

Серова Алина Владимировна

студентка

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

г. Новосибирск, Новосибирская область

DOI 10.31483/r-153733

ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ В КВАНТОВОЙ ОТРАСЛИ: ИНТЕГРАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ И ПРОЦЕССНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

***Аннотация:** данное исследование продолжает работу, начатую при поддержке гранта Минобразования Новосибирской области в 2024 году, и посвящено прогнозу развития квантовых технологий в России. Сегодня страна активно реализует масштабную программу по их развитию, включая национальный проект «Экономика данных». Практические шаги, такие как создание квантовой сети между Москвой и Санкт-Петербургом, показывают, что стратегия нацелена на коммерциализацию технологий и выход на мировой рынок к 2030 году. Проведенное исследование основано на применении комплекса взаимодополняющих методов, обеспечивающих многоаспектный анализ развития квантовых технологий в России. Методологическая новизна работы заключается в интеграции количественных и качественных методов с инструментами системного моделирования.*

***Ключевые слова:** экосистема, квантовые технологии, моделирование.*

Статья написана на основе грантовой поддержки Правительства НСО.

Квантовые технологии стали глобальным приоритетом, от которого напрямую зависят будущее экономики и безопасность государств. Мировые инвестиции в эту сферу, по данным ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, за пять лет выросли более чем втрое, превысив 35 млрд долларов [1]. В ответ ведущие державы – США, Китай и ЕС – запустили национальные программы с бюджетами свыше 10 млрд долларов каждая, развернув беспрецедентную технологическую гонку [2].

Для России квантовые технологии – стратегический приоритет. Несмотря на значительное финансирование (свыше 65 млрд руб. до 2026 года) и наличие «дорожных карт», сохраняются системные вызовы. Предыдущее исследование выявило критическую зависимость между инвестициями, кадрами и успехом внедрения. При этом, по оценкам Минцифры, технологический разрыв с лидерами в 10–15 лет требует не догоняющего развития, а создания целостной национальной экосистемы.

Особенно актуальна задача строительства квантовой инфраструктуры в условиях импортозависимости. Пилотные проекты (например, сеть Москва – Санкт-Петербург) показывают потенциал, но вскрывают «узкие места»: например, вероятность успешной передачи данных в ней не превышает 46% [3].

Таким образом, ключевая задача – переход от отдельных решений к управляемой архитектуре национальной инфраструктуры. Разработка системы риск-менеджмента на основе процессного моделирования и количественных оценок – необходимое условие для коммерциализации технологий и выхода России на мировой рынок к 2030 году.

Для построения прогнозной модели развития квантовых технологий был проведен анализ значимости различных значимых факторов, которые представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1

Первоначальный набор значимых факторов

| Группа факторов | Конкретные факторы | Влияние |
|------------------|---|----------|
| Финансовые | Объем гос. финансирования, частные инвестиции, бюджет НИОКР | Прямое |
| Кадровые | Количество специалистов, уровень квалификации, заработная плата | Прямое |
| Научные | Количество публикаций, количество патентов, цитируемость | Прямое |
| Технологические | Уровень ошибок, стабильность работы, производительность | Обратное |
| Инфраструктурные | Оснащенность лабораторий, доступ к суперкомпьютерам | Прямое |
| Регуляторные | Качество нормативной базы, скорость сертификации | Прямое |

Для выявления ключевых факторов, влияющих на успешность проектов в области квантовых технологий (зависимая переменная Y), был применён ком-

