

---

## КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ И КВАНТОВЫХ АЛГОРИТМОВ

**Тырышкин Сергей Юрьевич,**

кандидат технических наук, доцент кафедры ИВТиИБ

Алтайский государственный технический университет им.И.И. Ползунова

Россия, г. Барнаул

service.vip-spe@yandex.ru

### Аннотация

---

В настоящее время во многих отраслях промышленности, общественной жизни, экономики и финансов решаются задачи оптимизации. Классические алгоритмы для нахождения оптимума обычно либо требуют заведомых вычислений, либо заведомого времени на вычисления, либо дают неоптимальные решения. Квантовые вычисления и разработанные на их основе алгоритмы имеют все возможности сократить количество необходимых вычислительных шагов или улучшить качество решения в будущем. Очевидно, что как традиционные, так и квантовые алгоритмы имеют свои преимущества и недостатки, условия и ограничения использования. В связи с этим в данной статье проведен критический анализ различных подходов к оптимизации.

---

**Ключевые слова:** оптимизация, квантовые вычисления, классический алгоритм, время, сходимость.

---

## QUANTUM COMPUTING AND OPTIMISATION: COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSICAL AND QUANTUM ALGORITHMS

**Sergey Yu. Tyryshkin,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of IVTiIB

Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

Russia, Barnaul

service.vip-spe@yandex.ru

---

### ABSTRACT

---

Nowadays, optimisation problems are solved in many branches of industry, social life, economics and finance. Classical algorithms for finding the optimum usually either require prohibitive computations, or prohibitive computation time, or give suboptimal solutions. Quantum computing and the algorithms developed based on it have every opportunity to reduce the number of computational steps required or to improve the quality of the solution in the future. Obviously, both traditional and quantum algorithms have their advantages and disadvantages, conditions and limitations of use. In this regard, this paper provides a critical analysis of different approaches to optimisation.

---

**Keywords:** optimisation, quantum computing, classical algorithm, time, convergence.

---

Квантовые вычисления могут произвести революцию во многих сферах бизнеса и науки, а оптимизация часто рассматривается как главный кандидат на получение выгоды от таких кардинальных преобразований. Задачи оптимизации имеют широкое применение в коммерции, промышленности и науке, а также в таких специфических прикладных областях, как машинное обучение, планирование и распределение ресурсов, где для нахождения оптимума традиционно используются классические компьютеры. Эти классические решатели итеративно уточняют решения до тех пор, пока не будет достигнут удовлетворительный результат [1]. Глобальная оптимизация, специфическое подмножество, предполагает поиск абсолютно наилучшего решения во всем пространстве поиска, часто используя такие методы, как алгоритмы поиска с обратным ходом.

Квантовые компьютеры способны улучшить оптимизацию объективных функций. Более того, эти улучшения могут происходить по множеству параметров, таких как качество решения, разнообразие решений, время решения и стоимость решения. В попытке найти полезные приложения для квантовых вычислений квантовая оптимизация превратилась в активную и динамичную область исследований. До появления масштабируемой коррекции ошибок надежда получить лучшие и быстрые решения возлагалась в основном на вариационные алгоритмы, такие как алгоритм квантовой приближенной оптимизации или вариационный квантовый эйгенсолвер. Такие техники, как поиск Гровера, квантовый отжиг и адиабатическая квантовая оптимизация, положили многообещающее начало, но стало ясно, что для реализации квантового преимущества в оптимизации необходимо больше инструментов [2]. За прошедшие годы было предложено множество вариантов, специализаций и улучшений. Однако практическое преимущество квантовых методов для решения задач оптимизации все еще предстоит доказать.

В связи с этим дискуссионность рассматриваемых вопросов, их практическая значимость и актуальность предопределили выбор темы данной статьи.

Перспективы распространенных гибридных квантово-классических алгоритмов оптимизации, где целевая функция либо вычисляется естественной квантовой системой, либо квантовым анзацем, рассматривают в своих трудах Масленников В.В., Демидова Л.А., Киктенко Е.О., Куликов Д.А., Яшин В.И., Mradul Agrawal, Aviral Jain, Rudraksh Thorat, Shivam Sharma.

Над развитием и усовершенствованием эвристических квантовых алгоритмов для решения задач комбинаторной оптимизации трудятся Потапов В.С., Гушанский С.М., Пронин Ц.Б., Остроух А.В., Ling Zhang, Qin Liu, Anushka Ayachit, Jahanvee Sharma, Bhupendra Panchal.

Имеющиеся на сегодняшний день труды и наработки вносят, несомненно, большой вклад в развитие вопросов квантовой оптимизации, однако есть еще ряд проблемных аспектов, решение которых пока не найдено. Так, отдельного внимания заслуживают возможности использования существующих классических методов для улучшения квантовой оптимизации. Кроме того, в уточнении нуждается потенциал шумных квантовых устройств среднего масштаба для решения NP-трудных задач оптимизации.

Таким образом, цель статьи заключается в сравнении классических и квантовых алгоритмов оптимизации, с выделением их достоинств и недостатков.

С традиционной точки зрения оптимизационные задачи определяются как математические проблемы, которые предполагают поиск наилучшего решения из множества возможных. Цель оптимизации - найти решение, которые максимизирует или

минимизирует объективную функцию - меру успеха - при соблюдении набора условий, ограничивающих допустимые значения [3].

Примером классических алгоритмов оптимизации является алгоритм симплексного поиска Нелдера-Мида, который очень эффективен в произвольном числе измерений, когда производные неизвестны или выпуклость и ограниченность неопределенны. Другие примеры включают методы поиска по координатам, которые выполняют исчерпывающий линейный поиск в каждом направлении и используют его результаты для определения последующих линейных поисков и ограничений на размер шага для уменьшения расходимости. Имитация отжига использует алгоритм Метрополиса или другие методы статистической механики для решения больших многомерных задач. Некоторые алгоритмы, такие как метод Маттболла, опираются на отношение правдоподобия и поэтому неэффективны, когда распределение экспоненциально сложно для выборки после фиксированного набора переменных.

Хотя все классические методы обеспечивают как сходимость, так и завершение, их ключевая критика заключается в том, что они сходятся только локально. Как правило, работа алгоритмов завершается по достижении достаточной точности или по истечении определенного количества итераций. Поскольку масштабные задачи оптимизации обычно невыпуклые, шанс найти глобальный минимум априори в классических методах ничтожно мал.

Научное сообщество приложило немало усилий, чтобы решить эти проблемы как можно точнее и быстрее. Это привело к появлению множества эвристических алгоритмов. Вместо того чтобы исчерпывающе перебирать пространство всех возможных решений в поисках наиболее точного, эвристические методы предназначены для поиска качественного приближенного решения [4]. Как правило, эти методы способны находить решения эффективно (за полиномиальное время), но ценой этого является получение неоптимального результата.

Наиболее известным алгоритмом оптимизации, который основан на квантовых вычислениях, является квантовый алгоритм приближенной оптимизации (QAO). Концептуально алгоритм QAO можно рассматривать как временную эволюцию квантового состояния в сочетании с мощностью «прыжков» между состояниями. Временная эволюция генерируется гамильтонианом стоимости, а «прыжки» облегчаются унитарным смесителем. В частности, унитарным смесителем требуется гарантировать, что динамика системы нетривиальна [5].

Например, при решении задачи составления расписания QAO дает приемлемые результаты. Однако требования к квантовым ресурсам, необходимым для оптимизации QAO, ограничивают масштаб задачи и могут привести к неоптимальным ответам. Тем не менее, основные преимущества использования QAO по сравнению с классическими алгоритмами заключаются в возможности более быстрого времени выполнения, а также в способности искать оптимальные ответы параллельно. Также QAO предполагает использование конструктивной интерференции или квантовых механических флуктуаций, которые недоступны классическим алгоритмам. Тем не менее, величину доступного квантового ускорения часто трудно оценить, и она может быть скрыта сложными техническими деталями, связанными с подпрограммами и их сложностью.

В целом на рис. 1 представлена область применения QAO в задачах оптимизации.

Немаловажным является тот факт, что если реализация классических алгоритмов оптимизации в значительной степени не зависит от используемой компьютерной технологии, то использование квантовых алгоритмов неразрывно связано с возможностями базовой технологии. Большое количество уже существующих QAO можно отнести к двум фундаментально различным архитектурам квантовых вычислений: квантовым

вычислениям на основе отжига и квантовым вычислениям на основе модели затвора. Что касается классического дизайна алгоритмов, то в QAO широко используются квантовые подпрограммы, такие как квантовые преобразования Фурье, которые служат центральным строительным блоком для многих квантовых алгоритмов. Невозможность неинтрузивного измерения и унитарность квантовых операций ограничивают количество квантовых подпрограмм (алгоритмических парадигм) по сравнению с количеством известных классических алгоритмов.



Рис. 1 Ландшафт квантовых алгоритмов оптимизации

Подводя итоги проведенному исследованию, можно отметить следующее.

Квантовые вычисления представляют собой значительный скачок в развитии вычислительных возможностей, особенно для решения задач оптимизации. Хотя классические алгоритмы остаются эффективными для многих приложений, квантовые подходы предлагают потенциальное ускорение и повышение эффективности для определенных классов задач.

Решение задач оптимизации с помощью квантовых вычислений может продемонстрировать ряд потенциальных преимуществ в производительности по сравнению с существующими алгоритмами оптимизации, например, следующие:

Существующие классические алгоритмы оптимизации могут быть ускорены за счет использования специфических квантовых эффектов.

Некоторые классы задач могут быть закодированы и решены квантовыми алгоритмами более эффективно, чем классическими алгоритмами, например, задачи факторизации целых чисел, задачи неупорядоченного поиска или дискретного логарифмирования.

Теория и классическое моделирование показывают, что для некоторых задач новые квантовые алгоритмы позволяют более эффективно решать определенные классы сложных проблем комбинаторной оптимизации.

Однако, при всех возможностях и несомненных преимуществах квантовых вычислений, используемых для решения оптимизационных задач, очевидно, что планка для алгоритмов с квантовым усилением высока. Каждый шаг решения должен быть

высокосвязным, оптимизированным и адаптированным к конкретной задаче. Поэтому для их практического использования требуется совместная работа экспертов из таких предметных областей как математика, физика, инженерия и информатика. Необходимо разработать инструменты, которые упростят внедрение квантовых вычислений, чтобы способствовать росту полезности этой технологии для промышленных приложений.

#### **Список литературы:**

1. Mrityunjay Ghosh, Nivedita Dey A novel quantum algorithm for ant colony optimization // IET Quantum Communication. 2021. Volume 3, Issue 1. P. 107-112.
2. Иконников С.Е., Никитина Е.А. Синергия квантовых вычислений и ИИ: оценка потенциального влияния методов квантовых вычислений на алгоритмы оптимизации и машинного обучения // Научный аспект. 2023. Т. 2. № 11. С. 195-200.
3. Sworna Kokila M. L. Enhanced power system fault detection using quantum-AI and herd immunity quantum-AI fault detection with herd immunity optimisation in power systems // IET Quantum Communication. 2024. № 56. P. 23-29.
4. Гушанский С.М., Божич В.И. Исследование и разработка схем с оптимизацией по глубине в алгоритме квантовой приближенной оптимизации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. № 5. С. 6-16.
5. Xu Guo, Xiaoyu Song A synergic quantum particle swarm optimisation for constrained combinatorial test generation // IET Software. 2022. Volume 16, Issue 3. P. 45-52.

#### **References:**

1. Mrityunjay Ghosh, Nivedita Dey A novel quantum algorithm for ant colony optimization // IET Quantum Communication. 2021. Volume 3, Issue 1. P. 107-112.
2. Ikonnikov S.E., Nikitina E.A. Synergy of quantum computing and AI: Assessing the potential impact of quantum computing methods on optimization and machine learning algorithms // Scientific aspect. 2023. Vol. 2. No. 11. P. 195-200.
3. Sworna Kokila M. L. Enhanced power system fault detection using quantum-AI and herd immunity quantum-AI fault detection with herd immunity optimisation in power systems // IET Quantum Communication. 2024. No. 56. P. 23-29.
4. Gushansky S.M., Bozhich V.I. Research and development of depth-optimized schemes in the quantum approximate optimization algorithm // Bulletin of SFedU. Engineering sciences. 2023. No. 5. Pp. 6-16.
5. Xu Guo, Xiaoyu Song A synergic quantum particle swarm optimisation for constrained combinatorial test generation // IET Software. 2022. Volume 16, Issue 3. Pp. 45-52.