

НАЦИОНАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ

Оригинальная статья

УДК: 338

Состояние и перспективы стратегического развития мирового рынка квантовых технологий

Д. С. Лобов¹, В. В. Шумков²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Иннопрактика, Москва, Россия

¹d.lobov96@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9548-2502>

²vyacheslav.shumkov@innopraktika.ru

Аннотация: Квантовые технологии включают два ключевых высокотехнологичных направления – коммуникация и вычисление. Фактором успешной коммерциализации квантовых решений является применение стратегического подхода к управлению процессом формирования экосистем компаний – разработчиков и потребителей инновационной продукции. Для выявления потенциального перечня будущих лидеров экосистемы квантовых технологий авторы провели исследование более 150 крупных компаний, основанное на анализе их научно-экономических показателей в среднесрочном периоде. Авторы пришли к выводу, что разработчики программно-аппаратных комплексов (Toshiba, Huawei и др.) более склонны к роли технологических лидеров квантовых коммуникаций, чем поставщики услуг (British Telecom, Deutsche Telekom др.). Аналогично прежние лидеры рынка электронно-вычислительных машин стремятся к занятию ведущих позиций в области квантовых вычислений (IBM, Intel). При этом ряд компаний претендует на участие в проектах по обоим направлениям: Amazon, NVidia, Cisco и NTT могут стать связующим звеном в синергии вычислений и коммуникаций, особенно в тот момент, когда будет актуально создание квантового Интернета. Основной интерес к пилотированию квантовых алгоритмов демонстрируют промышленные, логистические и финансовые компании (Volkswagen, BMW, Toyota, Honda, JP Morgan, Credit Agricole, Mitsui, Airbus, Mitsubishi). Полученные выводы могут представлять интерес для российских организаций, ответственных за стратегическое развитие квантовых технологий. Считается логичным более активное вовлечение в создание решений коммуникаций и вычислений новых участников – экосистемных компаний с большим опытом разработки инновационных продуктов.

Ключевые слова: квантовые коммуникации, квантовые вычисления, инновации, энергетическая отрасль, экосистема, стратегическое управление

Цитирование: Лобов Д. С., Шумков В. В. Состояние и перспективы стратегического развития мирового рынка квантовых технологий // Стратегирование: теория и практика. 2025. Т. 5. № 4. С. 455–473. <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2025-5-4-455-473>

Поступила в редакцию 17.07.2025. Прошла рецензирование 21.08.2025. Принята к печати 22.09.2025.

original article

Global Quantum Technology Market: Current State and Strategic Development Prospects

Daniil S. Lobov¹, Vyacheslav V. Shumkov²

¹Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

²Innopraktika, Moscow, Russia

¹d.lobov96@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9548-2502>

²vyacheslav.shumkov@innopraktika.ru

Abstract: Quantum technologies include two key high-tech areas: communications and computing. Commercialization of quantum solutions depends on the strategy of managing the corporate ecosystems, i.e., developers and consumers of innovative products. To identify future leaders of the quantum technology ecosystem, the authors studied the medium-term scientific and economic indicators of 150 large companies. Software and hardware developers (Toshiba, Huawei, etc.) are more likely to become technological leaders in quantum communications than service providers (British Telecom, Deutsche Telekom, etc.). Former leaders of electronic computer market also strive for leadership in quantum computing (IBM, Intel). Some companies have projects in both areas; for instance, Amazon, NVidia, Cisco, and NTT can become a link in the synergy of computing and communications, especially when it comes to the quantum Internet. Such industrial, logistics, and financial companies as Volkswagen, BMW, Toyota, Honda, JP Morgan, Credit Agricole, Mitsui, Airbus, and Mitsubishi focus on piloting quantum algorithms. This research may be of interest to Russian organizations responsible for the strategic development of quantum technologies. Domestic communications and computing require new ecosystem companies with extensive experience in innovative R&D.

Keywords: quantum communications, quantum computing, innovation, energy industry, ecosystem, strategic management

Citation: Lobov DS, Shumkov VV. Global Quantum Technology Market: Current State and Strategic Development Prospects. Strategizing: Theory and Practice. 2025;5(4):455–473. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2025-5-4-455-473>

Received 17 July 2025. Reviewed 21 August 2025. Accepted 22 September 2025.

全球量子技术市场的战略发展现状与前景

达尼尔·谢尔盖耶维奇·洛博夫¹, 舒姆科夫·维亚切斯拉夫·弗拉迪斯拉沃维奇^{1,2}

¹圣彼得堡国立大学, 俄罗斯圣彼得堡

²创新实践公司 (Innopraktika), 俄罗斯莫斯科

¹d.lobov96@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9548-2502>

²vyacheslav.shumkov@innopraktika.ru

摘要: 量子技术涵盖两个关键的高科技领域: 通信和计算。量子解决方案成功商业化的关键因素是对企业生态系统 (包括创新产品的开发者和消费者) 的形成过程采用战略管理方法。为了识别量子技术生态系统中潜在的未来领导者, 作者根据对150多家大型公司中期科学和经济指标的分析, 对其进行了研究。作者得出结论: 与服务提供商 (如英国电信、德国电信等) 相比, 硬件和软件系统开发商 (如东芝、华为等) 更有可能成为量子通信领域的技术领导者。同样, 计算机市场的前期领导者也在努力争取在量子计算领域占据领先地位 (如IBM、英特尔)。与此同时, 许多公司正在争夺这两个领域的项目参与权: 亚马逊、英伟达、思科和日本电报电话公司可能成为计算和通信协同作用的纽带, 尤其是在量子互联网建设变得至

关重要之时。工业、物流和金融公司（大众、宝马、丰田、本田、摩根大通、法国农业信贷银行、三井、空客、三菱）对试点量子算法表现出极大的兴趣。得出的结论可能对负责量子技术战略发展的俄罗斯机构具有参考价值。作者认为更积极地吸引新的参与者——在开发创新产品方面拥有丰富经验的生态系统公司——参与开发通信和计算解决方案是合乎逻辑的。

关键词: 量子通信、量子计算、创新、能源产业、生态系统、战略管理

编辑部于2025年7月17日收到稿件。2025年8月21日完成评审。2025年9月22日接受发表。

ВВЕДЕНИЕ

Последнее десятилетие в развитии квантовых технологий связано с постепенным переходом от фундаментальных исследований к прикладным разработкам и практическому применению¹. В литературе прогнозируется значительный положительный эффект для национальных экономик в результате повышения уровня технологической готовности квантовых решений и их практического внедрения. На сегодняшний день наиболее приближены к стадии коммерциализации следующие направления:

- Квантовые вычисления (ускорение решения оптимизационных задач с помощью квантового компьютера);
- Квантовые коммуникации (повышение устойчивости шифрования благодаря квантовому распределению ключей, в перспективе объединение квантовых компьютеров в распределенных сетях).

Основные драйверы развития направления квантовых вычислений, по мнению авторов, помимо уровня технологической готовности, включают: успешное создание цепочки добавленной стоимости, направленной на решение задач промышленных отраслей крупных экономик мира; формирование экосистемы участников рынка, в том числе благодаря роли регуляторных органов в создании благоприятной среды для развития стартапов².

К барьерам относят отсутствие общепринятых стандартов, нехватку человеческих и финансовых ресурсов для разработки инноваций, наличие ошибок в вычислениях³, сложность масштабирования разработанных решений⁴. Также авторы подтверждают недостаточную осведомленность делового сообщества о возможностях квантовых компьютеров⁵.

Отмечается необходимость подготовки специализированных кадров по этой причине прогнозируется увеличение спроса на услуги экспертов в области квантовых алгоритмов и на создание синергетических решений квантовых и классических вычислений.

Ряд работ посвящен отраслевому обзору перспектив применения квантовых компьютеров. Наибольший эффект от внедрения квантовых вычислений наблюдался при решении задач: суррогатное моделирование дифференциальных уравнений с частными производными для авиакосмической отрасли; симуляция динамики молекул и прогнозирование химической реактивности для химических и фармацевтических компаний; оптимизация использования автомобилей в транспортной сети⁶.