бинированный метод анализа данных, включающий корреляционный анализ, анализ главных компонент (РСА) и пошаговую регрессию. Значимые факторы, отобранные по результатам анализа, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Ранжирование факторов по значимости

| Фактор | Корреляция с Y | P-value | VIF | Вклад в дисперсию | Статус |
|--------------------------|----------------|---------|-----|-------------------|-----------|
| Уровень ошибок | -0,891 | 0,001 | 1,2 | 34,2% | Включаем |
| Количество-специалистов | 0,845 | 0,003 | 2,1 | 28,7% | Включаем |
| Объем инвестиций | 0,812 | 0,005 | 3,4 | 22,3% | Включаем |
| Количество патентов | 0,734 | 0,012 | 1,8 | 15,8% | Включаем |
| Частные инвестиции | 0,687 | 0,025 | 4,2 | 9,3% | Исключаем |
| Заработная плата | 0,634 | 0,041 | 2,7 | 7,1% | Исключаем |
| Оснащенность лабораторий | 0,556 | 0,082 | 3,1 | 4,2% | Исключаем |

На основе проведенного анализа для построения регрессионной модели были отобраны 4 ключевых фактора:

- уровень ошибок (X_4) – наиболее значимый фактор ($\beta = -8,37$, $p < 0,01$);
- уровень ошибок (X_2) – второй по значимости фактор ($\beta = -2,15$, $p < 0,05$);
- уровень ошибок (X_1) – существенное влияние ($\beta = -2,15$, $p < 0,05$);
- уровень ошибок (X_3) – умеренное влияние ($\beta = 0,68$, $p < 0,1$).

Адекватность модели характеризуется коэффициентом детерминации, который равен 0,82. При этом скорректированный R^2 равен 0,758.

Проведенный анализ позволил идентифицировать наиболее значимые факторы для прогнозирования успешности реализации квантовых проектов. Технологическая надежность, а именно уровень ошибок, является критическим фактором. На результаты оказывает существенное влияние кадровый потенциал. Объем финансирования важен, но его эффект проявляется с временным лагом. Научный задел (патенты) демонстрирует умеренное положительное влияние. Отобранные факторы обеспечивают баланс между полнотой модели и ее практической применимостью, позволяя строить точные прогнозы с минимальной мультиколлинеарностью.

На основе данных 2019–2024 годов [3] методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии:

$$Y = 124,83 - 2,15X_1 - 1,92X_2 + 0,68X_3 - 8,37X_4$$

При этом статистические характеристики модели:

- коэффициент детерминации $R^2 = 0,82$;
- скорректированный $R^2 = 0,76$;
- F-статистика = 13,24;
- стандартная ошибка = 7,12%

Прогноз на 2025 год с использованием модели:

$$Y_{2025} = 124,83 - 2,15*8,0 - 1,92*30,0 + 0,68*20 - 8,37*3,2 = 76,8\%$$

Множественный регрессионный анализ применяется для решения нескольких ключевых задач: выделения чистого влияния каждого фактора, количественной оценки его вклада в результат и построения точных прогнозов.

Например, если парная корреляция показывает сильную обратную связь инвестиций с успешностью ($r = -0,806$), регрессионная модель раскрывает её природу. Оказывается, инвестиции положительно влияют на результат, но с лагом в 1–2 года. Кроме того, множественная регрессия объясняет 82% дисперсии успешности против 65% в парном анализе, что значительно повышает её предсказательную силу.

На практике это позволяет обосновать приоритеты финансирования через коэффициенты модели и проиграть различные сценарии до принятия решений, снижая управленческие риски.

На основе результатов регрессионного анализа сформирована матрица стратегического SWOT-анализа, связавшая количественные оценки с качественными стратегиями. Результаты представлены в таблицах 3, 4 [4].

Таблица 3

Матрица стратегий S-O

| Сильные стороны / Возможности | O1: Рост государственной поддержки | O2: Международная кооперация | O3: Развитие образования |
|-------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| S1: Высокий научный потенциал | Создание центров компетенций при вузах | Совместные исследовательские программы | Разработка образовательных стандартов |

| | | | |
|----------------------------|---|-------------------------------|--|
| S2: Снижение уровня ошибок | Приоритетное финансирование надежных технологий | Экспорт технологий надежности | Подготовка специалистов по контролю качества |
|----------------------------|---|-------------------------------|--|

