

Оразов И. К., Атаева Г. К.

## ОПИСАНИЕ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ НА ОСНОВЕ НАУЧНЫХ РАБОТ

*Инженерно-технологический университет Туркменистана имени Огуз хана.  
Преподаватель кафедры киберфизических систем, студентка четвертого курса  
специальности робототехника и мехатроника*

**Аннотация.** Квантовые компьютеры с 50–100 кубитами могут выполнять задачи, которые могут быть намного больше, чем возможности современных классических цифровых компьютеров, но шум в квантовых вентилях будет ограничивать размер квантовых схем, которые можно надежно выполнять. Квантовые технологи должны продолжать стремиться к более точным квантовым вентилям и, в конечном счете, к полностью отказоустойчивым квантовым вычислениям.

**Введение.** Квантовые вычисления настолько отличаются от информационных технологий, которые мы используем сейчас, что у нас есть лишь очень ограниченные возможности смотреть на их будущие приложения или предсказывать, когда эти приложения будут реализованы.

Суть и цель квантовых вычислений часто понимают неправильно. Контекст разработки квантовых компьютеров можно прояснить по сравнению с более знакомой квантовой технологией: лазером. До изобретения лазера у нас было и солнце, и огонь, и фонарь, а потом и лампочка. Несмотря на эти достижения в области света, до появления лазера этот свет всегда был «некогерентным», что означает, что множество электромагнитных волн, генерируемых источником, излучались в совершенно случайные моменты времени по отношению друг к другу. Однако одна из возможностей, допускаемых квантовой механикой, состоит в том, что эти волны генерируются синфазно, для этого были открыты инженерные и изобретательские методы, и так появился лазер. Но лазеры не заменяют лампочки в большинстве приложений; вместо этого они излучают другой вид света, когерентный свет, который полезен для тысяч применений, от глазной хирургии до игрушек для кошек, большинство из которых были невообразимы первыми физиками-лазерщиками.

Точно так же квантовый компьютер не обязательно будет быстрее, больше или меньше обычного компьютера. Скорее, это будет компьютер другого типа, предназначенный для управления когерентными квантово-механическими волнами для различных приложений [1].

**Возможности на границе запутанности.** Что действительно интересно в квантовых вычислениях, так это то, что у нас есть веские основания полагать, что квантовый компьютер сможет эффективно моделировать любой процесс, происходящий в природе. Мы не думаем, что это неверно для классических цифровых компьютеров, которые не могут моделировать сильно запутанные квантовые системы. Запутанная система определяется как система, квантовое состояние которой нельзя разложить на множители как произведение состояний ее локальных составляющих; иными словами, это не отдельные частицы, а неделимое целое. В запутанности один компонент не может быть полностью описан без рассмотрения другого (других).

Поэтому с помощью квантовых компьютеров мы сможем более глубоко исследовать свойства сложных молекул и экзотических материалов, а также по-новому исследовать фундаментальную физику, например, путем моделирования свойств элементарных частиц или квантовых, поведение черного тела, дыра, или эволюция Вселенной сразу после Большого взрыва.

Наша уверенность в том, что исследование границы запутанности принесет пользу, основывается главным образом на двух принципах:

1) квантовая сложность (наша основа для мысли, что квантовые вычисления эффективны);

2) квантовая коррекция ошибок (наша основа идеи о том, что квантовые компьютеры масштабируются до больших устройств, решающих сложные задачи).

Оба эти принципа основаны на идее квантовой запутанности. Запутанность — это слово, которое мы используем для характерных корреляций между частями квантовой системы, которые сильно отличаются от корреляций, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни. Чтобы понять концепцию запутанности, мы представляем себе систему, состоящую из многих частей, например, книгу объемом в 100 страниц. Для типичной классической 100-страничной книги каждый раз, когда мы читаем очередную страницу, мы узнаем еще 1 % содержания книги, а прочитав все страницы одну за другой, мы знаем все, что есть в книге. Но теперь предположим, что это квантовая книга, страницы которой очень сильно переплетены друг с другом. Поэтому, когда мы просматриваем страницы одну за другой, мы видим только случайную тарабарщину, и после того, как мы прочитаем все страницы, мы очень мало узнаем о содержании книги. Причиной является то, что информация в квантовой книге не запечатлевается на отдельных страницах; она почти полностью закодирована тем, как страницы соотносятся друг с другом. Если мы хотим прочитать книгу, мы должны сделать коллективное наблюдение сразу на многих страницах. Квантовая запутанность – важная особенность, которая делает информацию, переносимую квантовыми системами, очень отличной от информации, обрабатываемой обычными цифровыми компьютерами.

