

Запутанность на перспективном рынке

**Когда квантовые
компьютеры принесут
\$1 трлн?**

- ▶ Сектор квантовых вычислений, а также квантовые сенсоры и системы защиты данных получают рекордные объемы финансирования, однако темпы роста вложений замедляются.
- ▶ На конец 2023 года не были продемонстрированы функциональные квантовые вычислительные системы, которые могут полностью реализовать теоретический потенциал квантовых компьютеров.
- ▶ Появление новых инженерных подходов к решению сложностей, стоящих на пути реализации практически ценных квантовых компьютеров, вызвало новую волну интереса к отрасли. Однако объем венчурных инвестиций в США начал снижаться, в то время как государственная поддержка этого направления в КНР продолжает увеличиваться.
- ▶ К практическому применению из квантовых технологий готовы только системы защиты данных, которые могут гарантировать надежную передачу информации и отсутствие вмешательства в работу телекоммуникационных систем, а также некоторые виды высокочувствительных квантовых сенсоров.

Классический подход против квантового

В классических вычислениях фундаментальной единицей информации являются биты, которые могут представлять одно из двух состояний: 0 или 1. Они являются кирпичиками классических компьютеров, которые последовательно обрабатываются с помощью логических элементов.

Ключевые характеристики классических вычислений

- Двоичное представление
- Детерминизм
- Последовательность операций

Источник: Bova et al. EPJ Quantum Technology, Commercial applications of quantum computing

Квантовые вычисления основаны на радикально ином подходе к обработке информации. В них используются квантовые биты или кубиты, которые могут принимать потенциально бесконечное количество состояний и даже существовать в нескольких состояниях одновременно благодаря принципам суперпозиции и запутанности. Эта уникальная функция позволяет квантовым компьютерам выполнять сложные вычисления экспоненциально быстрее, чем классические компьютеры.

Ключевые характеристики квантовых вычислений

- Суперпозиция
- Запутанность
- Вероятность

Источник: Bova et al. EPJ Quantum Technology, Commercial applications of quantum computing

Самое серьезное ускорение получает класс комбинаторных задач, которые часто встречаются в криптографии, химии, материаловедении и финансах. Многие из этих задач остаются недоступными для классических компьютеров, поскольку число возможных перестановок часто возрастает до такой степени, что на их оценку могли бы уйти тысячи или миллионы лет, если бы каждая возможность оценивалась последовательно. При квантовом подходе не нужно перебирать варианты один за одним, а можно оценивать их сразу одновременно. Это свойство квантовых компьютеров принято называть «квантовым превосходством» (quantum supremacy). Но пока ни одна компания в мире не смогла создать квантовое вычислительное устройство, которое обладало бы достаточным количеством стабильных кубитов для совершения практически значимых расчетов.

Квантовые технологии включают в себя не только вычисления, но и квантовые сенсоры, которые способны с большой чувствительностью определять спектры электромагнитного излучения и химические вещества, а также квантовые системы для шифрования данных и гарантирования их безопасной передачи.

