



Заменят ли квантовые компьютеры классические, и есть ли альтернатива параллельным вычислениям?

Одним из наиболее динамически развивающихся направлений техники стали современные квантовые технологии, основные сферы развития которых: квантовая обработка информации, квантовая криптография, квантовая метрология и квантовая сенсорика. Рынки зрелых квантовых приложений (оптические волокна, лазеры, магнитно-резонансная томография (МРТ) и GPS-устройства) – это крупные устоявшиеся рынки объемом около 100 млрд. долл. США с привлекательными темпами роста ~10%. Но уйдем от этих рынков в сторону ожидаемого прорыва в создании квантовых компьютеров.

Ключевые слова: квантовые технологии, квантовые компьютеры, квантовое зондирование, квантовая криптография, квантовая инерциальная навигация и гравиметрия

Will Quantum Computers Replace Classic, and is There an Alternative to Parallel Computers?

One of the most dynamically developing areas of technology has become modern quantum technologies, the main areas of development of which are: quantum information processing, quantum cryptography, quantum metrology and quantum sensorics. The mature quantum applications markets (optical fibers, lasers, magnetic resonance imaging (MRI) and GPS devices) are large, established markets of around US \$ 100 billion with attractive growth rates of ~ 10%. But let's move away from these markets towards the expected breakthrough in the creation of quantum computers.

Keywords: Quantum technologies, Quantum computers, Quantum sensing, Quantum cryptography, Quantum inertial navigation and gravimetry

При разработке квантовых компьютеров возникает множество нерешенных проблем, и среди них сложность привлечения финансовых ресурсов на этапе внедрения инновационных разработок из-за высокой стоимости коммерциализации инновации и продолжительности срока окупаемости. Рассматривая особенности инновационных процессов, обратим внимание на начальный этап процесса трансфера технологий – идентификацию потребности в технологии. При этом, когда речь идет о квантовых компьютерах, как-то замалчивается тот факт, что квантовые компьютеры позволяют решать ограниченный специальный класс задач при осуществлении коммерциализации инноваций.

Исследования квантовых вычислений проводят в лабораториях США, ЕС, России и Китая последние три десятка лет. В свою активную фазу они вошли в тот момент, когда электрон-

ные технологии, на которых основаны современные суперкомпьютеры, приблизились к физическому пределу. Исследования показывают, что в ряде задач, связанных с информационной безопасностью, моделированием материалов и химических веществ, квантовые компьютеры могут быть во много раз эффективнее, чем классические компьютеры. Но некоторые ожидания опережают реальность, и для создания настоящего крупномасштабного квантового компьютера общего назначения потребуется больше времени, исследований и инноваций.

Насколько целесообразно для России интенсивно включаться в международную гонку квантового компьютеринга, на которую страна будет тратить около половины всего своего бюджета на науку, причем с весьма непонятным результатом в конце? Результаты таких инвестиций не видны и требуют значительных научных и финансовых

усилий. Эксперты должны быть в состоянии спрогнозировать размеры рынка для приложений, которые едва ли являются коммерческими, и понять научные предложения, которые еще не являются стандартными.

