УДК 004.832.2

ПОЧЕМУ КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ – ЭТО БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА?

Адылова Ф.Т.
fatadilova@gmail.com
Институт математики им. В.И. Романовского АН РУз,
100174, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, д. 9.

Квантовые технологии меняют отрасли, используя принципы квантовой механики. Эти технологии обещают произвести революцию в вычислительной технике, связи, сенсорике, криптографии, здравоохранении, предлагая решения, которые ранее были немыслимы. Квантовые вычисления меняют способы решения сложных задач: в отличие от классических компьютеров, которые используют биты для представления информации в двоичном виде, квантовые компьютеры используют принципы квантовой физики для выполнения вычислений, которые выходят за рамки возможностей даже самых продвинутых классических компьютеров. Квантовые алгоритмы могут эффективно решать логистические задачи, оптимизируя глобальные цепочки поставок, обещают ускорить анализ рисков и улучшить процесс принятия решений в сложных финансовых моделях. Квантовые компьютеры могут моделировать молекулярные взаимодействия с беспрецедентной скоростью, ускоряя разработку новых лекарств, внедрение персонализированной медицины и переводя диагностику заболеваний на качественно новый уровень. Всё это является основой будущего развития искусственного интеллекта, оценку которого даёт данная публикация.

Ключевые слова: квантовые вычисления, искусственный интеллект, квантовый ИИ, инновационные стратегии, бизнес-инновации, медицина.

Цитирование: *Адылова Ф.Т.* Почему квантовые вычисления – это будущее искусственного интеллекта? // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2025. – № 2(64). – С. 87-100.

DOI: https://doi.org/10.71310/pcam.2_64.2025.08.

1 Введение

Генеративный искусственный интеллект (ИИ), «глубокие технологии» и API были заметными технологическими тенденциями в последние годы. В июне 2024 года ООН объявила 2025 год Международным годом квантовой науки и технологий (International Year of Quantum Science and Technology, IYQ), в рамках инициативы Quantum 2025, приуроченной к 100-летию со дня формулирования законов квантовой механики. Станет ли 2025 год годом прорыва для квантовых технологий, как утверждает ООН? Станут ли ИИ-агенты ключевой вехой на пути к общему ИИ или «сильному ИИ»? Данная статья продолжает серию публикаций по основным перспективным направлениям развития ИИ, – нейронные сети Колмогорова -Арнольда, ИИ-агенты. Квантовые вычисления в ИИ определили некоторые технологические тенденции [1], которые, по прогнозам, займут центральное место в 2025 году в различных областях науки, техники, медицины.

Понятно, что будущее квантовых вычислений (Quantum Computing, QC) зависит от двух основных концепций: квантовой угрозы и квантового преимущества. Риски

кибербезопасности уже побуждают исследовать новые криптографические парадигмы, к которым относится пост-квантовая криптография, а также квантовая криптография, использующая принципы квантовой механики. Квантовое преимущество обеспечивается преобразующим потенциалом квантовых вычислений. Например, в финансах ключевые приложения могут включать оптимизацию процессов и инвестиционных портфелей, обнаружение мошенничества с помощью квантового машинного обучения (QML) и ускорение моделирования методом Монте-Карло, используемого для прогнозирования результатов в неопределенных ситуациях.

Квантовые вычисления – одно из направлений, которое имеет значительное влияние на технологию банковского дела. Предполагается, что в 2025 году в эту область будет направлено ещё больше государственных и частных инвестиций. Несомненно, что влияние квантовых вычислений выйдет далеко за рамки финансов, затронув практически области химии, биологии, медицины, фармацевтики, энергетики, логистики и т.д. Данная статья содержит оценку влияния квантовых вычислений, в основном, на медицину и фармацевтику, поэтому вначале представим доминирующие области приложения квантовых вычислений в других областях.

ИИ-агенты в бизнесе. В 2025 году внимание, помимо квантовых вычислений, будет привлечено ещё и к технологии ИИ-агентов. В конце 2024-го и в 2025 году внимание переключается на модель ИИ-агента, которая способна принимать автономные решения. Gartner [2] определяет ИИ-агентов как ключевую тенденцию в этом году, что подтверждает опрос 1500 руководителей, проведенный Capgemini Research Institute: 32% оценивают ИИ-агентов как ведущую тенденцию в области данных и ИИ в 2025 году [3]. Аналогичным образом, Deloitte прогнозирует, что 25 процентов компаний, использующих ИИ, к тому времени запустят пилотные программы «агентного» ИИ [4]. Но пока не стоит переоценивать потенциал агентного ИИ, поскольку необходимо решить проблемы прозрачности и прослеживаемости решений, прежде чем масштабировать эти модели [4].

Робототехника и автоматизация. Самые оптимистичные прогнозы McKinsey предполагают, что до 40% работ в индустрии могут быть автоматизированы в течение следующих 20 лет, а мировая индустрия робототехники может принести 910 миллиардов долларов дохода к 2040 году [5]. Согласно опросу Capgemini, 24% руководителей высшего звена и 43% инвесторов венчурного капитала относят автоматизацию и робототехнику на основе ИИ к трем основным технологическим тенденциям в области данных и ИИ в 2025 году [3]. Следует также выделить развитие «мультимодального ИИ», который может интегрировать и обрабатывать данные из нескольких источников, что в сочетании с генеративным ИИ имеет потенциал для трансформации, например, в такой важной области, как медицинская диагностика.

Кибербезопасность и инструменты аутентификации. Кибербезопасность остается критической проблемой, т.к. риски быстро развиваются. К ним относятся квантовая угроза, проблемы конфиденциальности данных, связанные с повсеместными вычислениями, и киберпреступления (мошенничество, в том числе). В отчете Accenture Life Trends 2025 отмечается, что одной из главных проблем пользователей в 2025 году станет сложность проверки информации, особенно по цифровым каналам [6]. Они прогнозирует, что достижения в области генеративного ИИ, например, недавние прорывы в генерации видео OpenAI и Google, будут способствовать неправомерному использованию ИИ для дезинформации, дипфейков и фейковых новостей. Для устранения этих рисков все более важными будут инструменты для идентификации контента, созданного ИИ, инициативы разработки самостоятельной идентифи-

кации (self-sovereign identity,SSI) и методы анонимизированных данных. Эти меры направлены на обеспечение прозрачности, доверия и конфиденциальности в виртуальном мире, где границы продолжают размываться.

Новая (и возобновляемая) генерация энергии. Новые инновации, такие как децентрализация энергии с помощью виртуальных электростанций, принятие prosumer-моделей для распределенной генерации, могут значительно продвинуть глобальные усилия по увеличению доли чистой энергии в поддержке огромных энергетических потребностей масштабируемых технологий, таких как ИИ. Ученые Института будущего (Institute for the Future, Palo Alto, USA), - известной компании по прогнозированию, подчеркивают, что в гонке за чистую энергию появятся конкуренты, такие как атомная энергетика. В 2025 году ядерная энергетика может возродиться благодаря поддержке со стороны “Big Tech” компаний [7] и растущему внедрению малых модульных реакторов [8].

Таким образом, ожидается, что технология квантовых вычислений станет одним из определяющих трендов 2025 года. В глобальном масштабе Gartner прогнозирует, что ИТ-расходы достигнут 5,74 триллиона долларов в 2025 году, что на 9,3 процента больше, чем в 2024 году. Эти цифры подчеркивают решающее значение, которое придаётся технологическим инновациям. Энергетика, искусственный интеллект, робототехника и квантовые вычисления примечательны своим потенциалом решения сложных задач и создания перспективных приложений, которые принесут пользу людям, бизнесу и планете.

Кратко остановимся на лидирующих компаниях в области инноваций квантового ИИ.

Рис. 1 Ключевые игроки в области квантового искусственного интеллекта. Размер пузыря означает количество патентов в период с 2021 по 2023 год, показатели разнообразия заявок и географии охвата нормализованы и оцениваются по шкале от 0 до 1

Трудно описать детально все компании-лидеры, представленные на рисунке1, поэтому приведем достижения некоторых из них. IBM Quantum являющаяся лидером инноваций в области квантового оборудования, предлагает облачные услуги для квантовых вычислений. Google’s quantum AI lab, известна теоретическими разработками, решением задач оптимизации, криптографии, QML. Microsoft quantum, предлагает инновации как в аппаратном, так и в программном обеспечении, Quantum Development Kit имеет инструменты, адаптированные для квантового программи-

рования, Azure Quantum Microsoft разработала комплексную облачную экосистему, Rigetti Computing, лидер стартапов, имеет квантовые облачные сервисы и гибридные квантово-классические компьютеры. Rydberg atoms and photonics platforms использует различные пути использования квантовых явлений, а D-Wave улучшил квантовый отжиг, доказав, что квантовые алгоритмы могут быть в 3000 раз быстрее классических методов при определенных условиях [9].

Хотя квантовый ИИ все еще находится на ранних стадиях своего развития, у него есть несколько наглядных примеров успеха в различных отраслях. Например, Volkswagen и D-Wave, решили проблему пробок на дорогах, - алгоритм оптимизировал самые быстрые маршруты для множества такси в городе [10]. Инициатива Biogen, - лидера в области биотехнологий, использовала возможности квантовых вычислений для моделирования и анализа больших молекул: вместе с Accenture и 1QBit они разработали метод ускорения процесса создания лекарств, что потенциально приводит к прорывным методам лечения [11].

Поскольку в нестабильном мире финансов оптимизация имеет решающее значение, JPMorgan Chase и IBM оптимизировали торговые стратегии, управление кредитными рисками и портфелем ценных бумаг. Используя квантовые алгоритмы, им удалось эффективно смоделировать экономические сценарии и лучше понять оценку рисков [12]. Airbus оптимизировали методы создания материалов квантовыми вычислениями, где классические компьютеры требовали больших вычислительных затрат [13]. И, наконец, глобальная банковская группа BBVA использовала квантовые технологии для улучшения своих финансовых операций, -в тандеме с Fujitsu и Национальным исследовательским советом Испании, BBVA провела тест по оптимизации портфеля производных финансовых инструментов. Результаты показали потенциал квантовых вычислений, предлагая решения в 10 раз быстрее, чем традиционные методы [14]. На рисунке 2 представлен обобщенная схема того, как квантовый ИИ потенциально может способствовать успеху вышеупомянутых бизнес-кейсов.

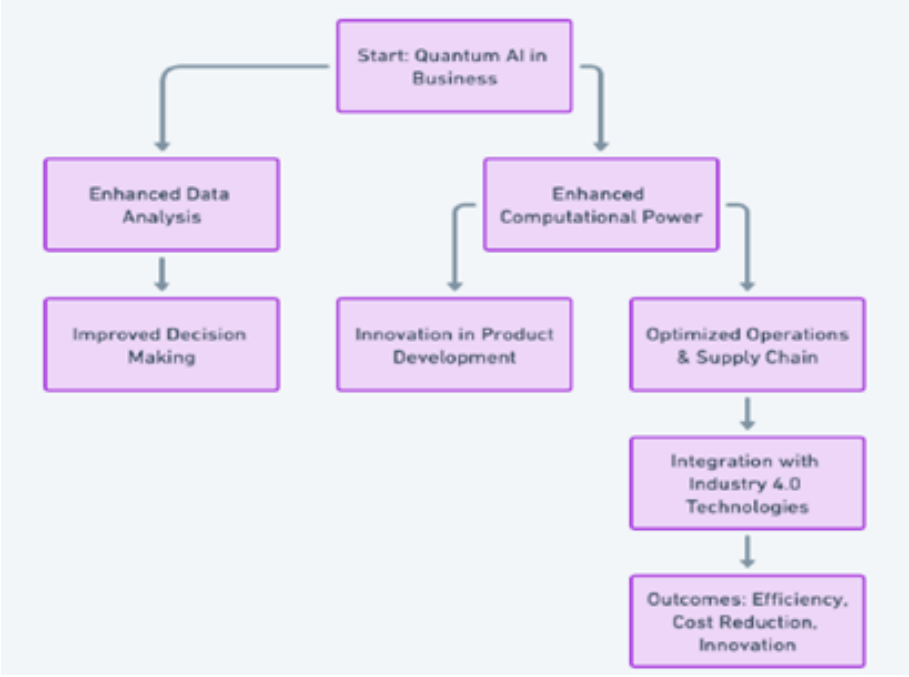

Рис. 2 Квантовый ИИ – потенциал успеха инновационного бизнеса [9]

Безусловно, есть и немало неудач в применении квантовых вычислений [15–18]. Однако уроки, извлеченные из неудачных попыток, подчеркивают важность взвешенного, информированного и целостного подхода. Только тогда можно принимать решения, гарантирующие, что проекты в области квантового ИИ будут основаны на реальности, эффективно оптимизированы для достижения успеха и смогут доказать истинную преобразующую силу квантовых вычислений. Далее остановимся на применении квантовых вычислений в здравоохранении.

2 Материал и методы

QC пересекается с медицинскими исследованиями в разработке лекарств, молекулярном моделировании, геномике и медицинской диагностике. Квантовые алгоритмы, квантовое машинное обучение (QML) и квантово-улучшенная обработка изображений могут быть объяснены, что подчеркивает их особую актуальность сегодня. Каков же реальный потенциал квантово–классических гибридных систем и аппаратных инноваций, которые могут ускорить внедрение QC в медицинские исследования и клиническую практику? В [19] перечислены известные сегодня 11 моделей квантового машинного обучения, которые применяются в гибридных квантово-классических моделях. На рисунке 3 приведена базовая схема приложений, подробно изложенная в [20].

Рис. 3 Ключевые области применения QC в медицине [20]

Потенциал QC в революционной трансформации здравоохранения заключается в его беспрецедентной способности решать сложные задачи, недоступные классическим компьютерам. Самой серьезной проблемой в современной медицине является огромный объём и сложность данных, получаемых в результате медицинских исследований, клинических испытаний и записей о пациентах [21]. QC может обрабатывать огромные объемы информации одновременно (мульти-источники), что делает QC идеальным инструментом для решения задач в геномике, персонализированной

медицине и прогнозной аналитике. QC могут ускорить открытие новых лекарств, моделируя молекулярные взаимодействия в масштабах, с которыми классические системы не справляются [22]. Квантовые алгоритмы способны оптимизировать процессы принятия клинических решений, обеспечивая более точную диагностику и рекомендации по лечению, особенно в онкологии [23] и кардиологии [24], где данные пациента должны обрабатываться в режиме реального времени. Таблица 1 иллюстрирует сравнительные преимущества QC по сравнению с классическими вычислениями в области медицины [25–27]. В таблице представлены ключевые области, в которых квантовые вычисления превосходят классические, проявляя свой потенциал в повышении скорости обработки данных, решении сложных задач ИИ, и эффективности использования ресурсов и безопасности данных в здравоохранении.

Таб. 1. Сравнительные преимущества QC по сравнению с классическими вычислениями в медицине.

Аспект	**Квантовые вычисления**	**Классические вычисления**
Скорость обработки данных	Обрабатывает сложные наборы данных экспоненциально быстрее благодаря суперпозиции и параллелизму.	Ограничивается последовательной обработкой, что приводит к увеличению времени вычислений.
Решение сложных задач	Эффективно решает проблемы, связанные с множеством переменных и вероятностей, - молекулярные взаимодействия.	Борется с NP-сложными задачами, -большие затраты ресурсов и времени.
Drug Design	Ускоряет молекулярное моделирование, - быстрее распознает потенциальные лекарства.	Медленнее ищет лекарства, - методы проб и ошибок, классические модели.
Геномный анализ	Расширяет возможности анализа сложных генетических данных, улучшая понимание генетических взаимодействий.	Сталкивается с ограничениями в обработке больших наборов геномных данных.
Медицинская визуализация	Совершенствует методы визуализации с помощью квантово-усиленных методов, высокое разрешение.	Обычные методы визуализации могут не улавливать мелкие детали или требовать длительного времени обработки.
Персонализированная медицина	Оптимизирует планы лечения за счет одновременного учета множества факторов, что приводит к более точному индивидуальному подходу.	Обычно используются стандартные протоколы лечения, которые могут не учитывать индивидуальные особенности пациента.
ИИ и машинное обучение	Улучшает модели искусственного интеллекта за счет более быстрой обработки данных и точного	Ограничен классическими вычислительными мощностями, что может замедлить обучение.

Разработка лекарственных средств и молекулярное моделирование

QC эффективно улучшает разработку лекарств и молекулярное моделирование, значительно ускоряя процесс создания новых препаратов. Традиционные методы моделирования молекулярных взаимодействий и прогнозирования того, как лекарство будет взаимодействовать с биологическими мишенями, требуют больших вычислительных затрат и времени, особенно для сложных молекул [28]. Однако квантовые компьютеры могут моделировать эти взаимодействия на квантовом уровне, представляя более точные модели поведения молекул за значительно меньшее время, чем классические компьютеры [29]. Одним из примеров является вышеупомянутое сотрудничество Biogen и Accenture Labs, где квантовые алгоритмы были применены для ускорения разработки методов лечения неврологических заболеваний, таких как болезни Альцгеймера, Паркинсона и Лу Герига [30]. Moderna с IBM применяют QC для изучения мРНК, используемой в вакцинах [31]. Эти примеры подтверждают, что квантовое моделирование является не просто теоретическим инструментом, но и активно трансформирует фармацевтическую промышленность, оптимизируя процесс разработки лекарств и ускоряя вывод жизненно важных препаратов на рынок [32].

Геномика и персонализированная медицина

QC преобразует геномику и персонализированную медицину, сделав возможным анализ сложных генетических взаимодействий в масштабах, которые в настоящее время невозможны с помощью классических компьютеров [33]. Сложная природа генетики человека требует огромных вычислительных мощностей для понимания того, как гены взаимодействуют и влияют на болезни. Квантовые алгоритмы могут эффективнее моделировать эти взаимодействия, выявляя закономерности и генетические мутации, способствующие развитию рака, болезни Альцгеймера и сердечно-сосудистых заболеваний [34]. В области персонализированной медицины квантовые модели дают возможность оптимизировать планы лечения за счёт обработки геномной информация пациента, истории болезни и факторов окружающей среды. В этом случае удаётся выбрать методы лечения, специфичные для генетической структуры человека. Это доказывают исследования Cambridge QC по использованию QC для генетических исследований, и партнерство Strelchuk et al. [35] с программой Q4Bio для изучения картирования разнообразия ДНК.

Медицинская диагностика

QC становится мощным инструментом в медицинской диагностике, особенно благодаря его способности улучшать распознавание образов и анализировать данные для раннего выявления заболеваний. Квантовые нейронные сети [36] и квантовые методы опорных векторов [37], обладают потенциалом для обработки сложных наборов медицинских данных эффективнее, чем классические системы, выявляя тонкие закономерности, которые часто упускаются из виду. QC может быть использован в анализе генетических данных для выявления ранних маркеров нейродегенеративных заболеваний, - болезни Альцгеймера или Паркинсона [38].

Команда Google по квантовому ИИ [39] и D-Wave [40] активно исследуют, как QC может ускорить раннюю диагностику рака за счет улучшенного распознавания и анализа больших наборов медицинских данных. В реализации D-Wave квантовое ускорение получают за счёт квантового туннелирования, когда кубиты могут переходить из одного состояния в другое, даже если между ними существует энергетический барьер. Это позволяет системе исследовать множество возможных решений одновременно, что приводит к значительному сокращению времени, необходимого

для достижения оптимального решения, по сравнению с классическими методами.

Методы квантовой визуализации

Квантовые принципы способны произвести революцию в медицинской визуализации за счет повышения точности и разрешающей способности, например, в магнитно-резонансной томографии (МРТ). Одним из достижений в этой области является разработка МРТ с квантовым усилением, которая использует квантовую когерентность и запутанность для получения изображений с более высоким разрешением, что позволяет обеспечить более раннее и точное обнаружение опухолей [41, 42]. Эти достижения не только улучшают качество визуализации, но и сокращают время обследования пациента. Хотя методы квантовой визуализации напрямую не связаны с QC, они продолжают развиваться и обладают значительным потенциалом для расширения диагностических возможностей.

3 Обсуждение

Несмотря на свой огромный потенциал в различных областях, как было показано выше, QC сталкиваются со значительными технологическими барьерами, которые ограничивают применение, например, в медицине. Одной из основных проблем являются ограниченные аппаратные возможности квантовых компьютеров. Современные квантовые процессоры, разработанные IBM и Google, все еще находятся на этапе зашумленных квантовых систем промежуточного уровня (the noisy intermediate-scale quantum, NISQ), где кубиты подвержены ошибкам из-за декогеренции и шума [43]. Это ограничивает масштабируемость квантовых систем, поскольку даже небольшим количеством кубитов уже трудно управлять и поддерживать в стабильном состоянии [44].

Необходимость работать при экстремально низких температурах и в условиях вакуума делает разработку квантового оборудования сложной и дорогостоящей. Проблемы масштабируемости также распространяются на количество кубитов, необходимых для решения реальных медицинских задач, поскольку крупномасштабное моделирование для создания лекарств, персонализированной медицины или лучевой терапии потребовало бы от тысяч до миллионов отказоустойчивых кубитов, что намного превышает возможности современного аппаратного обеспечения [45].

Устранение этих технологических барьеров будет иметь решающее значение для раскрытия всего потенциала QC в здравоохранении, и текущие исследования направлены на повышение стабильности кубитов, исправление ошибок и масштабируемость аппаратного обеспечения. В отличие от классических вычислительных систем, которые хорошо зарекомендовали себя в больницах и исследовательских институтах, квантовым компьютерам требуются особые среды, что затрудняет их установку и обслуживание в стандартных клинических условиях [46]. Это создает трудности при интеграции данных, поскольку записи о пациентах, диагностические изображения и системы планирования лечения основаны на классических форматах данных и программном обеспечении. Для QC также требуется высококвалифицированные специалисты, способные понимать как квантовую механику, так и клинические приложения, что делает обучение медицинских работников ключевой задачей.

В таблице 2 представлены технологические, инфраструктурные барьеры, которые необходимо устранить для эффективной интеграции квантовых систем в медицинские приложения.

Таб. 2. Текущие проблемы и ограничения при внедрении квантовых вычислений в медицине [20].

Проблемы	Описание
Ограниченные аппаратные возможности	Квантовые компьютеры все еще находятся в NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum), где кубиты очень восприимчивы к ошибкам из-за декогеренции и шума из окружающей среды, что ограничивает масштабируемость.
Масштабируемость	Крупномасштабные медицинские симуляции (например, разработка лекарств, персонализированная медицина и лучевая терапия) требуют от тысяч до миллионов отказоустойчивых кубитов, что намного превышает текущие возможности.
Специализированное и дорогое квантовое оборудование	Квантовые компьютеры требуют строго контролируемых условий, таких как экстремально низкие температуры и вакуум, что делает их трудными и дорогостоящими в разработке и обслуживании.
Интеграция с клиническими установками	Квантовым компьютерам требуются специализированные среды, несовместимые со стандартной инфраструктурой здравоохранения. Квантовые алгоритмы также сталкиваются с проблемами интеграции с классическими ИТ-системами здравоохранения.
Подготовка кадров и экспертные знания	QC в здравоохранении требует рабочей силы, квалифицированной как в области квантовой механики, так и в области клинических применений, что создает проблему при подготовке медицинских работников.
Конфиденциальность и безопасность данных	Квантовые системы могут нарушать существующие методы шифрования, вызывая опасения по поводу безопасности конфиденциальных данных пациентов и требуя квантово-безопасного шифрования.
Высокая стоимость квантового оборудования и технического обслуживания	Затраты на инфраструктуру и эксплуатацию квантовых систем значительно выше, чем на классические системы, что ограничивает внедрение в учреждения здравоохранения с ограниченными ресурсами.

Какие направления развития QC в здравоохранении сегодня уже просматриваются? Одним из ключевых направлений, определяющих будущее QC, является разработка квантовой коррекции ошибок и других аппаратных инноваций. Исправление ошибок имеет решающее значение, поскольку приводят к сбоям во время вычислений [47]. Решить эти проблемы предполагают с помощью квантовых кодов коррекции ошибок, которые обнаруживают и исправляют ошибки, не нарушая вычислительный процесс. Это значительно повысит стабильность и масштабируемость квантовых систем, позволяя использовать более сложные и надежные квантовые алгоритмы для медицинских приложений [48]. Более того, новые разработки квантового оборудования, такие как топологические кубиты обещают сделать квантовые компьютеры более надежными и способными обрабатывать реальные медицинские данные [49]. Эти достижения в области аппаратного обеспечения потенциально изменят такие области, как разработка лекарств, геномика и медицинская диагностика.

В ближайшей перспективе применением QC в здравоохранении является разработка квантово-классических гибридных систем. Эти системы используют преимущества как квантовых, так и классических вычислений, позволяя им работать совместно [50]. Существует два подхода к квантовому программированию: гибридные программы в режиме почти реального времени и гибридные квантовые программы

в режиме реального времени. Оба метода позволяют ускорить выполнение в режиме реального времени, хотя они не обеспечивают выполнение классического кода в режиме реального времени при сохранении когерентности квантового состояния. Гибридные алгоритмы Variational Quantum Eigensolver (VQE) и алгоритм квантовой приближенной оптимизации (approximate optimization algorithm, QAOA) [51], выполняют квантовые вычисления для определенных частей задачи, в то время как классические компьютеры обрабатывают все остальное. Этот подход особенно полезен, учитывая существующие ограничения в области квантового оборудования, поскольку он позволяет реализовать квантовые преимущества, не требуя полностью отказоустойчивых квантовых компьютеров.

Ожидается, что это квантово–классическое сотрудничество станет важным связующим звеном, позволяющим квантовым технологиям оказывать непосредственное влияние на сектор здравоохранения, в то время как полностью квантовые системы все еще находятся в стадии разработки. Эксперты прогнозируют, что их интеграция в основные медицинские исследования и клиническую практику, вероятно, произойдет в течение следующих двух десятилетий [25, 52, 53].Однако полномасштабное внедрение, при котором QC станет рутинной частью клинических рабочих процессов, будет зависеть от дальнейшего технологического прогресса и снижения затрат, что потенциально сделает QC основным направлением клинической практики к середине 21 века.

4 Заключение

Квантовые вычисления готовы стать преобразующей силой в области бизнеса и медицины, предлагая уникальные возможности в области обработки данных, решения проблем и моделирования. Используя квантовые принципы, такие как суперпозиция, запутанность и квантовые алгоритмы, QC может произвести революцию в финансах, логистике, индустрии, здравоохранении. Эти достижения позволят быстрее и точнее решать некоторые из самых сложных проблем, с которыми исторически сталкивались классические компьютеры. Квантовые методы, такие как квантовые алгоритмы, квантовое машинное обучение и квантово–классические гибридные системы, уже начинают демонстрировать многообещающие результаты в ускорении исследований и оптимизации применений в разных областях. Будущий потенциал QC огромен. Квантовые компьютеры позволят моделировать сложные системы, что значительно сократит время и затраты, а модели ИИ с квантовым блоком могут позволить уже сегодня решать NP-полные проблемы. Однако реализация всего потенциала QC зависит от продолжения исследований и разработок. Технологические барьеры, такие как аппаратные ограничения и проблемы масштабируемости, по-прежнему нуждаются в устранении, а также сохраняются значительные экономические и нормативные проблемы. Совместные усилия исследователей, практиков будут иметь важное значение для обеспечения безопасной и эффективной интеграции QC. Постоянные инвестиции в квантовые исследования не только стимулируют инновации, но и гарантируют, что QC станет ключевым инструментом в решении задач науки и практики будущего.

Литература

[1] https://www.bbva.com/en/innovation/technology-trends-2025-from-quantum-computing-to-ai-agents/

[2] https://www.gartner.es/es/articulos/principales-tendencias-tecnologicas-2025

[3] https://www.capgemini.com/insights/research-institute/

[4] https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2025/autonomous-generative-ai-agents-still-under-development.html

[5] https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/the-next-big-arenas-of-competition

[6] https://www.accenture.com/us-en/insights/song/accenture-life-trends

[7] https://www.businessinsider.es/tecnologia/amazon-microsoft-apuestan-big-tech-energia-nuclear-impulsar-ia-1412560

[8] https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs

[9] *How M.L., Cheah S.M.* Forging the Future: Strategic Approaches to Quantum AI Integration for Industry Transformation AI 2024, 5, 290–323.https://doi.org/10.3390/ai5010015

[10] *Neukart F., Compostella G., Seidel C., Von Dollen D., Yarkoni S., Parney B.* Traffic Flow Optimization Using a Quantum Annealer. Front. ICT 2017. 4, 29.

[11] *Batra K., Zorn K.M., Foil D.H., Minerali E., Gawriljuk V.O., Lane T.R., Ekins S.* Quantum Machine Learning Algorithms for Drug Discovery Applications. J. Chem. Inf. Model. 2021. 61, – P. 2641–2647.

[12] *Orús R., Mugel S., Lizaso E.* Quantum Computing for Finance: Overview and Prospects. Rev. Phys. – 2019. 4, 100028.

[13] *Veis L., Pittner J.* Quantum Computing Applied to Calculations of Molecular Energies: CH2 Benchmark. J. Chem. Phys. – 2010. 133,194106.

[14] *Brynjolfsson E., McAfee A.* The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, 1st ed.; W. W.Norton & Company: New York, NY, USA, 2014. ISBN 978-0-393-23935-5.

[15] *Preskill J.* Quantum Computing in the NISQ Era and Beyond. Quantum – 2018. 2, 79.

[16] *Amin M.H., Andriyash E., Rolfe J., Kulchytskyy B., Melko R.* Quantum Boltzmann Machine. Phys. Rev. X – 2018. 8, 021050

[17] *Cao Y., Romero J., Olson J.P., Degroote M., Johnson P.D., Kieferova M., Kivlichan I.D., Menke T., Peropadre B., Sawaya N.P.D., et al.* Quantum Chemistry in the Age of Quantum Computing. Chem. Rev. – 2019. 119, – P. 10856–10915.

[18] *Farhi E., Goldstone J., Gutmann S., Zhou L.* The Quantum Approximate Optimization Algorithm and the Sherrington-Kirkpatrick Model at Infinite Size. Quantum – 2022. 6, 759

[19] *Ullah and B. Garcia-Zapirain* "Quantum Machine Learning Revolution in Healthcare: A Systematic Review of Emerging Perspectives and Applications,"in IEEE Access, vol. 12, – P. 11423-11450. – 2024. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3353461.

[20] *Chow J.C.L.* Quantum Computing in Medicine Med. Sci. – 2024. 12, 67.

[21] *Doga H., Bose A., Sahin M.E., Bettencourt-Silva J., Pham A., Kim E., Andress A., Saxena S., Parida L., Robertus J.L., et al.* How can quantum computing be applied in clinical trial design and optimization? Trends Pharmacol. Sci. – 2024. 45, – P. 880–891.

[22] *Sharma P.* Quantum Computing in Drug Design: Enhancing Precision and Efficiency in Pharmaceutical Development. Sage Sci.Rev. Appl. Mach. Learn. – 2024. 7, – P. 1–9.

[23] *Niraula D., Jamaluddin J., Matuszak M.M., Haken R.K., Naqa I.E.* Quantum deep reinforcement learning for clinical decision support in oncology: Application to adaptive radiotherapy. Sci. Rep. – 2021. 11, 23545.

[24] *Enad H.G., Mohammed M.A.* A review on artificial intelligence and quantum machine learning for heart disease diagnosis:Current techniques, challenges and issues, recent developments, and future directions. Fusion Pract. Appl. (FPA) – 2023. 11, – P. 8–25.

[25] *Ur Rasool R., Ahmad H.F., Rafique W., Qayyum A., Qadir J., Anwar Z.* Quantum computing for healthcare: A review. Future Internet 2023. 15, 94.

[26] *Flother F.F.* The state of quantum computing applications in health and medicine. Res. Dir. Quantum Technol. – 2023. 1, e10.

[27] *Wang P.H., Chen J.H., Yang Y.Y., Lee C., Tseng Y.J.* Recent advances in quantum computing for drug discovery and development.IEEE Nanotechnol. Mag. – 2023. 17, – P. 26–30.

[28] *Cao Y., Romero J., Olson J.P., Degroote M., Johnson P.D., Kieferova M., Kivlichan I.D., Menke T., Peropadre B., Sawaya N.P. et al.* Quantum chemistry in the age of quantum computing. Chem. Rev. – 2019. 119, – P. 10856–10915.

[29] *Cao Y., Romero J., Aspuru-Guzik A.* Potential of quantum computing for drug discovery. IBM J. Res. Dev. – 2018. 62, 6:1–6:20.

[30] *Unkefer H., Granstra C.* Accenture Labs and 1QBit Work with Biogen to Apply Quantum Computing to Accelerate Drug Discovery. – 2017. Available online: https://newsroom.accenture.com/news/2017/accenture-labs-and-1qbit-work-with-biogento-apply-quantum-computing-to-accelerate-drug-discovery

[31] *Constantino A.K.* Moderna Teams up with IBM to Put A.I., Quantum Computing to Work on mRNA Technology Used in Vaccines. – 2023. Available online: https://www.cnbc.com/2023/04/20/moderna-and-ibm-to-use-ai-quantum-computing-onmrna-vaccines.html

[32] *Zinner M., Dahlhausen F., Boehme P., Ehlers J., Bieske L., Fehring L.* Quantum computing's potential for drug discovery: Early stage industry dynamics. Drug Discov. Today – 2021. 26, – P. 1680–1688.

[33] *Gepp A., Stocks P.* A review of procedures to evolve quantum algorithms. Genet. Program. Evolvable Mach. – 2009. 10, – P. 181–228.

[34] *Vashisth S., Dhall I., Aggarwal G.* Design and analysis of quantum powered support vector machines for malignant breast cancer diagnosis. J. Intell. Syst. – 2021. 30, – P. 998–1013.

[35] A Quantum Leap: Mapping DNA Diversity with Quantum Computing. 2024. Available online: https://www.maths.cam.ac.uk/features/quantum-leap-mapping-dna-diversity-quantum-omputing

[36] *Abbas A., Sutter D., Zoufal C., Lucchi A., Figalli A.,Woerner S.* The power of quantum neural networks. Nat. Comput. Sci. – 2021. 1, – P. 403–409.

[37] *Ding C., Bao T.Y., Huang H.L.* Quantum-inspired support vector machine. IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. – 2021. 33, – P. 7210–7222.

[38] *Alhudhaif A.A.* A novel approach to recognition of Alzheimer's and Parkinson's diseases: Random subspace ensemble classifier based on deep hybrid features with a super-resolution image. PeerJ Comput. Sci. 2024. 10, e1862.

[39] *Adebayo P., Basaky F., Osaghae E.* Developing a Model for Predicting Lung Cancer Using Variational Quantum-Classical Algorithm: A Survey. J. Appl. Artif. Intell. – 2022. 3, – P. 47–60.

[40] *Hu F., Wang B.N., Wang N., Wang C.* Quantum machine learning with D-wave quantum computer. Quantum Eng. – 2019. 1, e12.

[41] *Wang X.* Quantum-enhanced MRI Sensitivity: Dissolution-dynamic Nuclear and Parahydrogen-induced Polarization. Highlights Sci. Eng. Technol. – 2023. 38, – P. 423–430.

[42] *Aslam N., Zhou H., Urbach E.K., Turner M.J., Walsworth R.L., Lukin M.D., Park H.* Quantum sensors for biomedical applications. Nat. Rev. Phys. – 2023. 5, – P. 157–169.

[43] *Cheng B., Deng X.H., Gu X., He Y., Hu G., Huang P., Li J., Lin B.C., Lu D., Lu Y., et al.* Noisy termediate-scale quantum computers. Front. Phys. – 2023. 18, 21308.

[44] *Knill E.* Scalable quantum computing in the presence of large detected-error rates. Phys. Rev. A—At. Mol. Opt. Phys. 2005. 71, 042322.

[45] *Humble T.S., McCaskey A., Lyakh D.I., Gowrishankar M., Frisch A., Monz T.* Quantum computers for high-performance computing. IEEE Micro – 2021. 41, – P. 15–23.

[46] *Kumar, A., Bhushan, B., Shriti, S., Nand, P.* Quantum computing for health care: A review on implementation trends and recent advances. In Multimedia Technologies in the Internet of Things Environment, Springer: Singapore, – 2022. – Volume 3, – P. 23–40.

[47] *Roffe J.* Quantum error correction: An introductory guide. Contemp. Phys. – 2019. 60, – P. 226–245.

[48] *Gottesman D.* An introduction to quantum error correction and fault-tolerant quantum computation. In Quantum Information Science and Its Contributions to Mathematics, Proceedings of the Symposia in Applied Mathematics, American Mathematical Society: Washington, DC, USA, 2010. Volume 68, – P. 13–58.

[49] *Stern A., Lindner N.H.* Topological quantum computation—From basic concepts to first experiments. Science – 2013. 339, – P. 1179–1184.

[50] *Lubinski T., Granade C., Anderson A., Geller A., Roetteler M., Petrenko A., Heim B.* Advancing hybrid quantum–classical computation with real-time execution. Front. Phys. – 2022. 10, 940293.

[51] *Farhi E., Goldstone J., Gutmann S.* A quantum approximate optimization algorithm. arXiv – 2014. arXiv:1411.4028.

[52] *Jeyaraman N., Jeyaraman M., Yadav S., Ramasubramanian S., Balaji S.* Revolutionizing Healthcare: The Emerging Role of Quantum Computing in Enhancing Medical Technology and Treatment. Cureus – 2024. 16, e67486.

[53] *Davids J., Lidstromer N., Ashrafian H.* Artificial intelligence in medicine using quantum computing in the future of healthcare. In Artificial Intelligence in Medicine, Springer International Publishing: Cham, Switzerland, – 2022. – P. 423–446.

Поступила в редакцию 15.04.2025

UDC 004.832.2

WHY ARE QUANTUM COMPUTING TECHNOLOGIES THE FUTURE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE?

Adilova F.T.

fatadilova@gmail.com

V.I. Romanovskiy Institute of Mathematics UzAS,

9, University str., Tashkent, 100174 Uzbekistan.

Quantum technologies are transforming industries by harnessing the principles of quantum mechanics. These innovations promise to revolutionize computing, communications, sensing, cryptography, and healthcare, offering solutions previously considered unattainable. Quantum computing is changing the way complex problems are solved: unlike classical computers that use bits to represent information in binary code, quantum computers exploit the laws of quantum physics to perform calculations beyond the reach of even the most advanced classical systems. Quantum algorithms can efficiently solve logistical challenges, optimize global supply chains, accelerate risk analysis, and enhance decision-making in complex financial models. Quantum computers enable unprecedent-

edly fast simulation of molecular interactions, expediting drug discovery, enabling personalized medicine, and elevating disease diagnostics to a new level. All these advances lay the foundation for the future development of artificial intelligence, the prospects of which are discussed in this paper.

Keywords: quantum computing, artificial intelligence, quantum AI, innovative strategies, business innovation, medicine.

Citation: Adilova F.T. 2025. Why are quantum computing technologies the future of artificial intelligence?. *Problems of Computational and Applied Mathematics.* 2(64): 87-100.

DOI: https://doi.org/10.71310/pcam.2_64.2025.08.

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

№ 2(64) 2025

Журнал основан в 2015 году.
Издается 6 раз в год.

Учредитель:
Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Главный редактор:
Равшанов Н.

Заместители главного редактора:
Азамов А.А., Арипов М.М., Шадиметов Х.М.

Ответственный секретарь:
Ахмедов Д.Д.

Редакционный совет:
Алоев Р.Д., Амиргалиев Е.Н. (Казахстан), Арушанов М.Л., Бурнашев В.Ф., Загребина С.А. (Россия), Задорин А.И. (Россия), Игнатьев Н.А., Ильин В.П. (Россия), Иманкулов Т.С. (Казахстан), Исмагилов И.И. (Россия), Кабанихин С.И. (Россия), Карачик В.В. (Россия), Курбонов Н.М., Маматов Н.С., Мирзаев Н.М., Мухамадиев А.Ш., Назирова Э.Ш., Нормуродов Ч.Б., Нуралиев Ф.М., Опанасенко В.Н. (Украина), Расулмухамедов М.М., Расулов А.С., Садуллаева Ш.А., Старовойтов В.В. (Беларусь), Хаётов А.Р., Халджигитов А., Хамдамов Р.Х., Хужаев И.К., Хужаеров Б.Х., Чье Ен Ун (Россия), Шабозов М.Ш. (Таджикистан), Dimov I. (Болгария), Li Y. (США), Mascagni M. (США), Min A. (Германия), Singh D. (Южная Корея), Singh M. (Южная Корея).

Журнал зарегистрирован в Агентстве информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан.
Регистрационное свидетельство №0856 от 5 августа 2015 года.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.
За точность фактов и достоверность информации ответственность несут авторы.

Адрес редакции:
100125, г. Ташкент, м-в. Буз-2, 17А.
Тел.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.
Э-почта: journals@airi.uz.
Веб-сайт: https://journals.airi.uz.

Дизайн и вёрстка:
Шарипов Х.Д.

Отпечатано в типографии НИИ РЦТИИ.
Подписано в печать 25.04.2025 г.
Формат 60x84 1/8. Заказ №2. Тираж 100 экз.

PROBLEMS OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS

No. 2(64) 2025

The journal was established in 2015.
6 issues are published per year.

Founder:
Digital Technologies and Artificial Intelligence Development Research Institute.

Editor-in-Chief:
Ravshanov N.

Deputy Editors:
Azamov A.A., Aripov M.M., Shadimetov Kh.M.

Executive Secretary:
Akhmedov D.D.

Editorial Council:
Aloev R.D., Amirgaliev E.N. (Kazakhstan), Arushanov M.L., Burnashev V.F., Zagrebina S.A. (Russia), Zadorin A.I. (Russia), Ignatiev N.A., Ilyin V.P. (Russia), Imankulov T.S. (Kazakhstan), Ismagilov I.I. (Russia), Kabanikhin S.I. (Russia), Karachik V.V. (Russia), Kurbonov N.M., Mamatov N.S., Mirzaev N.M.,Mukhamadiev A.Sh., Nazirova E.Sh., Normurodov Ch.B., Nuraliev F.M., Opanasenko V.N. (Ukraine), Rasulov A.S., Sadullaeva Sh.A., Starovoitov V.V. (Belarus), Khayotov A.R., Khaldjigitov A., Khamdamov R.Kh., Khujaev I.K., Khujayorov B.Kh., Chye En Un (Russia), Shabozov M.Sh. (Tajikistan), Dimov I. (Bulgaria), Li Y. (USA), Mascagni M. (USA), Min A. (Germany), Singh D. (South Korea), Singh M. (South Korea).

The journal is registered by Agency of Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan.
The registration certificate No. 0856 of 5 August 2015.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

At a reprint of materials the reference to the journal is obligatory.
Authors are responsible for the accuracy of the facts and reliability of the information.

Address:
100125, Tashkent, Buz-2, 17A.
Tel.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.
E-mail: journals@airi.uz.
Web-site: https://journals.airi.uz.

Layout design:
Sharipov Kh.D.

DTAIDRI printing office.
Signed for print 25.04.2025
Format 60x84 1/8. Order No. 2. Print run of 100 copies.

Содержание

Хужаёров Б.Х., Файзиев Б.М., Сагдуллаев О.К.
Математическая модель переноса деградирующегося вещества в двухзонной пористой среде 5

Салимова А.И., Паровик Р.И.
Программный комплекс ABMVAFracSim для исследования дробного осциллятора Ван дер Поля-Эйри 17

Равшанов Н., Шадманов И.У., Адизова З.М.
Разработка математической модели для контроля и прогнозирования процессов тепло- и влагообмена в процессе хранения зерновых продуктов с учетом воздействия вредителей 30

Рустамов Н., Амиртаев К.
Эвристическая модель оценки психического свойства лидера 46

Нормуродов Ч.Б., Муродов С.К., Шакаева Э.Э.
Спектрально-сеточная аппроксимация обыкновенного дифференциального уравнения с малым параметром при старшей производной 54

Хаётов А.Р., Бердимурадова У.,А.
Оптимальная квадратурная формула с производными для произвольно фиксированных узлов в пространстве Соболева 64

Нормуродов Ч.Б., Шакаева Э.Э., Зиякулова Ш.А.
Дискретный вариант метода предварительного интегрирования и его применение к численному ришению сингулярно возмущенного уравнения 74

Адылова Ф.Т.
Почему квантовые вычисления – это будущее искусственного интеллекта? . 87

Мухамедиева Д.Т., Раупова М.Х.
Квадратичное программирование в модели распределения ресурсов в сельском хозяйстве на основе квантового алгоритма 101

Шарипов Д.К., Саидов А.Д.
Модифицированный метод SHAP для интерпретируемого прогнозирования осложнений сердечно-сосудистых заболеваний 114

Contents

Khuzhayorov B.Kh., Fayziev B.M.
Mathematical model of transport of degrading substance in a two-zone porous medium 5

Salimova A.I., Parovik R.I.
ABMVAFracSim software package for studying the fractional van der Pol-Airy oscillator 17

Ravshanov N., Shadmanov I.U., Adizova Z.M.
Development of a mathematical model for monitoring and forecasting heat and moisture exchange processes during grain storage considering pest impact 30

Rustamov N., Amirtayev K.
A heuristic model for evaluating the mental qualities of a leader 46

Normurodov Ch.B., Murodov S.K., Shakaeva E.E.
Spectral-grid approximation of an ordinary differential equation with a small parameter at the highest derivative 54

Hayotov A.R., Berdimuradova U.A.
An optimal quadrature formula with derivatives for arbitrarily fixed nodes in the Sobolev space 64

Normurodov Ch.B., Shakaeva E.E., Ziyakulova Sh.A.
A discrete variant of the method pre-integration and its application to the numerical solution of a singularly perturbed equation 74

Adilova F.T.
Why are quantum computing technologies the future of artificial intelligence? . . 87

Mukhamediyeva D.T., Raupova M.H.
Quadratic programming in the resource allocation model in agriculture based on the quantum algorithm 101

Sharipov D.K., Saidov A.D.
Modified SHAP approach for interpretable prediction of cardiovascular complications 114

№ 2(64) 2025

ISSN 2181-8460

HISOBLASH VA AMALIY MATEMATIKA MUAMMOLARI

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

PROBLEMS OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA
SUN'IY INTELLEKTNI RIVOJLANTIRISH
ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI