

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Факультет экономики и факультет компьютерных наук

Болотникова Елизавета

Прикладное использование квантовых вычислений

Обзор литературы

Семинарист: Степанченко Д.С.

Москва 2023

Обзор литературы по теме: Прикладное использование квантовых вычислений

Болотникова Елизавета

10 декабря 2023 г.

Содержание

1	Введение	4
2	Описание допущений, сделанных в статьях	4
3	Общая информация	4
3.1	Weingärtner M., Weingärtner T. Quantum Tic-Tac-Toe-learning the concepts of quantum mechanics in a playful way //Computers and Education Open. – 2023. – Т. 4. – С. 100125.	4
3.1.1	Оценка содержания	4
3.1.2	Анализ недостатков и преимуществ	5
3.2	Кабарухин А. П. и др. Перспективы использования квантовых компьютеров //Наука и образование сегодня. – 2022. – №. 1 (70). – С. 31-37.	5
3.2.1	Оценка содержания	5
3.2.2	Анализ недостатков и преимуществ	6
4	Финансы	6

4.1	Li H. et al. BQ-Bank: A Quantum Software for Finance and Banking //Quantum Engineering. – 2023. – Т. 2023.	6
4.1.1	Оценка содержания	7
4.1.2	Анализ недостатков и преимуществ	7
4.2	Orús R., Mugel S., Lizaso E. Quantum computing for finance: Overview and prospects //Reviews in Physics. – 2019. – Т. 4. – С. 100028.	7
4.2.1	Оценка содержания	8
4.2.2	Анализ недостатков и преимуществ	8
4.3	Критическое сравнение полученных в статьях результатов	8
5	Химия и биология	9
5.1	Weidner F. M. et al. Leveraging quantum computing for dynamic analyses of logical networks in systems biology //Patterns. – 2023. – Т. 4. – №. 3.	9
5.1.1	Оценка содержания	9
5.1.2	Анализ недостатков и преимуществ	9
5.2	Andersson M. P. et al. Quantum computing for chemical and biomolecular product design //Current Opinion in Chemical Engineering. – 2022. – Т. 36. – С. 100754.	10
5.2.1	Оценка содержания	10
5.2.2	Анализ недостатков и преимуществ	10
5.3	Yukawa H., Sato K., Baba Y. Theranostics applications of quantum dots in regenerative medicine, cancer medicine, and infectious diseases //Advanced Drug Delivery Reviews. – 2023. – С. 114863.	11
5.3.1	Оценка содержания	11
5.3.2	Анализ недостатков и преимуществ	11
5.4	Критическое сравнение полученных в статьях результатов	12
6	Криптография	12

6.1	Bhatt A. P., Sharma A. Quantum cryptography for internet of things security //Journal of Electronic Science and Technology. – 2019. – Т. 17. – №. 3. – С. 213-220.	12
6.1.1	Оценка содержания	12
6.1.2	Анализ недостатков и преимуществ	13
6.2	Bennett C. H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing //Theoretical computer science. – 2014. – Т. 560. – С. 7-11.	13
6.2.1	Оценка содержания	13
6.2.2	Анализ недостатков и преимуществ	14
6.3	Kumar M. Post-quantum cryptography Algorithm’s standardization and performance analysis //Array. – 2022. – Т. 15. – С. 100242.	14
6.3.1	Оценка содержания	14
6.3.2	Анализ недостатков и преимуществ	15
6.4	Критическое сравнение полученных в статьях результатов	15
7	Мобильная связь	16
7.1	Suriya M. Machine learning and quantum computing for 5G/6G communication networks-A survey //International Journal of Intelligent Networks. – 2022.	16
7.1.1	Оценка содержания	16
7.1.2	Анализ недостатков и преимуществ	16
7.2	Muheidat F., Dajani K., Lo’ ai A. T. Security concerns for 5G/6G mobile network technology and quantum communication //Procedia Computer Science. – 2022. – Т. 203. – С. 32-40.	17
7.2.1	Оценка содержания	17
7.2.2	Анализ недостатков и преимуществ	17
7.3	Критическое сравнение полученных в статьях результатов	18
8	Заключение	18

1 Введение

Квантовые вычисления представляют собой одно из наиболее увлекательных и перспективных направлений в области информационных технологий. Решения, которые ранее казались невозможными для классических компьютеров, становятся доступными благодаря применению принципов квантовой механики в обработке информации. В данной обзорной статье мы рассмотрим актуальные исследования, прикладные аспекты и перспективы развития квантовых вычислений. Мы также проанализируем влияние квантовых вычислений на различные области, включая криптографию, финансы, медицину и многое другое. Погружаясь в этот энергичный и быстроразвивающийся мир, мы стремимся охватить ключевые аспекты квантовых вычислений и их применение в современном информационном обществе.

