

Романов Р.Р.

Студент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ: ОТ НИСК К ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫМ СИСТЕМАМ»

***Аннотация:** В статье рассматриваются перспективы развития квантовых вычислений в условиях перехода от шумных квантовых устройств промежуточного масштаба (НИСК) к отказоустойчивым системам. На основе анализа достижений 2025–2026 гг., включая процессоры IBM, IonQ, Google и российские разработки Росатома, выявлены ключевые технологические вызовы и предложены прогнозы коммерциализации. Особое внимание уделено практическим применениям в квантовой химии, оптимизации и постквантовой криптографии. Статья подготовлена с использованием классических трудов и современных источников.*

***Ключевые слова:** квантовые вычисления; НИСК; отказоустойчивые квантовые компьютеры; коррекция ошибок; квантовое преимущество; Росатом; VQE; постквантовая криптография.*

Romanov R.R.

Student of Gubkin University

«PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF QUANTUM COMPUTING: FROM NISQ TO FAULT-TOLERANT SYSTEMS»

***Abstract:** The article examines the prospects for the development of quantum computing during the transition from noisy intermediate-scale quantum (NISQ) devices to fault-tolerant systems. Based on the analysis of achievements in 2025–2026, including processors from IBM, IonQ, Google, and*

Russian Rosatom developments, key technological challenges are identified and forecasts for commercialization are proposed. Special attention is paid to practical applications in quantum chemistry, optimization, and post-quantum cryptography. The article is prepared using classical works and modern sources.

Keywords: *quantum computing; NISQ; fault-tolerant quantum computers; error correction; quantum advantage; Rosatom; VQE; post-quantum cryptography.*

Квантовые вычисления представляют собой одно из наиболее перспективных направлений развития информационных технологий, способное радикально изменить подходы к решению сложных задач в физике, химии, оптимизации и криптографии. Идея использования принципов квантовой механики — суперпозиции и запутанности состояний — для вычислений была предложена Р. Фейнманом в 1982 г. Теоретический фундамент был заложен в работах Д. Дойча, П. Шора (алгоритм факторизации, 1994) и Л. Гровера (алгоритм поиска, 1996). Классическая монография М. Нильсена и И. Чанга систематизировала эти знания и остается основополагающим трудом в области.

К 2026 г. квантовые технологии перешли из лабораторной стадии в фазу активной коммерциализации. Организация Объединенных Наций объявила 2025 г. Международным годом квантовой науки и технологий. По оценкам McKinsey, к 2035 г. объем рынка квантовых технологий может достичь 97 млрд долл. США, причем основная доля придется на вычисления. В России реализуется государственная дорожная карта развития квантовых технологий под эгидой Госкорпорации «Росатом» на период 2025–2030 гг., нацеленная на обеспечение технологического суверенитета.

Современные квантовые процессоры реализуются на нескольких физических платформах. Сверхпроводниковые кубиты доминируют в разработках IBM, Google и китайских групп благодаря высокой скорости операций. Ионные ловушки обеспечивают рекордно низкие уровни ошибок и используются в системах IonQ и Quantinuum. Платформа на нейтральных атомах активно развивается в России и позволяет создавать масштабируемые системы с сотнями кубитов. 2025 г. ознаменовался появлением систем с более чем 100 физическими кубитами: IBM Nighthawk (120 кубитов), IonQ Tempo, Quantinuum Helios и Google Willow (105 кубитов). В ноябре 2025 г. IBM представила процессор Loon с компонентами коррекции ошибок. На CES 2026 компания IBM официально объявила 2026 г. «годом рассвета квантовых вычислений», прогнозируя демонстрацию квантового преимущества в верифицируемых задачах.

Несмотря на прогресс, квантовые системы остаются в эпохе НИСК (шумные квантовые устройства промежуточного масштаба). Основные ограничения включают короткое время когерентности, высокие уровни ошибок (10^{-3} и выше), необходимость тысяч физических кубитов для одного логического кубита, а также сложность масштабирования. Для преодоления этих проблем разрабатываются гибридные архитектуры и новые коды коррекции ошибок.

По консенсусу экспертов, 2026–2027 гг. станут периодом демонстрации «квантовой полезности» — когда гибридные системы решают практически значимые задачи эффективнее классических. Полноценные отказоустойчивые универсальные квантовые компьютеры ожидаются к 2029–2032 гг. Ключевые вехи: 2026–2028 гг. — первые коммерческие применения в квантовой химии (алгоритм VQE) и оптимизации (QAOA); 2029–2030 гг. — системы с 100–1000 логическими кубитами, способные запускать алгоритм Шора. Российская дорожная

карта (Росатом, 2025–2030) предусматривает переход от прототипов к промышленным применениям в атомной отрасли после 2030 г. Наиболее зрелыми направлениями применения являются квантовая химия и материаловедение, оптимизация в финансах и логистике, а также постквантовая криптография.

К 2026 г. квантовые вычисления уверенно переходят от этапа доказательства концепции к этапу квантовой полезности. Объявленный IBM «рассвет квантовых вычислений» символизирует начало новой эры. До универсальных отказоустойчивых компьютеров остается 4–6 лет. Россия, обладая сильной научной школой и государственной поддержкой, имеет реальные шансы занять достойное место в глобальной квантовой гонке. Успех будет зависеть от аппаратного прогресса, развития алгоритмов, программных стеков и международного сотрудничества. Квантовые вычисления не заменят классические, а органично дополняют их, открывая принципиально новые возможности.

Использованные источники:

1. Главные события в сфере квантовых вычислений в 2025 году [Электронный ресурс] // CNews. – 2026. – 27 янв. (дата публикации: 27.01.2026). – URL: https://www.cnews.ru/articles/2026-01-27_glavnye_sobytiya_v_sfere_kvantovyh (дата обращения: 23.05.2026).
2. IBM объявила 2026 год годом рассвета квантовых вычислений [Электронный ресурс] // 3DNews. – 2026. – 10 янв. (дата публикации: 10.01.2026). – URL: <https://3dnews.ru/1135098> (дата обращения: 23.05.2026).
3. Quantum Technology Monitor 2025: The year of quantum — from concept to reality [Электронный ресурс] // McKinsey & Company. – 2025. – URL: <https://www.mckinsey.com> (дата обращения: 23.05.2026).
4. Дорожная карта развития квантовых вычислений в России на 2025–2030 гг. [Электронный ресурс] // Госкорпорация «Росатом». – 2025. – URL: <https://www.rosatom.ru> (дата обращения: 23.05.2026).
5. Прогноз развития квантовых технологий в 2025 году [Электронный ресурс] // TSS Online. – 2025. – 15 янв. (дата публикации: 15.01.2025). – URL: <https://www.tssonline.ru> (дата обращения: 23.05.2026).
6. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация [Электронный ресурс] // Мир. – 2006. – URL: <https://www.ozon.ru/context/detail/id/> (дата обращения: 23.05.2026).
7. Гайдаш А.А. и др. Квантовые технологии [Электронный ресурс] // Университет ИТМО. – 2023. – URL: <https://itmo.ru> (дата обращения: 23.05.2026).