидность ЦОДа? С этими вопросами мы обратились к ведущим ученым в области квантовой физики, оптики и термоядерного синтеза.



Николай Колачевский

Директор Физического института им. П. Н. Лебедева РАН

— Интересные вопросы, несколько в философском ключе. К ним можно подсоединить еще и дополнительную цепочку «энергия — деньги». Раньше это было золото (хотя оно сохранилось и сейчас), для его производства требуются большие энергозатраты. Сейчас интересный пример — это блокчейн, фактически обеспечение стоимости биткоина энергетическими затратами. Если ближе к вопросу об информации, то в физике есть критерий Ландауэра, который го-

ворит о том, что для того, чтобы уничтожить один бит информации (это необратимый процесс), надо затратить определенную энергию. Да, она маленькая, но при огромных вычислительных мощностях выделяемая теплота при стирании информации может стать некоторым ограничением. Поэтому часто обсуждают так называемые обратимые вычисления. Рассматривать ЦОД как аккумулятор в принципе можно, только он будет очень неэффективным.



Алексей Акимов

Руководитель лаборатории квантовых симуляторов и интегрированной фотоники Российского квантового центра

— Вопрос философский. Если строго подходить к определению информации, то нет, информация — не форма энергии, это разные сущности. Конечно, чтобы какую-то информацию хранить и создавать, энергию мы потребляем. Наверное, с нулем энергии не получится создать новую информацию. Но для производства одного и того же количества информации может потребоваться совершенно разное количество энергии,

прямого соответствия между числом бит и числом джоулей, наверное, нет. Человеческий мозг потребляет десятки ватт, персональный компьютер — сотни ватт. Многие задачи мы решаем лучше, чем компьютер, хотя компьютер тоже очень производительный. Один бит информации можно создать очень разными путями. И даже непонятно, есть ли минимум, который нужен. Наверное, он должен быть.



Виктор Ильгисонис

Директор направления научно-технических исследований и разработок «Росатома» и вице-председатель Совета ИТЭР

— К информации можно применить термин и понятия термодинамики, а именно понятие энтропии. Энтропия характеризует величину хаоса в системе: если энтропия растет, это означает, что в системе увеличивается беспорядочность. Также при помощи изменений энергии можно кодировать информацию и передавать ее. Но если ставить вопрос об энергии как физической величине, которая может быть применена, например, для использования в электроэнергетике, то

мой ответ: нет, информация — не форма энергии. Обратного процесса природа до сих пор не знает. Из информации нельзя получить энергию. Все известные виды энергии связаны с фундаментальными взаимодействиями, их всего четыре: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. Ни к одному из этих взаимодействий информационные потоки не относятся. Но все они могут быть использованы для записи, хранения и передачи информации.

Текст: Кирилл Быстров

Фото: ТАСС / Михаил Метцель, газета «Страна Росатом» / Алексей Башкиров, фонд «Росконгресс» / Александра Терлецкая

В будущее с новыми материалами

Главной темой Форума будущих технологий — 2025 стали новые материалы



На фото

Глава «Росатома» Алексей Лихачев в ходе форума принял участие в демонстрации ряда технологий госкорпорации президенту РФ Владимиру Путину и вице-премьеру РФ Денису Мантурову

Госкорпорация «Росатом» и ее предприятия приняли активное участие в мероприятиях III Форума будущих технологий, который состоялся в феврале в Москве. «Росатом» — один из лидеров в материаловедении, поэтому представители госкорпорации участвовали в большинстве мероприятий форума.

Биотехнологии

Глава «Росатома» Алексей Лихачев принял участие в демонстрации ряда технологий госкорпорации президенту РФ Владимиру Путину, посетившему форум. В частности, он представил уникальную разработку ученых «Росатома» — биофабрикатор, который позволяет выращивать биосовместимые

эквиваленты кровеносных сосудов. Исходными материалами служат живые клетки организма человека, выращивание производится с помощью ультразвукового акустического поля. В настоящее время уже получены эквиваленты кровеносных сосудов длиной до 10 см. Проводятся исследования на совместимость и приживаемость выращенных сосудов в организме мелких и средних животных. Ожидается, что разработка удовлетворит растущий спрос на биосовместимые материалы со стороны пациентов, страдающих от варикоза, тромбозов, ишемической болезни сердца и других сосудистых заболеваний, а в будущем может быть использована для «ремонта» других поврежденных тканей и органов.

«Ученые «Росатома» ведут прорывные исследования и разработки в области здравоохранения для повышения качества и продолжительности жизни людей. Пройдет совсем немного времени, и врачи смогут

использовать заранее заготовленные универсальные донорские стволовые клетки для восстановления поврежденных тканей и органов, изучать с их помощью различные заболевания и тестировать новые лекарственные препараты. Эта важная работа на стыке нескольких наук, физических и биологических и ИТ-технологий шаг за шагом приближает будущее медицины», — отметил Алексей Лихачев.

Электродвижение

Мэр Москвы Сергей Собянин представил Владимиру Путину образец литийионной ячейки аккумуляторных батарей, которые в 2026 году начнут производить на гигафабрике «Росатома» в Красной Пахре. Было отмечено, что производственные мощности строящегося предприятия позволят производить до 50 тыс. батарей в год. Запуск производства позволит создать около 1000 новых высокотехнологичных рабочих мест. Как отметил Сергей Собянин, цель создания гигафабрики — обеспечение полного технологического суверенитета во всех видах электрического транспорта. Правительство Москвы заключило офсетный контракт с компанией, входящей в госкорпорацию «Росатом», благодаря чему производство обеспечено гарантированным заказом. Город закупит в течение шести лет свыше 155 тыс. тяговых аккумуляторных батарей для электробусов, автомобилей «Москвич» и речных электросудов. По плану фабрика полностью покроет потребности в аккумуляторных батареях для электротранспорта не только Москвы, но и всего Центрального федерального округа.

Перспективы индустрии новых материалов

В ходе обхода, который провел заместитель председателя правительства РФ Дмитрий Чернышенко, Алексей Лихачев представил композиционный материал с карбидом бора, который способен эффективно блокировать разные виды радиационного излучения. Материал незаменим на атомных электростанциях, где он снижает воздействие радиации на персонал и оборудование, в медицине (при радиотерапии) и в промышленности, где работают с радиоактивными веществами. Кроме того, была продемонстрирована платформа для синтеза радиофармпрепаратов (лекарств с радиоактивными элементами, способных напрямую уничтожить больные клетки, не нанося вред здоровым). На стенде «Росатома» также экспонировались материалы на основе бериллия, которые имеют высокую прочность, выдерживают высокие температуры и могут использоваться в космических аппаратах, а также углеродное волокно для производства легких и прочных композитных материалов (применяются в авиационной промышленности, строительстве, в газовых центрифугах, при создании протезов и ортезов).

Выступая на пленарном заседании форума, начальник лаборатории материаловедения и исследования свойств материалов НИИ НПО «Луч» (входит в Научный дивизион «Росатома») Надежда Потехина сказала:



Кирилл Комаров

Первый заместитель генерального директора госкорпорации «Росатом» — директор блока по развитию и международному бизнесу:

— Невозможно создать конкурентоспособные материал и технологию его производства, если ориентироваться только на рынок внутреннего потребления. Мы обязаны быть конкурентоспособными в мировом масштабе. И в этом отношении тот успех, который «Росатом» реализовал на мировом рынке атомной энергетики, является для нас «путеводной звездой» и в области развития новых материалов: мы сможем достичь настоящего суверенитета только тогда, когда будем создавать продукт лучше, чем его мировые аналоги. Этот подход уже успешно реализован нами в области полимерных композиционных материалов, так же мы собираемся идти и по другим направлениям: редким и редкоземельным металлам, аддитивным технологиям.

«Атомная отрасль с момента своего зарождения ведет передовые исследования в области материаловедения. Накопленные знания и опыт сегодня позволяют ученым успешно создавать технологии и оборудование для изготовления сложных заготовок из тугоплавких сплавов, выдерживающих эксплуатацию в условиях экстремально высоких температур, механических нагрузок, радиационного воздействия. Именно они стали сердцем новых видов уникальных ядерных энергодвигательных установок, предназначенных для автономной выработки электроэнергии, в том числе в космосе. Мы ведем изыскания по увеличению их ресурса, создаем изделия сложной формы, внедряя инновационные аддитивные технологии и цифровые методы. Есть уверенность, что наши разработки внесут вклад в достижение технологического лидерства «Росатома» и России».

Технологический суверенитет и импортозамещение

Модератором сессии «Редкие и редкоземельные металлы — неотъемлемая часть высокотехнологичных производств» выступил советник генерального директора АО «Росатом Недра» (управляющая компания Горнорудного дивизиона госкорпорации «Росатом»)



Больше фотографий с Форума будущих технологий здесь

Магомед Гехаев. На мероприятии с участием представителей Министерства промышленности и торговли РФ обсудили системные вызовы отрасли, пути достижения технологического суверенитета и механизмы обеспечения России стратегически значимым сырьем. Было отмечено, что ключевая задача — не просто наращивание объемов добычи, а формирование полного производственного цикла, включающего глубокую переработку и производство конечной продукции. Руководитель направления АО «Росатом Недр» Максим Куклов отметил, что критически важно внедрять современные методы переработки руд с РЗМ, снижать себестоимость. Участники сессии выступили за консолидацию усилий государства, научных институтов и промышленных предприятий (в том числе при реализации федерального проекта «Развитие отрасли редких и редкоземельных металлов», ставшего частью национального проекта «Новые материалы и химия»).

На пленарной сессии «Химия и высокочистые вещества. Базовая химия для материалов нового поколения» выступил генеральный директор АО «Росатом Химия» (интегратор химических производств Топливного дивизиона «Росатома») Михаил Метелкин. Он призвал преодолеть зависимость от импорта, разработав в рамках национального проекта «Новые материалы и химия» ключевые компоненты новых материалов.

«Речь идет, по сути, о формировании целой отрасли — создании материалов для производства литийионных аккумуляторов. Реализовать такие амбициозные проекты невозможно без поддержки государства, поэтому мы планируем активно привлекать и использовать существующие меры господдержки», — отметил Михаил Метелкин.

Новые материалы для различных отраслей промышленности

«Росатом МеталлТех» (компания-интегратор по направлению «Металлургия» Топливного дивизиона «Росатома») представил на форуме сверхпрочные медь-ниобиевые провода, изделия из титана, тугоплавких и редких металлов, химически чистые соединения гафния и циркония, титановые имплантаты

для остеосинтеза, редкоземельные магниты и низкотемпературные сверхпроводники. Основной акцент был сделан на медь-ниобиевые сплавы и керамику на основе диоксида циркония, которые могут применяться в сложных промышленных и технологических процессах.

В частности, на сессии «Материалы экстремальных характеристик: новые рубежи» генеральный директор компании Андрей Андрианов высказался за поддержку разработки новых керамических материалов на основе соединений гафния и циркония. «Керамика, керамические композиционные материалы (ККМ) и жаростойкие покрытия на основе соединений гафния и циркония представляют большой интерес для авиационной и космической промышленности. Они работоспособны в агрессивных окислительных атмосферах при температурах выше 2000 °С», — отметил Андрей Андрианов.