2 Описание допущений, сделанных в статьях

Во многих статьях говорится о том, что потребуется ряд экспериментальных прорывов, прежде чем мы сможем создать универсальный квантовый процессор, способный превзойти современные суперкомпьютеры. Например, нам потребуется значительно повысить качество кубитов для реализации некоторых алгоритмов. Однако возможно, что неисправные квантовые компьютеры найдут интересное применение задолго до того, как мы добьемся отказоустойчивых квантовых вычислений.

3 Общая информация

3.1 Weingärtner M., Weingärtner T. Quantum Tic-Tac-Toe-learning the concepts of quantum mechanics in a playful way //Computers and Education Open. – 2023. – Т. 4. – С. 100125.

3.1.1 Оценка содержания

Квантовая механика – сложная вещь. Тем не менее, необходимость в способностях квантового программирования существует, больше студентов должны познакомиться с этим предметом, поэтому в этой статье предлагается игровой подход к

обучению, основанный на игре «Крестики-нолики» в квантово-модифицированной версии. Создается прототип, чтобы продемонстрировать и оценить предположения, используя метод исследования науки о дизайне. Качественные отзывы пользователей предоставили важную информацию и показали, что этот игровой метод помогает увлекательно изучать квантовую физику. Большинство из тех, кто принял участие в исследовании, заявили, что их интерес к этой теме возрос. Комментарии очень помогли в оптимизации прототипа. Стратегия, которая включала использование виртуального противника, а также представление дополнительной информации о квантовой схеме, была более эффективной для помощи участникам в понимании квантовой физики, чем предыдущие настройки обучения, основанные на игре «Крестики-нолики». Также в статье доступно и подробно описаны основные понятия теории квантовых вычислений(gates, Superposition, Entanglement, Collapse) и сферы в которых можно будет применить полученные знания

3.1.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Простым языком объясняются сложные концепции
2. Рассуждения подкреплены иллюстрациями
3. Отлично подойдет для первого знакомства с квантовыми вычислениями

Недостатки:

1. Неполное раскрытие темы областей применения полученных знаний

3.2 Кабарухин А. П. и др. Перспективы использования квантовых компьютеров //Наука и образование сегодня. – 2022. – №. 1 (70). – С. 31-37.

3.2.1 Оценка содержания

В статье подробно описывается история изобретения квантовых вычислений и квантовых компьютеров. Далее рассказывается об отдельных сферах, в которых при-

менение этих методов может помочь сделать прорыв. Например, медицина, транспорт, прогнозирование погоды, сельское хозяйство, финансы и др. В конце статьи уделяется внимание потенциальным проблемам внедрения новых технологий. Упоминаются следующие минусы: сложность сохранения конфиденциальности личных данных, большая стоимость проектов в сфере квантовых вычислений, необходимость перестраивать практически все современные подходы к бизнесу в IT-сфере. Статья отлично подходит для знакомства с темой применения квантовых вычислений и рассказывает читателям о многих аспектах этой сферы. Однако глубинного понимания принципов квантовых вычислений в этой статье нет, так что для более детального понимания необходимо обратиться к дополнительным источникам.

3.2.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Подробный рассказ про историю и области применения квантовых вычислений
2. Для понимания не требуются серьезные математические знания
3. Указаны ограничения гипотез и рассуждений
4. Приведены ссылки на достоверные источники

Недостатки:

1. Достаточно поверхностное объяснение принципов работы квантовых вычислений и компьютеров
2. Отсутствие четкого вывода из проделанного анализа

4 Финансы

4.1 Li H. et al. BQ-Bank: A Quantum Software for Finance and Banking //Quantum Engineering. – 2023. – Т. 2023.

Методы, использованные в статье: VaR (P-VaR), Monte Carlo, VaR (MC-VaR), VaR, QAOA, Black model и др.