**Потенциал квантовых вычислений.** Обычный компьютер обрабатывает бит, где каждый бит мог бы быть, переключателем, который либо 1, либо выключен. Но для создания очень сложных запутанных квантовых систем фундаментальными информационными компонентами квантового компьютера должны быть квантовые биты, которые мы называем кубитами. Кубит может быть реализован физически по-разному. Его может переносить один атом, один электрон или один фотон (частица света). Кубит может транспортироваться более сложной системой, такой как очень холодная сверхпроводящая электрическая цепь, в которой движется много электронов.

Когда мы говорим о квантовой сложности, на ум приходит невероятная сложность использования обычных классических данных для описания сильно запутанных квантовых состояний многих кубитов. Для полного описания всех корреляций между несколькими сотнями кубитов может потребоваться больше битов, чем количество атомов в видимой Вселенной.

Никогда, даже в принципе, невозможно будет записать это описание или точно описать обработку нескольких сотен кубитов классическим языком. Эта явно экстравагантная сложность квантового мира, хотя и наводит на размышления, сама по себе не гарантирует, что квантовые компьютеры мощнее классических. Но у нас есть как минимум три веские причины полагать, что квантовые компьютеры обладают возможностями, превосходящими возможности классических компьютеров.

1) Квантовые алгоритмы для классически неразрешимых задач. Во-первых, мы знаем о задачах, считающихся сложными для классических компьютеров, но для которых открыты квантовые алгоритмы, легко решающие эти задачи. Наиболее известным примером является задача нахождения простых делителей большого составного целого числа [2]. Мы думаем, что факторинг сложен, потому что многие умные люди десятилетиями пытались найти лучшие алгоритмы факторинга, но безуспешно.

Возможно, в будущем будет открыт быстрый классический алгоритм факторинга, но это будет большим сюрпризом.

2) Аргументы теории сложности. Ученые-теоретики информатики представили аргументы, основанные на теории сложности, показывающие (при разумных предположениях), что квантовые состояния, которые легко подготовить с помощью квантового компьютера, обладают суперклассическими свойствами; в частности, если мы измеряем все кубиты в таком состоянии, мы делаем выборку из коррелированного распределения вероятностей, которое не может быть выбрано никакими эффективными классическими средствами [3,4].

3) Никакой известный классический алгоритм не может моделировать квантовый компьютер. Но, пожалуй, самый убедительный аргумент в пользу силы квантовых вычислений заключается просто в том, что мы не знаем, как смоделировать квантовый компьютер с помощью цифрового компьютера. Это остается верным даже после десятилетий усилий физиков по поиску лучших способов моделирования квантовых систем.

Существует различие между задачами, которые являются классически сложными, и задачами, которые являются квантосложными. И очень важно понять, какие задачи являются классически сложными, а какие квантово легкими [5, 6]. Мы должны признать, в частности, что мощность квантового компьютера не безгранична. Мы не ожидаем, например, что квантовый компьютер сможет эффективно решать сложные экземпляры задач NPhard (недетерминированная полиномиальная временная сложность), таких как задача коммивояжера. Для таких сложных задач комбинаторного поиска мы, вероятно, не можем сделать ничего лучше, чем исчерпывающий поиск решения. Квантовые компьютеры могут ускорить исчерпывающий поиск [7], но лишь незначительно [8], так что задачи NPhard, скорее всего, будут одновременно сложными как с квантовой, так и с классической точки зрения.

**Проблемы квантовых вычислений?** Так почему это занимает так много времени? Что такого сложного в квантовых вычислениях? Суть проблемы вытекает из фундаментальной особенности квантового мира — мы не можем наблюдать квантовую систему, не вызывая неконтролируемого возмущения в системе. Это означает, что, если мы хотим использовать квантовую систему для хранения и надежной обработки информации, нам нужно держать эту систему практически идеально изолированной от внешнего мира. В то же время мы хотим, чтобы кубиты сильно взаимодействовали друг с другом, чтобы мы могли обрабатывать информацию; мы также должны иметь возможность управлять системой извне и в конечном итоге считывать кубиты, чтобы найти результат наших вычислений. Очень сложно построить квантовую систему, удовлетворяющую всем этим требованиям. Потребовалось много лет разработки материалов, контроля и производства, чтобы достичь того, что мы имеем сегодня.

В конечном итоге мы ожидаем, что сможем защищать квантовые системы и масштабировать квантовые компьютеры, используя принцип квантовой коррекции ошибок [9]. Основная идея квантовой коррекции ошибок заключается в том, что если мы хотим защитить квантовую систему от повреждений, мы должны закодировать ее в очень запутанном состоянии; подобно 100-страничной книге, которую мы описали ранее, это запутанное состояние обладает тем свойством, что среда, взаимодействуя с частями системы по одной, не может видеть закодированную информацию и, следовательно, не может ее исказить. Кроме того, мы в принципе поняли, как обрабатывать квантовую информацию, закодированную в сильно запутанном состоянии. К сожалению, квантовая коррекция ошибок связана со значительными накладными расходами — требуется много дополнительных физических кубитов, чтобы записать защищенную квантовую

информацию в сильно запутанную книгу, поэтому маловероятно, что в ближайшее время появятся надежные квантовые компьютеры с исправлением ошибок.

**Вывод.** Важно понимать, что нам потребуются значительные достижения — как в фундаментальной науке, так и в системной инженерии — для создания полностью масштабируемых, отказоустойчивых квантовых компьютеров. Таким образом, проблема масштабируемости ставит перед учеными и инженерами насущные задачи. Поскольку мы все еще так далеко, новые идеи, разработки и инновации могут иметь большое значение в долгосрочной перспективе. Классические компьютеры особенно плохо моделируют динамику сильно запутанных квантовых систем, состоящих из множества частиц, поэтому квантовая динамика является особенно перспективной областью, где квантовые компьютеры могут иметь значительное преимущество перед классическими.

*Список использованных источников:*

1. Т. Д. Лэдд, Ф. Железко, Р. Лафлам, Ю. Накамура, К. Монро и Дж. Л. О'Брайен, Квантовые вычисления, arXiv:1009.2267v1 [quant-ph], 12 сентября 2010 г.
2. П. В. Шор, Полиномиальные алгоритмы простой факторизации и дискретного логарифмирования на квантовом компьютере, SIAM Rev. 41, 303-332 (1999), <https://doi.org/10.1137/S0036144598347011>.
3. Лунд А.П., Бремнер М.Дж., Ральф Т.К. Проблемы квантовой выборки. BosonSampling и квантовое превосходство, npj Quantum Information 3: 15 (2017), arXiv:1702.03061, <https://doi.org/10.1038/s41534-017-0018-2>.
4. А. В. Харроу и А. Монтанаро, Превосходство квантовых вычислений, Nature 549, 203–209 (2017), <https://doi.org/10.1038/nature23458>.
5. Джордан С. П., Зоопарк квантовых алгоритмов, <http://math.nist.gov/quantum/zoo/>.
6. А. Монтанаро, Квантовые алгоритмы: обзор, npj Quantum Information, 15023 (2016), arXiv:1511.04206, <https://doi.org/10.1038/npjqi.2015.23>.
7. Л. Гровер, Квантовая механика помогает в поисках иглы в стоге сена, физ. Преподобный Летт. 79, 325 (1997), arXiv: quant-ph/9706033, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.79.325>.
8. С. Н. Bennett, E. Bernstein, G. Brassard, and U. Vazirani, Сильные и слабые стороны квантовых вычислений, SIAM J. Comput. 26, 1510-1523 (1997), arXiv:quantph/9701001, <https://doi.org/10.1137/S0097539796300933>.
9. Д. Готтесман, Введение в квантовую коррекцию ошибок и отказоустойчивые квантовые вычисления, Труды симпозиумов по прикладной математике 68 (2010), архив: 0904.2557.

**Вашкилевич А. Э.**

## **ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА В МАЛЫХ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ**

*Брестский государственный технический университет. Магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Научный руководитель Новосельцев В. Г., к. т. н., доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции.*

Современные теплогенерирующие установки предполагают внедрение решений по эффективному использованию энергоресурсов с сохранением основных рабочих