

ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ

Жуковский Г. Н., Кузьмицкий М. И., студенты группы 468402

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Храмович Е.М. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе рассматриваются инновации в области квантовых процессоров, будущие области применения квантовых компьютеров и их будущее развитие.

В эпоху стремительного технологического прогресса квантовые процессоры являются одним из наиболее революционных направлений, обещающее переопределить границы вычислительных возможностей и расширить наши познания о мире. В отличие от классических компьютеров, опирающихся на биты, квантовые процессоры используют кубиты, способные существовать в суперпозиции состояний и запутываться между собой. Это позволяет им решать задачи, недоступные даже самым мощным суперкомпьютерам: от моделирования сложных молекулярных структур до оптимизации глобальных логистических систем и взлома современных криптографических алгоритмов. Благодаря этим качествам квантового компьютера важно знать новейшие инновации, которые могут привести к прорыву в сфере квантовых вычислений.

8 августа 2022 года группа японских учёных под руководством профессора Кёдзи Омори создала самый быстрый двухкубитный логический вентиль в мире (логические вентили — основа любого процессора). На одну логическую операцию он тратит 6.5 наносекунд [1]. Обычный же квантовый логический вентиль тратит ~150 микросекунд на одну операцию. Такое быстродействие исключает возникновение ошибок из-за внешних шумов, так как они просто не успевают воздействовать на кубиты.

19 февраля 2025 года компания Microsoft анонсировала создание процессора «Majorana 1», который использует совершенно новую технологию производства квантовых процессоров [2]. Для производства используют майорана-кубиты, основанные на майорановских фермионах, которые устойчивы к шумам внешней среды, что позволяет свести количество ошибок к минимуму, и топологический — совершенно инновационный материал, который позволяет создавать и контролировать майорана-кубиты.

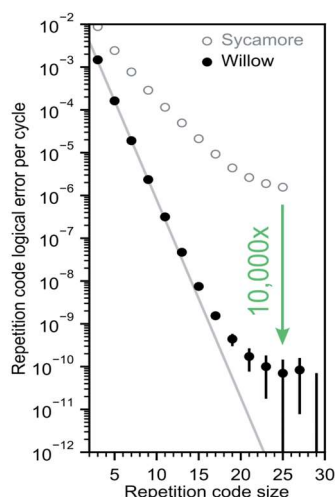


Рисунок 1 — Соотношение количества ошибок с размером корректирующего кода

9 декабря 2024 компания Google создала Willow — чип, в котором количество ошибок уменьшается с ростом количества кубитов [3], благодаря кодам, которые они называют «Repetition codes». На рисунке 1 Google сравнивают свой новейший процессор Willow (черные кружки) с процессором предыдущего поколения Sycamore (серые кружки). Как видно на данном рисунке в процессоре Willow ошибок стало в 10000 раз меньше по сравнению с предыдущим поколением, но Google нашли лимит длины корректирующего кода, при котором количество ошибок не уменьшается, и даже наоборот, может увеличиваться.

15 июня 2023 года Intel предоставили свой экспериментальный чип «Tunnel Falls» различным университетам и лабораториям, которые занимаются различными исследованиями в

области квантовых вычислений. В Intel утверждают, что кубиты, основанные на «спинах» превосходят любые иные типы кубитов, так как их размеры сопоставимы с размерами транзисторов в современных компьютерах, что упрощает расширение количества кубитов не изменяя размера чипа [4].

Области применения квантового вычисления безграничны. Например моделирование материалов. Квантовый компьютер сможет смоделировать материал, который, к примеру имеет свойство самовосстановления и сделает это в несколько тысяч раз быстрее чем суперкомпьютер. Пока что реализован алгоритм VQE в котором, квантовый компьютер работает в связке с классическим. Правда, удалось его реализовать только для небольших молекул, по типу молекулы водорода или гидрита лития.

С помощью квантовых компьютеров кибербезопасность радикально изменится. Системы безопасности которые существуют сейчас станут бессильны перед скоростью вычислений квантового компьютера. Взлом RSA-ключа, состоящего из 1024 бит, займет миллионы лет непрерывных вычислений на классических компьютерах, тогда как на квантовом компьютере эта задача будет решена за ~10 часов. Но благодаря квантовым компьютерам также станет возможным создать абсолютно новые системы безопасности и генерации ключей, которые будут защищены от «квантовых» атак. Примеры систем, теоретически защищенных от таких атак это QKD и Post-Quantum Cryptography.

Машинное обучение упростится с появлением промышленных квантовых компьютеров. За один слой нейросети будет отвечать всего одна схема VQC, что упростит обучение нейросетей. Схема VQC берет один параметр и с помощью манипуляций с кубитом выдает уже преобразованное значение. Пример использования подобной схемы это алгоритм VQE, который используют в моделировании материалов.