4.1.1 Оценка содержания

В статью рассказывается про квантовое программное обеспечение BQ-Bank, которое состоит из 4 модулей: ценообразование опционов, доход от опционов, VaR и оптимизация портфеля. В каждом модуле авторы начинают с основных проблем и моделей, затем обсуждают традиционные алгоритмы и их квантовое решение, а в конце берут пример и сравнивают результаты традиционных алгоритмов с их квантовым решением. Результаты показывают, что квантовое решение обычно превосходит традиционные алгоритмы. Благодаря лаконичному дизайну и предустановленному набору данных BQ-Bank люди с квантовым опытом или без него могут получить доступ к интересующим их задачам и выполнить их без каких-либо профессиональных навыков.

4.1.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Проводится четкое сравнение классических и квантовых вычислений на примере реальных задач
2. Многие решения подкрепляются графиками для более простого восприятия
3. Логичное, последовательное повествование

Недостатки:

1. Не хватает более полного анализа полученных результатов

4.2 Orús R., Mugel S., Lizaso E. Quantum computing for finance: Overview and prospects //Reviews in Physics. – 2019. – Т. 4. – С. 100028.

Методы, использованные в статье: QAE, Monte Carlo simulation, QAA, PCA, VaR, CVaR и др.

4.2.1 Оценка содержания

Обсуждается как квантовые вычисления могут быть применены к финансовым проблемам, давая обзор текущих подходов и потенциальных перспектив. Рассматриваются алгоритмы квантовой оптимизации и то, как квантовые отжиги можно использовать для оптимизации портфелей, поиска арбитражных возможностей и выполнения кредитного скоринга. Обсуждается глубокое обучение в области финансов и предложения по улучшению этих методов с помощью квантового машинного обучения. Наконец, рассматривается оценка квантовой амплитуды и то, как она может привести к квантовому ускорению выборки Монте-Карло. Это имеет прямое применение ко многим современным финансовым методам, включая ценообразование деривативов и анализ рисков. В заключении обсуждаются перспективы развития.

4.2.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Рассмотрен широкий спектр применения квантовых вычислений в финансах
2. Хорошо проанализированы риски внедрения квантовых вычислений
3. В выводе обозначено пространство для дальнейших исследований

Недостатки:

1. Не хватает визуализации приведенных расчетов

4.3 Критическое сравнение полученных в статьях результатов

В статьях используются одинаковые методы анализа и они приходят к похожим результатам. Можно сделать вывод о том, что в финансах квантовые решения обычно превосходят классические алгоритмы. Это связано с тем, что квантовые вычисления позволяют обрабатывать большие объемы данных за более короткий период времени, а также предоставляют возможность решать задачи, которые невозможно решить с помощью традиционных алгоритмов. Кроме того, квантовые решения могут быть более точными и надежными, что особенно важно в финансовой сфере.

Однако следует отметить, что квантовые технологии все еще находятся на стадии развития и требуют дальнейшего совершенствования и оптимизации для широкого применения в финансах.

5 Химия и биология

5.1 Weidner F. M. et al. Leveraging quantum computing for dynamic analyses of logical networks in systems biology //Patterns. – 2023. – Т. 4. – №. 3.

Модели: quantum Boolean network, Grover's algorithm и др.

5.1.1 Оценка содержания

В статье говорится, что главная проблема в том, что модели по-прежнему сталкиваются с экспоненциальным ростом сложности моделирования по сравнению с линейным увеличением количества узлов. Авторы переносят этот подход к моделированию в квантовые вычисления и используют будущую технику для моделирования полученных сетей. Использование логического моделирования в квантовых вычислениях имеет множество преимуществ, включая снижение сложности и квантовые алгоритмы для задач системной биологии. Чтобы продемонстрировать применимость подхода к задачам системной биологии, в статье реализована модель развития коры головного мозга млекопитающих. Применяется квантовый алгоритм для оценки тенденции модели достичь определенных стабильных условий и дальнейшего возврата динамики. Представлены результаты работы двух реальных квантовых процессоров и шумового симулятора, а также обсуждаются текущие технические проблемы.

5.1.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Демонстрация применения квантовых технологий на реальном примере

2. Подробное описание алгоритмов с математическими выкладками

Недостатки:

1. Идеи о масштабном применении гипотетические, так как технологии не так сильно развиты

5.2 Andersson M. P. et al. Quantum computing for chemical and biomolecular product design //Current Opinion in Chemical Engineering. – 2022. – Т. 36. – С. 100754.