Материалы в цифре

В рамках сессии «Принципы создания материалов и технологий нового поколения» руководитель группы цифрового материаловедения «Центротех-Инжиниринг» (входит в Топливный дивизион «Росатома») Георгий Плотников представил ключевые аспекты интеграции цифровых двойников в цикл проектирования и производства изделий. Особый акцент был сделан на необходимости создания комплексной экосистемы, объединяющей цифровые двойники материалов, технологических процессов и конечных изделий, что позволяет существенно сократить сроки вывода продукции на рынок и минимизировать затраты на натурные испытания. Спикер отметил, что повышение точности моделей материалов до 95% относительно реальных экспериментов становится критическим условием для оптимизации характеристик изделий и прогнозирования их поведения в эксплуатации.

Технологии для замыкания ЯТЦ

Проектное направление «Прорыв» представило на III Форуме будущих технологий инновационные разработки. Начальник отдела разработки технологий и материалов ядерного топливного цикла АО «Прорыв» Александр Жеребцов рассказал о разработке новых технологий и материалов, обеспечивающих промышленную реализацию замкнутого ядерного топливного цикла. «Мы работаем над тем, чтобы создать компактное безлюдное производство переработки отработавшего ядерного топлива, работающее в автоматическом режиме с применением современных достижений робототехники. Ко всем составляющим такого производства возникают новые требования в части применяемых конструкционных материалов и ресурса оборудования. Кроме того, пирохимические операции, где в качестве технологической среды используется расплав хлоридов, также требуют подбора материала, который бы сохранил свою работоспособность на длительный период», — сказал спикер.

По словам Александра Жеребцова, одним из требований, предъявляемых к новой атомной энергетике, помимо безопасности, является конкурентоспособность, распространяющаяся на все этапы ЗЯТЦ и влияющая на разрабатываемые технологические решения. Например, переработка ОЯТ в проекте «Прорыв» разрабатывается в виде роботизированной пирогидрометаллургической технологии, не имеющей мировых аналогов.

Чтобы обеспечить долговечность используемых материалов, в качестве перспективного материала ученые проекта «Прорыв» совместно с Институтом высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН рассматривают разрабатываемую керамику на основе оксида циркония. По словам Александра Жеребцова, помимо атомной энергетики на этот материал есть запрос и в других отраслях промышленности. Именно объединение усилий организаций науки, бизнеса и высшего образования позволяет решать такие глобальные задачи, что также положительно влияет на развитие наукоемких отраслей экономики РФ и подготовку квалифицированных кадров.

В проекте «Прорыв» также изучают перспективный способ разделки ОЯТ с помощью лазерных технологий. «В прошлом году на площадке ГНЦ НИИАР мы с коллегами успешно отработали способ лазерной разделки нитридного топлива с выгоранием более 8% тяжелых атомов, что подтверждает перспективы данной технологии. За нашими достижениями внимательно наблюдают за рубежом и ссылаются на наши публикации по результатам исследований. В области применения лазерных технологий при переработке ОЯТ Россия занимает ведущую роль», — отметил специалист.

Платформа для развития квантовых технологий

Также на Форуме будущих технологий госкорпорация «Росатом» провела сессию «Квантовые технологии: на рубеже возможностей». Повестку дискуссии определили вопросы практического применения квантовых технологий в российской экономике и социальной сфере.

Главной темой обсуждения стал вызов овладения практикой применения квантовых технологий к 2030 году. Это позволит создать в России полномасштабную квантовую индустрию и рынок квантовых технологий, где встретятся поставщики, заказчики и инвесторы. Директор по квантовым технологиям «Росатома» Екатерина Солнцева предложила создать единую площадку для совместной работы высокотехнологичных компаний. Целью станет формирование перечня индустриальных задач, для решения которых необходимо практическое применение квантовых вычислений.

«Атомная отрасль — уникальный полигон для тестирования и внедрения квантовых технологий



в практику. Будем работать над тем, чтобы реализовать это преимущество. И приглашаем к совместной работе индустриальных партнеров. Нам предстоит подтвердить в рамках «пилотов» эффективность применения квантовых технологий в интересах отрасли, партнеров и страны в целом. Этому послужит создание единой платформы взаимодействия по применению и развитию квантовых технологий. А обеспечение доступа отечественных компаний к перечню промышленных задач для применения «квантовой практики» и росту эффективности производства», — отметила Екатерина Солнцева.

Справка

Форум будущих технологий — дискуссионная площадка, посвященная развитию в России наукоемких технологий, стартовавшая в 2023 году и ставшая флагманским событием, в рамках которого ведущие эксперты, ученые, представители бизнеса и органов государственной власти говорят про передовые научные разработки и продуктивные решения на их основе. Оператором Форума будущих технологий является фонд «Росконгресс». Госкорпорация «Росатом» выступила в качестве организатора форума.

Текст: концерн «Росэнергоатом»
 Фото: газета «Страна Росатом» / Евгений Ворошилов



Большой старт

На стройплощадке энергоблока №4 Ленинградской АЭС-2 состоялась заливка первого бетона в фундамент здания реактора

20 марта 2025 года на строительной площадке замещающих мощностей Ленинградской АЭС-2 (филиал концерна «Росэнергоатом»), Электроэнергетический дивизион госкорпорации «Росатом») состоялась заливка первого бетона в фундамент здания реактора энергоблока №4. Эта ключевая операция открывает основной этап строительства блока.

По видеосвязи в церемонии заливки первого бетона приняли участие представители Белорусской АЭС (Беларусь), АЭС «Эль-Дабаа» (Египет) и АЭС «Руппур» (Бангладеш). Энергоблоки с референтными российскими реакторами ВВЭР-1200 были построены или сооружаются в этих странах при участии госкорпорации «Росатом». Атомщики из стран-партнеров рассказали об итогах эксплуатации и строительства на своих площадках в 2024 году и пожелали российским коллегам

успехов при сооружении новых энергоблоков Ленинградской АЭС.

Бетонирование фундаментной плиты здания реактора — один из важнейших этапов его сооружения. От качества бетонной смеси и качества проведения работ зависят прочность и долговечность здания, целостность его строительных конструкций, надежность дальнейшей эксплуатации систем и оборудования, в том числе реактора. Бетонирование фундамента здания реактора будет проводиться в режиме 24/7. Чтобы забетонировать плиту площадью 2100 м², строителям понадобится почти 5,5 тыс. кубометров бетонной смеси. После того как фундамент будет готов, начнется возведение внутренней и внешней защитных оболочек здания реактора, сооружение перекрытий и монтаж оборудования. Первой на штатное место установят ловушку расплава — одну из пассивных систем безопасности АЭС. Эта операция запланирована на 2026 год.

К 2045 году доля атомной генерации в общем энергобалансе страны должна вырасти до 25%. Такую задачу поставил перед атомной отраслью президент Российской Федерации Владимир Путин. Строительство и ввод в эксплуатацию энергоблоков №3 и 4 Ленинградской АЭС-2 станут значимым вкладом в эту большую и важную работу.

«Сегодня мы не просто дали старт сооружению нового энергоблока Ленинградской АЭС-2. Мы сделали еще один шаг в выполнении большой государственной задачи по увеличению доли мирного атома в энергобалансе страны. В связи с этим перед «Росатомом» стоят масштабнейшие вызовы. Уже в этом году начнутся работы по строительству замещающих мощностей на Смоленской и Кольской АЭС, завершаются инженерные изыскания под энергоблок четвертого поколения на Белоярской АЭС в Свердловской области. В перспективе двух ближайших десятилетий нас ждут новые площадки в Сибири, на Урале, Дальнем Востоке. Благодаря новым атомным проектам еще больше россиян получат доступ к чистой электроэнергии», — отметил первый заместитель генерального директора по атомной энергетике госкорпорации «Росатом», президент АО «АСЭ» (генеральный проектировщик, Инжиниринговый дивизион госкорпорации «Росатом») Андрей Петров.

Символично, что начало основного этапа сооружения четвертого энергоблока Ленинградской АЭС-2 приходится на юбилейный для атомной промышленности год. За 80 лет своей истории предприятия атомпрома сделали много важного и для страны, и для человека, начиная с создания и поддержания ядерного щита и заканчивая развитием ядерной медицины.

«Атомная энергетика прошла большой путь — от первой в мире атомной станции мощностью 5 МВт до современных блоков-гигантов мощностью 1200 МВт. За всеми этими достижениями стоят люди, — подчеркнул генеральный директор АО «Концерн Росэнергоатом» Александр Шутиков. — Хочу

Вот уже более полувека Ленинградская атомная станция надежно обеспечивает потребности Северо-Запада. Начиная с 1973 года ее энергоблоки выработали более 1,2 трлн кВт·ч электроэнергии. Сегодня ее доля в балансе Санкт-Петербурга и Ленинградской области составляет более 50%, в балансе всего Северо-Западного федерального округа — 35%.

Ленинградская АЭС является одной из крупнейших в России по установленной мощности (4400 МВт) и единственной с двумя типами реакторов: в работе находятся два энергоблока с РБМК-1000 и два энергоблока поколения III+ с ВВЭР-1200. Энергоблоки №1 и 2 с РБМК-1000 остановлены для вывода из эксплуатации после 45 лет службы. Им на смену в 2018 и 2021 годах были введены два блока с ВВЭР-1200. Проектный срок их службы составляет 60 лет с возможностью продления еще на 20 лет. В 2022 году стартовало сооружение энергоблоков №3 и 4 станции с реакторами ВВЭР-1200. Они станут замещающими мощностями энергоблоков №3 и 4 с реакторами РБМК-1000. Планируется, что после ввода в промышленную эксплуатацию ежегодная выработка каждого энергоблока составит более 8,5 млрд кВт·ч электроэнергии.

отметить команду участников сооружения новых энергоблоков: благодаря их опыту, командному взаимодействию и упорному труду выполнение важной государственной задачи по началу бетонирования фундамента здания реактора на четвертом блоке началось с опережением графика. В 2024 году аналогичная операция на третьем блоке также была выполнена досрочно».



Текст: «Вестник атомпрома»

Фото: АЭС «Козлодуй», РИА «Новости» / Алексей Витвицкий, АЭС «Пакш-2»

Восточноевропейский атом

Эксперты — о возможностях и перспективах атомного ренессанса



На фото

На АЭС «Козлодуй» в Болгарии, запущенной в 1974 году, в настоящее время эксплуатируются два энергоблока с ВВЭР-1000

Мировой спрос на электроэнергию растет, что в значительной степени связано с потребностями промышленных предприятий и центров обработки данных. Заметную роль в этом процессе также играет рост потребления электроэнергии населением, в том числе из-за роста использования электромобилей, тепловых насосов и кондиционеров. Рост спроса на электроэнергию при целенаправленном сокращении использования ископаемого топлива ведет к повышению интереса к атомной энергетике. Практически ежедневно появляются сообщения о новых проектах в области разработки и строительства АЭС большой и малой мощности.

В США планируется перезапустить первый энергоблок АЭС «Три-Майл-Айленд» мощностью 837 МВт, который простаивал в течение пяти лет. Подписан 10-летний контракт на поставку 120 МВт электроэнергии с постепенным увеличением мощности с АЭС «Саскуханна» в Пенсильвании. Индийская государственная энергетическая компания NTPC планирует построить 30 ГВт атомных мощностей в течение ближайших двух десятилетий, что в три раза превышает первоначальные планы. Французская компания Framatome, занимающаяся разработкой и производством оборудования для АЭС, зафиксировала более чем четырехкратный рост новых заказов в 2024 году, главным образом благодаря проектам новых реакторов в Великобритании и Франции. Что касается проектов малых модульных реакторов (ММР), то, по данным Всемирной ядерной ассоциации (WNA), компании по всему миру сейчас инвестируют средства примерно в 60 проектов ММР.

В русле этих тенденций следуют и страны Восточной Европы¹, в том числе Болгария, Словакия, Румыния, Чехия, которые, как сообщило в прошлом году агентство Bloomberg, планируют возвести не менее 12 энергоблоков, выделив на эти цели около 130 млрд евро. Среди восточноевропейских стран в настоящее время наибольший интерес к развитию атомной энергетики демонстрирует Польша. Парламент страны в конце февраля одобрил предоставление финансовой поддержки в размере 15,1 млрд долларов государственной компании, реализующей проект строительства первой в стране АЭС (это примерно 30% общей стоимости строительства станции мощностью 3,75 ГВт на площадке «Любжово-Копалино» в Померании). Строительство должно начаться в 2028 году, ввод в эксплуатацию первого энергоблока запланирован на 2036 год, второго — на 2037 год, третьего — на 2038 год. Польша также планирует построить вторую атомную электростанцию большой мощности, в начале февраля премьер-министр Дональд Туск заявил, что правительство определит место ее строительства в зависимости от модели финансирования проекта. В декабре прошлого года сообщалось, что правительство Польши может рассмотреть возможность строительства третьей в стране АЭС.

Эксперты в области электроэнергетики поделились своим видением перспектив развития атомной генерации, в том числе для решения энергетических проблем в странах ЕС.



Федор Веселов, заместитель директора Института энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН)



Игбал Гулиев, заместитель директора Международного института энергетической политики и дипломатии МГИМО



Александр Уваров, директор АНО «Атоминфо-центр», главный редактор ресурса atominfo.ru

Насколько оправданно стремление Польши и других восточноевропейских стран создать собственную атомную генерацию? Позволит ли появление новых АЭС или дополнительных энергоблоков реакторов на действующих станциях решить проблему энергодефицита?

Федор Веселов: Надо отметить, что в большинстве стран Восточной Европы атомные электростанции работают уже давно и обеспечивают значительную долю электроэнергии, причем их доля в национальном производстве сопоставима с российской (20% — в Румынии) или даже заметно выше (37% — в Чехии, 44% — в Венгрии, 59% — в Словакии). Так что в этих странах не идет речь о создании собственной атомной генерации, а планы по поддержанию или даже увеличению мощностей АЭС вполне оправданны, так как атомные станции рассматриваются и как важный фактор надежного энергообеспечения собственных потребителей, и как способ увеличить свой экспортный потенциал, и как инструмент снижения углеродной интенсивности производства электроэнергии в рамках реализации зеленой повестки ЕС.

Интерес Польши, крупнейшей страны Восточной Европы, в которой 70% электроэнергии производится на угле, к атомной энергетике вполне оправдан, особенно с учетом нарастающего давления на угольную электрогенерацию, сокращения доступа к дешевому трубопроводному газу и ограниченных «качественных» ресурсов ВИЭ (прежде всего морской ветроэнергетики). Польша не раз подступалась к проектам АЭС (в том числе и со странами Балтии), однако возможности финансирования таких проектов в условиях зеленой таксономии ЕС до последнего времени были ограничены. Для такой крупной страны правильно было бы говорить не о проекте, а о программе новых АЭС, однако нельзя не учитывать и социальные последствия, связанные с коллапсом угольной отрасли при активном замещении угля в электроэнергетике.

Игбал Гулиев: Поворот Польши и других восточноевропейских стран в сторону атомной энергетики является здравым решением, оправданным как с точки зрения минимизации климатических рисков, так и относительно обеспечения надежного энергоснабжения, включая работу энергосетей и сам процесс диспетчеризации.

Как мы знаем, атомная энергетика, наряду с солнечной и ветровой, относится к безуглеродным источникам генерации. Признана ли она зеленой или нет и в каких странах, это уже второй вопрос. Главное преимущество АЭС — стабильность производства электроэнергии и способность обеспечивать базовую генерацию, являющуюся залогом безотказной работы энергосистемы. На мой взгляд, только атомная

генерация способна обеспечить стабильное снабжение «чистой» энергией и преодолеть периодически возникающий энергодефицит.

Насколько я знаю, Польша планирует последовательное сооружение трех атомных электростанций совокупной мощностью 9 ГВт, и это правильное решение. Ветровые и солнечные электростанции могут успешно дополнять базовую генерацию, но не способны стать основой энергосистемы будущего.

Александр Уваров: Польша — одна из немногих европейских стран, где в XX веке не была построена АЭС. В списке, кроме Польши, только Албания. При этом в Польской Народной Республике был создан неплохой научно-исследовательский сектор (например, наши ветераны-расчетчики могут помнить, что некоторые известные расчетные коды пришли в СССР именно через Польшу). Так что интерес Польши к тому, чтобы заполучить себе наконец атомную станцию, имеет под собой основание. По поводу энергодефицита: если лет 10–15 назад предполагалось, что на продажу в Евросоюз (и в том числе в Польшу) будут частично работать Балтийская и Белорусская АЭС, то теперь такой вариант малореален. Соответственно, полякам нужно заниматься этим вопросом своими силами и строить АЭС у себя.

На фото

Белхатувская ТЭС — самая крупная электростанция Польши, самая крупная ТЭС Евросоюза. В качестве топлива использует бурый уголь, добываемый в расположенных рядом угольных разрезах



¹ Необходимо отметить, что в настоящее время границы этого понятия размыты. В разных источниках используются наименования Центральная, Центрально-Восточная или Восточная и Центральная Европа. В то же время в России традиционно принято относить страны бывшего соцлагеря к Восточной Европе.

Какие компании, на ваш взгляд, могут реализовывать строительство новых атомных станций в Европе? Есть ли шансы у признанных лидеров по экспорту атомных технологий — России, Китая, Южной Кореи — получить такие подряды?

Федор Веселов: В мире лишь малое число стран имеют собственные компетенции в производстве оборудования и строительстве АЭС. В большинстве проектов в сфере атомной энергетики лежит не только экономическая, но и геополитическая составляющая. Контракт на строительство предопределяет необходимость хороших политических и тесных экономических отношений между странами как минимум на время строительства (10–15 лет). Да и эксплуатация АЭС потребует взаимодействия, как минимум в части топливоснабжения. Политическая целесообразность и ранее вносила свои коррективы в список потенциальных участников проектов и их приоритетность. Поэтому вряд ли можно рассчитывать на возможность доступа на польский рынок для российских атомных технологий. Скорее всего, и для китайских, с учетом противодействия в ЕС экспансии китайских поставок на других рынках.

Игбал Гулиев: Большие планы на реализацию атомных проектов в Восточной Европе имел американский Westinghouse. Однако жизнь вносит свои коррективы. На мой взгляд, большие шансы на получение контрактов в этом регионе имеют

южнокорейская KEPSCO, французская Orano и китайская CNNC. Желание избавиться в энергетике от так называемого российского влияния несколько снижает шансы «Росатома». Хотя, справедливости ради, следует отметить, что «Росатом», обладая наиболее совершенными технологиями в атомной энергетике, предлагает своим партнерам комплексное решение, что существенно повышает конкурентоспособность российского вендора.

Александр Уваров: Это вопрос политический, а не технический, и я могу только высказать свое мнение. Я думаю, что ни «Росатом» (после того как поступили чехи с темелинским тендером), ни китайские корпорации (после того как их обманули в Британии и Румынии) в Евросоюзе на большие заказы попросту не согласятся. Слишком велик риск очередного обмана. Южнокорейские компании KHNP/KEPCO, как известно, зависят от компании Westinghouse в сфере интеллектуальной собственности. Поэтому они будут получать только те заказы, которые не интересны Westinghouse. Поспешный выход южнокорейцев из конкурса в Словении тому пример.

На фото

Устройство локализации расплава на площадке сооружения АЭС «Пакш-2». Основная лицензия на строительство АЭС «Пакш-2» была выдана венгерским регулятором в августе 2022 года. Полученная строительная лицензия подтверждает, что современные российские энергоблоки ВВЭР-1200 поколения III+ отвечают самым строгим международным и европейским требованиям безопасности



Достаточно ли компетенций у специалистов стран, заявивших о желании строить АЭС, чтобы сопровождать строительство (реакторные установки и ключевое оборудование, несомненно, будут поставлять квалифицированные разработчики и производители) и впоследствии обслуживать атомные станции?

Федор Веселов: Страны Восточной Европы имеют хорошо развитые инженерные школы, систему качественного технического образования. В большинстве стран АЭС уже эксплуатируются и соответствующие компетенции и кадры есть. Создать корпус специалистов для обслуживания АЭС — это не неразрешимая задача для таких стран, но здесь также нужна постоянная координация с поставщиком оборудования и топлива. Как и сам проект строительства АЭС, это всегда совместная работа местных и зарубежных специалистов, начиная от проектирования и заканчивая пуском блока.

Игбал Гулиев: Вопросы кадрового обеспечения в атомной энергетике являются наиболее сложными и важными. Однако для каждого вендора атомных технологий еще на условиях согласования проекта решается вопрос подготовки кадров. Процесс обучения, за который отвечает разработчик технологий,

длится практически весь период сооружения ядерного реактора. И за сертификацию подготовленных специалистов также отвечает компания-вендор. Таким образом, пока строится энергоблок, заказчик получает собственных подготовленных и аттестованных специалистов, которые затем и будут обеспечивать процесс эксплуатации АЭС.

Александр Уваров: Если даже Эмираты (страна — абсолютный новичок) пустили и эксплуатируют четыре блока, то это значит, что вопрос решаемый. Тем более что в Восточной Европе свой опыт эксплуатации и свои кадры есть. Проблемы будут, конечно. Например, известно, что в Болгарии опытный персонал постепенно уходит на пенсию, а занимающая его места молодежь не всегда подготовлена хорошо. Поэтому все будет зависеть от восточноевропейских управленцев, насколько они тщательно подойдут к кадровым вопросам.

Может ли решить энергетические проблемы Европы массовый запуск малых модульных реакторов, которые поставляются на площадку в полностью готовом виде? О высокой степени разработки ММР заявляли, в частности, Westinghouse (США), EDF (Франция), CNNC (КНР), KSOE (Южная Корея).

Федор Веселов: Малые модульные реакторы — не панацея, а лишь еще одна технология, которая может и должна найти свое место в структуре европейской электроэнергетики (впрочем, как и российской). В небольших национальных энергосистемах двухблочная АЭС может быть слишком затратной с точки зрения выдачи мощности и ее резервирования. В крупные энергосистемы вполне вписываются несколько больших блоков АЭС, и здесь экономический эффект масштаба дает естественное преимущество перед ММР. Вопрос выбора единичной мощности (а к ММР относят блоки и 300 МВт, и 10 МВт), степени концентрации мощности АЭС или ее распределенности — это важная технико-экономическая задача планирования энергосистемы, когда типы и объемы АЭС выбираются с учетом развития сети и оценки ресурсов гибкости по балансированию режимов генерации (особенно с учетом ВИЭ). В ряде стран Восточной Европы дополнительные возможности развития ММР связаны с теплофикацией, теплоснабжением городов и промышленных центров от атомных источников.

Игбал Гулиев: Малые модульные реакторы, быстро набирающие популярность в современном мире, являются отличным техническим решением. Они компактны, надежны и не нуждаются в ежегодной замене топлива. Но при этом обладают значительно меньшей по сравнению с традиционными, большими энергоблоками мощностью. Так что целесообразность выбора ММР зависит от целей использования: в энергетически изолированных районах или для

небольших населенных пунктов они являются одним из лучших решений. Но для крупных энергосистем, расположенных в районах с высоким уровнем энергопотребления (в том числе с крупными промышленными потребителями), все же лучше использовать обычные крупные энергоблоки мощностью 1–1,2 ГВт.

Александр Уваров: Сначала надо ответить на другой вопрос. Если ММР настолько хороши, как про них говорят, то почему же их не строят? В стратегии «Росатома» правильный подход, что ММР — это нишевый проект, который может иметь смысл в конкретных географических местах типа Крайнего Севера. Для Европы справедливо то же самое. Я могу себе представить ММР на Фарерских островах, но абсолютно не вижу в таких реакторах смысла в континентальной Европе с ее развитым сетевым хозяйством.

И по поводу фабричного изготовления, быстрого строительства и т. д. Первый в мире ММР (по утверждению китайцев) Linglong One строится в Китае с 2021 года, и его ввод предполагается не ранее следующего года, если все будет хорошо. То есть сроки строительства сравнимы со сроками строительства блоков большой мощности.

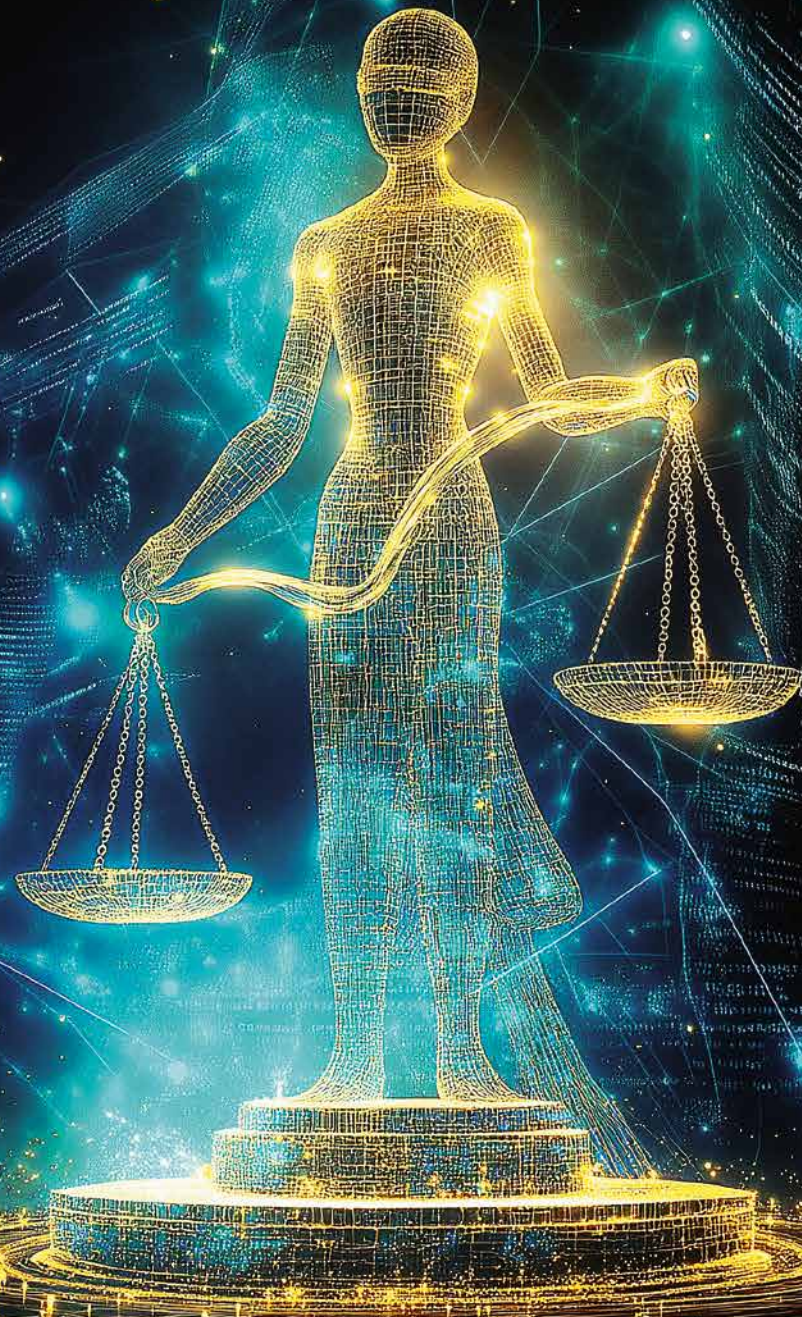
Поэтому я думаю, что пример Китая станет показательным. После пуска первого китайского ММР будут госнаграды, премии, передовицы в газетах и пафосные презентации, но не будет одного — не будет второго китайского ММР. Нет особого смысла.

Уже не игрушка

Можно ли защитить себя, свою личную жизнь и авторские права от искусственного интеллекта

Искусственный интеллект уже не воспринимается обществом как обычное развлечение, которое позволяет генерировать смешные картинки и вести диалог с Алисой. Он помогает писать дипломы, упрощает работу многим специалистам, но при этом часто нарушает права граждан. Можно ли поставить запрет искусственному интеллекту на сбор

и анализ информации о себе, должны ли коллекторы предупреждать о том, что вы разговариваете с роботом, и приведет ли использование ИИ к изменениям в Конституции, рассказывает директор правового департамента, специалист по интеллектуальной собственности НИУ «ВШЭ» Екатерина Кирсанова.



— Искусственный интеллект уже плотно вошел в современную жизнь. Какие правовые проблемы могут возникать при использовании ИИ?

— Прежде всего, хочу сказать, что ИИ — прекрасный инструмент. Он может помочь работникам во многих отраслях, например ИТ-специалистам и юристам, которые пытаются развиваться в профессии. Конечно, всю работу за юриста он не сделает, но может значительно ее облегчить и во многом помочь.

Но когда человек не понимает, каким образом использовать ИИ, это порождает целый ряд проблем юридического характера, и большая их часть проистекает из-за бездумного использования этого инструмента. К сожалению, очень часто искусственный интеллект воспринимается как какая-то игрушка или как волшебная палочка. В результате человек, который пытается применить его в своей работе, не видит адекватных границ. Например, он дает возможность ИИ работать с конфиденциальными данными в открытых системах, хотя на самом деле работать с ними можно только в закрытых базах. Это порождает такие последствия, как утечка данных, а также создает высокую вероятность, что загруженные данные однажды «всплывут» не в то время и не в том месте. И эту проблему потом спишут на ИИ, но она возникла из-за некорректного использования ИИ, а не из-за собственно появления ИИ. Это человеческий фактор, и проблемы тут возникают, поскольку люди не научились работать с этим инструментом.

— Можно ли типизировать самые частые вопросы, по которым сейчас идут судебные споры, касающиеся использования ИИ?

— Есть определенная категория споров о нарушении авторских прав. Например, известная история, произошедшая в США и связанная с Крис Каштановой, создательницей графического романа *Zarya of the Dawn*. Он был создан при помощи нейросети и первоначально был защищен авторским правом. На своей странице в соцсети художница рассказала о том, что она первая, кто смог зарегистрировать авторские права на объект, созданный с помощью искусственного интеллекта. Однако после обнаружения этой информации суд отменил ей регистрацию авторских прав. Обоснование было такое: результаты деятельности искусственного интеллекта не подлежат защите, соответственно, художница не может получить именно эту правовую защиту. Аналогичные вопросы, а именно определение и защита границ авторского права, могут возникать и в российской практике.

Кроме того, есть целая серия споров, связанных с использованием искусственным интеллектом загруженных данных без согласия правообладателя и создания каких-то объектов или обучающих систем на их основе. Это сегодня один из ключевых вопросов: можно ли использовать результаты чужой интеллектуальной деятельности. Очевидно, что здесь должно быть согласие на это правообладателя. Однако на



Екатерина Кирсанова

Доцент факультета права ВШЭ, кандидат юридических наук.

Окончила юридический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова.

Автор статей и других публикаций по темам «Цифровая экономика», «Цифровое право», «Интеллектуальная собственность», в числе которых «Обзор основных теорий определения правового режима объектов, созданных искусственным интеллектом», «Правовой режим нейросетей в условиях цифровой экономики», «Аккаунт как объект гражданских прав» и др.

В магистратуре ВШЭ ведет курс «Теоретические основы правового регулирования искусственного интеллекта».

практике все не так. По умолчанию считается, что любой объект, загруженный в интернет, может быть использован как угодно и кем угодно. Это не совсем корректно с точки зрения права и порождает определенные правовые последствия и споры. Например, результат генерации нового произведения ИИ может быть очень сильно похож на первоначальный объект. Соответственно, здесь идет нарушение прав первоначального правообладателя.

— С этим можно бороться?

— Пока не совсем понятно, как с этим можно бороться. На практике, например, отдельные компании-разработчики указывают, что ответственность за использование ИИ полностью ложится на пользователя. То есть это зона его риска — проверить, что не осуществляется нарушение авторских прав и законных интересов правообладателя.

— Какие еще бывают споры по поводу использования ИИ в России?

— Есть определенная категория административных дел, которая возникла, когда у нас начали подключать роботов-коллекторов для сбора задолженности у населения. В законе они называются «автоматизированные интеллектуальные агенты». Законодательно было принято решение, что с 2024 года правомерно использовать их при общении с должниками. Используются роботы и в рекламных объявлениях.

И действительно, некоторые такие «автоматизированные интеллектуальные агенты» очень точно копируют интонацию человека, так что сразу невозможно понять, с кем ты разговариваешь. Конечно, неплохо было бы, чтобы пользователь был предупрежден, что с ним разговаривает искусственный интеллект, робот. Это необходимо делать с точки зрения права и с точки зрения хорошего тона и этикета. Однако, по сути, это серая зона, за такие действия не предусмотрено санкций, и многие этим пользуются, то есть звонят, не предупреждая.

— Чем руководствуется суд, вынося решение по спорам, где фигурирует использование ИИ?

— Все юридические вопросы попадают в определенную категорию. Разница в случае ИИ заключается в том, что эти споры осложнены использованием ИИ. В суде изначально вычленяется именно тот вопрос, в отношении которого этот спор возник. Соответственно, если это какие-то споры, связанные с интеллектуальной собственностью, с авторскими правами, это часть четвертая Гражданского кодекса, и суды прекрасно экстраполируют его нормы на те же споры с использованием ИИ.

Понятно, что юридические проблемы, связанные с искусственным интеллектом, вызваны во многом

тем, что это новое явление и далеко не всегда можно найти нормы, чтобы корректно разрешить спор. Возможно, предусмотренных для конкретного события норм просто еще нет. Но в российском законодательстве есть четкие конкретные нормы, определяющие, когда использовать правила, которые могут по логике применяться для решения одних и тех же проблем. То есть это решение юридических споров по аналогии. Суды очень часто обращаются к каким-то прецедентным делам. Однако при этом, конечно, юристы оценивают, изменились ли обстоятельства в связи с тем, что использовались системы искусственного интеллекта.

— А есть ли уже решения по каким-то знаковым делам с использованием ИИ?

— Практика пока формируется. Конечно, есть отдельные решения суда, но пока нельзя говорить об устоявшейся единой практике и о формировании единого законодательства в отношении искусственного интеллекта. Так происходит во всем мире: в других странах также эта практика пока не устоялась.

— Насколько российское законодательство в регулировании вопросов ИИ идет в русле мирового?

— В отношении ИИ в мире есть разные подходы. В части стран, как, например, в Китае, практикуется осторожный подход, когда в целом ограничивается обмен и передача информации, в том числе с применением систем искусственного интеллекта. Либо происходит внедрение подхода с разграничением категорий риска, как в ЕС. Есть прецеденты, когда пытаются ограничить использование искусственного интеллекта в отдельных отраслях. У нас, в принципе, тоже есть определенные сферы использования ИИ, где есть дублирующая система безопасности. В частности, этот подход имеет место, если мы говорим о применении системы искусственного интеллекта на транспорте, при запуске беспилотников и т. д. Или если мы говорим о медицине, мы знаем, что у нас точно так же: с одной стороны, искусственный интеллект применяется, с другой стороны, есть система контроля постановки диагнозов. Врачи не доверяют постановку диагноза только ИИ.

Если мы говорим про регулирование результатов интеллектуальной деятельности, которые созданы с помощью системы искусственного интеллекта, то здесь мы также находимся в русле мировых тенденций. В России, как и во всем мире, понимают, что ИИ — это новое явление, и если мы будем очень серьезно его регулировать на начальном этапе, то, скорее всего, затормозим прогресс. Поэтому за исключением тех сфер, которые являются наиболее чувствительными, наиболее опасными и требующими дополнительной защиты, практика по использованию ИИ в России только складывается, как и во всем мире.

— По вашему мнению, учитывая бурное развитие ИИ, будет ли расти количество сложных, неоднозначных с правовой точки зрения ситуаций?

— Принципиально нам необходимо решить не так много вопросов. Один из самых главных — это вопрос авторских прав. Мы говорим о том, что все-таки по умолчанию результаты деятельности искусственного интеллекта относятся к общественному достоянию, считается, что здесь нет именно творческого труда человека. Объект, сгенерированный искусственным интеллектом, должен быть очень существенно доработан, чтобы превратиться в результат интеллектуальной деятельности. Соответственно, у нас сейчас нет понимания того, каким должен быть этот уровень доработки, чтобы объект все-таки признавался созданным творческим трудом. И нам придется решить этот вопрос.

Есть несколько путей решения этой проблемы. Либо мы должны согласиться с тем, что любое применение системы искусственного интеллекта исключает возможность получить права на созданный с помощью ИИ объект, либо мы пойдем по более либеральному пути, то есть будем говорить о том, что определенный процент доработки объекта превращает его в классический результат интеллектуальной деятельности. И мы можем здесь уже говорить о правовой защите результатов интеллектуального труда, созданных с помощью ИИ.

Другой вопрос: требуется ли согласие правообладателя на использование результатов его интеллектуальной деятельности искусственным интеллектом, может ли ИИ на ней обучаться.

— Как вы считаете, будет ли расти количество дел в судах, связанных с неправомерным использованием ИИ?

— Я думаю, что количество сложных случаев будет расти просто в связи с тем, что, во-первых, очень серьезно увеличиваются объемы использования систем искусственного интеллекта. А во-вторых, варианты использования усложняются. Если изначально ИИ воспринимался многими пользователями как развлечение, то сейчас речь идет о более серьезном использовании, которое будет выходить на новый уровень, и это будет вызывать дополнительные вопросы.

— В интернете часто размещают ролики, в которых с помощью ИИ созданы образы публичных персон и от их имени озвучены некие утверждения. Нарушается ли в таком случае закон и как могут разрешаться такие вопросы в суде?

— Это, конечно, очень проблемная история, особенно учитывая, что есть ролики, в которых якобы участвуют известные личности и которые создаются, чтобы потом совершить мошеннические действия. В них распространяются откровенные фейки, поддельвается голос другого человека, его образ. В этом случае искусственный интеллект — это всего лишь инструмент. И, соответственно, действия, направленные на создание ложного впечатления, что какая-то публичная личность выступала с некими заявлениями либо

«ИИ — новое явление, и если мы будем очень серьезно его регулировать на начальном этапе, то, скорее всего, затормозим прогресс. Поэтому за исключением сфер, которые являются наиболее чувствительными и требующими дополнительной защиты, практика в отношении ИИ в России только складывается, как и во всем мире».

какой-то гражданин давал согласие на проведение банковской операции, — это мошенничество. Так их и будет суд квалифицировать.

Статья 152 Гражданского кодекса направлена на охрану изображения гражданина. Согласно ей, обнародование и дальнейшее использование изображения гражданина (в том числе его фотографии, а также видеозаписи или произведения изобразительного искусства, где он изображен) допускаются только с согласия гражданина. То же самое относится и к использованию голоса человека. Его также нельзя генерировать и использовать без согласия гражданина. Вопрос в данном несанкционированном использовании изображения человека даже не в применении искусственного интеллекта, а в самом факте, что это происходит. В частности, человек так же может подавать иск о защите чести, достоинства и деловой репутации — в том случае, если изображение сгенерировано, чтобы опорочить этого человека. И конечно, речь может идти о мошенничестве, если мы говорим о применении ИИ, чтобы побудить



Подробности

В российской Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года используются следующие определения (в редакции Указа Президента Российской Федерации от 15.02.2024 №124):

— **искусственный интеллект** — комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека или превосходящие их. Комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (в том числе в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений;

— **технологии искусственного интеллекта** — совокупность технологий, включающая в себя компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальную поддержку принятия решений и перспективные методы искусственного интеллекта.

На иллюстрации

Чтобы нейросеть сгенерировала это изображение на тему «Энергетика будущего», понадобился запрос объемом более 500 знаков, местами звучащий как поэма: «...элегантные здания... гармонично сочетаются с изумрудными холмами и кристально чистой рекой, отражающей закат». Но вопрос о том, является ли это изображение результатом интеллектуальной деятельности человека, составившего такой запрос, пока остается открытым



кого-то осуществлять незаконные банковские операции.

Пример уважительного и юридически грамотного отношения к использованию образа гражданина можно увидеть в фильме «Манюня», где на использование образа Юрия Никулина, созданного с помощью нейросетей, было получено соответствующее согласие родственников. Таким образом, вопрос опять же не в самой технологии, а в ее адекватном и правоммерном использовании.

— Представители банковского сообщества ранее обсуждали идею о том, что скоринг клиентов

«Когда человек не понимает, каким образом использовать искусственный интеллект, это порождает целый ряд проблем юридического характера, и большая их часть проистекает из-за бездумного использования этого инструмента. Проблемы возникают из-за некорректного применения ИИ, а не из-за собственно появления ИИ».

финансовых учреждений будет проводиться на основании сообщений пользователя в соцсетях, которые ИИ соберет, проанализирует и выдаст заключение, стоит ли выдавать заемщику кредит. Не нарушаются ли при этом права человека, который размещает информацию о себе в соцсетях?

— У нас существует тайна личной жизни, свобода выбора, свобода распространения информации, свобода потребления информации и т. д. Все эти права гарантированы человеку. Есть также защита персональных данных. Поэтому финансовые организации должны опираться не на музыку, которую человек слушает, или места, куда он любит путешествовать, а на платежеспособность человека и, возможно, на его опыт и место работы. Вопросы личной жизни и предпочтения граждан все-таки стоит оставить на их усмотрение. Эти показатели не совсем корректно и законно учитывать для определения финансовой состоятельности гражданина.

— Может ли человек защитить себя, свою частную жизнь и права от ИИ? Можно ли, например, установить какой-то самозапрет по аналогии с самозапретом на выдачу себе кредита?

— Когда я со студентами начинаю курс по интеллектуальной собственности, то учу их задумываться, какую информацию они выкладывают в информационное пространство. Это важно просто с точки зрения безопасности, даже без учета развития искусственного интеллекта. У нас, к сожалению, отсутствует

культура безопасного информирования о себе. Люди активно выставляют в соцсети свою публичную и частную жизнь. И они так тесно переплетены, что это уже становится небезопасным. Поэтому первый совет, наверное, думать о том, что вы выкладываете. Второй совет — повышать юридическую грамотность. Например, выложить в сеть информацию о получении нового паспорта и хвастаться фотографией перед подписчиками не совсем безопасно вне зависимости от того, будут ли ваши данные анализироваться искусственным интеллектом или нет. Пока что такой практики, как введение запрета на сбор информации о себе, не существует. Вполне возможно, она появится в будущем.

— Можно ли предположить, что когда-нибудь изменения, которые происходят под влиянием ИИ, приведут к изменению Конституции?

— Конституция может отражать происходящие в обществе изменения и реагировать на них. Я не говорю сейчас о том, что в законодательстве предусмотрят возможности выдачи гражданства роботам, признают их субъектом права или чем-то подобным. Скорее всего, таких изменений в российской Конституции не будет. Но, возможно, какие-то дополнительные права или обязанности граждан, связанные как раз с внедрением систем искусственного интеллекта, могут возникнуть и войти в Конституцию. Например, защита от необоснованной обработки данных граждан искусственным интеллектом.

— НИУ «ВШЭ» не так давно первым из российских университетов разработал и утвердил Декларацию этических принципов использования искусственного интеллекта. Защищает ли этот документ образовательный процесс от проблем, ведь уже целые дипломные работы пишутся на основании сгенерированной искусственным интеллектом информации? Понадобится ли такого рода этический кодекс в ближайшее время всем вузам и школам или вообще всем крупным компаниям?

— Нужен ли такого рода этический кодекс другим учебным заведениям или компаниям — это зона ответственности каждого конкретного учебного заведения и в целом юридического лица. Даже нормы и требования к работе устанавливаются многими институтами индивидуально. В институте мы должны думать в первую очередь о студентах и о тех, кто у нас работает, защитить их. С другой стороны, мы все прекрасно понимаем, что запреты действуют очень плохо. Конечно, сразу было понятно, что бизнес (или студенты) будут пытаться использовать искусственный интеллект по-разному. То есть вопрос при создании декларации был в адекватности использования ИИ. И вместо того, чтобы запретить пользоваться ИИ, лучше научить пользоваться им ответственно. В этом и была роль декларации ВШЭ — дать некоторые ориентиры, которые помогут использовать ИИ в работе этично, эффективно и безопасно.

Подробности

В России принят национальный **Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта**, устанавливающий общие этические принципы и стандарты поведения, которыми следует руководствоваться участникам отношений в сфере искусственного интеллекта (акторам ИИ) в своей деятельности. Среди его положений можно выделить следующие.

Актеры ИИ должны принимать необходимые меры, направленные на сохранение автономии и свободы воли человека в принятии им решений и в целом на сохранение интеллектуальных способностей человека как самостоятельной ценности и системообразующего фактора современной цивилизации.

Актеры ИИ должны на этапе создания систем ИИ прогнозировать возможные негативные последствия для развития когнитивных способностей человека и не допускать разработку систем ИИ, которые целенаправленно вызывают такие последствия.

При развитии технологий ИИ человек, его права и свободы должны рассматриваться как наивысшая ценность. Разрабатываемые технологии ИИ должны способствовать или не препятствовать реализации всех потенциальных возможностей человека для достижения гармонии в социальной, экономической, духовной сфере и наивысшего расцвета личности.

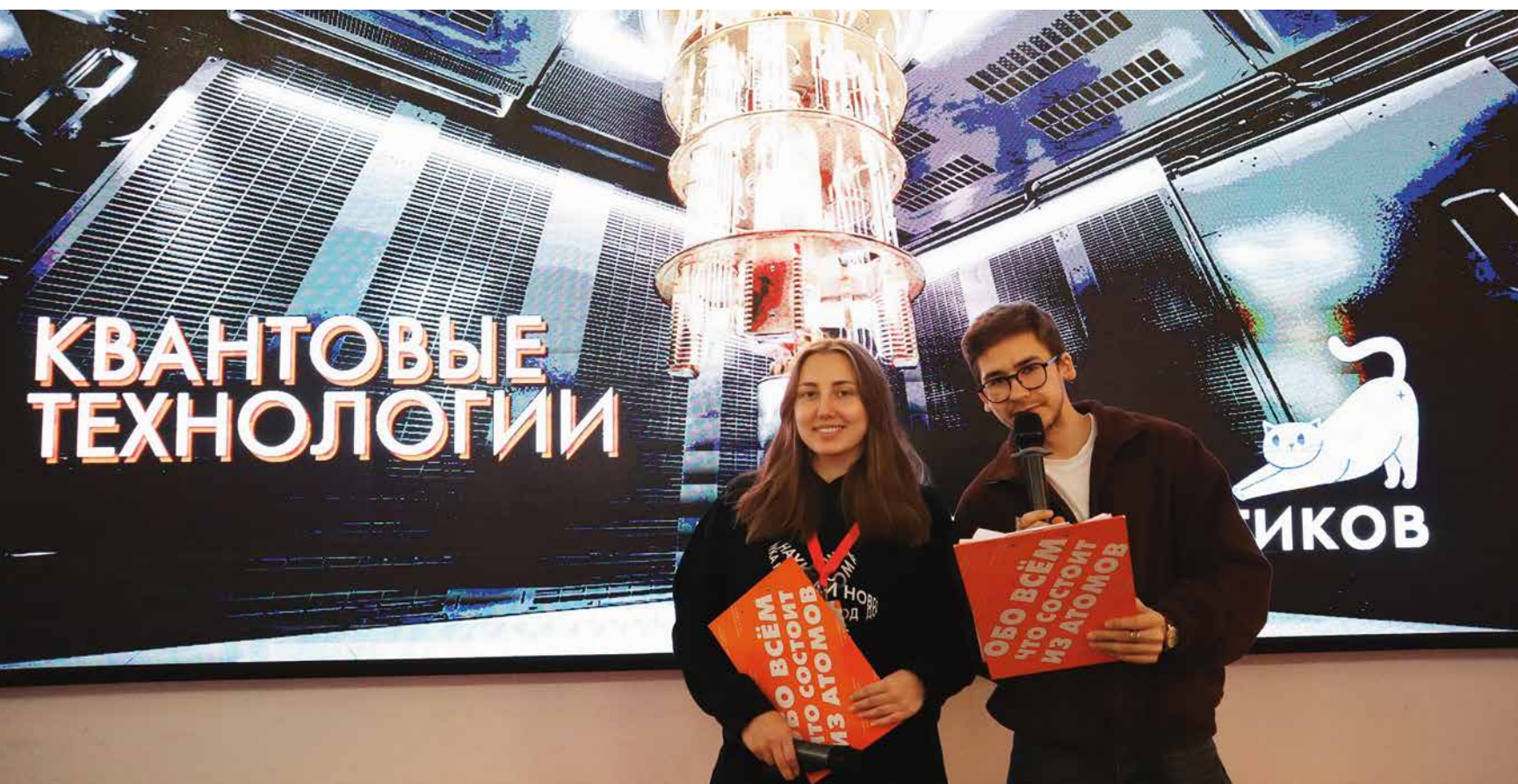
Принятие значимых для общества и государства решений в области применения ИИ должно сопровождаться научно выверенным междисциплинарным прогнозированием социально-экономических последствий и рисков, изучением возможных изменений в ценностно-культурной парадигме развития общества с учетом национальных приоритетов.

Актеры ИИ должны ответственно относиться к вопросам влияния систем ИИ на общество и граждан на каждом этапе жизненного цикла систем ИИ, включая неприкосновенность частной жизни, этичное, безопасное и ответственное использование персональных данных.

Когда деятельность актеров ИИ может привести к морально неприемлемым для человека и общества последствиям, ими должны быть приняты меры, чтобы предотвратить или ограничить наступление таких последствий. Любое использование систем ИИ, способных целенаправленно причинять вред окружающей среде, жизни и (или) здоровью человека, имуществу граждан и юридических лиц, недопустимо.

Акторам ИИ рекомендуется осуществлять добросовестное информирование пользователей об их взаимодействии с системами ИИ, когда это затрагивает вопросы прав человека и критических сфер его жизни, и обеспечивать возможность прекратить такое взаимодействие по желанию пользователя.

Актеры ИИ должны соблюдать законодательство РФ в области персональных данных и охраняемых законом тайн при использовании систем ИИ.



Квантовый фронтир

Занимательно о сложном: где находится «святой Грааль» квантовых вычислений, в чем заключается задача трех миллионов тел и как раздвинуть границы ойкумены

Ни для кого не секрет, что общая для всех высокотехнологичных отраслей «болезнь роста» — дефицит кадров. Проблема квантовых технологий осложняется тем, что даже выдающиеся ученые современности считают эту предметную область не просто мало изученной, но и, что важнее, крайне трудной для понимания. Но как в таком случае заинтересовать этой темой школьника или студента и убедить его связать с ней свою карьеру? Атомные практикумы ИЦАЭ «Квантовые технологии» — попытка ответить на этот вызов и взглянуть на сложную академическую задачу как на увлекательное интеллектуальное приключение. Получилось ли? Об этом читайте в нашем материале.

Кубиты наполняют паруса

Древние финикийцы вряд ли хорошо представляли себе природу ветра и были знакомы с физическими принципами, удерживающими их суда на воде. Но это не помешало им стать величайшими мореплавателями Древнего мира, чьи корабли побывали во всех уголках тогдашней ойкумены.

Что-то подобное происходит сейчас с квантовыми технологиями. Мы, прямо скажем, пока очень мало знаем о том, почему в квантовом мире все устроено именно так. Но даже такого ограниченного понимания уже достаточно, чтобы конвертировать эти знания в технологии, которые, как ожидается, позволят перевернуть представления о целых областях человеческой деятельности — от банковского дела и логистики до создания систем искусственного интеллекта.

Одна из таких областей — квантовые вычисления. И если четыре десятка лет назад квантовый компьютер был пусть и очень остроумной, но все же «бумажной» концепцией, то новости науки последних лет вселяют уверенность: рабочий квантовый вычислитель в «железе» мы увидим уже в следующем десятилетии.

Особенно урожайным стал 2024 год, который буквально начался с того, что компания IBM анонсировала появление своего сверхпроводящего чипа на 1121 кубит. «Система крайне интересная, и, безусловно, это важное достижение для области квантовых вычислений, считает Дмитрий Чермошенцев, руководитель научной группы в «Росатом Квантовые технологии» и старший научный сотрудник Российского квантового центра.

«Однако количество кубитов не является единственной мерой успеха. Помимо их количества важна еще точность работы с ними, то, что называют достоверностью однокубитных и двухкубитных операций. И этот показатель пока не на высоте. Более того, чем больше массив частиц, тем сложнее связывать их и управлять ими и, как следствие, ниже точность операций», — подчеркивает эксперт.

Но на помощь уже спешат технологии, которые эту проблему позволяют обходить. Одна из них — квантовый интерконнект, система, которая позволяет связывать различные квантовые вычислители, находящиеся на расстоянии. Другой подход предполагает использование специальных материалов и тщательно подобранную геометрию фотонных чипов. Например, прототип компании PSI Quantum, представленный в прошлом году, продемонстрировал достоверность более 99% при переносе квантового состояния с одного чипа на другой.

Не менее интересных результатов добились в 2024 году и в разработке алгоритмов. Многим известен алгоритм Шора — один из первых квантовых алгоритмов, разработанный в 1994-м ученым Питером Шором. «Появление такого алгоритма разложения чисел на простые множители, который может быть имплементирован на квантовом компьютере, означает конец современных протоколов защиты данных», — поясняет Дмитрий Чермошенцев. Правда, для факторизации тех чисел, которые представляют сейчас угрозу для современных криптографических протоколов, необходимы миллионы кубитов, что сейчас является недостижимо большим числом. Однако в последнее время вышло несколько работ, в которых убедительно доказывается, что для решения этой задачи требуется существенно меньшее число кубитов, чем предполагалось ранее. «Паниковать все еще рано, но «красные линии» квантовой криптографической угрозы, согласитесь, становятся все различимей», — полагает эксперт.

Наконец, стоит отметить работы, посвященные демонстрации так называемого квантового превосходства. «Это такой «святой Грааль» квантовых вычислений — доказательство способности квантового

Прямая речь



Дмитрий Чермошенцев

Руководитель научной группы в «Росатом Квантовые технологии», старший научный сотрудник Российского квантового центра:

— Россия входит в тройку стран, у которых есть квантовые компьютеры на всех четырех платформах, вместе с Китаем и США. Это действительно вселяет оптимизм, ведь мы стартовали, имея отставание от лидеров в 15–20 лет, и «пробежали» этот путь за считанные годы.

компьютера решить какую-то задачу эффективнее и быстрее, чем на любой из существующих традиционных машин. В прошлом году появился ряд важных работ о возможности достижения квантового превосходства даже не на настоящих квантовых вычислителях, а на том, что называется «квантовые симуляторы». Устройства эти доступны уже сейчас, а значит, мы сделали огромный шаг к коммерческому использованию квантовых вычислений», — отмечает Дмитрий Чермошенцев.

Впрочем, российским ученым тоже есть чем похвастаться. Так, в 2024 году в России была выполнена первая часть дорожной карты государственной программы по квантовым вычислениям. В 2019 году у нас был всего один сверхпроводящий квантовый компьютер на двух кубитах. Сейчас компьютеров не менее четырех, причем реализованных на всех известных технологических платформах: на сверхпроводниках, на фотонах, на ионах, на атомах. Например, у нас есть 50-кубитный квантовый компьютер на ионах, есть прототип 50-кубитного вычислителя на атомах. Таким образом, утверждает эксперт, Россия входит в тройку стран, у которых есть квантовые компьютеры на всех четырех платформах, вместе с Китаем и США. «Это действительно вселяет оптимизм, ведь мы стартовали, имея отставание от лидеров в 15–20 лет, и «пробежали» этот путь за считанные годы», — говорит Дмитрий Чермошенцев.

Язык до квантовой механики доведет

Несмотря на все успехи, эксперты бьют тревогу: дальнейший прогресс в области квантовых технологий может застопориться из-за дефицита кадров. Причин



тому масса: от нехватки междисциплинарных программ, объединяющих физику, математику, информатику и даже философию, до высокой стоимости оборудования для квантовых исследований и слабой интеграции частного сектора в образовательные проекты. Впрочем, некоторые эксперты, например Артем Воронов, основатель стартапа QApp, вообще утверждают, что молодые разработчики просто боятся идти в компании, занимающиеся квантовыми технологиями, считая их слишком сложными.

С этим сложно спорить. Так, Максим Гревцев, заместитель программного директора ИЦАЭ, отмечает, что идея разработать специальное занятие для школьников по квантовым технологиям появилась еще в 2022 году. «Но материал оказался очень неподатливым. Сложно подобрать интонацию, которая сделала бы его увлекательным. Поэтому первых участников наш атомный практикум «Квантовые технологии» принял только в прошлом году», — объясняет Максим Гревцев.

Основу атомного практикума ИЦАЭ «Квантовые технологии» составляют четыре якорных понятия: «суперпозиция», «корпускулярно-волновой дуализм», «принцип неопределенности Гейзенберга» и «квантовая запутанность». Именно они сегодня превратились в своеобразных амбассадоров квантовых технологий в массовой культуре.

Выход нашли в том, чтобы подбираться к рассказу о квантах не со стороны науки, а со стороны культуры и языка. Занятие строится вокруг нескольких категорий квантовой физики, которые так или иначе на слуху, существуют в сфере повседневной культуры в форме сюжетной основы для книг, комиксов или игр, шуток или мемов. Почему так? «Именно это цепляет. Мы понимаем, что для школьников стремление понимать, чтобы быть «в контексте», куда более сильная мотивация, чем стремление разобраться, чтобы понимать», — говорит Максим Гревцев. Другими словами, подросток скорее постарается разобраться, почему все смеются над очередным мемом с «котом Шрёдингера», чем сделает это из абстрактного желания узнать, как все устроено вокруг нас.

Основу атомного практикума ИЦАЭ «Квантовые технологии» составляют четыре якорных понятия: «суперпозиция», «корпускулярно-волновой дуализм», «принцип неопределенности Гейзенберга» и «квантовая запутанность». Именно они сегодня превратились в своеобразных амбассадоров квантовых технологий в массовой культуре. Дальше — проще. «Наша аудитория — школьники. И это, как ни странно, несколько упрощает задачу, потому что они хотя бы имеют представление о ньютоновской физике, описывающей макромир, то есть те объекты, которые мы можем увидеть своими глазами: людей, машины, дома, планеты и т. д. Мы отталкиваемся от того, что классическая физика интуитивно понятна, и объясняем, что квантовый мир контринтуитивен», — поясняет Максим Гревцев.

Теоретические блоки, посвященные каждому понятию, перемежаются рассказом о практическом применении квантовых технологий и практическими задачами. Они могут быть простыми и забавными. Например, сделать котика в технике оригами и раскрасить его, что позволяет мозгу расслабиться, переключиться на мелкую моторику. Впрочем, есть задачи и посложнее. Например, одна из проблем, которую помогут решить квантовые вычисления, — оптимизация логистики в большом городе. «Помните «Задачу трех тел», наделавший шуму в прошлом году роман китайца Лю Цысиня? В мегаполисе она превращается в задачу «трех миллионов тел»: как оптимально перенаправить транспортные потоки, где разместить переходы и транспортные развязки», — рассказывает Максим Гревцев. — Мы объясняем, что такого масштаба и сложности калькуляции под силу только квантовому компьютеру. И в качестве иллюстрации предлагаем решить ставшую классической задачу на маршрутизацию про четырех туристов, которым необходимо переправиться через небольшой подвесной мост в горах».

Атомный практикум «Квантовые технологии» от ИЦАЭ не стремится, да и при всем желании не сможет заменить уроки физики в школе. У этих занятий совсем другая задача. «Последнее, что мы обсуждаем на нашем атомном практикуме, — слова Ричарда Фейнмана, выдающегося физика и нобелевского лауреата: «Смело могу утверждать: квантовую механику

не понимает никто». А значит, бояться не надо. Да, это очень сложный, почти необъяснимый мир. Но именно это превращает знакомство с ним в отважное интеллектуальное приключение», — считает Максим Гревцев.

«Там, внизу, еще много места»

Судя по отзывам участников практикума по квантовым технологиям, который прошел в ИЦАЭ Нижнего Новгорода, сделать это, скорее, получилось. «Мне после посещения атомного практикума, посвященного квантовой физике, невольно вспомнился один эпизод из романа братьев Стругацких «Полдень, XXII век». Чтобы удержать своих подопечных от побега из школы, учитель как бы невзначай рассказывает им о загадке, над которой безрезультатно бьются поколения ученых, — «блуждающие огни на болотах». В один миг забыта идея пробраться в космопорт: ребята с головой уходят в разработку планов изучения новой проблемы», — отметила Зоя Князева, преподаватель Нижегородского техникума транспортного обслуживания и сервиса. «Эта маленькая история много о чем. В том числе о том, как много приключений в нашей жизни, достаточно просто найти правильные слова», — добавила она.

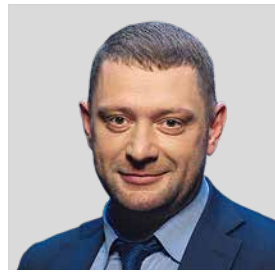
Вообще, проблема общего языка нынешних поколений преподавателей и учащихся — едва ли не самая обсуждаемая в профессиональном сообществе. Очевидно, что цифровизация, способы потребления информации, да и просто ее объемы требуют выработки новых приемов преподавания. Да, сама по себе академическая подача материала никуда не денется. Но учитель сегодня — уже не просто

носитель знания, а еще и лоцман, который должен в этом море знаний ориентироваться и направлять студентов. «Главное, что у ребят из ИЦАЭ, на мой взгляд, получилось, — это выбрать верную интонацию, верную оптику в подаче материала. Реакция ребят в ходе самого занятия, да и обсуждение его после завершения — лучшее тому подтверждение», — отметила Зоя Князева.

«Не могу сказать, что физика — мой конек, — поделился своими впечатлениями один из учеников колледжа — участник атомного практикума «Квантовые технологии». — Хотя, признаю, что во всей этой стройности математических формул, сложной архитектуре законов и принципов есть своеобразная поэзия. Но здесь ведь и разговор был вроде бы не про физику. Или не столько про физику. Мы поговорили про квантовые компьютеры и шифрование, порешали задачки про маршрутизацию, поговорили о том, какие компании и как обеспечивают сегодня отечественный приоритет в области квантовых вычислений. Но меньше всего я ожидал, что после завершения занятия у меня останется ощущение, будто сезон увлекательного сериала оборвался на самом интересном месте».

У человечества крайне противоречивые отношения с непознанным. С одной стороны, именно здесь, во мраке неизвестности, рождаются наши самые большие страхи. И она же манит нас вперед, заставляет раздвигать границы ойкумены. Впрочем, сегодня новый фронт — это освоение не только космоса, но и микромира квантовой физики. Как говорил уже упоминавшийся Ричард Фейнман: «Там, внизу, еще много места». А значит, и приключений хватит на всех.





Текст: Федор Буйновский,
обозреватель «Вестника атомпрома»

Русское моделирование

В каких случаях и почему управленческие дефекты в России превращаются в преимущества

Книга Александра Прохорова «Русская модель управления» вторгается в область отечественной управленческой мифологии с рядом вопросов. Что представляет собой русская модель управления? Как на практике использовать ее особенности? Какие черты нашей национальной модели менеджмента являются мифом, а какие — реальностью? Хороша наша модель управления или плоха? Каковы ее перспективы?

Знакомые всем проблемы в книге рассматриваются под непривычным углом зрения. В результате пестрая мозаика явлений, охватывающих тысячелетнюю российскую историю, складывается в стройную систему взглядов (можно даже сказать, в теорию), позволяющую ответить на приведенные выше «вечные» вопросы. Автор обнаруживает специфически «русские» виды структур и процедур управления, описывает специальные управленческие технологии, освоенные нашими соотечественниками в прошлом и настоящем.

Дух противоречия

Автор книги о проблемах российского управления экономист Александр Прохоров выделяет в качестве характерной черты русской модели управления ее изначальную противоречивость: с одной стороны, большая часть управленческих решений неэффективна, с другой стороны, в нестабильные периоды отечественная модель управления демонстрировала поразительную результативность.

Главные управленческие инструменты, свойственные отечественной системе управления, — это мобилизация и перераспределение ресурсов, чередование стабильной и нестабильной фаз управления, кластеры и параллельные структуры, уравнивательные тенденции внутри кластеров и конкуренция между кластерными единицами. Русской модели управления (РМУ) свойственны, помимо вышеупомянутых, следующие характеристики:

— ценностное тяготение к культурному и организационному синкретизму;

- недостаточность институционального развития;
- пирамидальная конфигурация российского общества (субъектами трансформаций в российском обществе выступают фигуры императора, вождя, правящей верхушки партии, президента и его окружения, теневых олигархов и авторитетов);
- дуализм русской души;
- неизбежность импорта идей и образцов;
- низовая солидарность (все люди, даже находящиеся на высоких постах, ощущают себя подчиненными и, следовательно, обязанными помогать друг другу);
- склонность к масштабным делам;
- важность внесудебной «рассеянной санкции» (письменные правила не совпадают с более авторитетными в обществе неписаными нормами поведения).

Кроме того, ключевой мыслью Александра Прохорова являются замеченные эмпирические закономерности, характеризующие особенности «русской модели управления»: закономерность кластерного/кланового характера типичной российской организации, слабо управляемой на низовом уровне, и закономерность цикла сменяющих друг друга «застойной» и «мобилизационной» фаз развития. Показано, что эти закономерности, с одной стороны, не способствуют повышению производительности труда на российских предприятиях, однако, с другой стороны, позволяют функционировать экономике в целом как достаточно результативной.

Особенности национального менталитета

Александр Прохоров выделяет некоторые закономерности, действие которых «автоматически» приводит к неуспеху внедрения на большинстве российских предприятий отлично зарекомендовавших себя за рубежом управленческих методик, направленных на повышение производительности труда. Речь идет о «хронической» для России проблеме низкой эффективности экономических систем и низкой производительности труда. Автор видит основания этой проблемы в особенностях, свойственных «русской модели управления»:

Так, например, типичная организация в России — кластерного типа, структура которой может быть визуализирована в виде «виноградной грозди», где жесткая «вертикаль власти» простирается только до уровня отдела, бригады, цеха, внутри которых царят круговая порука, клановость и «полнейшая автономия». По мнению некоторых экспертов, «в отличие от западной team, у нас работа в группе плохо структурирована, плохо расписаны обязанности и функции... В России в группу бросили задание, а они там начинают между собой разбираться».

Во-вторых, взаимодействие руководства и кластеров реализуется как «маятниковое движение», цикл периодически сменяющих друг друга двух фаз: «застойной» (в условиях стабильности цели кластеров не соответствуют цели всей системы управления, кластеры имитируют деятельность, уходя от заданий и ответственности, возлагаемых на них руководством, а высшее руководство попустительствует этому) и «аварийно-мобилизационной» (в условиях внешней угрозы все ресурсы мобилизуются на одном направлении, и высшее руководство развязывает «конкуренцию администраторов», понуждая их к скорейшему решению проблемы репрессиями). Возглавляемые этими администраторами кластеры получают полную свободу действий для получения необходимого результата «любой ценой». Их цели начинают соответствовать целям всей системы управления.

Аварийно-мобилизационная фаза всегда кратковременна, поскольку оказывается весьма затратной в отношении ресурсов; кроме того, кластеры быстро находят возможности эффективно обходить требования «сверху». Эта фаза заканчивается — и вновь начинается фаза «застоя».

Отсюда все особенности организационного поведения российских руководителей и исполнителей: низкий уровень исполнительской дисциплины, ограниченность конкуренции, смена длительных периодов застойного бездействия и кратковременного аварийного перенапряжения («штормовщина»), привычка делать все в последний момент и в целом облик экономики как «экономики результата», но не «экономики эффективности». Причины такого поведения Александр Прохоров видит в особенностях российского менталитета.

Надежды и прогнозы

Возможно, определенные надежды стоит возлагать на молодое поколение, проживающее в крупных городах. Это более озабоченные своей жизнью и судьбой люди, причем их отношение к миру не определяется только индивидуальными интересами. Они в большей степени демонстрируют ответственное поведение и, похоже, меньше готовы к переделке истории «с чистого листа».

В частности, предварительные результаты комплексного исследования проблемы производительности

труда на промышленных предприятиях российских регионов демонстрируют, что среди предприятий, эффективно решающих проблему производительности, выделяется группа предприятий, возникших относительно недавно. Это предприятия, уходящие от кланового («кластерного») типа организационной культуры, со сравнительно молодыми коллективами управленцев. И они демонстрируют большую самостоятельность, более высокую способность к саморегуляции, высокий уровень гибкости в поведении и коммуникациях. На таких предприятиях управление добирается «до рук» каждого исполнителя.

Впрочем, детальный прогноз основных характеристик будущей российской экономической системы в настоящее время не представляется возможным. Дело в том, что они формируются и будут продолжать формироваться в ходе довольно противоречивого процесса взаимодействия российской национальной системы управления с требованиями мирового научно-технического и социального прогресса. «Как пойдет это взаимодействие, какие формы оно примет — время покажет», — заключает автор книги «Русская модель управления» Александр Прохоров.

Справка

Александр Прохоров — кандидат экономических наук, доцент кафедры управления Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова.

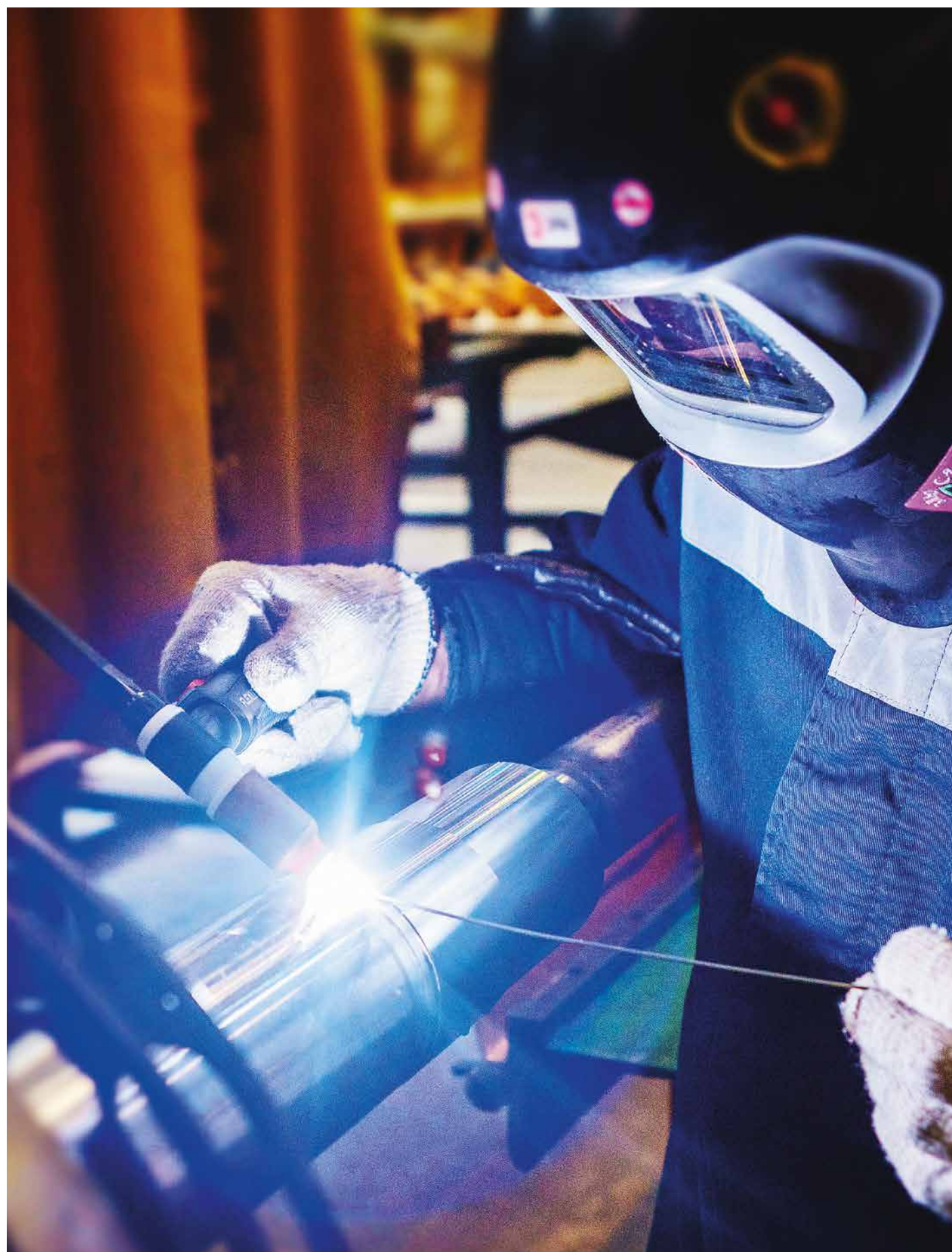
Учился на экономическом факультете (специальность «планирование промышленности») ЯрГУ им. П. Г. Демидова. Работал финансовым менеджером, заместителем гендиректора торговой компании, директором по персоналу и социальным вопросам Ярославского шинного завода, директором по развитию в акционерном обществе строительного профиля, советником губернатора по экономическим вопросам, руководил областным предвыборным штабом в ходе нескольких избирательных кампаний. Консультировал по вопросам управления.

Читал лекции и проводил семинары в Дании, США, Венгрии, Сингапуре, Чехии, Китае, Словакии, Азербайджане.

Автор двух книг и нескольких десятков журнальных статей по проблемам управления. Монографии Александра Прохорова «Русская модель управления» была присуждена премия Российской государственной библиотеки (Ленинки) и Русского биографического института в номинации «Лучшие книги года», книга выдержала 11 изданий на русском, английском и французском языках.

Фото: АО ЧМЗ

Чепецкий механический завод освоил новую технологию производства каналов системы управления и защиты для российских АЭС



Атомная мозаика

110 МВт

мощность АСММ

наземного базирования в Мьянме, межправительственное соглашение о принципах сотрудничества в области строительства которой Россия и Мьянма подписали в марте 2025 года (с возможностью дальнейшего расширения до 330 МВт). Документ, подписанный в рамках государственного визита руководства Мьянмы в Россию, является важным шагом по переводу проекта строительства АСММ в практическую плоскость.

Подписи под документом в присутствии президента Российской Федерации Владимира Путина и председателя Государственного административного совета, премьер-министра Республики Союз Мьянма, старшего генерала Мин Аун Хлайна поставили генеральный директор госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев и союзный министр науки и технологий Республики Союз Мьянма доктор Мьо Тейн Чжо.

18 м/мин

скорость специализированного подъемника для ВЭУ

при грузоподъемности 240 кг. В 2025 году в рамках контракта между АО «Росатом Возобновляемая энергия» и АО «Щербинский лифтостроительный завод» (АО «ЩЛЗ») будет изготовлено 100 таких подъемников, которые предназначены для обслуживающего персонала и перемещения грузов внутри ветроэнергетических установок.

«Применение локализованных в России технологий является неотъемлемой частью программы развития АО «Росатом Возобновляемая энергия». Уникальное оборудование, производимое АО «ЩЛЗ», — это еще один стратегически важный шаг в рамках реализации задачи по углублению локализации в России, позволяющий не только оптимизировать затраты, но и создавать продукцию, наиболее соответствующую потребностям рынка ВИЭ», — подчеркнул генеральный директор АО «Росатом Возобновляемая энергия» Григорий Назаров.

8 тыс. т

урана и 40 т молибдена

оценка запасов Широндукуйского месторождения в Забайкальском крае. ПАО «ППГХО им. Е. П. Славского», предприятие Горнорудного дивизиона «Росатома», стало победителем аукциона на получение лицензии на право пользования Широндукуйским месторождением урана, который был объявлен в декабре 2024 года. Месторождение расположено в 8 км от города Краснокаменска и является частью Стрельцовского рудного поля, которое разрабатывает ППГХО с 1967 года.

«Получение лицензии на освоение новых месторождений создает основу для устойчивого развития ППГХО на годы вперед. Это снижает риски зависимости от отдельных участков и позволяет гибко планировать добычу на основе рыночных условий и потребностей отрасли», — отметил генеральный директор ПАО «ППГХО» Иван Киселев.