Таблица 4

Матрица стратегий W-T

| Слабые стороны / Угрозы | T1: Технологические риски | T2: Кадровый дефицит | T3: Инвестиционные ограничения |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| W1: Отрицательный эффект инвестиций | Диверсификация инвестиционных портфелей | Стимулирование частных инвестиций | Поэтапное финансирование проектов |
| W2: Низкая патентная активность | Разработка системы защиты ИС | Программы поддержки изобретателей | Создание патентных пулов |

На основе интеграции количественного регрессионного анализа и качественного SWOT-анализа сформирован комплекс стратегических инициатив. Он направлен на управление ключевыми факторами успеха – технологической надёжностью и кадровым потенциалом – путём создания центров компетенций, экспорта решений по надёжности и развития образовательных стандартов. Параллельно для нейтрализации системных рисков (отрицательный краткосрочный эффект инвестиций и низкая патентная активность) предложены защитные меры: диверсификация финансирования, стимулирование частных вложений и создание патентных пулов. Этот подход позволяет преобразовать выявленные зависимости в конкретные механизмы роста и минимизировать угрозы. Разработанные измеримые стратегии готовы к интеграции в систему управления национальными проектами для достижения цели – выхода России на мировой рынок квантовых технологий к 2030 году.

Для системного представления процессов формирования национальной квантовой экосистемы использована методология IDEF0, позволяющая осуществить функциональное моделирование архитектуры управления отраслью. Основной целью разработки модели является создание целостного представления о процессах формирования квантовой экосистемы, идентификации зон ответственности и интерфейсов между участниками, а также оптимизации потоков ресурсов и информации.

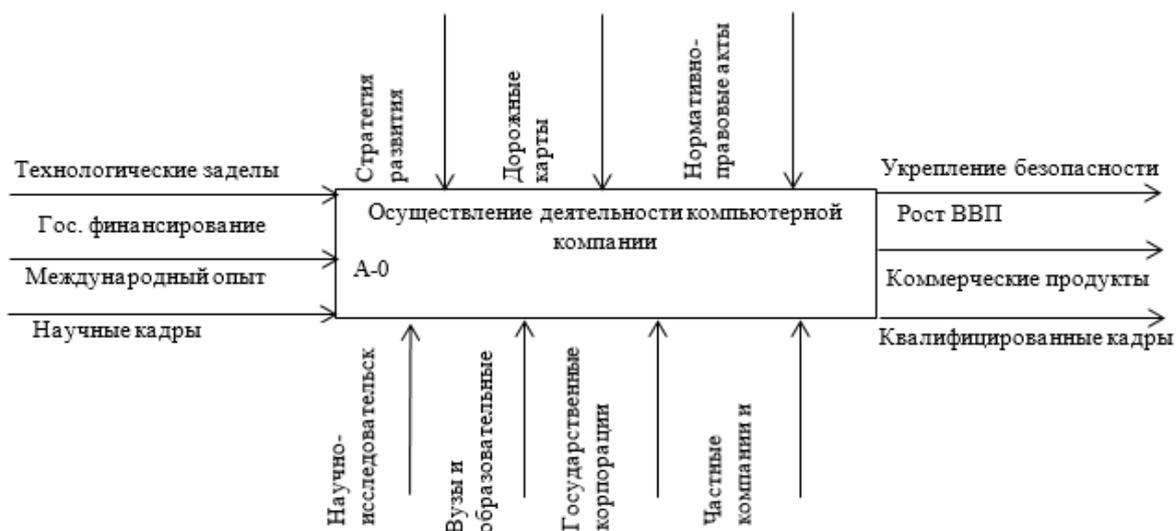


Рис. 1. Контекстная диаграмма

Разработанная функциональная модель является практическим инструментом для построения организационной структуры управления квантовой отраслью. Она закрепляет зоны ответственности участников экосистемы и позволяет детально регламентировать их взаимодействие, включая координацию между наукой, образованием, промышленностью и институтами развития.

На основе модели можно оптимизировать распределение ресурсов, анализируя потоки данных и выявляя узкие места в финансировании, кадровом и материальном обеспечении. Кроме того, модель служит основой для системы мониторинга, позволяющей отслеживать достижение целевых показателей и своевременно корректировать программы развития.

Таким образом, модель обеспечивает системный и скоординированный подход к развитию всех элементов экосистемы. Это создает фундамент для формирования в России конкурентоспособной квантовой отрасли, способной интегрироваться в мировую технологическую среду и укрепить позиции страны на международном рынке [5].

Для формализации требований и проектирования архитектуры защищенной квантовой сети связи использован унифицированный язык моделирования UML, позволяющий стандартизовано описать структурные и поведенческие аспекты системы [6].

Диаграмма вариантов использования (рис. 2) описывает ключевые роли и сценарии работы системы с акцентом на функции безопасности. Диаграмма последовательности (рис. 3) детализирует процесс установки защищенного канала, включая проверку уровня квантовых ошибок на основе проведенного ранее вероятностного анализа.

Совместное использование этих диаграмм дает комплексное представление о системе, сочетая статическую функциональность с динамикой взаимодействий. Такой подход позволяет заранее выявить узкие места архитектуры и заложить эффективные механизмы надежности и безопасности.

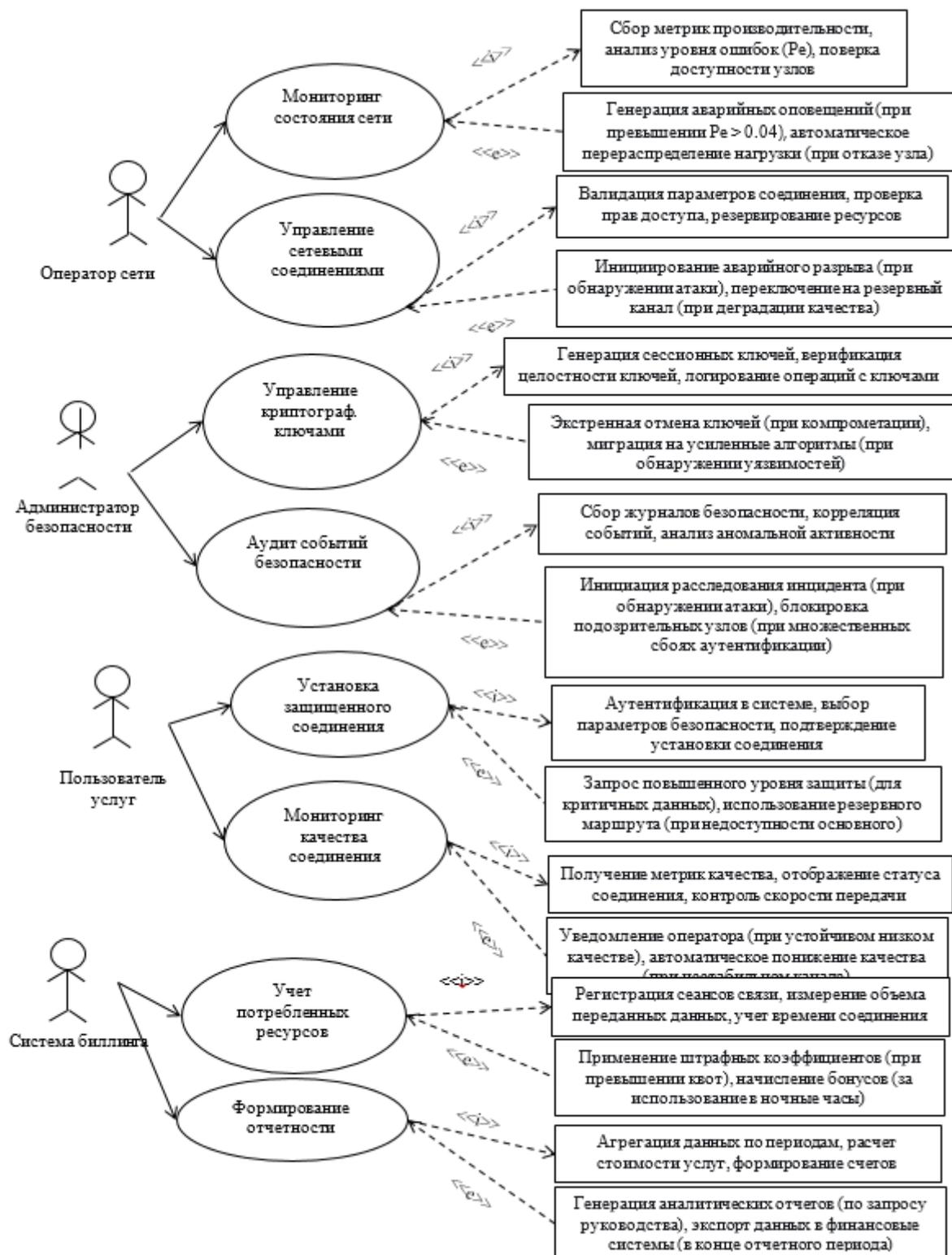


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования



Рис. 3. Диаграмма последовательности
«Установка защищенного квантового канала»

Объединение двух схем свидетельствует о том, что разработанная архитектура обладает свойствами полноты, согласованности и практической реализуемости.

Функциональное моделирование на основе методологии IDEF0 позволило разработать архитектуру национальной квантовой экосистемы. Методология обеспечила системное представление процессов создания квантовой инфраструктуры – от фундаментальных исследований до коммерциализации, с четким определением входов, выходов, механизмов и управляющих воздействий.

Объектно-ориентированное моделирование с использованием UML включало разработку диаграмм вариантов использования, последовательностей. Этот подход обеспечил формализацию требований к защищенной квантовой сети связи и детализацию взаимодействия между компонентами системы на различных этапах ее функционирования.

Результаты исследования представляют практическую ценность для ключевых участников технологической сферы. Разработанные модели могут служить основой для актуализации государственной стратегии в области квантовых технологий.

Крупные компании смогут применять выводы работы при создании систем квантовой связи и планировании НИОКР, а вузы – интегрировать их в образовательные программы по управлению инновациями. Отраслевым ассоциациям результаты помогут в формировании стандартов и кадровой политики. Таким образом, исследование предлагает комплексный инструментарий для обоснования решений, способствуя развитию квантовой индустрии в России.

Список литературы

1. Научно-техническая политика: глобальные стратегии достижения технологического лидерства / М.А. Гершман (рук. авт. кол.), Ф.Х. Брамбила Мартинес, С.В. Бредихин, Л.М. Гохберг [и др.]; под ред. Л.М. Гохберга, М.А. Гершман; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2025. – С. 114–148.

2. Dowling J.P. Quantum technology: the second quantum revolution / J.P. Dowling, G.J. Milburn // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2002. Vol. 361. Pp. 1655–1674.

3. Серова А.В. Прогноз развития квантовых технологий в России и их влияние на экономику и общество / А.В. Серова, Я.И. Никонова // Транспортное дело России. – 2025. – №2. – С. 24–29. EDN LRWIYV

4. Поэлементный SWOT-анализ. – URL: <https://studfile.net/preview/17176550/page:8/> (дата обращения: 03.02.2026).

5. Проектирование информационных систем. – URL: <https://habr.com/ru/articles/916110/> (дата обращения: 03.02.2026).

6. UML-диаграмма. – URL: https://habr.com/ru/companies/korus_consulting/articles/856696/ (дата обращения: 03.02.2026).

7. Дорожная карта квантовых технологий. – URL: <https://www.comnews.ru/digital-economy/content/208934/2020-09-04/2020-w36/utverzhdена-dorozhnaya-karta-razvitiya-kvantovykh-kommunikatsiy> (дата обращения: 03.02.2026).

8. «Экономика данных»: что будет в новом нацпроекте России. – URL: <https://www.rctest.ru/articles/novaya-natsionalnaya-programma-ekonomika-dannykh.html> (дата обращения: 03.02.2026).