Методы: Shor algorithm, algorithm AlphaFold

5.2.1 Оценка содержания

В статье описывается использование квантовых вычислений для проектирования химических и биомолекулярных продуктов. Природа квантовых компьютеров лучше подходит для решения уравнения Шредингера в квантовой химии, а также для таких сфер как сворачивание белков, сложные многостадийные химические реакции и динамика молекулярных реакций. В статье подробно рассказывается про историю создания и объясняется процесс работы квантовых компьютеров, далее отдельно рассматриваются вышеперечисленные аспекты. Присутствует раздел и про дальнейшее развитие квантовой химии предсказывание структуры белка и устойчивый мицеллярный хемокатализ и биокатализ. В заключение говорится об ограничениях гипотез в силу недостаточного развития соответствующих технологий, однако потенциал этих инструментов может совершить прорыв в современном понимании био дизайна продуктов.

5.2.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Подробное описание всех аспектов применения квантовых вычислений
2. Указаны ограничения гипотез

3. Присутствуют иллюстрации наблюдений

Недостатки:

1. Многие области применения пока только гипотетические, так как технологии не так сильно развиты

5.3 Yukawa H., Sato K., Baba Y. Theranostics applications of quantum dots in regenerative medicine, cancer medicine, and infectious diseases //Advanced Drug Delivery Reviews. – 2023. – С. 114863.

5.3.1 Оценка содержания

В последние годы продвинулась разработка квантовых точек, не содержащих кадмия, токсичного для клеток и живых организмов, и они привлекли значительное внимание в области биовизуализации для нацеливания на молекулы и клетки. Кроме того, в последнее время потребность в диагностике и лечении на уровне отдельных молекул и отдельных клеток в сфере медицины возрастает. Таким образом, в данной статье очерчены границы диагностического и терапевтического применения (тераностики) квантовых точек, особенно в передовых областях медицины, таких как регенеративная медицина, онкология и инфекционные заболевания. Самым большим препятствием для клинического применения является долгосрочная безопасность для живых организмов, поэтому потребуются детальные исследования долгосрочной токсичности и дозировки.

5.3.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Подробно описана концепция квантовых точек в биологии
2. Логично выстроенное повествование про все с
3. Рассуждения подкреплены примерами и иллюстрациями

Недостатки:

1. В конце статьи напрашивалась более подробная оценка перспектив

5.4 Критическое сравнение полученных в статьях результатов

В первых двух статьях отмечается, что квантовые вычисления значительно ускорят работу алгоритмов био дизайна и анализа биологических систем и помогут справиться с проблемами, которые в данный момент являются неразрешимыми. Однако в этой сфере квантовым технологиям предстоит ещё достаточно долго развиваться, чтобы выполнять поставленные задачи, поэтому варианты прикладных применений пока являются более гипотетическими. В третьей же статье главным препятствием на пути к использованию квантовых точек является безопасность и несмотря на возможность применения технологии уже сейчас, это будет сопряжено со многими рисками. Однако и в этой сфере момент полноценного внедрения технологии станет большим прорывом.

6 Криптография

6.1 Bhatt A. P., Sharma A. Quantum cryptography for internet of things security //Journal of Electronic Science and Technology. – 2019. – Т. 17. – №. 3. – С. 213-220.

Модели: QKD, Shor's Algorithm, Device-Independent Quantum Cryptography

6.1.1 Оценка содержания

В этой статье рассматриваются общие угрозы безопасности в IoT (Internet of things) и существующие алгоритмы криптографии для их предотвращения (Хешированные пароли, Аутентификация закрытым ключом, Подписанная прошивка). Затем представлена квантовая криптография с некоторыми ее вариациями. И, наконец, проводится анализ плюсов и минусов внедрения квантовой криптографии для обеспечения безопасности Интернета вещей. Внедрение квантовых систем в коммерческое использование для Интернета вещей является большой проблемой из-за крупномасштабного и дорогого квантового оборудования, которое не может себе позволить каждая организация. Кроме того, расстояние, на котором может осуществляться квантовая связь, очень мало из-за свойств фотонов, которые не позволяют им путешествовать на большие расстояния. Если эти проблемы будут решены, мы смо-

жем создать успешные системы Интернета вещей с применением к ним квантовой криптографии, что сделает их наиболее безопасными системами на сегодняшний день.

6.1.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Указаны ограничения гипотез
2. Глубокое погружение в узкую тему

Недостатки:

1. Дорогое оборудование затруднит практическое применение
2. Маленькое расстояние, на которое может осуществляться квантовая связь

6.2 Bennett C. H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing //Theoretical computer science. – 2014. – Т. 560. – С. 7-11.