Отмечен положительный результат при решении финансовых^{7,8} и маркетинговых задач, например,

¹ Лобов Д. С. Финансирование НИОКР, патентная активность и развитие рынка квантовых коммуникаций в России и за рубежом // Информационное общество. 2023. № 5. С. 123–133. <https://elibrary.ru/VIRYJJ>

² Path to European quantum unicorns / M. Räsänen [et al.] // EPJ Quantum Technology. 2021. Vol. 8. P. 5. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00095-x>

³ Munoz J. M. Garcia-Castro R., Mugel S. Quantum computing and the business transformation journey // California Management Review. URL: <https://cmr.berkeley.edu/2023/12/quantum-computing-and-the-business-transformation-journey/>

⁴ Aljaafari M. Quantum computing for social business optimization: A practitioner's perspective // *Soft Computing*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08764-v>

⁵ Azad N. Quantum computing: A concept and business perspective // The International Conference on Software Business. 2024. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.5183.87201>

⁶ Quantum technology and application consortium – QUTAC., industry quantum computing applications / A. Bayerstadler [et al.] // EPJ Quantum Technology. 2021. Vol. 8. P. 25. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00114-x>

⁷ Bova F., Goldfarb A., Melko R. Commercial applications of quantum computing // EPJ Quantum Technology. 2021. Vol. 8. P. 2. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00091-1>

⁸ Srivastava R., Choi I., Cook T. The commercial prospects for quantum computing // *Networked Quantum Information Technologies*. 2016. № 1. P. 1–40.

при анализе паттернов поведения клиентов и моделировании действий участников рынка в реальном времени⁹. Также российскими учеными выявлен успешный международный опыт оптимизации логистических поставок^{10,11}.

Значительные усилия исследователей направлены на оценку применимости квантовых вычислений в конкретных рабочих сценариях. Авторы обсуждали ускорение симуляции Монте Карло¹², повышение точности оценки стоимости деривативов^{13,14}, оптимизацию портфельного управления¹⁵, ускорение решения задач логистики¹⁶ и улучшение качества анализа трендов и клиентских данных¹⁷.

Безусловно наличие интереса научного сообщества к синтезу методов квантовых алгоритмов и машинного обучения. В данном контексте рассматривались вопросы предиктивного анализа финансовых рынков¹⁸, высказаны гипотезы о повышении точности пользовательских рекомен-

даций¹⁹. Отмечалось, что синергия двух методов анализа может стать ключевым фактором успеха развития квантовых вычислений²⁰.

Барьеры коммерциализации квантовых коммуникаций, которые были выявлены в 2014–2015 гг., включали в себя недостаточность сертификации и стандартизации оборудования и технологий, низкий уровень послепродажного обслуживания, отсутствие необходимой телекоммуникационной инфраструктуры²¹.

Некоторые исследования затрагивали вопросы отраслевого использования технологий квантового распределения ключей. Отмечается существенная роль ОАО «Российские железные дороги» в развитии направления квантовых коммуникаций с учетом протяженности оптоволоконных сетей компаний²², важность технологии для транспортной²³ и энергетической²⁴ отраслей. Подчеркивалась возможность применения квантовых коммуникаций в целях повышения защиты

⁹ Quantum computing for market research / L. Sáez-Ortuño [et al.] // *Journal of Innovation & Knowledge*. 2024. Vol. 9. № 3. P. 100510. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100510>

¹⁰ Охотников А. Л., Озеров А. В., Цветков В. Я. Квантовые вычисления и железные дороги // *Наука и технологии железных дорог*. 2020. № 4. С. 34–37. <https://doi.org/10.34649/AT.2020.4.4.006>

¹¹ Поликарпов П. В., Уваров Н. К., Хомоненко А. Д. Экосистемы квантовых вычислений и перспективы использования их на транспорте // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2021. № 3. С. 52–60. <https://doi.org/10.24412/2413-2527-2021-327-52-60>

¹² Gorbanyov M., Malaika M., Saadi T. S. Quantum computing and the financial system: Spooky action at a distance? // *IMF Working Paper*. 2021. № 071. P. 1–33. <https://doi.org/10.5089/9781513572727.001>

¹³ Quantum computational finance for martingale asset pricing in incomplete markets / P. Rebentrost [et al.] // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. P. 18941. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68838-1>

¹⁴ Towards quantum advantage in financial market risk using quantum gradient algorithms / N. Stamatopoulos [et al.] // *Quantum*. 2022. Vol. 6. P. 770. <https://doi.org/10.22331/q-2022-07-20-770>

¹⁵ An investigation on quantum-inspired algorithms for portfolio optimization across global markets / Y. Chou [et al.] // *IEEE Nanotechnology Magazine*. 2024. Vol. 18. № 4. P. 27–34. <https://doi.org/10.1109/MNANO.2024.3402755>

¹⁶ Vaddy R. K., Dhamodharan B., Jain A. Quantum computing applications in real-time route optimization for supply chains // *Quantum Computing and Supply Chain Management*. Hershey: IGI Global, 2024. 310 p. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4107-0.ch008>

¹⁷ Prakash P. Enhancing business performance through quantum electronic analysis of optical data // *Optical and Quantum Electronics*. 2023. Vol. 55. P. 1056. <https://doi.org/10.1007/s11082-023-05347-x>

¹⁸ QADQN: Quantum attention deep q-network for financial market prediction / S. Dutta [et al.] // *2024 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE)*. 2024. Preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.03088>

¹⁹ Роль квантовых вычислений в экономическом анализе / Д. А. Крепышев [и др.] // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2023. № 194. С. 59–73. <https://elibrary.ru/IWHIVZ>

²⁰ Guarda T., Torres W., Augusto M. F. The impact of quantum computing on businesses. In: Gervasi O., Murgante B., Misra S., Rocha A. M. A. C., Garau C., editors. *Computational Science and Its Applications // ICCSA 2022*. 2022. Vol. 13380. P. 3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_1

²¹ Identifying the challenges in commercializing high technology: A case study of quantum key distribution technology / A. Al Natsheh [et al.] // *Technology Innovation Management Review*. 2015. № 5. P. 26–36.

²² Ермакова Е. О., Ерохина А. А. Применение квантовых коммуникаций в ОАО «РЖД»: логистические аспекты // *Потенциал логистики XXI века: молодежное измерение: сборник научных статей и научных проектов*. Выпуск 3. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. С. 86–93. <https://elibrary.ru/TMJFLF>

²³ Раткин Л. С. Квантово-коммуникационные системы распределенных реестров для хранения и обработки данных о технических характеристиках и финансово-экономических параметрах инвестиционных проектов по разработке перспективных моделей автотранспорта // *Транспорт: наука, техника, управление*. Научный информационный сборник. 2021. № 5. С. 61–64. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-05-10>

²⁴ Там же.

каналов центров обработки данных²⁵ и крупных финансовых организаций²⁶.

В России стратегическое управление процессом квантовой трансформации осуществляется прежде всего на уровне государства с использованием дорожных карт развития высокотехнологичных направлений – квантовые коммуникации и вычисления. Компании-лидеры, ответственные за реализацию дорожных карт («РЖД» и «Росатом»), разрабатывают корпоративные стратегии внедрения квантовых технологий в целях реализации задач национального уровня. Прочие организации, не участвующие в государственных программах развития квантовых инноваций, только рассматривают переход к первым стадиям стратегического планирования (в 2025 г. подписано соглашение между «ВТБ», «Т1» и «РЖД» о сотрудничестве в области квантовых сетей).

В мировой практике потенциальные долгосрочные эффекты от внедрения квантовых технологий представляют интерес для инвесторов и находят отражение в стратегических решениях крупнейших технологических и сервисных компаний, таких как Amazon, Google, IBM, SK Telecom. Данные коммерческие организации развивают квантовую продукцию, формируют технологические дорожные карты в целях лидерства на формирующемся рынке.

Учитывая потенциальную роль квантовых технологий как «дизраптора» рынка ИТ-решений, а также зарождающиеся процессы стратегического планирования и формирования экосистем квантовых продуктов и услуг, авторы считают, что интерес представляет работа, посвященная анализу текущих научно-экономических показателей компаний, выступающих лидерами развития рынка. Выявление компаний-драйверов позволит сформировать более четкое представление о том, какие характеристики наиболее специфичны для передовых инновационных компаний и какие

участники рынка прежде всего могут войти в экосистему квантовых технологий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ в области квантовых коммуникаций основан на перечне 98 компаний – поставщиков оборудования и услуг на телекоммуникационном рынке с выручкой не менее 1,5 млрд долларов в год. Анализ в области квантовых вычислений включил 99 ведущих компаний из перечня Forbes 2000.

Были собраны следующие статистические данные:

- Выручка с 2016 по 2023 гг. на основании годовых отчетов и альтернативных источников (все валюты переведены в доллары США в соответствии с курсом валюты на последнюю дату анализируемого года);
- Затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с 2016 по 2023 гг. на основании годовых отчетов и альтернативных источников (все валюты переведены в доллары США в соответствии с курсом валюты на последнюю дату анализируемого года);
- Для анализа рынка квантовых коммуникаций: количество патентов в области квантовых коммуникаций с применением базы данных патентной активности Google Patents, интегрирующей информацию из баз данных USPTO, EPO, CNIPA, JPO, KIPO, WIPO и т. д. (ключевые слова: quantum key distribution, QKD, quantum communications);
- Для анализа рынка квантовых вычислений: количество патентов в области квантовых вычислений с 2016 по 2023 гг. с использованием базы данных патентной активности Google Patents, интегрирующей информацию из баз данных USPTO, EPO, CNIPA, JPO, KIPO, WIPO и т. д. (ключевые слова: quantum computer, quantum computing);
- Для анализа рынка квантовых коммуникаций: количество пилотных проектов по внедрению квантовых коммуникаций в телекоммуникационные

²⁵ Path to European quantum unicorns / M. Räsänen [et al.] // EPJ Quantum Technology. 2021. Vol. 8. P. 5. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00095-x>

²⁶ Батаев А. В., Батаева К. И. Оценка использования квантовой криптографии в финансовых институтах // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: сборник трудов Всероссийской научно-практической и учебно-методической конференции: в 8 ч., Санкт-Петербург, 15–19 мая 2023 года. Часть 3. СПб.: Политех-Пресс, 2023. С. 20–30. <https://elibrary.ru/EGFWDT>

сети на основании данных в сети Интернет (поиск в базах данных новостных агентств, ключевые слова: «название компании», quantum key distribution, QKD);

- Для анализа рынка квантовых вычислений: количество пилотных проектов по использованию квантовых вычислений для оптимизации процессов (поиск в базах данных новостных агентств, ключевые слова: «название компании», quantum computing).

Собранные данные были проанализированы с применением следующего алгоритма:

1. Получены экономические и научно-исследовательские показатели:
 - Средняя выручка по каждой компании в период за 2016–2023 гг.²⁷;
 - CAGR выручки за 2016–2023 гг.;
 - Средние затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы при наличии данных за 2016–2023 гг.;
 - CAGR затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы за 2016–2023 гг.;
 - Среднее количество патентных заявок по каждой компании за 2016–2023 гг.

2. Получен интегральный показатель активности деятельности в области квантовых коммуникаций / вычислений по каждой компании, равный среднеарифметическому двух баллов:

- Балл по патентам, основанный на совокупном показателе количества патентных заявок в области квантовых коммуникаций за 2016–2023 гг.;
- Балл по проектам, основанный на совокупном показателе пилотных проектов в области квантовых коммуникаций за 2016–2023 гг.

3. Проведен корреляционный анализ с применением экономических, научно-исследовательских

показателей и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций / вычислений.

Получение интегрального показателя

В результате сбора данных по квантовым коммуникациям сформирована таблица 1²⁸. Статистически верхняя граница анализа по патентам составила 55 единиц без учета компаний с нулевым показателем, верхняя граница по пилотным проектам составила 4 единицы с учетом округления. В результате исключения статистических выбросов в анализ не попали компании IBM и Toshiba.

В результате сбора данных по квантовым вычислениям сформирована таблица 2²⁹. Верхняя граница анализа по количеству патентов (quantum computing) составила 29 единиц без учета компаний с нулевым показателем, верхняя граница по пилотным проектам составила 6 единиц с учетом округления. В результате исключения статистических выбросов ограниченное представление в анализе получили компании IBM, Amazon, Intel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ средних затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций

Верхняя граница затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) составила 8,8 млрд долларов в год. К компаниям с низкими затратами на НИОКР и высоким баллом квантовой активности (группа 1, рис. 1) можно отнести British Telecom, China Telecom, Fortinet, Deutsche Telekom, Orange, KT Corporation. Примечательно, что 5 из 6 компаний группы являлись провайдерами

²⁷ Munoz J. M. Garcia-Castro R., Mugel S. Quantum computing and the business transformation journey // California Management Review. URL: <https://cmr.berkeley.edu/2023/12/quantum-computing-and-the-business-transformation-journey/>

²⁸ Aljaafari M. Quantum computing for social business optimization: A practitioner's perspective // Soft Computing. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08764-y>

²⁹ Прочие компании включают: Mercedes-Benz Group, China Mobile, Verizon Communications, Morgan Stanley, Industrial Bank, Agricultural Bank of China, Bank of China, AT&T, Berkshire Hathaway, China Construction Bank, Apple, PetroChina, UnitedHealth Group, Walmart, RBC, Ping An Insurance Group, Allianz, BNP Paribas, China Merchants Bank, UBS, Santander, Comcast, Sinopec, TD Bank Group, Johnson & Johnson, BP, LVMH Moët, Hennessy Louis Vuitton, Reliance Industries, Nestlé, AXA Group, American Express, State Bank of India, Bank of Communications, Postal Savings Bank Of China (PSBC), Tesla, Procter & Gamble, Stellantis, CVS Health, HDFC Bank, Life Insurance Corp. of India, General Motors, Broadcom, PepsiCo, The Home Depot, Equinor, Elevance Health, Intesa Sanpaolo Assicura, Chubb, Itaú Unibanco Holding, ABB, AbbVie, Enel, Cigna, Costco Wholesale, Munich Re, Zurich Insurance Group, Novartis, Coca-Cola, Caterpillar, ConocoPhillips, Rio Tinto.

Таблица 1. Интегральный показатель активности деятельности в области квантовых коммуникаций**Table 1. Integral activity indicator: quantum communications**

Компания	Патенты	Проекты	Балл патенты	Балл проекты	Интегральный показатель активности
IBM	189	0	1,00	0	0,50
Toshiba	91	6	1,00	1,00	1,00
Huawei	46	2	1,00	0,50	0,75
China Telecom	36	1	0,78	0,25	0,52
British Telecom	32	2	0,70	0,50	0,60
Deutsche Telekom	29	1	0,63	0,25	0,44
KT Corporation	21	1	0,46	0,25	0,35
NEC	20	2	0,43	0,50	0,47
Ericsson	16	1	0,35	0,25	0,30
Cisco	12	1	0,26	0,25	0,26
Nokia	10	2	0,22	0,50	0,36
AT&T	8	0	0,17	0	0,09
China Mobile	7	1	0,15	0,25	0,20
SK telecom	6	1	0,13	0,25	0,19
NTT	4	1	0,09	0,25	0,17
Verizon	3	1	0,07	0,25	0,16
China Unicom	3	1	0,07	0,25	0,16
LG Uplus	2	1	0,04	0,25	0,15
Telefonica	1	1	0,02	1,00	0,51
Siemens	1	1	0,02	0,25	0,14
Ciena	1	1	0,02	0,25	0,14
Amazon AWS	1	4	0,02	0,25	0,14
HPE Aruba	1	0	0,02	0,25	0,14
Juniper	1	1	0,02	0	0,01
Vodafone	0	1	0	1,00	0,50
KDDI	0	0	0	0,75	0,38
Telstra	0	0	0	0,50	0,25
BCE	0	0	0	0,50	0,25
Saudi Telecom	0	0	0	0,50	0,25
MTN Group	0	0	0	0,50	0,25
Swisscom	0	1	0	0,25	0,13
Singtel	0	1	0	0,25	0,13
Telenor	0	0	0	0,25	0,13
Telkom Indonesia	0	0	0	0,25	0,13
Telia	0	0	0	0,25	0,13
Proximus	0	1	0	0,25	0,13
Frontier Communications	0	0	0	0,25	0,13
Windstream Holdings	0	0	0	0,25	0,13
KPN	0	1	0	0,25	0,13

Таблица 2. Интегральный показатель активности деятельности в области квантовых вычислений

Table 2. Integral activity indicator: quantum computing

Компания	Патенты	Проекты	Балл патенты	Балл проекты	Интегральный показатель активности
IBM	328	12	1,0	1	1,0
Microsoft	28	3	1,0	0,6	0,8
Intel	40	3	1,0	0,6	0,8
Amazon	6	7	0,2	1	0,6
Alphabet	22	1	0,8	0,2	0,5
AIRBUS	0	5	0	1	0,5
Goldman Sachs Group	1	4	0	0,8	0,4
JPMorganChase	0	4	0	0,8	0,4
Alibaba Group	20	0	0,7	0	0,4
NTT	2	3	0,1	0,6	0,3
Volkswagen Group	1	3	0	0,6	0,3
Mitsubishi	1	3	0	0,6	0,3
Nvidia	1	3	0	0,6	0,3
Honda Motor	0	3	0	0,6	0,3
BMW Group	0	3	0	0,6	0,3
Commonwealth Bank	0	3	0	0,6	0,3
Cisco Systems	0	3	0	0,6	0,3
ICBC	13	0	0,5	0	0,2
Toyota Motor	1	2	0	0,4	0,2
General Electric	0	2	0	0,4	0,2
Citigroup	0	2	0	0,4	0,2
Tencent Holdings	11	0	0,4	0	0,2
Samsung Electronics	4	1	0,1	0,2	0,2
Siemens	1	1	0	0,2	0,1
Bank of America	6	0	0,2	0	0,1
Wells Fargo	6	0	0,2	0	0,1
ExxonMobil	0	1	0	0,2	0,1
Sony	0	1	0	0,2	0,1
HSBC	0	1	0	0,2	0,1
Chevron	0	1	0	0,2	0,1
TotalEnergies	0	1	0	0,2	0,1
Deutsche Telekom	0	1	0	0,2	0,1
Saudi Aramco	0	1	0	0,2	0,1
Shell Plc	0	1	0	0,2	0,1
Petrobras	0	1	0	0,2	0,1
Oracle	0	1	0	0,2	0,1
Roche Holding	0	1	0	0,2	0,1
Meta Platforms	3	0	0,1	0	0,1

телекоммуникационных услуг. Ко 2 группе компаний с высокими затратами на НИОКР и средним баллом квантовой активности относятся Cisco и Qualcomm – обе компании являются производителями оборудования и электроники. К 3 группе относятся Amazon AWS, Nokia и ABB – также производители оборудования и программного обеспечения.

Сравнительный анализ динамики средних затрат на НИОКР и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций

К компаниям с умеренными темпами роста / снижения затрат на НИОКР и высокой активностью в области квантовых коммуникаций можно отнести Hitachi, SK Telecom, ABB, Ericson и т. д. (группа 1, рис. 2). К компаниям с высоким темпом роста затрат и высокой активностью в области разработки и внедрения квантовых коммуникаций относятся Huawei, China Telecom, Fortinet, Nvidia (преимущественно разработчики оборудования и электроники).

Сравнительный анализ средней выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций
Верхняя граница выручки составила 108 млрд долларов в год. С учетом верхней границы в выборку

не вошли компании Amazon AWS, Samsung Electronics, AT&T, Verizon, Microsoft, China Mobile. К компаниям со средней выручкой ~100 млрд долларов в год, демонстрирующим активность на рынке квантовых коммуникаций, относятся NTT, Huawei и Deutsche Telekom (рис. 3). К компаниям второй группы со средней выручкой от 40 до 60 млрд долларов относятся такие компании, как China Telecom, Cisco, Orange, Unicom. К группе компаний с выручкой от 20 до 40 млрд долларов относятся NEC, Nokia, KT Corporation, ABB, Siemens, Fujitsu. Можно говорить о том, что телекоммуникационные компании, занимающие значительную долю рынка и демонстрирующие высокие показатели продаж (группы 1 и 2), более заинтересованы принимать участие в развитии технологий квантовых коммуникаций, чем компании из сегментов с меньшими показателями выручки. При этом анализ затрат показал, что средства, выделяемые в данных компаниях на разработку инноваций, значительно ниже, чем в компаниях-поставщиках оборудования.

Сравнительный анализ динамики выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций
На рисунке 4 можно отметить группу компаний (1), активно наращивающих продажи на рынке информационных технологий и принимающих активное

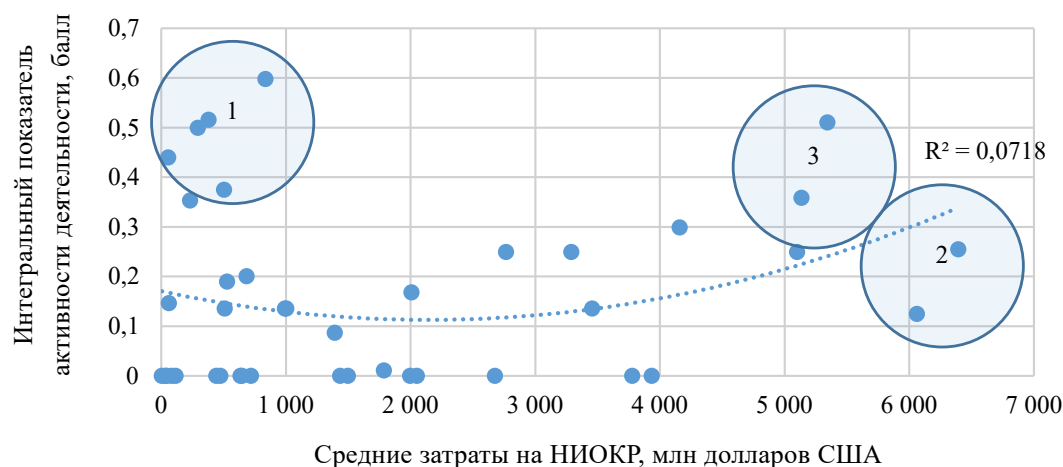


Рис. 1. Сравнительный анализ средних затрат на НИОКР и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций

Fig. 1. Average R&D costs vs. integral activity indicator in quantum communications

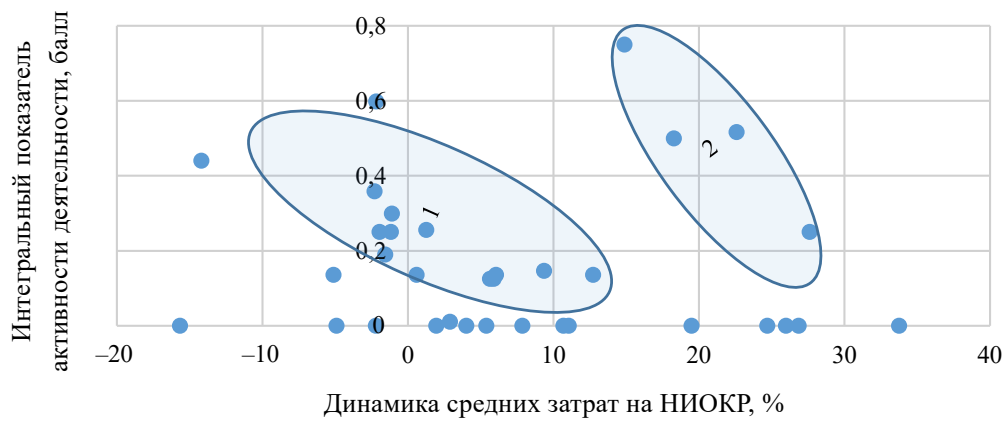


Рис. 2. Сравнительный анализ динамики средних затрат на НИОКР и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций

Fig. 2. Dynamics of average R&D costs vs. integral activity indicator in quantum communications

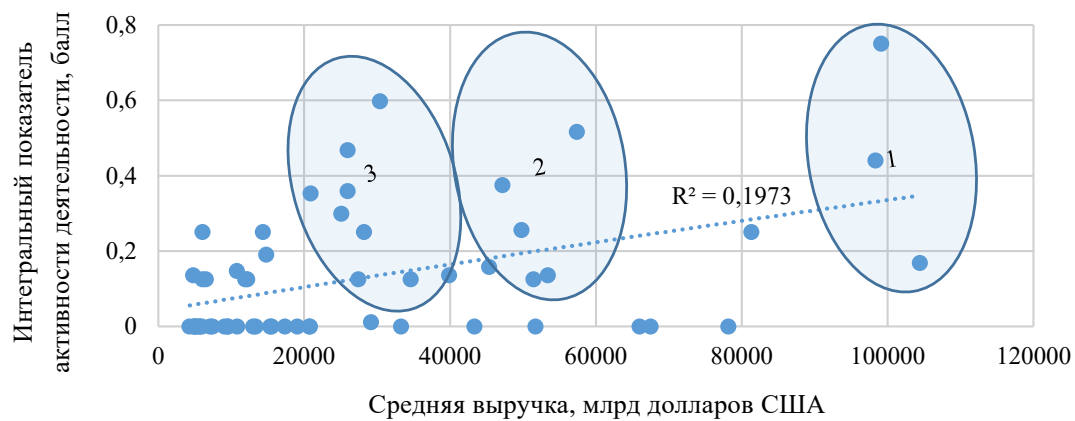


Рис. 3. Сравнительный анализ средней выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций

Fig. 3. Average revenue vs. integral activity indicator in quantum communications

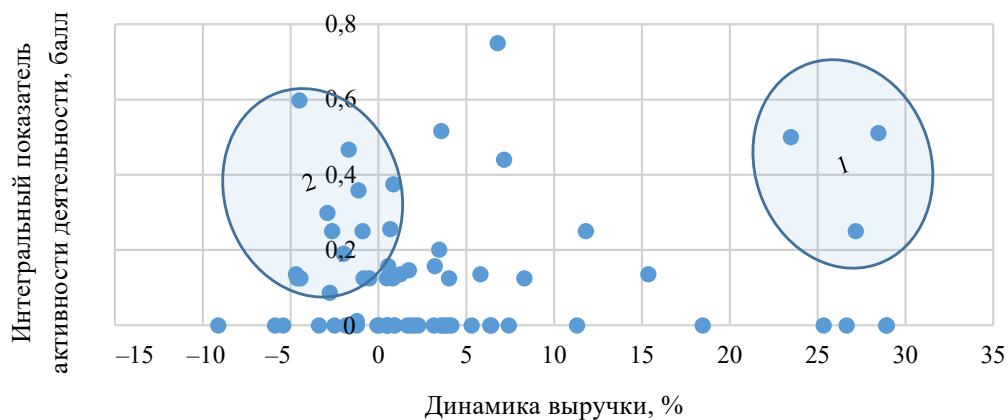


Рис. 4. Сравнительный анализ динамики выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций

Fig. 4. Revenue dynamics vs. integral activity indicator in quantum communications

участие в развитии рынка квантовых коммуникаций: Amazon AWS, Nvidia, Fortinet – разработчиков коммуникационных и ИТ-решений. К стагнирующим компаниям, развивающим решения квантовых коммуникаций, можно отнести Nokia, NEC, Hitachi, Ericsson – производители оборудования (2).

Значительные результаты не выявлены в результате сравнительного анализа количества заявок на охрану патентов и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций.

Результаты анализа в области квантовых вычислений

Сравнительный анализ средних затрат на НИОКР и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений. Верхняя граница средних затрат на НИОКР составила 17,7 млрд долларов в год (рис. 5). График квантовых вычислений отличался от коммуникаций прежде всего большей кучностью компаний с затратами на НИОКР менее 10 млрд долларов. Это связано с наличием компаний-лидеров инвестиций в инновационные разработки (12–18 млрд долларов в год), а также невысокой активностью в области квантовых технологий.

Сравнительный анализ динамики средних затрат на НИОКР и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений.

На рисунке 6 более выражено увеличение активности в области квантовых вычислений при растущих затратах на НИОКР. Так, к группе 1 относятся новые лидеры рынка технологических инноваций Nvidia и Amazon.

Сравнительный анализ средней выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений. Верхняя граница анализа по средней выручке составила 287 млрд долларов в год, в связи с чем из рисунка 7 исключены компании Walmart, Sinopec, PetroChina, Amazon, Saudi Aramco, Shell, Apple. Отличие распределения в области квантовых вычислений от квантовых коммуникаций заключается в наличии нисходящего тренда. К первой группе компаний с высокой выручкой и ограниченным участием в развитии инноваций относятся Volkswagen, Toyota, ExxonMobil. Для данных компаний технологическая отрасль является вспомогательной, активное участие в создании собственных решений не свойственно. При этом интересен тот факт, что, в соответствии с графиком, 50 % отобранных компаний со средней выручкой более 250 млрд долларов в год принимают участие в пилотировании квантовых вычислений. Это может свидетельствовать о том, что крупные компании более склонны тестировать потенциальные прорывные решения. Кроме того, необходимо учитывать отраслевую специфику компаний – промышленность и логистика. Ко второй группе

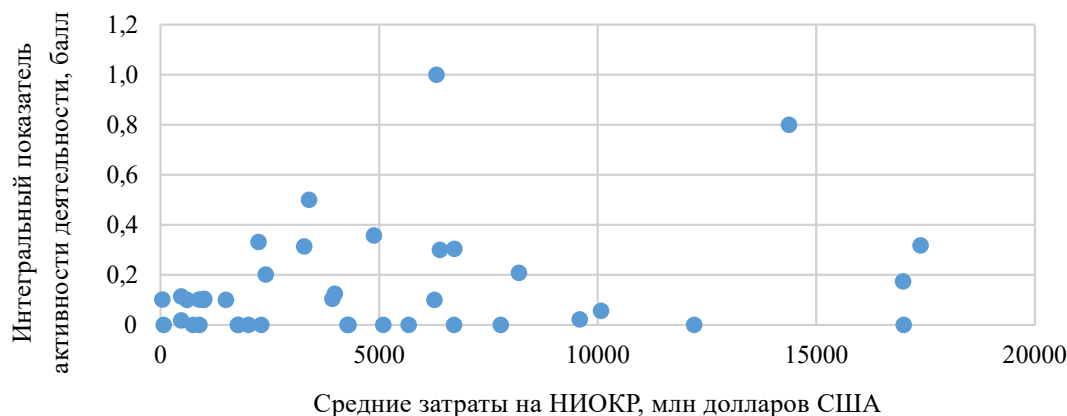


Рис. 5. Сравнительный анализ средних затрат на НИОКР и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений

Fig. 5. Average R&D costs vs. integral activity indicator in quantum computing

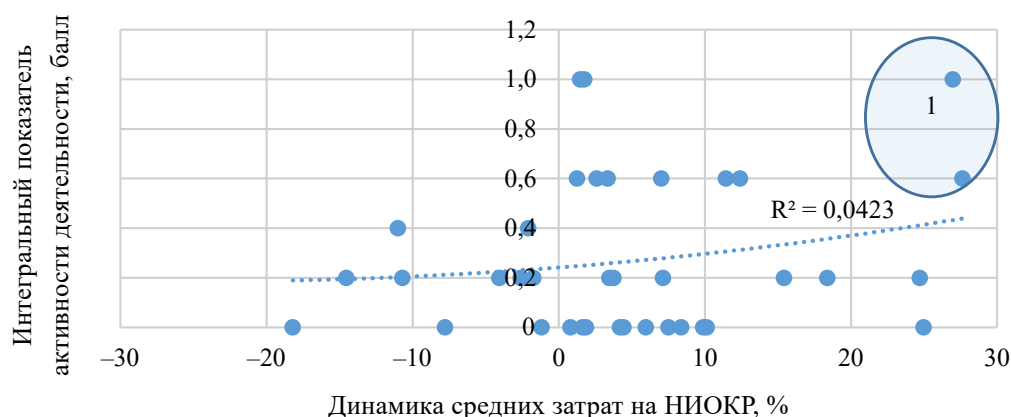


Рис. 6. Сравнительный анализ динамики средних затрат на НИОКР и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений

Fig. 6. Dynamics of average R&D costs vs. integral activity indicator in quantum computing



Рис. 7. Сравнительный анализ средней выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений

Fig. 7. Average revenue vs. integral activity indicator in quantum computing

(рис. 8) относятся JP Morgan, Microsoft, Mitsubishi, Honda, BMW. Данный результат подтверждает актуальность квантовых вычислений, прежде всего, для промышленных, логистических и финансовых компаний. К третьей группе относятся преимущественно технологические лидеры рынка: Airbus, Intel, IBM, Alibaba.

Сравнительный анализ динамики выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений. К группе компаний, характеризующихся динамичным ростом выручки и сдержанным участием в развитии квантовых вычислений, относятся высокотехнологич-

ные компании Alibaba, NVidia, Tencent, Siemens. Ко второй группе с менее динамичным ростом выручки и высокой инновационной активностью относятся Mitsubishi, JP Morgan, Microsoft, Google (Alphabet). Компании из третьей группы со снижающейся выручкой и максимальной активностью участия в развитии рынка включают IBM и Intel. Таким образом, можно предположить, что ранние лидеры отрасли высоких технологий, принимавшие участие в становлении рынка электронно-вычислительных машин, пытаются сохранить ведущие позиции за счет получения новых конкурентных преимуществ в области разработки квантовых ком-

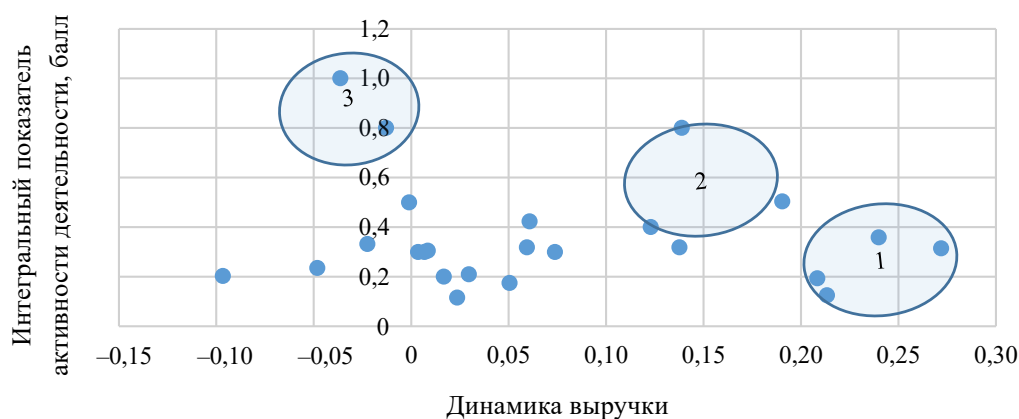


Рис. 8. Сравнительный анализ динамики выручки и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений

Fig. 8. Comparative revenue dynamics vs. integral activity indicator in quantum computing

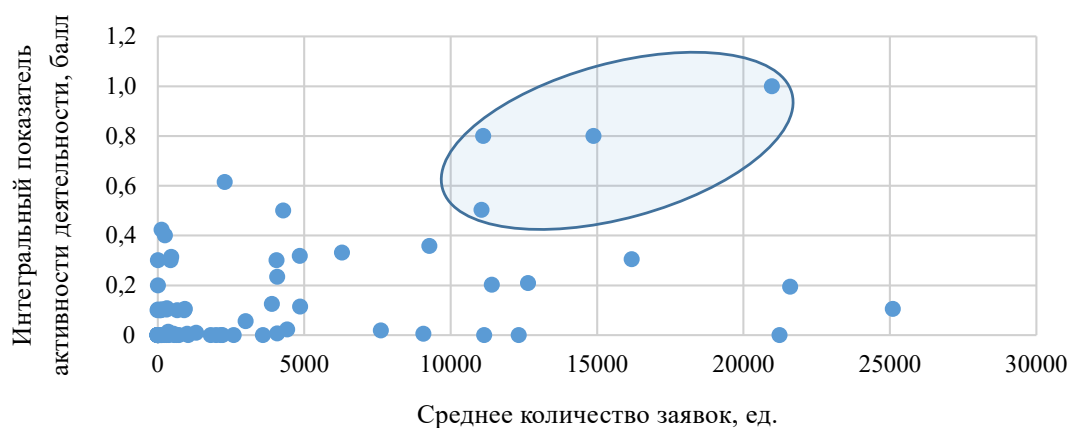


Рис. 9. Сравнительный анализ среднего количества заявок и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций

Fig. 9. Average number of applications vs. integral activity indicator in quantum communications

пьютеров. Более молодые компании получают меньшее количество патентов и принимают меньше участия в пилотных проектах, но тем не менее также проявляют активность в области квантовых вычислений (Google, NVidia, Amazon).

Сравнительный анализ количества заявок на охрану патентов и интегрального показателя активности деятельности в области квантовых вычислений. В связи с преобладающим количеством патентов в выборку на рисунке 9 не вошли компании Samsung Electronics и Mitsubishi. В соответствии с проведенным анализом, к лидерам патентной активности, характеризующихся участием в разви-

тии отрасли квантовых вычислений, можно отнести компании IBM, Microsoft, Google, Intel.

Модель стратегического развития на рынке квантовых технологий. Предлагается скоринговая модель привлекательности участия компании в развитии квантовых коммуникаций и вычислений (табл. 3).

Подход к определению интегрального показателя активности деятельности в области квантовых коммуникаций / вычислений приведен в разделе методология. Распределение компаний по группам Developers / Clients осуществлялось с применением следующего метода скоринга (табл. 4).

Таблица 3. Матрица стратегического развития на рынке квантовых технологий

Table 3. Strategic development matrix: quantum technologies market

Laggards (низкая активность) от 0 баллов	Developers (Разработчики) до 1 балла		Leaders (высокая активность), до 1 балла
	<i>Participants (участники):</i> – могут разрабатывать собственные решения; – активность на рынке квантовых технологий недостаточно высокая; – участие в проектах в качестве третьей стороны.	<i>Market Pushers (Технологические лидеры):</i> – активно разрабатывают собственные решения; – участие в проектах в качестве ключевых разработчиков.	
	<i>Observers (Наблюдатели):</i> – компании с низкой вероятностью создания собственных продуктов на рынке квантовых технологий; – не заинтересованы в пилотировании решений.	<i>Market Pullers (Ключевые клиенты):</i> – основные участники пилотирования технологий в качестве промышленных партнеров и потенциальных заказчиков; – первопроходцы коммерциализации инноваций.	
	Clients (Потребители) от –1 балла		

Таблица 4. Опросник для распределения компаний по группам Developers / Clients

Table 4. Developers / Clients Questionnaire

№	Вопрос	Да	Нет
1	Ваша компания разрабатывает собственные дорогостоящие инновационные решения в области телекоммуникаций, фотоники, математических вычислений, алгоритмов, ИТ-инфраструктуры, информационной безопасности?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
2	Компания выделяет значительные средства на НИОКР в области телекоммуникаций, фотоники, математических вычислений, алгоритмов, ИТ-инфраструктуры, информационной безопасности и готова экспериментировать?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
3	Вы открываете лаборатории в сферах Deep Tech и поддерживаете проекты с горизонтом развития более 10 лет?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
4	Вы нанимаете докторов и кандидатов технических и физико-математических наук для разработки инноваций?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
5	Руководство ставит в приоритет развитие инноваций, а не тактическое сокращение затрат?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
6	Стремится ли руководство повысить стоимость компании, в том числе благодаря владению передовой интеллектуальной собственностью в области телекоммуникаций, фотоники, математических вычислений, алгоритмов, ИТ-инфраструктуры, информационной безопасности?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
7	Верите ли Вы в возможность коренной трансформации Вашей организации с применением квантовых технологий?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
8	Является ли организация активным участником венчурного рынка, владельцем долей в инновационных проектах в области телекоммуникаций, фотоники, математических вычислений, алгоритмов, ИТ-инфраструктуры, информационной безопасности?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
9	Предпочитаете ли Вы пилотировать передовые решения в области телекоммуникаций, фотоники, математических вычислений, алгоритмов, ИТ-инфраструктуры, информационной безопасности сами, без привлечения подрядчиков?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл
10	Участвует ли организация в научных консорциумах, комиссиях, других объединениях, целью которых является согласование и стандартизация решений в области телекоммуникаций, фотоники, математических вычислений, алгоритмов, ИТ-инфраструктуры, информационной безопасности?	+ 0,1 балл	– 0,1 балл

Традиционные лидеры отраслей (например, Nokia на рынке телекоммуникационного оборудования, Intel на рынке вычислительных устройств) будут стремиться сохранить технологическое лидерство в характерных для них направлениях. Потенциальные клиенты также могут разрабатывать собственные подходы к применению квантового распределения ключей и квантовых алгоритмов, однако их активность будет ограничена.

ВЫВОДЫ

В заключение авторы отмечают, что международный опыт может быть интересен для российских участников рынка и регуляторов, ответственных за долгосрочное развитие квантовых технологий. Представляется логичным более активное вовлечение в создание решений коммуникаций и вычислений новых участников – экосистемных компаний

с большим опытом разработки инновационных продуктов, например «Сбер» и «Яндекс». Успешная реализация первого этапа дорожных карт «РЖД» и «Росатом», посвященных формированию фундамента квантового рынка, позволяет сделать предположение о необходимости активизации мер в направлении пилотирования технологий с участием ведущих промышленных, финансовых и логистических компаний. Кроме того, аспект обеспечения синергии экосистем квантовых коммуникаций и вычислений является важным благодаря совместным проектам, реализуемым компаниями-«локомотивами» инноваций. Успешное достижение поставленных задач, учитывая специфику рынка квантовых технологий, будет возможно с применением инструментов долгосрочного сквозного стратегического планирования на корпоративном, отраслевом и национальном уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

- Батаев А. В., Батаева К. И. Оценка использования квантовой криптографии в финансовых институтах // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: сборник трудов Всероссийской научно-практической и учебно-методической конференции: в 8 ч., Санкт-Петербург, 15–19 мая 2023 года. Часть 3. СПб.: Политех-Пресс, 2023. С. 20–30. <https://elibrary.ru/EGFWDT>
- Ермакова Е. О., Ерохина А. А. Применение квантовых коммуникаций в ОАО «РЖД»: логистические аспекты // Потенциал логистики XXI века: молодежное измерение: сборник научных статей и научных проектов. Выпуск 3. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. С. 86–93. <https://elibrary.ru/TMJFLF>
- Квинт В. Л. Концепция стратегирования. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. 170 с. <https://doi.org/10.21603/978-5-8353-2562-7>
- Лобов Д. С. Финансирование НИОКР, патентная активность и развитие рынка квантовых коммуникаций в России и за рубежом // Информационное общество. 2023. № 5. С. 123–133. <https://elibrary.ru/VIRYJJ>
- Охотников А. Л., Озеров А. В., Цветков В. Я. Квантовые вычисления и железные дороги // Наука и технологии железных дорог. 2020. № 4. С. 34–37. <https://doi.org/10.34649/AT.2020.4.4.006>
- Поликарпов П. В., Уваров Н. К., Хомоненко А. Д. Экосистемы квантовых вычислений и перспективы использования их на транспорте // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 3. С. 52–60. <https://doi.org/10.24412/2413-2527-2021-327-52-60>
- Раткин Л. С. Квантово-коммуникационные системы распределенных реестров для хранения и обработки данных о технических характеристиках и финансово-экономических параметрах инвестиционных проектов по разработке перспективных моделей автотранспорта // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2021. № 5. С. 61–64. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-05-10>

- Роль квантовых вычислений в экономическом анализе / Д. А. Крепышев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 194. С. 59–73. <https://elibrary.ru/IWHIVZ>
- Салыгин В. И., Лобов Д. С. Перспективы применения технологий квантового распределения ключей на примере объектов нефтегазовой отрасли // Друкеровский вестник. 2023. № 1. С. 246–253. <https://doi.org/10.17213/2312-6469-2023-1-246-253>
- Aljaafari M. Quantum computing for social business optimization: A practitioner's perspective // Soft Computing. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08764-y>
- An investigation on quantum-inspired algorithms for portfolio optimization across global markets / Y. Chou [et al.] // IEEE Nanotechnology Magazine. 2024. Vol. 18. № 4. P. 27–34. <https://doi.org/10.1109/MNANO.2024.3402755>
- Azad N. Quantum computing: A concept and business perspective // The International Conference on Software Business. 2024. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15183.87201>
- Azuma K. Developing a theory for a quantum internet for global quantum communication // NTT Technical Review. 2024. Vol. 22. № 10. P. 13–18. <https://doi.org/10.53829/ntr202410ri1>
- Bova F., Goldfarb A., Melko R. Commercial applications of quantum computing // EPJ Quantum Technology. 2021. Vol. 8. P. 2. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00091-1>
- Gorbanyov M., Malaika M., Saadi T. S. Quantum computing and the financial system: Spooky action at a distance? // IMF Working Paper. 2021. № 071. P. 1–33. <https://doi.org/10.5089/9781513572727.001>
- Guarda T., Torres W., Augusto M. F. The impact of quantum computing on businesses. In: Gervasi O., Murgante B., Misra S., Rocha A. M. A. C., Garau C., editors. Computational Science and Its Applications // ICCSA 2022. 2022. Vol. 13380. P. 3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_1
- Identifying the challenges in commercializing high technology: A case study of quantum key distribution technology / A. Al Natsheh [et al.] // Technology Innovation Management Review. 2015. № 5. P. 26–36.
- Path to European quantum unicorns / M. Räsänen [et al.] // EPJ Quantum Technology. 2021. Vol. 8. P. 5. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00095-x>
- Prakash P. Enhancing business performance through quantum electronic analysis of optical data // Optical and Quantum Electronics. 2023. Vol. 55. P. 1056. <https://doi.org/10.1007/s11082-023-05347-x>
- QADQN: Quantum attention deep q-network for financial market prediction / S. Dutta [et al.] // 2024 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE). 2024. Preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.03088>
- Quantum computational finance for martingale asset pricing in incomplete markets / P. Rebentrost [et al.] // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. P. 18941. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68838-1>
- Quantum computing for market research / L. Sáez-Ortuño [et al.] // Journal of Innovation & Knowledge. 2024. Vol. 9. № 3. P. 100510. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100510>
- Quantum technology and application consortium – QUTAC., industry quantum computing applications / A. Bayerstadler [et al.] // EPJ Quantum Technology. 2021. Vol. 8. P. 25. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00114-x>
- Secure quantum communication technologies and systems: From labs to markets / F. Cavaliere [et al.] // Quantum Reports. 2020. № 2. P. 80–106. <https://doi.org/10.3390/quantum2010007>
- Srivastava R., Choi I., Cook T. The commercial prospects for quantum computing // Networked Quantum Information Technologies. 2016. № 1. P. 1–40.
- Towards quantum advantage in financial market risk using quantum gradient algorithms / N. Stamatopoulos [et al.] // Quantum. 2022. Vol. 6. P. 770. <https://doi.org/10.22331/q-2022-07-20-770>

Vaddy R. K., Dhamodharan B., Jain A. Quantum computing applications in real-time route optimization for supply chains // *Quantum Computing and Supply Chain Management*. Hershey: IGI Global, 2024. 310 p. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4107-0.ch008>

REFERENCES

- Al Natsheh A, Gbadegeshin S, Rimpiläinen A, Imamovic-Tokalic I, Zambrano A. Identifying the challenges in commercializing high technology: A case study of quantum key distribution technology. *Technology Innovation Management Review*. 2015;(5):26–36.
- Aljaafari M. Quantum computing for social business optimization: A practitioner's perspective. *Soft Computing*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08764-y>
- Azad N. Quantum computing: A concept and business perspective. *The International Conference on Software Business*. 2024. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15183.87201>
- Azuma K. Developing a theory for a quantum internet for global quantum communication. *NTT Technical Review*. 2024;22(10):13–18. <https://doi.org/10.53829/ntr202410ri1>
- Bataev AV, Bataeva KI. Evaluation of using quantum cryptography in financial institutions. *Fundamental and applied research in management, economics and trade: Proceedings of the All-Russian scientific, practical and educational-methodological conference*. St. Petersburg: Polytech-Press; 2023. P. 20–30. (In Russ.) <https://elibrary.ru/EGFWDT>
- Bayerstadler A, Becquin G, Binder J, Botter T, Ehm H, et al. Quantum technology and application consortium – QUTAC., *Industry quantum computing applications*. *EPJ Quantum Technology*. 2021;8:25. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00114-x>
- Bova F, Goldfarb A, Melko R. Commercial applications of quantum computing. *EPJ Quantum Technology*. 2021;8:2. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00091-1>
- Cavaliere F, Prati E, Poti L, Muhammad I, Catuogno T. Secure quantum communication technologies and systems: From labs to markets. *Quantum Reports*. 2020;2:80–106. <https://doi.org/10.3390/quantum2010007>
- Chou Y, Chang M, Jiang Y, Kuo S, Kung S, et al. An investigation on quantum-inspired algorithms for portfolio optimization across global markets. *IEEE Nanotechnology Magazine*. 2024;18(4):27–34. <https://doi.org/10.1109/MNANO.2024.3402755>
- Dutta S, Innan N, Marchisio A, Yahia SB, Shafique M. QADQN: Quantum attention deep q-network for financial market prediction. 2024 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE). 2024. Preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.03088>
- Ermakova EO, Erokhina AA. Quantum communications in JSC «Russian railways»: Logistical aspects. Potential of logistics of the 21st century: Youth dimension: Collection of scientific articles and scientific projects. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Economics; 2022. 86–93. (In Russ.) <https://elibrary.ru/TMJFLF>
- Gorbanyov M, Malaika M, Saadi TS. Quantum computing and the financial system: Spooky action at a distance? *IMF Working Paper*. 2021;(071):1–33. <https://doi.org/10.5089/9781513572727.001>
- Guarda T, Torres W, Augusto MF. The impact of quantum computing on businesses. In: Gervasi O, Murgante B, Misra S, Rocha AMAC, Garau C, editors. *Computational Science and Its Applications*. ICCSA 2022. 2022;13380:3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_1
- Krepyshev DA, Lytney NN, Kosnikov MS, Burusova EV. The role of quantum computing in economic analysis. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2023;(194):59–73. (In Russ.) <https://elibrary.ru/IWHIVZ>

- Kvint VL. The concept of strategizing. Kemerovo: Kemerovo State University; 2022. 170 p. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/978-5-8353-2562-7>
- Lobov DS. R&D financing, patent activity, and development of the quantum communications market in Russia and abroad. *Information Society*. 2023;(5):123–133. (In Russ.) <https://elibrary.ru/VIRYJJ>
- Okhotnikov AL, Ozerov AV, Tsvetkov VYa. Quantum technologys for railways. 2020;(4):34–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.34649/AT.2020.4.4.006>
- Polikarpov PV, Uvarov NK, Khomenko AD. Characteristics of ecosystems of quantum computing and prospects for their use in transport. *Intellectual Technologies on Transport*. 2021;(3):52–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-2527-2021-327-52-60>
- Prakash P. Enhancing business performance through quantum electronic analysis of optical data. *Optical and Quantum Electronics*. 2023;55:1056. <https://doi.org/10.1007/s11082-023-05347-x>
- Räsänen M, Mäkynen H, Möttönen M, Goetz J. Path to European quantum unicorns. *EPJ Quantum Technology*. 2021;8:5. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00095-x>
- Rathkeen LS. The quantum communication systems of distributed registers for storing and treatment of data of technical characteristics and financial and economical parameters of investment projects for development of perspective models of autotransport. *Transport: Science, technology, management. Scientific information collection*. 2021;(5):61–64. (In Russ.) <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-05-10>
- Rebentrost P, Luongo A, Cheng B, Bosch S, Lloyd S. Quantum computational finance for martingale asset pricing in incomplete markets. *Scientific Reports*. 2024;14:18941. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68838-1>
- Sáez-Ortuño L, Huertas-García R, Forgas-Coll S, Sánchez-García J, Puertas-Prats E. Quantum computing for market research. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2024;9(3):100510. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100510>
- Salygin VI, Lobov DS. Prospects for the application of quantum key distribution technologies using the example of oil and gas industry facilities. *Drukerovskij Vestnik*. 2023;(1):246–253. (In Russ.) <https://doi.org/10.17213/2312-6469-2023-1-246-253>
- Srivastava R, Choi I, Cook T. The commercial prospects for quantum computing. *Networked Quantum Information Technologies*. 2016;(1):1–40.
- Stamatopoulos N, Mazzola G, Woerner S, Zeng WJ. Towards quantum advantage in financial market risk using quantum gradient algorithms. *Quantum*. 2022;6:770. <https://doi.org/10.22331/q-2022-07-20-770>
- Vaddy RK, Dhamodharan B, Jain A. Quantum computing applications in real-time route optimization for supply chains. *Quantum Computing and Supply Chain Management*. Hershey: IGI Global; 2024. 310 p. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4107-0.ch008>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА: Все авторы внесли равный вклад в исследование и подготовку публикации.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявили об отсутствии потенциальных конфликтов интересов в отношении исследования, авторства и / или публикации данной статьи.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ: Лобов Даниил Сергеевич, канд. экон. наук, докторант в Московском государственном институте международных отношений МИД РФ, научный сотрудник лаборатории квантовых коммуникаций в Санкт-Петербургском государственном университете, заместитель менеджера в ООО «Кэпт Налоги и Консультирование», d.lobov96@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9548-2502>

Шумков Вячеслав Владиславович, канд. экон. наук, лаборант ЦНИР МГУ, руководитель департамента по управлению интеллектуальной собственностью компании «Иннопрактика», vyacheslav.shumkov@innopraktika.ru

CONTRIBUTION: All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for the information published in this article.

CONFLICT OF INTEREST: The authors declared no potential conflict of interest regarding the research, authorship, and/or publication of this article.

ABOUT AUTHORS: Daniil S. Lobov, PhD in Economics, doctoral student at the Moscow State Institute of International Relations of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, research fellow at the Laboratory of Quantum Communications at St. Petersburg State University, deputy manager at Kept Taxes and Consulting LLC, d.lobov96@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9548-2502>

Vyacheslav V. Shumkov, PhD in Economics, laboratory assistant at the Central Research Institute of Moscow State University, head of the intellectual property management department at Innopraktika, vyacheslav.shumkov@innopraktika.ru