Финансирование квантовых технологий

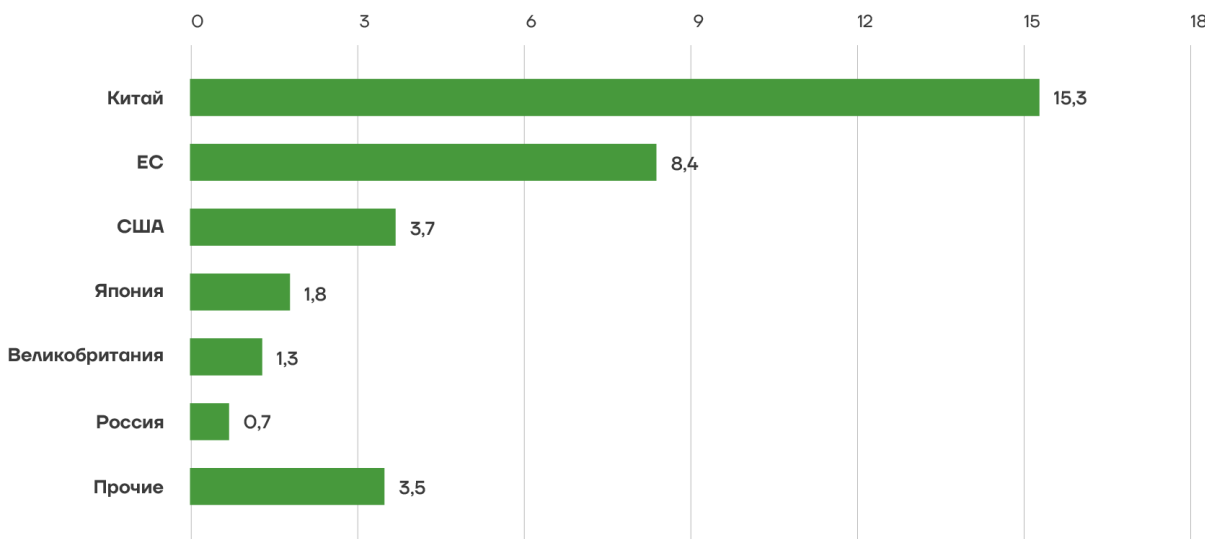
Перспективное направление квантовых вычислений финансируется по частным и государственным каналам. Распределение этих двух источников средств отличается от страны к стране. В КНР большинство исследований поддерживается за счет бюджетных средств. Правительство Китая за последние 15 лет потратило на это больше, чем было совокупно выделено из бюджетов ЕС, США и Японии за тот же период. Объемы финансирования квантовых технологий в Китае, включая вычисления, сенсоры и телекоммуникационное оборудование, в текущую пятилетку (2021-2025 годы) составят около 15 млрд долл.

В январе 2021 года китайские ученые создали квантовую телекоммуникационную сеть, объединяющую 700 оптоволоконных и два наземно-спутниковых канала, и реализовали распределение квантовых ключей между более чем 150 пользователями на общем расстоянии 4600 километров. В 2022 году команда китайских исследователей объявила, что взломала 48-битный код шифрования RSA

с помощью 10-кубитной гибридной квантовой вычислительной системы, и выразила уверенность, что потенциально может сделать то же самое для 2048-битного кода.

Суммарный объем государственных инвестиций в квантовые технологии

Млрд долл.



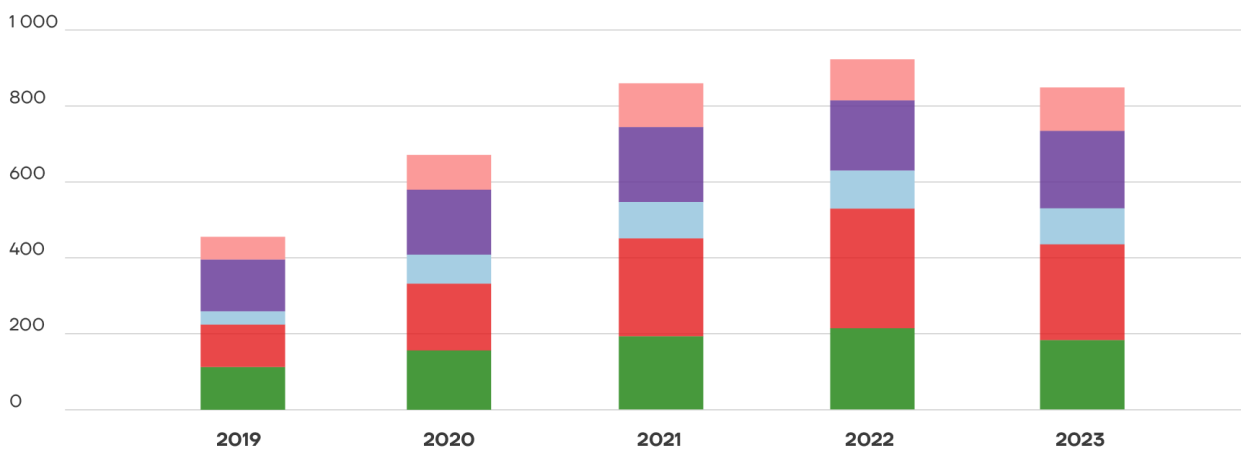
Данные: Quantum Technology Monitor 2023

По данным Международной организации интеллектуальной собственности (WIPO), в 2022 году 52% патентов, связанных с квантовыми технологиями, были выданы китайским исследователям. Однако это не означает, что на Западе не интересуются квантовыми технологиями.

Инвестиции в квантовые технологии

Млн долл.

■ Квантовые датчики
 ■ Квантовые вычисления
 ■ Квантовые коммуникации
 ■ Продвинутое квантовые технологии
 ■ Базовые квантовые технологии

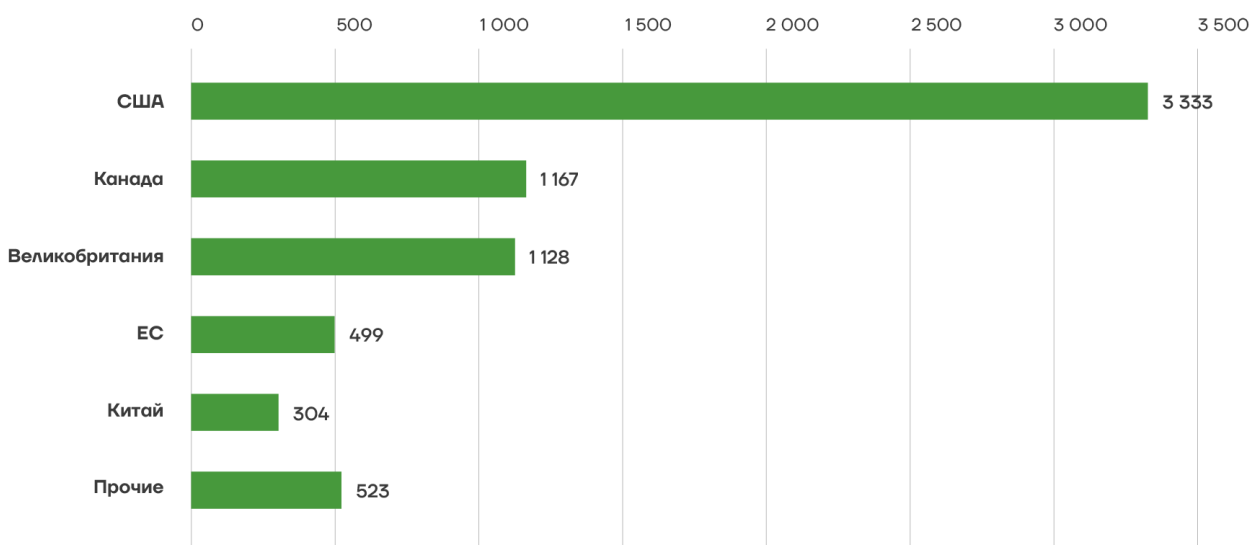


Данные: Center for Data Innovation

В США действует государственная программа поддержки исследований в сфере квантовых технологий с объемом финансирования около 1 млрд долл. ежегодно. Она предусматривает финансирование тематических исследований в научно-исследовательских центрах Минэнерго США, включая Брукхейвенскую, Аргонскую, Ок-Риджскую и другие национальные лаборатории. Они служат площадками, на которых студенты и аспиранты могут проходить практику и проводить эксперименты.

Объем частных инвестиций в квантовые стартапы по странам

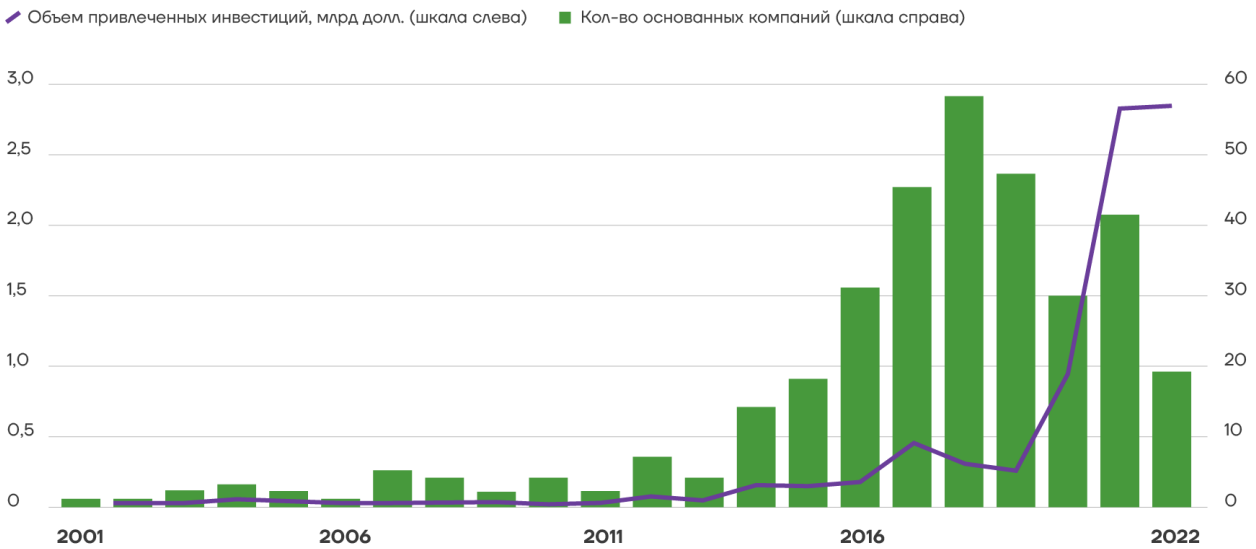
2001-2022, млн долл.



Данные: ICV Thinktank

В США, Канаде и Великобритании гораздо больше средств поступает из частных источников. Это, в первую очередь, инвестиции в стартапы и финансирование научно-исследовательских разработок внутри крупных компаний. Причем последние 5 лет количество новых стартапов сокращается. По мнению аналитиков McKinsey, это происходит по следующим причинам. Во-первых, несмотря на наличие базы, где можно готовить молодых специалистов в сфере квантовых технологий, фактически все более-менее опытные кадры уже задействованы в той или иной компании. Во-вторых, пока что существует мало рабочих вариантов использования квантовых технологий, то есть они недостаточно разработаны для коммерческой реализации. В-третьих, инвесторы с большей охотой подключаются к финансированию на этапе масштабирования компании, а не на ранних этапах создания продукта или услуги. Эти факторы привели к тому, что за последние два года объем инвестиций в стартапы практически не изменился и находится на уровне около 2,3 млрд долл. в год.

Объем инвестиций и кол-во новых стартапов в сфере квантовых технологий в США



Данные: Crunchbase, Pitchbook

В России поддержку развитию технологий квантовых вычислений осуществляет федеральный проект «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Дорожную карту развития высокотехнологичной отрасли «Квантовые вычисления» подготовили специалисты госкорпорации «Росатом», с которыми сотрудничают 15 ведущих научно-исследовательских центров и вузов России.

Также важную роль играет Российский квантовый центр (РКЦ), на базе которого уже сформировалось несколько стартапов по основным направлениям квантовых технологий. В июне 2022 года Газпромбанк инвестировал 33 млн руб. в компанию QLU, выделившуюся из РКЦ. С 2016 года суммарные вложения Газпромбанка в проект превысили 1 млн долл. Средства идут на создание лабораторного прототипа магнитоэнцефалографа – прибора, который является одним из самых эффективных устройств для исследования эпилепсии, опухолей мозга и реакции на боль. Устройство построено на основе квантовых сенсоров, способных детектировать минимальные изменения электромагнитного поля, которые возникают при работе нейронов головного мозга.

Компания QApp ведет разработки в области постквантового шифрования. То есть она создает программные решения, которые способны противостоять дешифровке даже с помощью квантовых компьютеров. Стартап в 2022 году получил сертификаты совместимости с процессорами «Байкал» и «Эльбрус».

Стартап QBoard создал облачную платформу для квантовых вычислений, к которой могут получить доступ компании для решения других задач. В октябре 2022 года с помощью гибридной вычислительной системы стартапа провели моделирование

взаимодействия нескольких молекул, которые участвуют в процессах окисления угарного газа.

Компания QSpace занимается разработкой систем квантовой криптографии, которые можно применять в сфере спутниковой связи. Совместно с оборудованием еще одного стартапа из РКЦ — QRate, который производит системы распределения квантовых ключей для защиты оптоволоконной связи, в будущем можно будет построить интегрированную квантовую сеть передачи данных, аналогичную той, что была протестирована в Китае.

Сферы применения

Экономический эффект от применения квантовых вычислений будет зависеть от того, насколько ускорится поиск оптимальных решений для различных отраслевых задач. Временной и, следовательно, экономический выигрыш, в свою очередь, зависит от трех факторов: сложности алгоритма, времени исполнения и размера проблемы.

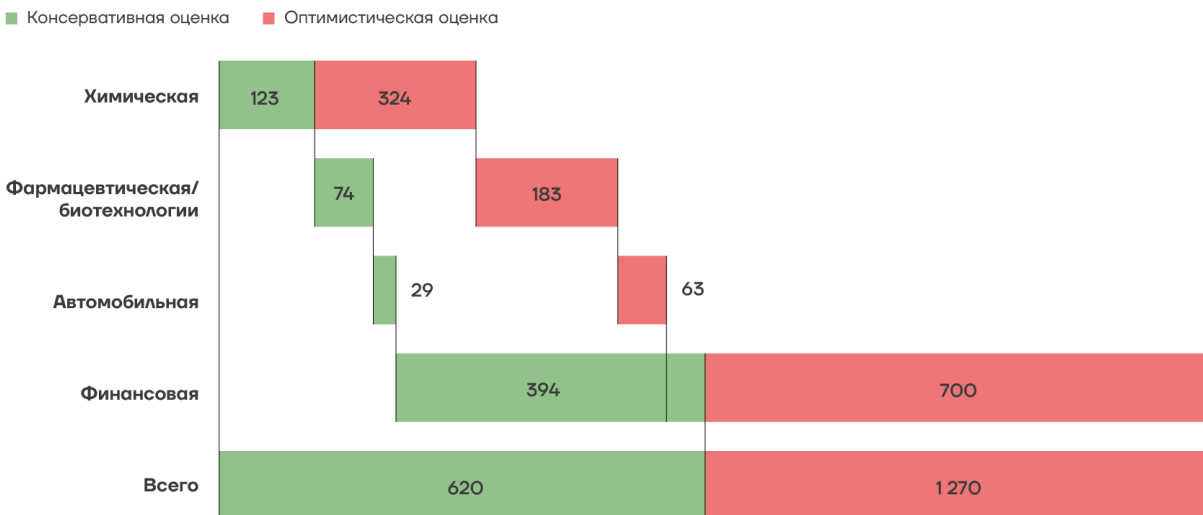
В корне отличная друг от друга природа классических и квантовых алгоритмов приводит к вычислительным преимуществам и недостаткам в различных задачах. Для определенных задач квантовые алгоритмы могут быть полиномиально или экспоненциально менее сложными, чем классический алгоритм. То есть квантовые компьютеры могут быть лишь немногим быстрее, чем классические, или на порядки быстрее. Общее время вычислений сильно зависит от особенностей применяемого оборудования (например, от скорости переключения логических вентилях или механизма загрузки данных), используемого в классических вычислениях и квантовых компьютерах. Первое время квантовые компьютеры будут медленнее в таких сферах как ввод и вывод данных, чем классические, технологии которых оттачиваются уже более 70 лет.

Практичность применения квантового алгоритма также зависит от размера задачи. Если проблема слишком мала, то ускорение не будет достаточно значительным, чтобы оказать значимый экономический эффект. А если задача слишком объемная, то даже с учетом квантового превосходства время на ее решение будет слишком большим, чтобы применять его на практике. В ближайшее время, пока не появятся квантовые компьютеры с высокой стабильностью кубитов и возможностью проводить вычисления на тысячах из них, самым выгодным будет гибридный подход: большую часть задачи будут решать на классических суперкомпьютерах, а квантовые станут подключать только там, где без них точно не обойтись. Лучшее всего поддаются решению в рамках гибридного подхода три вида задач. Во-первых, проблемы, связанные с точным расчетом поведения определенного набора атомов, например, прогнозирование поведения электронных структур или молекулярная динамика. Во-вторых, задачи по тренировке моделей в сфере

машинного обучения, где требуются большие объемы вычислений для определения весов узлов нейросетей. В-третьих, задачи по оптимизации, то есть максимизация или минимизация целевого параметра в зависимости от тысяч и более входящих параметров.

Экономический эффект от квантовых технологий по отраслям к 2035 году

Млрд долл., по отраслям



Данные: McKinsey

Таких задач больше всего в сфере финансов, биотехнологий и фармацевтики, химической промышленности. Именно в этих сферах эксперты McKinsey ожидают самого серьезного экономического эффекта от внедрения квантовых вычислений, размер которого, в общей сложности, может приблизиться к 1,3 трлн долл. к 2035 году. Больше всего задач на оптимизацию и машинное обучение встречается в финансовой сфере, где ожидают самого заметного эффекта от внедрения квантовых компьютеров, который может достичь 700 млрд долл.

Финансовый сектор, по оценкам аналитиков Deloitte, будет в ближайшие 10 лет основным покупателем оборудования и услуг, связанных с квантовыми вычислениями. Ожидается, что в глобальном масштабе расходы индустрии финансовых услуг на квантовые вычисления вырастут в 233 раза с 80 млн долл. в 2022 году до 19 млрд долл. в 2032 году, при этом среднегодовой темп роста за 10 лет составит 72%.

Ожидается, что Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) подготовит руководства по постквантовой криптографии и опубликует их в 2024 году. Это послужит основой для регуляторного обязательства на переход к новым видам криптографии в финансовой сфере, стойкой против квантовых компьютеров. Возможно, придется перешифровать всю конфиденциальную информацию, чтобы соответствовать новым требованиям. Нормативные правила квантовой эпохи

потребуется значительных инвестиций в оборудование, программное обеспечение, средства связи и инфраструктуру.

Прогноз инвестиций в квантовые вычисления в финансовом секторе

Млн долл.



Данные: Deloitte

Компании финансового сектора также будут использовать квантовые вычисления для улучшения своей работы. В частности они найдут применение при моделировании рыночных условий методом Монте-Карло, оптимизациях портфеля, минимизации рисков и расчетах котировок производных финансовых инструментов. Банки и страховые компании также смогут использовать возможности квантовых компьютеров для повышения качества обслуживания клиентов. Например, благодаря обработке входящих данных и паттернов поведения клиентов для прогнозирования их потребностей практически в режиме реального времени.

Использование преимуществ квантовых вычислений потребует иных знаний и навыков, чем те, которые необходимы для программирования и проектирования традиционных ИТ-систем. Поэтому несколько финансовых компаний, в том числе Goldman Sachs, JPMorgan Chase, HSBC и Barclays, уже начали формировать команды для определения круга проблем, которые можно решать с помощью квантовых компьютеров, и для создания необходимых алгоритмов, которые могут пригодиться в ближайшее десятилетие.

Создание алгоритмов для квантовых вычислений пока больше происходит в теории, а не на практике. Так как систем с достаточным для решения сложных задач количеством стабильных помехоустойчивых кубитов пока нет в коммерческом производстве, разработка квантовых алгоритмов происходит зачастую с использованием симуляторов — программ для классических компьютеров, которые имитируют работу квантовых.

Выводы

- Инвестиции в квантовые вычисления продолжают поступать, однако темпы притока средств в стартапы в США и Европе замедлились. Китай и Россия сохраняют финансирование перспективного направления.
- Квантовые вычисления открывают для российских компаний перспективы стать ведущими игроками в этой отрасли, так как индустрия только формируется, а единые стандарты пока не сложились.
- Квантовые компьютеры в обозримом будущем останутся инструментом для бизнеса и не будут выпускаться массово. На них можно получать преимущество при решении ограниченного круга задач, связанных с симуляцией химических процессов, оптимизацией финансовых портфелей, обработке логистических задач.
- В России, наряду с финансовыми компаниями, спрос на квантовые вычисления и сопутствующие технологии может формировать нефтегазовый сектор, который испытывает потребность в решении оптимизационных задач. Отталкиваясь от заявлений европейских энергетических компаний и решения Saudi Aramco создать квантовый инновационный кластер, можно предположить, что отечественные нефтегазовые компании могли бы сформировать спрос на квантовые вычислительные технологии на 200 млрд руб. в течение ближайших 10 лет.