6.2.1 Оценка содержания

В традиционной теории информации и криптографии считается само собой разумеющимся, что цифровые коммуникации в принципе всегда могут быть пассивно прослежены или скопированы, даже кем-то, не знающим их смысла. Однако когда информация кодируется в неортогональных квантовых состояниях, таких как одиночные фотоны с направлениями поляризации 0, 45, 90 и 135 градусов, получается канал связи, передачи которого в принципе не могут быть надежно прочитаны или скопированы подслушивающим устройством, не знающим о определенной ключевой информации, используемая при формировании передачи. Подслушивающий не может получить даже частичную информацию о такой передаче, не изменив ее случайным и неконтролируемым образом, который может быть обнаружен законными пользователями канала. Именно об этом рассказывается в статье, заостряется внимание на основных свойствах поляризованных фотонов, квантовом распределении открытых ключей и "Подбрасывании монеты по телефону"

6.2.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Цитируется 11572 раза
2. Объясняется доступным языком с примерами

Недостатки:

1. Отсутствие четкого вывода из анализа

6.3 Kumar M. Post-quantum cryptography Algorithm's standardization and performance analysis //Array. – 2022. – Т. 15. – С. 100242.

Модели: AES, SHA-2, SHA-3, RSA, ECDSA, ECDH (Elliptical Curve Cryptography), DSA (Finite Field Cryptography)

6.3.1 Оценка содержания

Практические квантовые компьютеры, если они будут иметь емкость в миллионы кубитов, смогут взломать практически все современные криптографические системы с открытым ключом. Прежде чем появятся квантовые компьютеры с достаточной «кубитовой» емкостью, мы должны быть готовы к квантовобезопасным криптографическим алгоритмам, инструментам, методам и стратегиям развертывания для защиты инфраструктуры ИКТ. В этой статье подробно обсуждаются глобальные усилия по проектированию, разработке и стандартизации различных квантовобезопасных алгоритмов криптографии, а также анализ производительности некоторых потенциальных квантовобезопасных алгоритмов. Большинству из них требуется больше циклов ЦП, больший объем оперативной памяти и большой размер ключа. Целью статьи является анализ возможности использования различных квантовобезопасных алгоритмов криптографии. Подробно рассматривается влияние каждого алгоритма на возможности криптографии, а также потенциальные решения проблем с безопасностью.

6.3.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. Объясняются принципы работы квантовых компьютеров и рассказывается история их появления
2. Много графиков, для подтверждения рассуждений
3. Анализ широкого спектра квантовых алгоритмов криптографии

Недостатки:

1. Не хватает более глубокого анализ алгоритмов

6.4 Критическое сравнение полученных в статьях результатов

Статьи рассматривают использование квантовой криптографии для обеспечения безопасности информации, однако подходы к этому вопросу отличаются. Первая статья фокусируется на принципах квантовой криптографии и основных свойствах поляризованных фотонов, подчеркивая непроницаемость такой системы для пассивного прослушивания и копирования информации. Она также обсуждает использование квантового распределения открытых ключей и "Подбрасывание монеты по телефону".

Вторая статья, напротив, более фокусируется на проблемах, с которыми сталкиваются при внедрении квантовой криптографии в системы Интернета вещей (IoT), таких как крупномасштабное и дорогостоящее оборудование, ограничения дальности квантовой связи и т.д. Она также проводит анализ плюсов и минусов внедрения квантовой криптографии для обеспечения безопасности IoT.

Третья статья направлена на обзор применения всего спектра алгоритмов, существующих в криптографии. Затрагивает темы предотвращения возможных рисков.

Таким образом, первая статья более теоретическая, описывающая возможности квантовой криптографии, в то время как вторая и третья статьи более практические, обсуждающие спектр алгоритмов, проблемы и вызовы ее внедрения в конкретные сферы.

7 Мобильная связь

7.1 Suriya M. Machine learning and quantum computing for 5G/6G communication networks-A survey //International Journal of Intelligent Networks. – 2022.

7.1.1 Оценка содержания

В этой работе освещены фундаментальные идеи и принципы, касающиеся квантовых вычислений, квантового машинного обучения, а также концепций и алгоритмов квантовой оптимизации для беспроводной связи. В работе изложены несколько широко используемых квантовых моделей, таких как QKNN, QSVM, QGA и QNN. Обозначены способы применения этих концепций в банкинге и сфере обеспечения безопасности. Наконец, определены текущие проблемы исследований в отношении существующей архитектуры и стандартов, а также футуристических квантовых приложений 6G.

7.1.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. К статье приложено множество иллюстраций, что помогает более детально понять сложные концепции
2. Подробное описание работы алгоритмов, что ведет к лучшему пониманию их применения
3. Указаны ограничения гипотез и рассуждений

Недостатки:

1. Не хватает примеров тестирования или использования описанных алгоритмов на практических примерах

7.2 Muheidat F., Dajani K., Lo'ai A. T. Security concerns for 5G/6G mobile network technology and quantum communication //Procedia Computer Science. – 2022. – Т. 203. – С. 32-40.

7.2.1 Оценка содержания

Ожидается, что 5G/6G сделает сеть широко открытой для новых частотных диапазонов, что приведет к увеличению числа соединений и передаче огромных объемов данных, поддерживая высокую эффективность сети. На горизонте 6G ключевую роль играют квантовые вычисления и сети. Автор статьи ожидает, что Quantum Information Technologies обеспечит и поддержит будущие системы 6G как в сфере связи, так и в сфере вычислений. Сети квантовых вычислений могут похвастаться некоторыми потенциальными преимуществами в безопасности и производительности по сравнению с существующими сетевыми технологиями. Безопасность и энергоэффективность квантовых сетей превосходят нынешние решения, поскольку квантовые сети теоретически могут работать с одиночными фотонами, квантовые состояния которых остаются нераскрытыми при передаче от источника к месту назначения. Сети квантовых вычислений и связанные с ними технологии могут начать внедряться в сетях 5G и стать полностью реализованными с появлением сетевой технологии 6G. В этой работе автор концентрируется на рисках безопасности, которые могут быть связаны с новым 5G и предлагаемыми ими решениями. Изучена роль квантового распределения ключей как рычага повышения безопасности 6G.

7.2.2 Анализ недостатков и преимуществ

Преимущества:

1. К статье приложено множество иллюстраций, что помогает более детально понять сложные концепции
2. Хорошо объясняется что такое квантовая сеть
3. Приведены реальные симуляции обмена ключами

Недостатки:

1. Не приложен код, на котором тестируются симуляции

7.3 Критическое сравнение полученных в статьях результатов

Первая статья говорит о потенциальных преимуществах использования квантовых вычислений и сетей в будущих системах 6G. Автор утверждает, что квантовые технологии могут обеспечить более высокий уровень безопасности и энергоэффективности по сравнению с существующими сетевыми технологиями. Анализ этой статьи может выявить недостаточное обсуждение потенциальных ограничений и проблем, связанных с внедрением квантовых технологий в сети 6G, а также отсутствие конкретных данных или примеров, подтверждающих предполагаемые преимущества.

С другой стороны, вторая статья объясняет основные идеи и принципы квантовых вычислений и алгоритмов, которые могут быть применимы в области беспроводной связи. Она также указывает на текущие проблемы исследований в этой области, что свидетельствует о реалистичном подходе к теме. Однако, анализ этой статьи может выявить необходимость более конкретного описания применения квантовых моделей в различных областях, а также отсутствие оценки их эффективности и практической применимости.

В целом, обе статьи предлагают интересные идеи относительно роли квантовых технологий в будущих сетях связи, однако критический анализ позволяет выявить недостатки в обсуждении практической реализуемости и эффективности этих идей.

8 Заключение

Все статьи раскрывают заявленную тему с разных сторон и подробно рассказывают про сферы применения квантовых вычислений с примерами иллюстрациями.

Прочтение данных статей позволяет сделать несколько важных утверждений. Во-первых, мы видим, что потенциал квантовых вычислений в сфере технологий огромен. Их применение может привести к революционным изменениям в таких областях, как финансы, биология и химия, криптография, а также многие другие. Это открывает новые перспективы для развития современного общества, предлагая решения для задач, которые ранее казались невыполнимыми.

Однако, второй важный вывод состоит в том, что внедрение квантовых вычислений сопряжено с рядом серьезных проблем и вызовов. Сложность обеспечения конфиденциальности личных данных, высокие затраты на проекты квантовых вычислений и необходимость пересмотра существующих подходов в IT-сфере являются значи-

тельными препятствиями на пути использования этих технологий.

Таким образом, несмотря на обширные возможности, предлагаемые квантовыми вычислениями, их внедрение требует не только технических разработок, но и решения сложных организационных и социальных вопросов.