Развитие в области квантовых коммуникаций позволит данным быть защищенными физически с помощью того, что каналы для передачи сигнала будут отправлять единичные фотоны, а не пучки. Что сделает невозможным перехват сигнала. Благодаря свойству кубита изменять своё состояние в зависимости от того измеряют их или нет, обнаружить нарушителя будет очень легко.

Исследования в области квантовых коммуникаций уже применяются на практике или проходят полевые испытания например в Сбербанке или Huawei [5].

Также квантовые компьютеры смогут помочь с моделированием свёртывания белков в медицине и биофизике, а также в изучении физики фундаментальных частиц.

Некоторые компании уже применяли квантовые компьютеры для того, чтобы показать на что они способны. Например компания Google совместно с NASA и USRA использовал свой 53-кубитный квантовый компьютер Sycamore для моделирования химической реакции водорода с нитрогеназой – ферментом, который участвует в фиксации азота в почве [6]. Также Microsoft совместно с Case Western Reserve University использовал свою платформу Azure Quantum для обработки медицинских изображений с помощью квантового машинного обучения [6].

Будущее развитие квантовых компьютеров уже предопределено. Большинство компаний будут стремиться к увеличению количества кубитов, параллельно уменьшая количество ошибок в операциях, и созданию рабочих квантовых компьютеров, способных на решение ресурсоёмких задач, для решения которых самым мощным суперкомпьютерам на данный момент потребовалось бы слишком большое количество времени. Например IBM стремится к 2029 году сделать полностью рабочий квантовый компьютер с 200 кубитами, а к 2033 году – квантовый компьютер с 1000 кубитов.

Google приблизительных дат не указывают, но в этом году хотят создать кубит, который может выполнить свыше 1000000 операций без единой ошибки.

Microsoft не предлагают никаких дат, следующая цель у них повысить «качество» своих кубитов, перед тем как создать мультикубитную систему. Их финальная цель это создание квантового суперкомпьютера, который будет выполнять от 1 миллиона «надежных» квантовых операций в секунду (rQops/sec) до ста миллионов. «reliable quantum operations per second» [7] – это метрика, созданная Microsoft для оценки общей производительности квантового компьютера, а не его кубитов. Самая схожая метрика производительности для классических компьютеров – FLOPS (floating point operations per second).

Исходя из вышеперечисленного можно смело заявить, что развитие квантовых вычислений приведет к настоящему прорыву в разных сферах жизни, начиная от новых материалов и медикаментов, заканчивая прорывом в области межзвездных путешествий, физики элементарных частиц. Также, благодаря квантовым вычислениям мы сможем создать (или по крайней мере симулировать) человеческое сознание, что в свою очередь выведет искусственный интеллект на новый уровень. Но, к сожалению, до того момента как квантовые компьютеры смогут решать подобные задачи пройдет ещё не одно десятилетие. На пути к таким мощным компьютерам инженерам и учёным предстоит решить много проблем, например такие как изоляция кубитов от шумов внешней среды, чтобы не возникало большого количества ошибок и неустойчивость самих кубитов. Это проблемы которые мы знаем, но на нашем пути к квантовому превосходству над классическими компьютерами могут возникнуть ещё проблемы, которых мы не предполагаем.

Список использованных источников:

1. Breakthrough for the realization of ultrafast quantum computers: the world's fastest 2-Qubit gate between two single atoms [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ims.ac.jp/en/news/2022/08/0809.html>. Дата доступа: 04.04.2025.
2. Microsoft unveils Majorana 1, the world's first quantum processor powered by topological qubits [Электронный ресурс]. Режим доступа: Microsoft <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/quantum/2025/02/19/microsoft-unveils-majorana-1-the-worlds-first-quantum-processor-powered-by-topological-qubits/>. Дата доступа 05.04.2025
3. Meet Willow, our state-of-the-art quantum chip [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.google/technology/research/google-willow-quantum-chip/>. Дата доступа: 05.04.2025.
4. Intel's New Chip to Advance Silicon Spin Qubit Research for Quantum Computing [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://newsroom.intel.com/new-technologies/quantum-computing-chip-to-advance-research>. Дата доступа: 05.04.2025
5. 6G and Quantum Communication [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/6G-and-Quantum-Communication/721484695826481152?blogId=721484695826481152>. Дата доступа: 08.04.2025.
6. Квантовые компьютеры для всех: уже здесь и сейчас или грядущее науки? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/895268/>. Дата доступа: 08.04.2025.
7. Explore quantum: Reliable Quantum Operations Per Second [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://quantum.microsoft.com/en-us/insights/education/concepts/rQOPS>. Дата доступа: 08.04.2025.