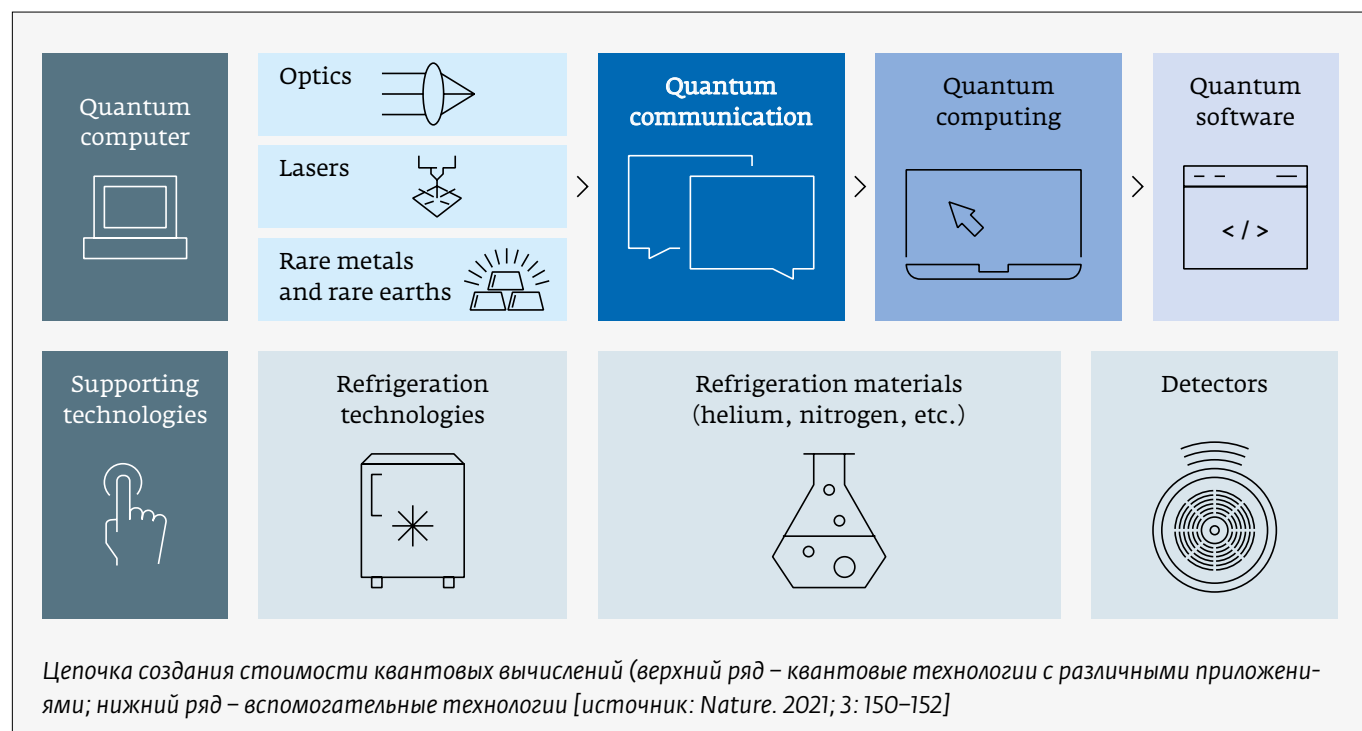
Еще совсем недавно слова о том, что все крупные открытия ждут нас в нанотехнологиях, неслись из каждого утюга и чайника. Теперь с той же мощью убеждения со всех ТВ-экранов и страниц коммерческих изданий журналисты радостно сообщают о том, что «не за горами» создание квантовых компьютеров. Но смогут ли квантовые компьютеры стать заменой классическим компьютерам и есть ли альтернатива параллельным вычислениям? Такой вопрос поставил в центр своего доклада д. ф. - м. н. Виктор Задков, директор Института спектроскопии РАН (ИСАН), выступая 8 июня 2021 перед специалистами Отделения физических наук РАН (<https://www.photonics.su/news/9771>).

Пока решения задачи создания квантовых кодов коррекции ошибок не видны, и не определена лидирующая на сегодняшний день физическая платформа для разработки квантовых компьютеров и квантовых симуляторов, инвестиции в них рискованны. Виктор Задков предлагает альтернативную парадигму создания в России цифровой элементной базы и технологий для производства сверхпроводниковой быстрой одно-квантовой логики (RSFQ), когда роль бита клас-

сической информации играет флукс электронов, проскакивающий через узкую щель сверхпроводящего металлического колечка.

Работоспособность цифровых чипов, построенных по такой технологии, была продемонстрирована еще в 80-е годы в СССР по предложению Лихарева и Кошельца. Уже в 2010 году RSFQ-чипы имели тактовую частоту вплоть до 1 ГГц, а потребление энергии составляло лишь доли пДж. Сами устройства нашли широкое применение за рубежом в спецтехнике. В то же время был разработан проект персонального терафлопного суперкомпьютера на основе RSFQ-чипов стоимостью в 100 тыс. долларов США и потребляемой мощностью в 1 кВт! При этом технологии производства таких чипов не требуют нанометрового разрешения, а сам компьютер не требует для своей работы создания отдельной электростанции и огромного комплекса охлаждения для утилизации рассеянной энергии.

Такие технологии вполне могли бы стать основой производимых в России мощных вычислительных устройств, отличных по своей парадигме элементной базы и программному обеспечению от тех, что активно продвигаются за рубежом. Потенциал предлагаемых устройств выше по скорости работы и по потреблению энергии на несколько порядков. При этом сами компьютеры остаются линейными. Это особенно важно, поскольку большин-





ство задач для численных расчетов не могут быть распараллелены.

Для организации цепочки создания стоимости при создании инновационных продуктов требуется определить базовые технологии. Интересные предложения для потенциальных инвесторов сделали авторы статьи «Как получить прибыль от квантовых технологий без создания квантовых компьютеров», которая недавно была опубликована в журнале *Nature* [D. Green, H. Soller, Y. Oreg, V. Galitski. How to profit from quantum technology without building quantum computers. *Nature*. 2021; 3: 150–152]. Авторы объясняют риск финансовых вложений в устройства с высокой неопределенностью выхода на рынок, приводя лаконичные примеры сложности квантовых вычислений (ограниченный набор квантовых алгоритмов; необходимость подхода к исправлению ошибок, включающего множество избыточных физических кубитов для каждого логического кубита, являющегося частью фактического вычисления). Например, практическое квантовое вычисление требует порядка 1000 логических кубитов, но для их поддержки требуется 1000 000 физических кубитов (современное состояние техники достигло существования в одном устройстве 53 физических кубитов).

Материал написан для менеджеров, а не для специалистов-физиков. В статье внимание потенциальных инвесторов акцентировано на риске инвестиций в новые квантовые технологии, основанные на создании и манипулировании отдельными квантовыми состояниями. В ней объясняется, что инвесторам кажется, что вложения в программное обеспечение – это более дешевая инвестиция, чем аппаратное обеспечение, поэтому целые научно-исследовательские отделы компаний и их высшее руководство ухватились за возможность инвестировать непосредственно в квантовые вычисления. Однако, учитывая, что неясно, какое оборудование будет работать в конечном итоге, эти инвестиции в программное обеспечение рискованны. Результаты таких инвестиций могут не быть видны в течение многих лет и потребуют значительных научных и финансовых усилий. Если у компании нет необходимого опыта, ресурсов или четкой стратегии выхода, этот подход следует использовать с осторожностью.

Практическая задача, в решении которой использование квантового компьютера может дать выигрыш, – это квантовая криптография. Применение квантовой криптографии ограничено спецификой защиты данных в отраслях, чувствительных к их утечке, например в банковском деле.

Рынок устройств квантовой криптографии только зарождается (при ~100 млн. долл. США он привлекает своими темпами роста, прогнозируемыми на уровне ~25%). Инвестиции в такие технологии являются менее рискованными.

Коммерческие системы квантового распределения ключей (QKD) уже представлены на рынке. Безопасность QKD зависит от распределения состояний одиночных фотонов, которые не могут быть усилены или скопированы. В настоящее время это ограничивает доступность QKD на больших расстояниях при практических скоростях передачи данных для телекоммуникаций. Но встают препятствия для развертывания QKD на расстояниях ~100 км и более, хотя на горизонте появилась новая технология квантовых ретрансляторов, которые могут снести эту преграду в виде ограничений на расстояние передачи. QKD играет центральную роль в национальной безопасности, поэтому политика правительства будет основным фактором государственных инвестиций в квантовую связь.

Поэтому авторы статьи предлагают варианты инвестиций с более низким риском. Они предлагают венчурным компаниям и крупным финансовым группам инвестировать в те квантовые технологии, которые находятся на пороге коммерциализации. Это квантовое зондирование, инерциальная навигация и гравиметрия и квантовое моделирование. Сегодня эти рынки являются нишевыми, но обещают привлекательные темпы роста. Квантовое моделирование использует квантовые системы для эмуляции цифровым или аналоговым способом других квантовых систем. Оно может быть полезным для определения электронной структуры небольших квантовых систем (таких как молекулы). Это ключевая проблема в квантовой химии, имеющая отношение к различным промышленным процессам и приложениям, и ее трудно решить на классических компьютерах. Область роста – открытие лекарств, где аналоговое квантовое моделирование может пригодиться при разработке лекарств.

Квантовое зондирование подходит для выполнения измерений, которые являются более точными, чем достижимые обычными устройствами. Возможно, одним из наиболее перспективных кандидатов на квантовое зондирование является использование центров азотвакансии (NV) в алмазе. NV-центры могут использоваться в качестве чувствительного зонда магнитных и электрических полей, температуры и деформации.

Квантовую инерциальную навигацию и гравиметрию предполагается использовать в решении

практических задач, когда эксплуатация коммерческих GPS-устройств невозможна или нежелательна. В этом случае системы инерциальной навигации могут базироваться на квантовой чувствительности двухлучевого атомного интерферометра к локальному ускорению. Совсем недавно, 09 июня 2021 года, академик РАН Е. Б. Александров (ФТИ им. А. Ф. Иоффе) и д. ф.-м. н. В. С. Запасский (С-ПбГУ) получили Государственную премию Российской Федерации за работы в области создания методов высокоточного измерения с помощью уникальных по чувствительности и быстродей-

ствию приборов на основе интерференции атомных состояний.

Та же технология может быть использована для измерения силы тяжести. Локальные гравитационные флуктуации коррелируют с залежами полезных ископаемых, эндогенными и экзогенными событиями в атмосфере и литосфере и могут быть использованы в геофизических задачах, а также при создании гравитационной карты Земли для эксплуатации спутников.

Н. Л. Истомина, www.photonics.ru

Отечественные технологии лазерной наплавки и формообразования для производства и ремонта изделий в машиностроении

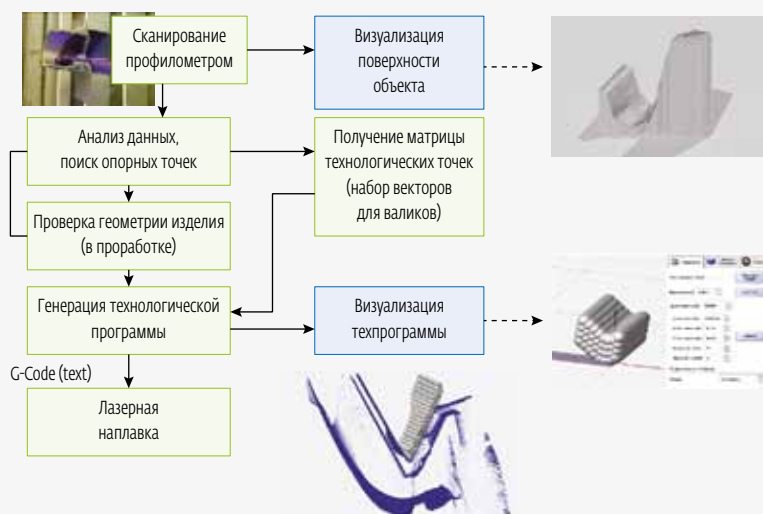


В последнее время аддитивные технологии заняли прочную и устойчивую позицию в производстве изделий из металлов. Одним из наиболее перспективных направлений применения аддитивных технологий в промышленности является метод DMD – прямое осаждение металлопорошка на подплавленную основу и его дальнейшее локальное сплавление. Такая технология уже широко применяется для лазерной наплавки и формообразования при изготовлении деталей сложной формы. Помимо этого, технология также весьма востребована для ремонта, восстановления или модернизации деталей, производство которых «с нуля» дорого или занимает много времени. В 2017 году была отработана технология прямой порошковой наплавки и создана промышленная DMD-установка МЛ7-1. Объем и количество наплавляемого материала в данном случае визуально определяются оператором установки.

В 2019-2021 годах ГК «Лазеры и аппаратура» совместно с ПАО «ОДК-Сатурн» (г.Рыбинск) разработала DMD-систему МЛ7-2 для наплавки термоупрочняющего слоя на детали при изготовлении рабочих лопаток турбинных двигателей. Цикл наплавки на одну деталь составляет по требованиям технического задания 4–8 минут. Для точного сканирования поверхности, построения рабочей области, формирования траектории наплавки и автоматического наложения слоев металлопорошка была разработана система технического зрения и программное обеспечение, автоматически определяющее объем и количество наплавляемого порошка. Эти разработки дали возможность производить лазерные машины для многопозиционной наплавки.

Д. Л. Сапрыкин, директор по развитию ГК «Лазеры и аппаратура»

Алгоритм работы ПО системы лазерной наплавки



Основные этапы алгоритма работы ПО

- Сканирование точек поверхности объекта с использованием профилометра, синхронизация получения данных профилометра с движением координатной системы станка.
- Анализ данных, полученных с профилометра, поиск опорных точек объекта, отображение полученных данных на визуальной сцене ПО.
- Анализ геометрии изделия на основе размеров между опорными точками. Запрос на повторное сканирование при значительных отклонениях.
- Генерация технологической программы наплавки области по данным, полученным с профилометра, с учетом технологических параметров и стратегий заполнения.
- Лазерная наплавка.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1430 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1430 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosfera.ru



Стоимость 1056 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.firstmile.ru



Стоимость 1287 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1716 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru