

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

FUNDAMENTALS OF RELIABILITY AND QUALITY ISSUES

УДК 338.45:622.3

doi: 10.21685/2307-4205-2024-3-1

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ГЛОБАЛЬНЫЙ ВЫЗОВ, ТРЕБУЮЩИЙ ОЧЕРЕДНОЙ РЕВОЛЮЦИИ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Б. Ш. Собиров¹, Т. Т. Карамергенов², Н. А. Северцев³, Н. К. Юрков⁴

¹ Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

² Военный институт Сил воздушной обороны имени дважды Героя Советского Союза Т. Я. Бегельдинова,
Актобе, Республика Казахстан

³ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ elenan_27@mail.ru, ² sabinak@mail.ru, ³ sever@ccas.ru, ⁴ yurkov_NK@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность исследования обусловлена тем, что сегодня один из наиболее серьезных фундаментальных вызовов для технологических компаний – это то, что потребности в вычислительных мощностях постоянно растут. Бизнес-среда все быстрее приближается к новой вычислительной парадигме. Одним из ответов на этот вызов могут стать квантовые технологии. Цель исследования – оценка текущего состояния квантовых вычислений и определение направления развития этого направления, а также препятствий и ограничений применения квантовых технологий. *Материалы и методы.* Эмпирической базой исследования послужили исследования института искусственного интеллекта AIRI, а также исследования CaixaBank, TotalEnergies, Quantinuum авторов В. G. Ibrahimov, А. О. Orujov, А. Н. Hasanov, К. М. Tahirova в статье «Research and analysis efficiency fiber optical communication lines using quantum technology». *Результаты.* В данном исследовании представлено главное преимущество квантовых вычислений, отмечается, что они основаны совершенно на других принципах, чем традиционные, и будут использовать собственную аппаратную и математическую базу. Представлены результаты исследований и экспериментов в области квантовых вычислений, достигнутые нефтяными компаниями. Прделанная работа и накопленный опыт позволили сформулировать ключевые вызовы развития квантовых вычислений в индустриальных компаниях. *Выводы.* Практическая значимость данного исследования заключается в том, что позволит бизнес-сообществу, а также органам государственной власти выработать стратегию развития в новой вычислительной парадигме. Позволит компаниям выработать эффективные стратегии при решении задач оптимизации и перспективных вычислительных архитектур.

Ключевые слова: квантовые технологии, искусственный интеллект, бизнес-процессы, бизнес-модели, эффективность

Для цитирования: Собиров Б. Ш., Карамергенов Т. Т., Северцев Н. А., Юрков Н. К. Квантовые технологии – глобальный вызов, требующий очередной революции методов обработки и передачи информации // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 3. С. 6–12. doi: 10.21685/2307-4205-2024-3-1

QUANTUM TECHNOLOGIES ARE A GLOBAL CHALLENGE, REQUIRING ANOTHER REVOLUTION OF METHODS PROCESSING AND TRANSMISSION OF INFORMATION

B.Sh. Sobirov¹, T.T. Karamergenov², N.A. Severtsev³, N.K. Yurkov⁴

¹ Surgut State University, Surgut, Russia

² Military Institute of Air Defense Forces named after twice Hero of the Soviet Union T.Ya. Begeldinov, Aktobe, Republic of Kazakhstan

³ Federal Research Center "Informatics and Management" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Penza State University, Penza, Russia

¹ elenan_27@mail.ru, ² sabinak@mail.ru, ³ severs@ccas.ru, ⁴ yurkov_NK@mail.ru

Abstract. *Background.* The relevance of the study is due to the fact that today one of the most serious fundamental challenges for technology companies is that the needs for computing power are constantly growing. The business environment is increasingly moving towards a new computing paradigm. Quantum technologies may be one of the answers to this challenge. The purpose of the study is to assess the current state of quantum computing and determine the direction of development of this area, as well as obstacles and limitations in the use of quantum technologies. *Materials and methods.* The empirical basis of the study was research from the AIRI Institute of Artificial Intelligence, as well as research from CaixaBank, TotalEnergies, Quantinuum, authors B.G. Ibrahimov, A.O. Orujov, A.H. Hasanov, K.M. Tahirova in the article "Research and analysis efficiency fiber optical communication lines using quantum technology". *Results.* The author of this study presents the main advantage of quantum computing, noting that they are based on completely different principles than traditional ones, and will use their own hardware and mathematical base. The study presents the results of research and experiments in the field of quantum computing achieved by oil companies. The work done and the experience gained made it possible to formulate the key challenges for the development of quantum computing in industrial companies. *Conclusions.* The practical significance of this research lies in the fact that it will allow the business community, as well as government authorities, to develop a development strategy in the new computing paradigm. Will allow companies to develop effective strategies when solving optimization problems and advanced computing architectures.

Keywords: quantum technologies, artificial intelligence, business processes, business models, efficiency

For citation: Sobirov B.Sh., Karamergenov T.T., Severtsev N.A., Yurkov N.K. Quantum technologies are a global challenge, requiring another revolution of methods processing and transmission of information. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(3):6–12. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-3-1

Введение

Квантовые технологии становятся все более популярными у бизнеса – растет число инвестиций как в разработку и создание собственных исследовательских подразделений, так и в стартапы, специализирующиеся в этой области.

В последние несколько лет технологии квантовых вычислений все больше перемещаются из научных лабораторий в бизнес-среду, превращаясь из научно-исследовательской задачи в реальные приложения и инструменты. Появляются прототипы коммерческих квантовых компьютеров [1, 2]. В «квантовую гонку» включаются все больше игроков, которые рассчитывают найти дисрапт, способный изменить рынки и бизнес-модели.

Экспотенциальный рост вложений – интеллектуальных и финансовых – в область квантовых вычислений во многом обусловлен тем, что:

- почти достигнут предел кремниевой парадигмы, что требует принципиально новых решений;
- развитие искусственного интеллекта требует более мощных вычислительных возможностей;
- квантовые технологии несут новые риски информационной безопасности, что требует создания опережающих систем защиты.

Квантовые технологии могут качественно ускорить работу нейросетей, на порядки увеличив количество одновременно обрабатываемых данных, преодолеть существующие пределы наращивания сложности анализируемых моделей, в том числе экономия времени и электроэнергии на вычисление [3, 4].

Сочетание технологий искусственного интеллекта и квантовых вычислений – это именно тот драйвер, который необходим для ускорения технологического развития, поскольку последние

обещают быть более эффективными в обработке больших объемов данных и решении сложных задач.

Методика исследования

Стандартизация – необходимое условие использования новых технологий, и она активно формируется в отношении квантовых вычислений.

Канадский стартап Xanadu продемонстрировал квантовое превосходство при решении задачи выборки гауссовых бозонов (проблема выборки распределения вероятностей) на фотонном квантовом компьютере.

По мере развития рынка квантовых вычислений все более актуальной задачей становится введение единых отраслевых стандартов. Так, в апреле 2020 г. технические советы Европейского комитета по стандартизации (CEN) и Европейского комитета по электротехнической стандартизации (CENELEC) создали Оперативную группу по квантовым технологиям (FGQT).

В 2023 г. эта группа опубликовала Дорожную карту стандартизации, учитывающую совокупность потребностей Европы в регламентировании квантовых вычислений и квантовой метрологии [5–7].

Индустрия технологий квантового искусственного интеллекта, как любая зарождающаяся отрасль, сталкивается с острым дефицитом кадров и высококвалифицированных сотрудников. В этой связи очевидным является, что для практического применения квантовых технологий критически важно преодолеть кадровый голод – выстроить эффективную систему подготовки специалистов новой индустрии.

Инвестиции в стартапы технологий квантового искусственного интеллекта по имущественному типу инвесторов за 2001–2022 гг. представлены на рис. 1.

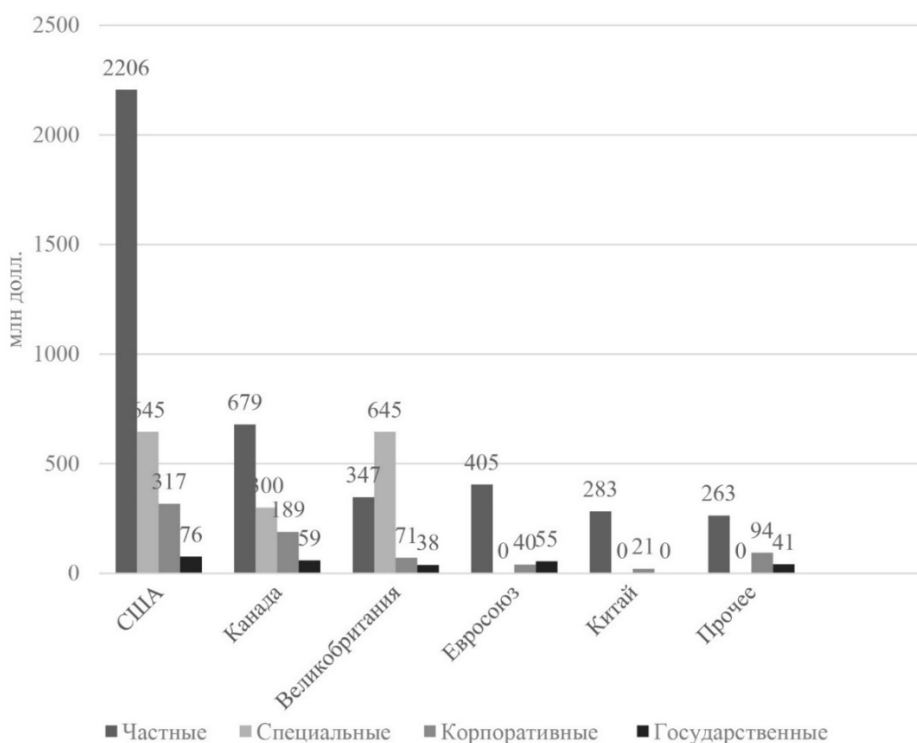


Рис. 1. Инвестиции в стартапы технологий квантового искусственного интеллекта по имущественному типу инвесторов за 2001–2022 гг., млн долл. [8, 9]

В неограниченный потенциал квантового искусственного интеллекта продолжают верить инвесторы – в 2022 г. общий объем вложений в стартапы в области технологий квантового искусственного интеллекта достиг 2,35 млрд долл., что на 1 % выше, чем в 2021 г.

Именно в 2021–2022 гг. были заключены крупнейшие инвестиционные сделки в стартапы технологий квантового искусственного интеллекта. 8 из 10 крупнейших сделок 2022 г. были заключены с компаниями-производителями оборудования, которые являются наиболее капиталоемкой частью цепочки создания стоимости квантовых технологий.

Бизнес-задачи в финансовой отрасли, требующие больших вычислительных возможностей

Финтех – одна из индустрий, которая может существенно видоизмениться под влиянием технологий квантового искусственного интеллекта. Первые эксперименты в этой области финансовые компании начали уже несколько лет назад: они разрабатывают алгоритмы, пользуются облачным доступом к квантовым компьютерам, совмещают квантовые вычисления с классическими [7], ускоряя таким образом расчеты.

Задачи для квантовых вычислений в финансах:

1. Оптимизационные модели.

Структура активов в оптимальном портфеле (оптимизационные модели):

- оптимальная торговая траектория;
- оптимальные возможности арбитража;
- оптимальный выбор функций в кредитном скоринге.

2. Модели глубокого обучения.

Обнаружение возможностей получения прибыли среди активов при торговле:

- прогнозирование рынков;
- классификация данных;
- регрессия.

3. Методы Монте-Карло.

Оценка риска и доходности портфеля или целевой компании:

- ценообразование финансовых деривативов;
- анализ риска;
- другие задачи.

Один из пионеров по изучению технологий квантового искусственного интеллекта для финтеха – CaixaBank. В 2022 г. готовый облачный квантовый сервис компании D-Wave позволил ускорить расчеты оптимального инвестиционного портфеля на 90 %. В 2020 г. банк разработал первый квантовый алгоритм машинного обучения для классификации рисков в банковском деле страны. Он объединил квантовые и облачные вычисления на разных этапах процесса расчета – для классификации профилей кредитного риска.

Технологии квантового искусственного интеллекта – другое не менее важное направление экспериментов банка. Их протестировали в целях минимизации финансовых рисков двух видов портфелей: ипотечных кредитов и казначейских векселей. Эксперимент показал, что технологии вычисления квантового искусственного интеллекта позволяют прийти к тем же выводам, что и традиционный, но при этом требуется лишь несколько десятков симуляций вместо тысяч и миллионов, проводимых в случае классических вычислений.

Российские банки также экспериментируют с технологиями квантового искусственного интеллекта и ищут для них практические бизнес-задачи. В частности, Сбербанк активно реализует различные инициативы в области квантовых вычислений.

В 2021 г. был запущен совместный исследовательский проект банка с ООО СП «Квант», направленный на развитие методологии оценки квантового влияния на бизнес, его устойчивость и конкурентоспособность.

Задачи, решаемые бизнесом с помощью технологий квантового искусственного интеллекта

Бизнес нефтяных компаний связан с решением большого количества вычислительно сложных задач, к которым, например, относятся обработка и интерпретация сейсморазведочных работ, моделирование геологии и гидродинамики течения флюида в пласте, логистика доставки продукции до потребителя и многие другие [8].

Запущенная программа направлена в первую очередь на разработку приложений, позволяющих решать практические задачи бизнеса. Исследования фокусируются на разработке квантовых алгоритмов, ИИ и программного обеспечения.

Нефтяная индустрия потенциально может получить выгоды от применения технологий квантового искусственного интеллекта в решении широкого спектра задач: начиная от универсальных, таких как планирование деятельности, и заканчивая специфическими, например, моделирование на уровне отдельных химических элементов.

Так, на практике участники рынка выделяют четыре ключевые категории прикладных задач, актуальных для нефтяной индустрии:

- 1) моделирование физических систем: они зачастую описываются дифференциальными уравнениями и сводятся к решению линейных систем;
- 2) оптимизационные задачи, включающие задачи дискретной, непрерывной и смешанной дискретно-непрерывной оптимизации;
- 3) молекулярное моделирование и квантовая химия;
- 4) квантовое машинное обучение.

Например, для улучшения плана разбуривания месторождения была построена модель квадратичной оптимизации. Результаты ее тестирования на устройствах квантового отжига D-Wave показали увеличение эффективности планирования на 15 %.

TotalEnergies исследует возможности технологий квантового искусственного интеллекта по улучшению процессов улавливания углекислого газа. Вместе с командой Quantinuum компания представила предпринт, в котором подробно говорится о потенциальном использовании квантовых вычислений для смягчения последствий изменения климата.

Исследовательская группа разработала методологию квантовых вычислений, описывающую связывание молекулярного диоксида углерода с материалом, который активно исследуется для улавливания углерода – металлоорганическим каркасом.

Задачи нефтяной индустрии, решение которых даст наибольший эффект в случае применения алгоритмов квантового искусственного интеллекта:

- гидродинамическое моделирование в пористой среде;
- полноволновая сейсмическая инверсия;
- сейсмическая томография;
- регуляризация сейсмических данных;
- сейсмическая миграция;
- оптимальное планирование производства нефтепродуктов;
- динамическая оптимизация работы установок нефтеперерабатывающего завода;
- оптимизация логистики перемещения буровых установок;
- моделирование каталитического разложения метана;
- оптимизация работы химического реактора.

Для скорейшего перевода квантовых вычислений в практическую плоскость необходимо активизировать усилия по разработке квантово-вдохновленных устройств для оптимизации.

Заключение

В настоящее время в России и мире наблюдается стремительный рост интереса к технологиям квантового искусственного интеллекта. Они имеют революционный потенциал для различных отраслей экономики и научных направлений.

Одним из вариантов реализации этого направления могло бы стать объединение усилий ведущих бизнес- и исследовательских групп в формате «квантовой сети» из национальных точек роста на базе университетов и технологических центров при активном участии бизнес-лидеров в постановке задач и внедрении на рынки.

Важность задач требует более активного внедрения соответствующих образовательных инициатив и, главное, обеспечения возможностей для профессиональной реализации молодых специалистов.

В этой связи важным является не пропустить момент «квантового превосходства». Первые компании, которые его достигнут, получат уникальное стратегическое конкурентное преимущество, что приведет к качественному скачку в эффективности существующих и потенциальных бизнес-моделей.

Список литературы

1. Майстер В. А., Ширинкина Е. В. Цифровая трансформация финансовой отрасли как фактор конкурентоспособности // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 2. С. 269–271.
2. Шевчук Д. С., Федоров А. К., Ильин И. В. Синергия технологических и организационных инноваций: развитие экосистемы квантовых технологий для противостояния вызовам человечества // Экономика и предпринимательство. 2021. № 2 (127). С. 188–191.

3. Крылов В. С., Бекирова Э. А., Ветеранова Д. С. Сквозная квантовая технология цифровой экономики // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2020. № 1 (67). С. 129–134.
4. Серов Е. Р., Васильев С. А. Применение квантовых технологий в банковском бизнесе // Экономика и управление. 2023. Т. 29, № 3. С. 248–255.
5. Салыгин В. И., Лобов Д. С. Перспективы применения технологий квантового распределения ключей на примере объектов нефтегазовой отрасли // Друкерровский вестник. 2023. № 1 (51). С. 246–253.
6. Ширинкина Е. В. Оценка трендов цифровой трансформации финансовой отрасли // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 2 (26). С. 114–120.
7. Ширинкина Е. В. Цифровые кадры как новый показатель качества человеческого капитала // Современная научная мысль. 2018. № 4. С. 181–184.
8. Ibrahimov B. G., Orujov A. O., Hasanov A. H., Tahirova K. M. Research and analysis efficiency fiber optical communication lines using quantum technology // T-Comm. 2021. Vol. 15, № 10. P. 50–54.
9. Ulyanov S. V., Reshetnikov A. G., Zrelova D. P. Industrial robotic intelligent robust control system: applying quantum soft computing technologies and quantum software engineering in unpredicted control situations // Software & Systems. 2023. № 1. P. 26–45.

References

1. Mayster V.A., Shirinkina E.V. Digital transformation of the financial industry as a factor of competitiveness. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2018;2:269–271. (In Russ.)
2. Shevchuk D.S., Fedorov A.K., Il'in I.V. Synergy of technological and organizational innovations: the development of an ecosystem of quantum technologies to confront the challenges of humanity. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Economics and entrepreneurship*. 2021;(2):188–191. (In Russ.)
3. Krylov V.S., Bekirova E.A., Veteranova D.S. End-to-end quantum technology of digital economy. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta = Scientific notes of the Crimean Engineering Pedagogical University*. 2020;(1):129–134. (In Russ.)
4. Serov E.R., Vasil'ev S.A. Application of quantum technologies in banking business. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2023;29(3):248–255. (In Russ.)
5. Salygin V.I., Lobov D.S. Prospects for the application of quantum key distribution technologies on the example of oil and gas industry facilities. *Drukerovskiy vestnik = Drucker's Bulletin*. 2023;(1):246–253. (In Russ.)
6. Shirinkina E.V. Assessment of trends in the digital transformation of the financial industry. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2019;(2):114–120. (In Russ.)
7. Shirinkina E.V. Digital personnel as a new indicator of the quality of human capital. *Sovremennaya nauchnaya mysl' = Modern scientific thought*. 2018;(4):181–184. (In Russ.)
8. Ibrahimov B.G., Orujov A.O., Hasanov A.H., Tahirova K.M. Research and analysis efficiency fiber optical communication lines using quantum technology. *T-Comm*. 2021;15(10):50–54.
9. Ulyanov S.V., Reshetnikov A.G., Zrelova D.P. Industrial robotic intelligent robust control system: applying quantum soft computing technologies and quantum software engineering in unpredicted control situations. *Software & Systems*. 2023;(1):26–45.

Информация об авторах / Information about the authors

Бежан Шукриллоевич Собиров

старший преподаватель кафедры менеджмента и бизнеса,
Сургутский государственный университет
(Россия, г. Сургут, пр-т Ленина, 1)
E-mail: elenan_27@mail.ru

Тимур Тыныштыкович Карамергенов

начальник кафедры воздушной навигации и боевого управления авиации учебно-методического управления, Военный институт Сил воздушной обороны имени дважды Героя Советского Союза Т. Я. Бегельдинова
(Республика Казахстан, Актобе, пр-т Алии Молдагуловой, 16)
E-mail: sabinak@mail.ru

Bezhan Sh. Sobirov

Senior lecturer of the sub-department of management and business,
Surgut State University
(1 Lenin avenue, Surgut, Russia)

Timur T. Karamergenov

Head of the sub-department of air navigation and combat aviation control of the educational and methodological department,
Military Institute of Air Defense Forces named after twice Hero of the Soviet Union
T.Ya. Begeldinov
(16 Aliya Moldagulova avenue, Aktobe, Republic of Kazakhstan)

Николай Алексеевич Северцев

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник отдела управления
робототехническими устройствами,
Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление»
Российской академии наук (Вычислительный центр
имени А. А. Дородницына РАН)
(Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)
E-mail: severs@ccas.ru

Николай Кондратьевич Юрков

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Nikolay A. Severtsev

Doctor of technical sciences, professor,
chief researcher of the department of control
of robotic devices,
Federal Research Center "Informatics and Management"
of the Russian Academy of Sciences
(Dorodnitsyn computer center
of the Russian Academy of Sciences)
(40 Vavilova street, Moscow, Russia)

Nikolay K. Yurkov

Doctor of technical sciences, professor,
the honoured worker of science
of the Russian Federation,
head of the sub-department
of radio equipment design and production,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 30.05.2024

Поступила после рецензирования/Revised 27.06.2024

Принята к публикации/Accepted 29.07.2024