

ЦИФРОВАЯ

ЭКОНОМИКА

D-ECONOMY.RU

ТЕХ
ЛИД
.рф

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ЛИДЕРСТВО
2030

Перспективные сценарии применения квантовых и смежных технологий в отраслях

Перспективные сценарии применения квантовых и смежных технологий в отраслях

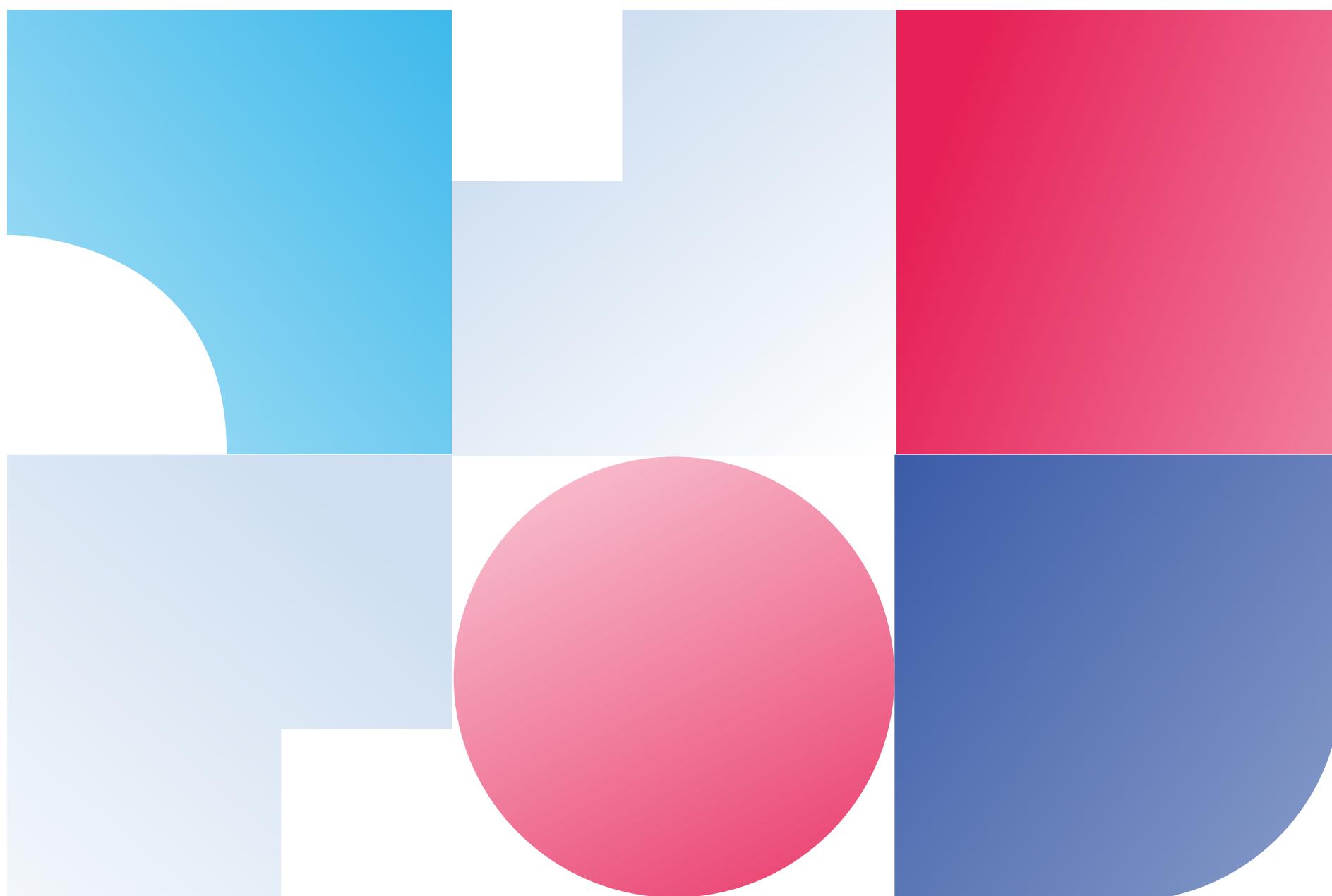
ЦИФРОВАЯ

ЭКОНОМИКА

D-ECONOMY.RU



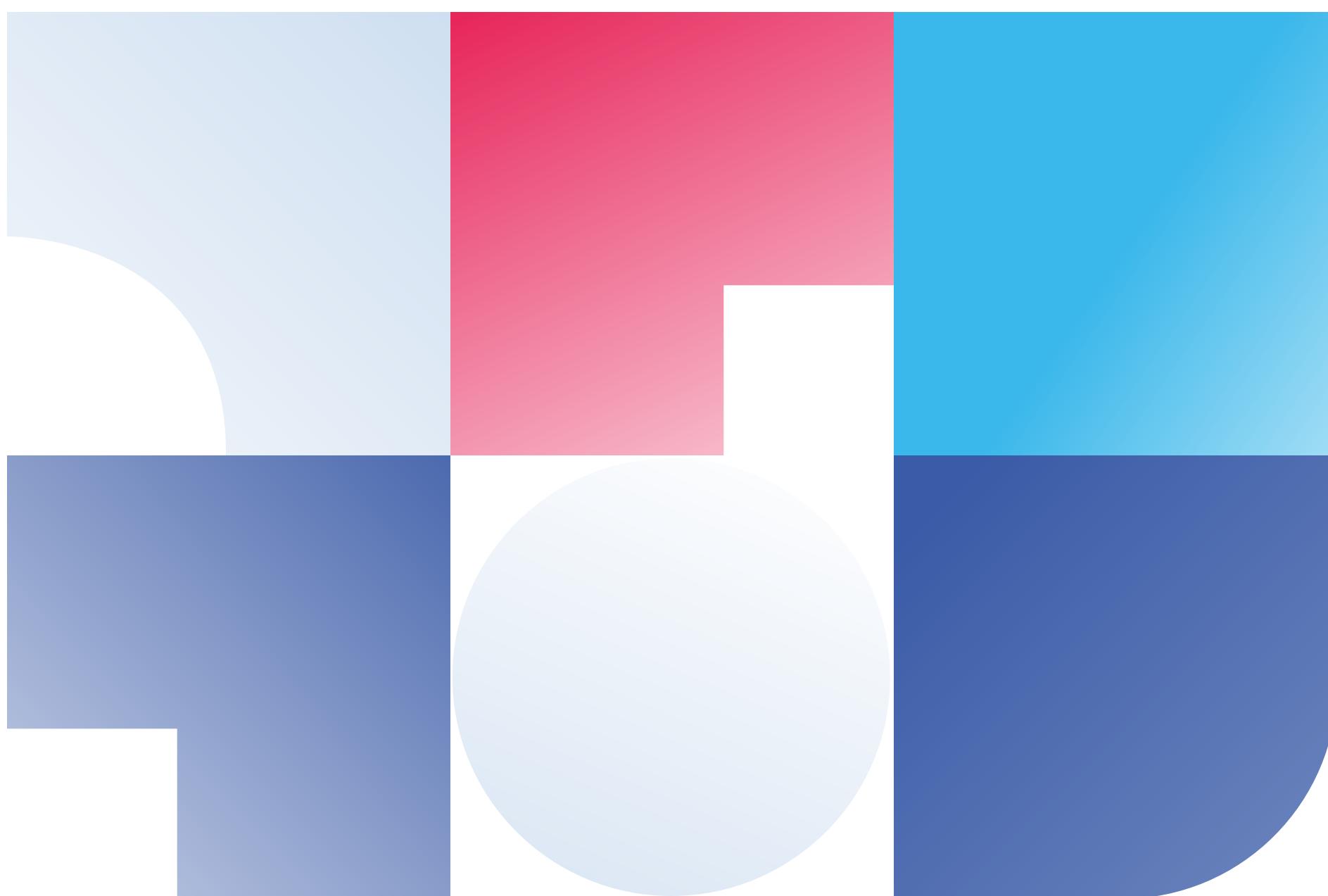
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ЛИДЕРСТВО
2030



Партнеры отчета



Вступительное слово партнёров исследования





Сергей ПЛУГОТАРЕНКО

Генеральный директор
АНО «Цифровая экономика»



На платформе АНО ЦЭ действует Центр технологического лидерства (техЛид.рф). Среди его задач – создание условий для тиражирования технологий, повышение уровня осведомленности бизнес- и экспертного сообщества об имеющемся научном заделе, кросс-отраслевое взаимодействие компаний-разработчиков и компаний-заказчиков. Квантовые технологии являются одним из наиболее перспективных современных наукоёмких направлений, с их помощью многие сферы жизни могут стать безопаснее и технологичнее уже в самом ближайшем будущем. В рамках представляемого аналитического отчета мы демонстрируем потенциал применения квантовых и смежных технологий для решения различных задач бизнеса. В перспективе ближайших лет квантовые технологии станут значимой точкой роста – а для этого важно тиражировать успешные кейсы применения, трансформировать полученные научные результаты в продукты и сервисы, что также будет способствовать достижению национального технологического суверенитета



Дмитрий ЗАУЭРС

Заместитель Председателя
Правления АО «Газпромбанк»



Газпромбанк более 10 лет поддерживает развитие квантовых технологий и сейчас квантовые коммуникации являются у нас одним из самых зрелых направлений. Когда проекты по созданию квантовозащищенных сетей только создавались, то мало кто предполагал, что это превратится в целую индустрию, тогда это было решение практических задач. Сегодня же это действительно новая индустрия для новой экономики. Эта индустрия включает в себя множество участников, среди которых и потребители, и производители оборудования, и разработчики софта.



Станислав КОРОП

Руководитель Департамента
финансовых технологий
Банка России



Банк России систематически следит за развитием инноваций и их применением на финансовом рынке. Квантовые технологии не исключение, в будущем они могут предоставить новые возможности для решения самых сложных вычислительных задач в различных сферах деятельности, включая финансовый рынок.



Руслан ЮНУСОВ

Советник Генерального
директора Госкорпорации
«Росатом»



Квантовые технологии открывают перед человечеством новые горизонты. Они способны изменить целые индустрии, и мы уже видим на это запрос. В отчете продемонстрированы первые кейсы решения бизнесом вычислительных задач с помощью квантовых технологий. В рамках дорожной карты «Квантовые вычисления» до 2030 года мы сосредоточимся именно на решении задач, имеющих практическую полезность. Мы убеждены, что партнерство науки и бизнеса ускорит переход к новой технологической эре.



Борис ГЛАЗКОВ

Старший Вице-Президент
по инновационному развитию
ПАО «Ростелеком»

В условиях всеобщей цифровизации, стремительного роста объема данных и развития искусственного интеллекта, для которого требуются сверхскоростные вычисления, вопрос внедрения и коммерциализации квантовых технологий становится все актуальнее. Мы все сталкиваемся с беспрецедентным уровнем киберрисков и адекватный ему уровень защиты может обеспечить только квантовое шифрование. «Ростелеком» стал одним из пионеров апробации и внедрения квантовой защиты передачи данных на своих сетях, а нашими клиентами является самое большое количество государственных структур и корпоративных сегмента, основных заинтересованных сторон в безопасности передачи особо важной и чувствительной информации. Мы стремимся не только помогать развитию и внедрению инновационных решений, но и способствовать появлению отраслевых стандартов в области квантовых коммуникаций. Совместное с АНО «Цифровая экономика» и другими участниками исследование представляет актуальный статус развития квантовых технологий в стране и перспективные направления работы на будущее. И вендорам, и операторам, и потребителям будут полезны конкретные кейсы внедрения квантовых технологий, которые приведены в данном отчете.



Максим ОСТРАСЬ

Генеральный директор
Российского квантового
центра

Квантовые технологии – это звено, объединяющее различные научные области и сферы деятельности в междисциплинарный комплекс, гармонично сочетая в себе достижения физики, математики, информатики и инженерии. Междисциплинарность, в свою очередь, – это ключ к развитию будущих технологий. Например, квантовые вычисления открывают путь к созданию перспективных продуктов в ключевых для человечества направлениях, таких как нейробиотехнологии и новые материалы, позволяя моделировать масштабные комплексные системы. Мы уверены, что наша с партнерами работа по развитию и внедрению продуктов на основе квантовых технологий обеспечит будущее технологическое лидерство страны.



Максим ГРИГОРЬЕВ

Генеральный директор
Ассоциации ФинТех

Перспективные решения на базе квантовых и смежных технологий несут в себе огромный трансформационный потенциал. Они открывают новые горизонты во всех сферах и сегментах экономики и деятельности человека. Квантовые вычисления, в сочетании с методами искусственного интеллекта и, в частности, машинного обучения, способны коренным образом изменить и значительно повысить эффективность бизнес-процессов, оптимизировать управление ресурсами и улучшить качество принимаемых решений. Мы уже наблюдаем успешные примеры применения квантовых решений в таких областях, как финансовый анализ, логистика и кибербезопасность, что подтверждает их потенциал для трансформации отечественной экономики.

Содержание

1. Введение

8

Цели и задачи исследования и отчета 10

Направления исследования 11

Мир находится на пороге второй квантовой революции 12

Целевое состояние развития квантовых технологий в Российской Федерации 14

2. Квантовые технологии в России и мире

16

2.1. Квантовые вычисления 18

2.2. Квантовые коммуникации 22

2.3. Квантовые сенсоры 24

2.4. Постквантовая криптография 26

2.5. Ключевые цифры 28

2.6. Цели развития квантовых технологий для отраслей 31

2.7. Текущие барьеры при внедрении квантовых технологий 32

2.8. Российские квантовые решения: продукты и их применение 33

3. Тенденции развития отраслей и направления внедрения квантовых технологий

40

3.1. Общая характеристика финансового сектора 42

3.2. Перспективные направления внедрения квантовых технологий в финансовом секторе 43

3.3. Перспективные практики использования квантовых технологий в финансовом секторе 44

3.4. Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий 50

3.5. Общая характеристика отрасли связи и телекоммуникаций 51

3.6. Перспективные направления внедрения квантовых технологий в отрасли связи и телекоммуникаций 52

3.7. Перспективные практики использования квантовых технологий в отрасли связи и телекоммуникаций 53

3.8. Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий 58

3.9. Общая характеристика отрасли ритейла и маркетплейсов 59

3.10. Перспективные направления внедрения квантовых технологий в отрасли ритейла и маркетплейсов 60

3.11. Перспективные практики использования квантовых технологий в отрасли ритейла и маркетплейсов 61

3.12. Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий 63

Содержание

4. Перспективные сценарии использования квантовых технологий российскими компаниями

64

4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе 72

4.2. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в ритейле 81

4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации 86

5. Экосистема развития квантовых технологий в России

94

5.1. Экосистема развития квантовых технологий в России 96

5.2. Участники экосистемы развития квантовых технологий 97

6. Инфраструктурные проекты

112

7. Нормативно-правовая база развития квантовых технологий

126

7.1. Нормативные и правовые документы 128

7.2. Стандартизация квантовых технологий 129

Авторы 130

Глоссарий 131

Источники 134

Примеры решений на базе квантовых технологий 135

1. Введение

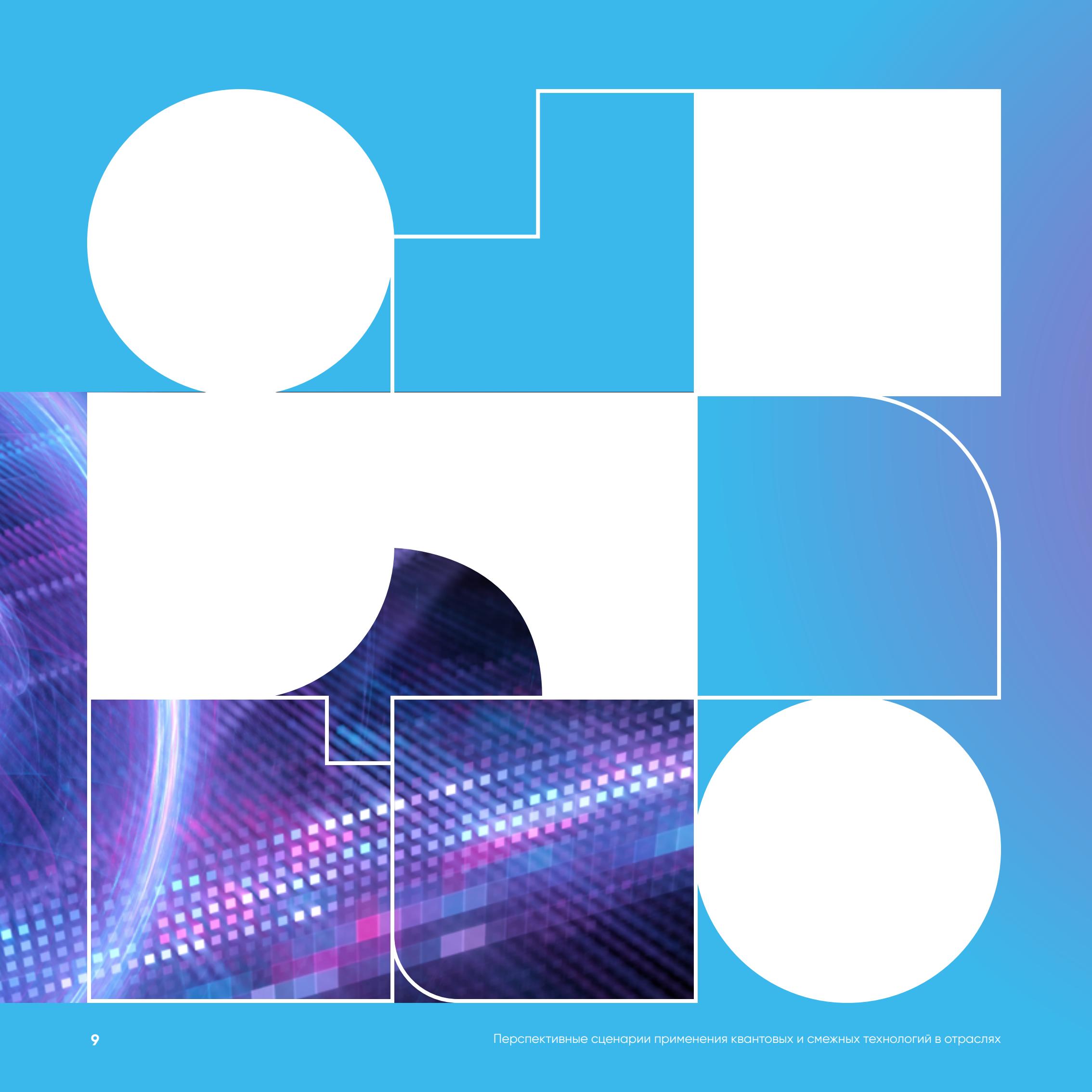
Цели и задачи исследования и отчета

Направления исследования

Вторая квантовая революция

Целевое состояние развития квантовых технологий в Российской Федерации





Цели и задачи исследования и отчета

Цель отчета

Способствовать продвижению и популяризации отечественных квантовых технологий и решений посредством:

- Формирования экспертизы заказчика в отраслях
- Серийного внедрения технологий в экономику (тиражирование кейсов в отраслях)
- Определения новых подходов к решению бизнес-задач и создания принципиально новых продуктов и услуг
- Заключения контрактов на решение бизнес-задач в отраслях
- Содействия росту инвестиций в разработку и научные исследования по квантовым технологиям

Целевая аудитория

- Компании – лидеры цифрового развития, предприятия различных отраслей экономики, готовые внедрять квантовые технологии
- Федеральные органы исполнительной власти, главы субъектов РФ
- Топ-менеджеры, эксперты, работающие в области цифровой трансформации
- Разработчики и заказчики решений в области квантовых технологий
- Широкий круг лиц, интересующихся развитием квантовых технологий и их применением в отраслях

Задачи отчёта

- Выявить тренды сценариев применения квантовых технологий в отраслях экономики и описать барьеры
- Проанализировать успешные кейсы пилотного применения квантовых технологий
- Определить перечень бизнес-процессов, в рамках которых могут быть применены квантовые технологии
- Представить нормативную базу по квантовым технологиям
- Описать экосистему развития квантовых технологий в России

Направления исследования

Квантовые технологии используют свойства индивидуальных квантовых объектов, таких как атомы или фотоны, для создания инновационных решений. Такие технологии открывают новые возможности для целого ряда областей. Сегодня квантовые технологии развиваются в следующих ключевых направлениях:



Квантовые вычисления

Тип вычислений, использующий принципы квантовой физики для выполнения операций над данными. Ускорение на квантовом компьютере связано с возможностью управления квантово-механическим состоянием большого числа связанных между собой квантовых битов (кубитов). Один шаг квантового вычисления совершает гораздо большую работу, чем один шаг классического вычисления для некоторых классов задач. В связи с этим, квантовые вычисления обладают большим потенциалом в решении сложных вычислительных задач.



Квантовые коммуникации

Технология, использующая передачу информации, закодированной в одиночные квантовые объекты. Наиболее зрелая сфера квантовых коммуникаций – это метод квантового распределения ключей для создания защищенных каналов связи. Ключевая особенность квантовых коммуникаций – возможность построения защищенных систем связи, в которых неизменность и достоверность передаваемой информации гарантируются физическими законами, а не математическими алгоритмами, как в традиционных подходах.



Постквантовая криптография

Набор криптографических алгоритмов, разработанных для защиты данных от атак, осуществляемых с использованием квантовых компьютеров. Основная цель – обеспечить безопасность криптографических систем в условиях, когда квантовые вычисления становятся доступными и могут угрожать традиционным методам шифрования.



Квантовые сенсоры

Измерительные приборы, использующие сверхчувствительные датчики на квантовых эффектах. Высокая степень контроля над состоянием отдельных микроскопических систем позволяет создавать, например, сверхточные устройства навигации или сенсоры электромагнитных полей.

Исследованные отрасли



Финансы



Ритейл
и маркетплейсы



Связь
и телекоммуникации

Мир находится на пороге второй квантовой революции

с 2016 г.

правительства многих стран инициировали запуск стратегических проектов, направленных на развитие квантовой отрасли

В настоящее время

национальные квантовые программы приняты практически во всех промышленно развитых странах. Государство представляется главным потенциальным потребителем данной технологии в связи с её стратегической важностью как в обеспечении национальной безопасности, так и в достижении «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики и социальной сферы.



**INTERNATIONAL YEAR OF
Quantum Science
and Technology**

2025 год объявлен Генеральной ассамблеей ООН Международным годом квантовой науки и технологий. Сегодня исследования в области квантовой физики имеют особое значение, поскольку открывают новые возможности для развития науки, техники, экономики, здравоохранения. Первая квантовая революция, которая произошла во второй половине XX века, привела к появлению лазеров и транзисторов, а впоследствии – мобильной телефонной связи и интернета. По своей сути все эти цифровые технологии основаны на законах квантовой физики, которые действуют в масштабе атомов.

Сейчас мир находится на пороге второй квантовой революции, когда технологии будут строиться уже на способности управлять сложными квантовыми системами на уровне отдельных частиц и использовать удивительные квантовые эффекты, такие как суперпозиция и запутанность. Эти технологии позволяют реализовать то, что недоступно традиционным методам, ведь квантовые эффекты имеют уникальные преимущества по сравнению с миром, который мы привыкли считать пределом возможного.

Страны – лидеры в области государственного финансирования квантовых технологий:



Китай



Южная Корея



Россия



Великобритания



США



Франция



Япония



Австралия



Германия



Канада



Индия



Нидерланды

Поддержка развития квантовых технологий в России осуществляется с 2020 года

2020 г.

Поддержка развития квантовых технологий в России осуществляется в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

Основной механизм их реализации — дорожные карты развития высокотехнологичных областей «Квантовые вычисления» (ответственной за реализацию является Госкорпорация «Росатом») и «Квантовые коммуникации» (ответственным за реализацию является ОАО «РЖД»).

2021 г.

Первая в России квантовозащищённая ВКС, реализованная посредством магистральной квантовой сети Москва – Санкт-Петербург



2023 г.

Демонстрация первого отечественного 16-кубитного квантового компьютера на Форуме будущих технологий



2025 г.

Одна из новых задач проекта связана с формированием рынка больших данных. Для обеспечения высокой эффективности и надёжности работы с данными в последующие 5–10 лет станут актуальными квантовые методы обработки информации и искусственный интеллект.

В этом направлении квантовые вычислительные устройства позволят не только решать задачи, критические для различных отраслей экономики и социальной сферы, но и в среднесрочной перспективе обеспечат глобальное конкурентное преимущество в большинстве стратегически важных отраслей, окажут сквозное всеобъемлющее влияние на экономику государства,

в России стартует национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства», пришедший на смену национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации»

станут важнейшей частью технологического суверенитета. Экономика данных также требует высокой достоверности и защищённости информации. По этой причине в числе задач национального проекта — задачи, связанные с обеспечением информационной безопасности, устойчивости работы инфраструктуры, интернета. В этом направлении квантовые методы защиты данных, такие как квантовые коммуникации и постквантовая криптография, также станут неотъемлемой частью безопасности будущей экономики.

Несмотря на более поздний старт в данном направлении, Россия постепенно сокращает технологический

разрыв. В конечном итоге формирование в России научно-технологического задела по данному направлению позволит создать глобально конкурентоспособные высокотехнологичные продукты и сервисы и обеспечить требования технологического суверенитета и национальной безопасности.

Проведение исследования и публикация аналитического отчета «Перспективные сценарии использования квантовых и смежных технологий в отраслях» непосредственно содействует росту инвестиций в разработку и научные исследования по квантовым технологиям.

Целевое состояние развития квантовых технологий в Российской Федерации



Квантовые вычисления

Было 2020 г.

Сильное отставание от мира

Прототип 2-кубитного процессора (ФПИ и ВНИИА им. Духова)

Разработки по квантовому ПО и алгоритмам в начальной стадии

Облачная платформа отсутствует



Квантовые сенсоры

Фундаментальные исследования

Технологическое лидерство России на рынке атомных часов



Квантовые коммуникации

Создан первый прототип защищенной квантовой сети (Газпромбанк и Российский квантовый центр)

Построена первая многоузловая мультивендорная опытная сеть передачи данных с квантовым шифрованием (ПАО «Ростелеком»)



Постквантовая криптография

Первые версии программных решений

Первые пилоты

Целевое состояние развития квантовых технологий в Российской Федерации

Стало 2024 г.

Созданы прототипы квантовых вычислителей на разных принципах

- РФ в числе лидеров: 50 кубитов, 4 платформы
- Вовлечено 15 вузов, 600+ ученых
- Развиваются новые направления

Разработаны квантовые алгоритмы

- 34 квантовых алгоритма, 17 квантовых эмуляторов
- Первые коммерческие контракты с индустрией
- Первые пилотные проекты внедрения

Создан прототип облачной платформы квантовых вычислений

- Подключены 4 квантовых процессора и 17 эмуляторов
- Тестовые подключения пользователей
- Апробация решения модельных задач
- Запущены образовательные программы и ДПО в университетах МИФИ, ЛЭТИ, МИСИС

В рамках научных проектов созданы первые прототипы оптических часов, квантовых магнитометров и гравиметров

Построена магистральная квантовая сеть (МКС)

- МКС объединяет Санкт-Петербург, Москву, Ростов-на-Дону, Нижний Новгород, Казань, Сочи, Челябинск, Саратов, Самару и Екатеринбург
- Общая протяженность МКС составляет 7000+ км

Построен прототип разветвленной внутригородской квантовой сети

- Межуниверситетская квантовая сеть (МУКС) объединяет университетские комплексы России и является полигоном для подготовки персонала и тестирования передовых технологий

Первые открытые программные реализации постквантовых алгоритмов-кандидатов на включение в новые стандарты

- Множественные научно-исследовательские проекты
- Масштабные пилотные интеграционные проекты

Цель 2030 г.

Создан квантовый вычислитель мирового уровня

- Создана масштабируемая архитектура квантовых компьютеров
- Квантовые вычислители работают вне лабораторий

Развит сервис облачного доступа квантовых вычислений

- Квантовые алгоритмы решают прототипы полезных задач для атомной, нефтяной, биомедицинской отраслей и финансового сектора

Развит сервис облачного доступа квантовых вычислений

- Доступ к квантовым вычислителям для решения задач – к облачной платформе подключены более 10 тыс. внешних пользователей

Выполняется программа развития квантовых сенсоров в РФ

- Созданы промышленные прототипы квантовых сенсоров для науки и индустрии

Выполняется переход на постквантовые криптоалгоритмы

- Интеграция программных решений на основе постквантовых алгоритмов шифрования в различные информационные системы

2. Квантовые технологии в России и в мире

2.1. Квантовые вычисления

2.2. Квантовые коммуникации

2.3. Квантовые сенсоры

2.4. Постквантовая криптография

2.5. Ключевые цифры

2.6. Цели развития квантовых технологий для отраслей

2.7. Текущие барьеры при внедрении квантовых технологий

2.8. Российские квантовые решения: продукты и их применение

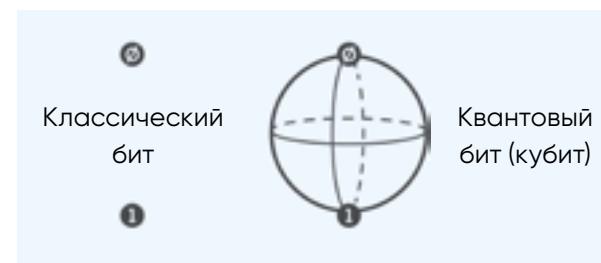




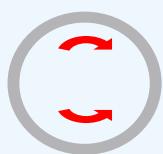
Квантовые вычисления

Ускорение на квантовом компьютере связано не с тактовой частотой процессора, как в классических устройствах, а с возможностью управления квантово-механическим состоянием большого числа связанных между собой квантовых битов (кубитов). Управление таким состоянием на квантовом процессоре приводит к тому, что один шаг квантового вычисления совершает гораздо большую работу, чем один шаг классического вычисления для некоторых классов задач. Это приводит к значительному ускорению решения ряда вычислительно-сложных задач.

Кубит – наименьшая единица для хранения информации на квантовом компьютере. Как и бит, он допускает два состояния: «0» и «1». Но, в отличие от бита, он находится одновременно в суперпозиции этих двух состояний.



Физические реализации кубитов (квантовые платформы)



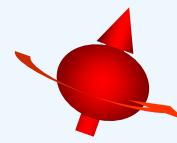
кольцевые токи
в сверхпроводниках



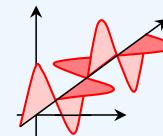
энергетические
уровни атомов



энергетические
уровни ионов



направление
спина



поляризация
фотонов

Принцип работы квантового компьютера

До ввода информации в компьютер все кубиты квантового регистра инициализируются. Процесс вычислений состоит в воздействии на кубиты определенными управляющими сигналами, которые меняют состояния кубитов. В конце такого преобразования происходит считывание – измерение состояния кубитов.



В таком виде информация далее обрабатывается квантовым процессором, выполняющим последовательность квантовых логических операций (квантовый алгоритм). В результате преобразований исходное квантовое состояние становится новой суперпозицией, которая и определяет результат преобразования информации на выходе компьютера.

Практические направления вычислений

С практической точки зрения квантовые вычисления можно рассматривать как расширение для классических вычислителей на некоторые нерешаемые сейчас задачи. В ряде задач классические компьютеры и в будущем будут справляться лучше, чем квантовые. Поэтому будущие системы, вероятно, будут представлять собой гибридные решения, в которых будут присутствовать и классическое, и квантовое ядра.

Большинство практических исследований сегодня ведутся в нескольких направлениях, в которых квантовые компьютеры, как ожидается, способны показать своё преимущество перед классическими вычислительными системами: оптимизация, квантово-химическое моделирование, машинное обучение, сценарное моделирование, решение систем дифференциальных уравнений, криптоанализ.



Оптимизация

Многие проблемы логистики, финансового анализа и других дисциплин могут быть сформулированы как нахождение глобального минимума или максимума сложной, многомерной функции. Подобные задачи относятся к классу вычислительно-сложных для традиционных компьютеров, однако могут быть решены с помощью квантовых алгоритмов.



Сценарное моделирование

Квантовые алгоритмы ускоряют вычисление математического ожидания определённого события путём многократного генерирования возможных сценариев, аналогично классическому методу Монте-Карло. Такие задачи часто встречаются при расчёте рисков, анализе рынков, в социологии и пр.



Машинное обучение

В отличие от графических ускорителей, которые ускоряют вычисления за счёт массивного параллелизма, квантовые алгоритмы имеют преимущество в сложности непосредственно используемых алгоритмов, обеспечивая полиномиальное либо экспоненциальное ускорение решения различных типов задач.



Решение уравнений

Квантовые алгоритмы решают линейные системы дифференциальных уравнений экспоненциально быстрее, чем любой известный классический алгоритм. Недавно были найдены способы быстро решать и нелинейные уравнения, такие как уравнение Навье – Стокса, которое является одним из важнейших в гидродинамике.



Квантово-химические расчёты

Задачи квантово-химического моделирования усложняются экспоненциально по мере увеличения размера молекул. Квантово-классические вариационные алгоритмы и квантовые нейросети уже сейчас позволяют расширить возможности расчёта свойств молекул и условий протекания химических реакций.



Криптоанализ

Наиболее перспективным считается применение алгоритма Шора (квантовый алгоритм факторизации), который позволяет быстро раскладывать числа на простые множители. Значимость алгоритма заключается в том, что с его помощью становится возможным взлом криптографических систем с открытым ключом, таких как RSA.

Существующие вычислительные устройства

5 КВАНТОВЫХ платформ

4 страны

одновременно развивают все пять основных квантовых платформ

Существующие квантовые вычислительные устройства построены на различных квантовых платформах, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. К примеру, большее количество кубитов в процессорах на основе сверхпроводников компенсируется лучшим качеством (низким уровнем ошибок) в ионных процессорах.

Вполне вероятно, что в будущем каждая из основных платформ найдет свою собственную нишу с точки зрения практической функциональности. В перспективе это позволит создавать специализированные системы «под задачу». По этой причине многие страны ведут разработку квантовых компьютеров на различных платформах. Вместе с США, Китаем и Германией, Россия входит в четверку стран, которые одновременно развивают все пять основных квантовых платформ.

Квантовые компьютеры на различных платформах, разработанных в России и в мире

Сверхпроводники	 IBM Condor 1121 кубит , Heron 156 кубит (США)	 Google Willow (США) 105 кубит	 Лаборатория в Хэфее (Китай) 504 кубита	 Origin Quantum Wukong (Китай) 72 кубита	 12* кубит
Атомы	 Atom Computing (США) 1180 кубит	 QuEra Aquila (США) 256 кубит	 ColdQuanta Hilbert (США) 100 кубит	 Pasqal (Франция) 200 кубит	 50 кубит
Ионы	 Quantinuum System H2-1 (США) 56 кубит	 IonQ Forte (США) 32 кубита	 AQT (Австрия) 20 кубит		 50 кубит
Фотоны	 Xanadu Borealis (Канада) 216 кубит	 Quix (Нидерланды) 20 кубит	 Jiuzhang 3 лаборатория в Хэфее (Китай) 255 кубит		 10* кубит
Спины	 Intel Tunnel Falls (США) 12 кубит	 QuTech (Нидерланды) 6 кубит	 Silicon Quantum Computing (Австралия) 10 кубит		 Фундаментальные исследования

*Результат выполнения Дорожной карты в 2023 г.

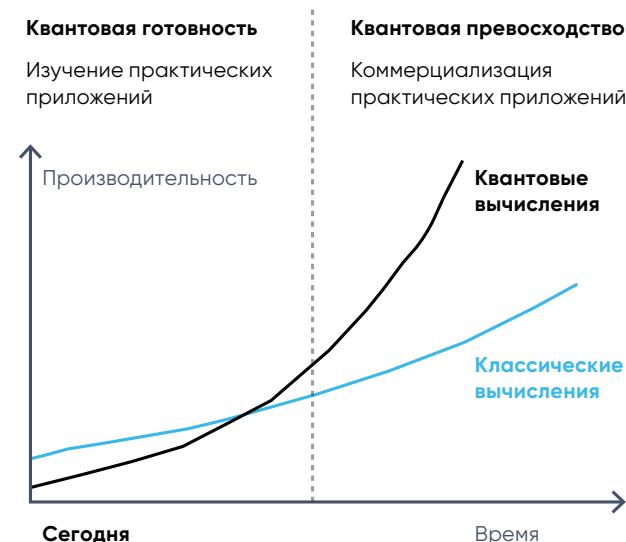
Эпоха «шумных квантовых процессоров среднего масштаба»

Нынешний технологический этап принято называть эпохой «шумных квантовых процессоров среднего масштаба» (NISQ)¹. Средний масштаб – это десятки или сотни кубитов. Слово «шумный» отражает тот факт, что системы всё ещё работают неустойчиво из-за внешних помех и квантовых шумов, что ограничивает их практическое применение.

В этом году компания Google продемонстрировала новое поколение квантового чипа Willow со 105 кубитами. Точность 2-кубитных операций в нём составляет 99,67 %, а время когерентности – 68 мкс. Чип оснащён усовершенствованной системой коррекции ошибок, что снижает вероятность сбоев при увеличении числа кубитов.

В недалёком будущем должны появиться защищённые от ошибок квантовые компьютеры, состоящие из помехоустойчивых «логических кубитов». Согласно публично обнародованным планам лидеров рынка, такие компьютеры появятся на рубеже 2030 г.^{2,3}

Эволюция квантовых вычислений⁴



Требования к «практическим» квантовым компьютерам

Основные характеристики		Доступно сегодня	Необходимо для решения практических задач
Количество связанных между собой кубитов	С увеличением числа кубитов экспоненциально растёт способность квантовых компьютеров обрабатывать информацию	Десятки и сотни «шумных» кубитов	От нескольких тысяч «шумных» физических кубитов до сотен тысяч помехоустойчивых логических кубитов
Допустимое количество операций	Определяет возможную сложность квантового алгоритма	От сотен до нескольких тысяч операций	10^5 – 10^{15} и выше в зависимости от задачи

Ожидаемые сроки «зрелости» различных квантовых алгоритмов с точки зрения готовности аппаратного обеспечения

2025	2025–2030	2030–2035	2035–2040
квантовые алгоритмы для решения относительно несложных оптимизационных задач;	квантово-классические вариационные алгоритмы для задач оптимизации и несложных задач квантовой химии для квантовых компьютеров и эмуляторов, квантово-ускоренный алгоритм Монте-Карло;	квантовые алгоритмы решения систем дифференциальных уравнений; ряд алгоритмов машинного обучения;	алгоритмы криптоанализа, поиска в неупорядоченных базах данных, алгоритмы моделирования химических веществ и реакций «из первых принципов» и др.

¹ Nature. Beyond quantum supremacy: the hunt for useful quantum computers. 2019.
² IBM. The hardware and software for the era of quantum utility is here. 2024.

³ Quantinuum. Quantinuum accelerates the path to Universal Fully Fault-Tolerant Quantum Computing. 2024.
⁴ IBM Institute for Business Value. Coming soon to your business – Quantum computing. 2022.

Квантовые коммуникации

Кража данных, передаваемых по открытым и закрытым каналам связи, представляет опасность для многих категорий тайн: государственных, правительственных, военных, коммерческих, медицинских и банковских. Такого рода инциденты могут привести к катастрофическим последствиям.

Ущерб из-за утечек конфиденциальной информации может включать прямые финансовые потери и репутационные издержки, потерю клиентов и рынков сбыта.

По оценкам экспертов, с утечками информации чаще всего сталкиваются компании из сферы ретейла (37 %), финансового сектора (20 %) и игровой индустрии (10 %). При этом даже потери 5 % конфиденциальных данных достаточно, чтобы компания утратила лидирующие позиции на рынке¹.



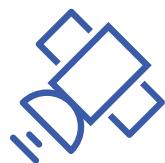
Коммерческая оптоволоконная система КРК российской компании ООО «КуРэйт»

Основные направления разработок



ОПТОВОЛОКОННЫЕ СИСТЕМЫ

КРК использующие волоконно-оптические линии для передачи информации



СИСТЕМЫ ДЛЯ СВОБОДНОГО ПРОСТРАНСТВА

КРК, в которых передача оптических сигналов происходит через естественную среду (атмосфера, космос)

¹ГК «Солар»: Средний ущерб от одной утечки информации составил 5,5 млн рублей. 2023.

Квантовые коммуникации – технология передачи информации, закодированной в одиночные квантовые объекты.

Наиболее развитое направление квантовых коммуникаций – это квантовая криптография или, более точно, квантовое распределение ключей (КРК). Основная задача КРК заключается в защищенном распределении ключей шифрования между двумя сторонами.

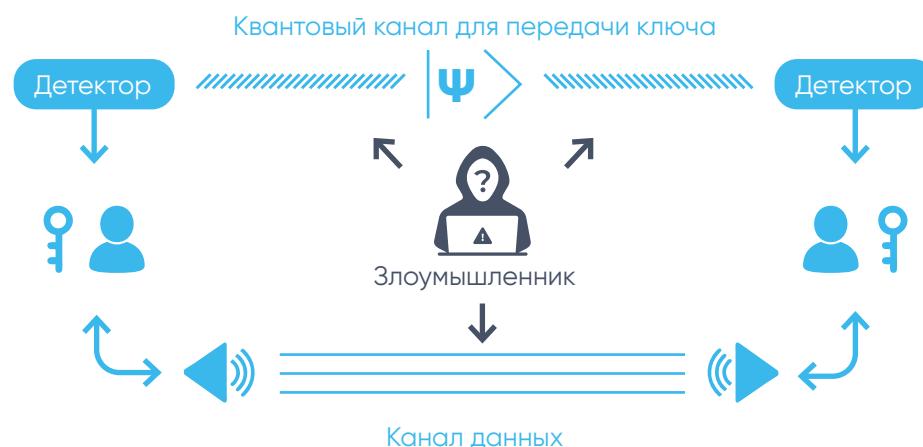
Согласно принципам квантовой физики, любое измерение состояния квантовой частицы изменяет ее состояние и может быть обнаружено сторонами. Это позволяет обнаружить попытки перехвата, копирования или изменения информации.

Таким образом, в квантовых системах связи неизменность и достоверность передаваемой информации гарантируются физическими принципами, а не математическими алгоритмами, как в существующих подходах.

Протоколы квантового распределения ключей (КРК), такие как BB84 и E91, позволяют создать общий секретный ключ, который можно использовать для шифрования сообщений.

Квантовое распределение ключей (КРК)

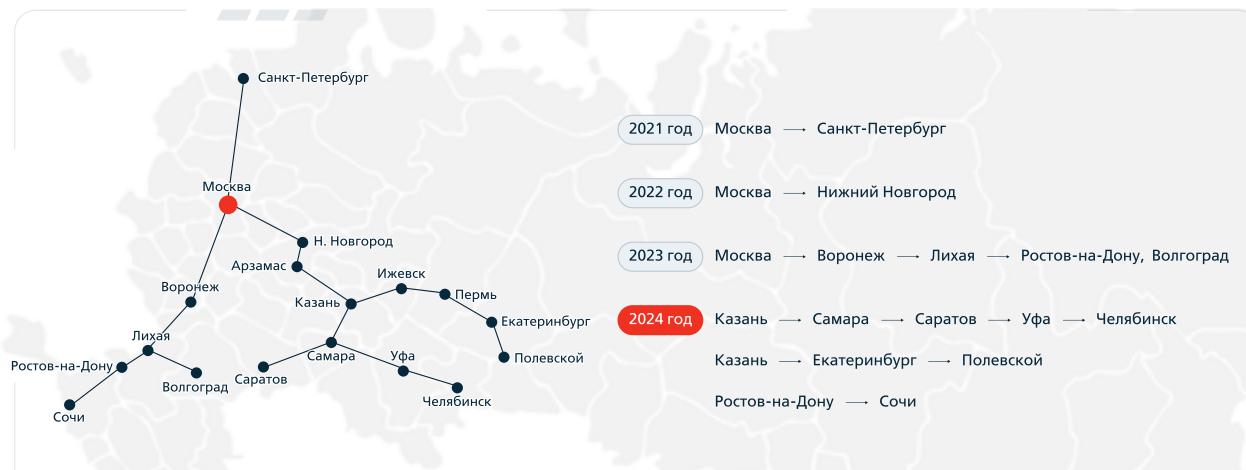
Для создания ключа используются фотоны, передаваемые по оптическому волокну или атмосферному каналу. В силу физических свойств фотонов (разрушаются при измерении, невозможно разделить и скопировать состояние, не разрушив его) отправитель и получатель всегда будут знать, есть ли в системе «злоумышленник». Построение протяжённых квантовых сетей любой дальности реализуется по принципу доверенных промежуточных узлов.



Магистральная квантовая сеть (МКС)

Объединяет Санкт-Петербург, Москву, Ростов-на-Дону, Нижний Новгород и Казань, а общая протяжённость МКС по итогам 2023 г. составила 3295 км.

В 2024 г. должно быть построено ещё 3733 км квантовой сети, будут присоединены Сочи, Челябинск, Саратов, Самара, Екатеринбург и другие города, общая протяжённость сетей составит более 7000 км. Расширение географии МКС позволит операторам связи оказывать услуги на основе технологии квантовых коммуникаций клиентам в различных регионах страны. Планируется, что к 2030 г. в стране будет построено более 15 тыс. км квантовых сетей.



План РЖД по развитию МКС

Межуниверситетская квантовая сеть (МУКС)

МУКС объединяет университетские комплексы России и является полигоном для подготовки персонала и тестирования передовых технологий. Кроме того, МУКС объединит прототипы университетских квантовых сетей, созданных на базе МГУ, МТУСИ, МИСИС и ИТМО.

Квантовая инфраструктура МУКС опирается на магистральную квантовую инфраструктуру РЖД. Её особенностью является открытая архитектура. По мере масштабирования к её работе смогут подключаться научные центры, команды разработки и другие участники экосистемы развития квантовых коммуникаций.

Спутниковые квантовые сети

В 2023 г. Университет МИСИС, Российский квантовый центр и компания ООО «КуСпэйс» провели эксперимент по передаче квантовозащищённых сообщений между Россией и Китаем на расстояние более 3800 км. Для этого использовался китайский спутник «Мо-цзы».

В этом же году с космодрома «Восточный» был запущен отечественный прототип квантового спутника «Импульс-1», разработанный НИТУ МИСИС и компанией ООО «КуСпэйс», на котором находится оборудование, позволяющее тестировать передачу информации по лазерному каналу связи.



Китай — один из лидеров в области квантовых коммуникаций. Уже в 2021 г. общая протяжённость наземных квантовых сетей составляла 4600 км, в 2016 г. запущен спутник квантовой связи «Мо-цзы». Китай планирует запустить глобальную службу квантовых коммуникаций к 2027 г., завершив создание своей квантовой спутниковой группировки и её интеграцию с наземными сетями.



В Евросоюзе в 2019 г. стартовал проект EuroQCI, нацеленный на строительство квантовых коммуникационных сетей общей протяжённостью 44 тыс. км, объединяющих все 27 государств — членов ЕС, а также спутникового сегмента.



Россия — также один из лидеров в области квантовых коммуникаций. В стране активно создаются магистральные квантовые сети. Отечественные производители выпускают все компоненты, необходимые для создания квантовых систем любой сложности.



Российско-китайский эксперимент по созданию спутникового КРК

Квантовые сенсоры

Квантовые сенсоры – это принципиально новые устройства, использующие для измерения физических величин свойства квантовых систем, такие как особенности энергетических уровней в атомах, квантовая когерентность, квантовая запутанность, квантовая интерференция и сжатие квантового состояния

Как и квантовый процессор, построить квантовый сенсор можно с использованием атомов, молекул, ионов, наночастиц или фотонов. При этом для измерения физической величины используются либо индивидуальные свойства одиночных квантовых объектов, либо свойства когерентности или запутанности квантовых систем, состоящих из нескольких частиц. Квантовые сенсоры могут измерять такие физические поля, как магнитные и электрические, а также гравитационные и инерциальные силы и время. Использование квантовых

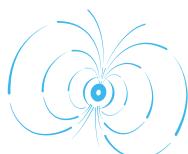
состояний приводит к гораздо более высокой чувствительности квантовых датчиков относительно классических, вплоть до возможности измерения минимально возможных отклонений измеряемой величины, а также открывает возможность применения таких систем для выработки высокоточных квантовых стандартов метрологии, обусловленных не точностью изготовления эталонов, а фундаментальными физическими константами.

Наиболее популярные типы квантовых сенсоров и метрологических устройств

Квантовый магнитометр

10^{-15} * квантовые
 10^{-9} классические

- МЭГ, МКГ, интерфейс мозг-компьютер
- Измерения геомагнитного поля для исследования земной коры, разведки месторождений полезных ископаемых и навигации



×1 000 000
Чувствительность
Тл/Гц

Квантовый хронометр

10^{-18} квантовые
 10^{-15} классические

- Система спутникового позиционирования с сантиметровым разрешением
- Синхронизация торговых систем и телекоммуникационных сетей
- Измерения поверхностных сейсмических волн



×1000
Стабильность
 $\Delta\nu/\nu$

Квантовый акселерометр и гироскоп

10^{-4} квантовые
 10^{-1} классические

- Инерционная система навигации для закрытых помещений и под водой, замена GPS

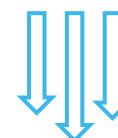


×1000
Чувствительность
град/√h

Квантовый гравиметр

10^{-10} квантовые
 10^{-7} классические

- Определение гравитационных аномалий для поиска нефтегазовых месторождений, карстовых пещер и пр.



×1000
Чувствительность
град/√h

* Показатель чувствительности сенсора.

2.3. Квантовые сенсоры

Несмотря на лидерство России в области производства атомных часов, рынок квантовых сенсоров, как и весь рынок квантовых технологий, пока находится на этапе становления. Две основные области их коммерческого применения на сегодняшний день – это навигационные системы (атомные часы для системы глобального позиционирования GPS) и медицина (магнитные сенсоры для МЭГ и МКГ).

Основными недостатками большинства существующих сегодня квантовых сенсоров сейчас являются достаточно громоздкие размеры и высокая цена по сравнению с классическими аналогами. Тем не менее по мере совершенствования технологии на рынке прогнозируется дальнейший рост в сегменте квантовых магнитометров, квантовых систем визуализации и новых типов сенсоров, таких как квантовые акселерометры и гироскопы.

Примеры практического применения квантовых сенсоров



Европейская комиссия создаёт распределённую сеть квантовых гравиметров с целью создания единой системы гравитационного мониторинга Земли для научных, хозяйственных и военных целей.



В рамках европейского проекта QMag создан прибор для обнаружения структурных дефектов в конструкционных ферромагнитных материалах на базе квантового магнетометра.

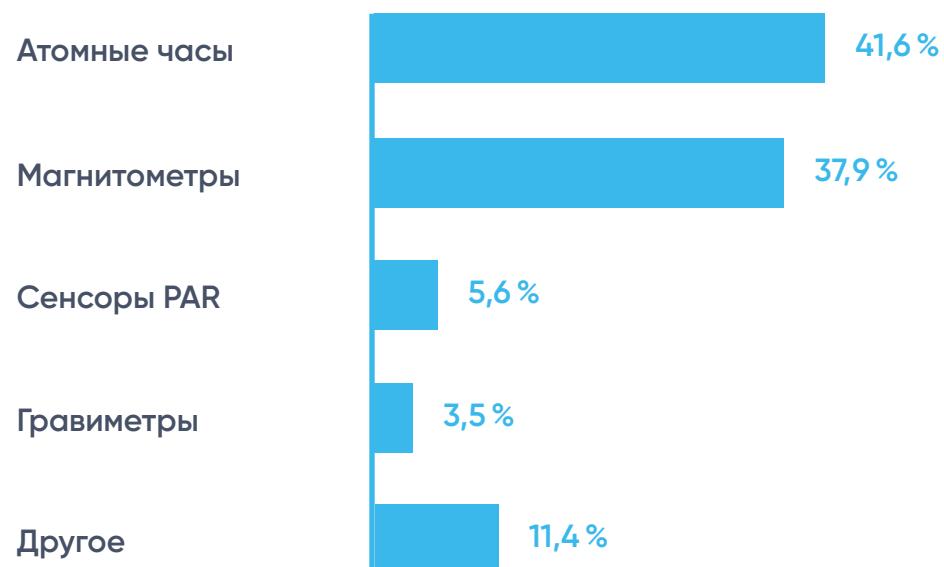
Разработка квантовых сенсоров в России

В ряде российских институтов на данный момент идут работы над некоторыми решениями в области квантовой сенсорики и метрологии, имеющими практические приложения и коммерческие перспективы. В дальнейшем ожидается принятие государственной программы развития квантовых сенсоров.



Компактный квантовый магнитометр Российского квантового центра

Доля рынка квантовых сенсоров по сегментам в 2023 г. ¹



Завершились испытания квантовой системы позиционирования, навигации и времени (PNT) компании Infleqtion, которая обеспечивает высокоточную и устойчивую навигацию, дополняя текущие спутниковые системы.



В Ноттингемском университете создан компактный магнитоэнцефалограф на базе квантовых сенсоров, использующих вакансии в алмазе. Он обладает высокой чувствительностью и разрешением и способен работать без охлаждения.



Прототип абсолютного квантового гравиметра, разрабатываемого в МИФИ



Оптические атомные часы, созданные в ФИАН им. П. Н. Лебедева

¹ Precedence Research. Quantum Sensor Market Size, Share, and Trends 2024 to 2030. 2024.

Постквантовая криптография

Квантовая угроза — новый вызов информационной безопасности для государства и бизнеса, как во всем мире, так и в России. Квантовая угроза связана с возможностью получения злоумышленником доступа к зашифрованным традиционными методами данным в результате проведения кибератаки с применением высокопроизводительного квантового компьютера. Консалтинговая компания Gartner включила постквантовую криптографию в Топ-10 важнейших технологических трендов на 2025 год и рекомендовала начать внедрение методов защиты от квантового взлома в самое ближайшее время.

Новые поколения вычислительных устройств — мощные квантовые компьютеры — за счёт принципиально новой схемотехники и логики работы смогут взломать существующие методы защиты информации. Современные исследования показывают, что компьютер с 20 миллионами кубитов может взломать 2048-битную систему RSA за восемь часов¹.

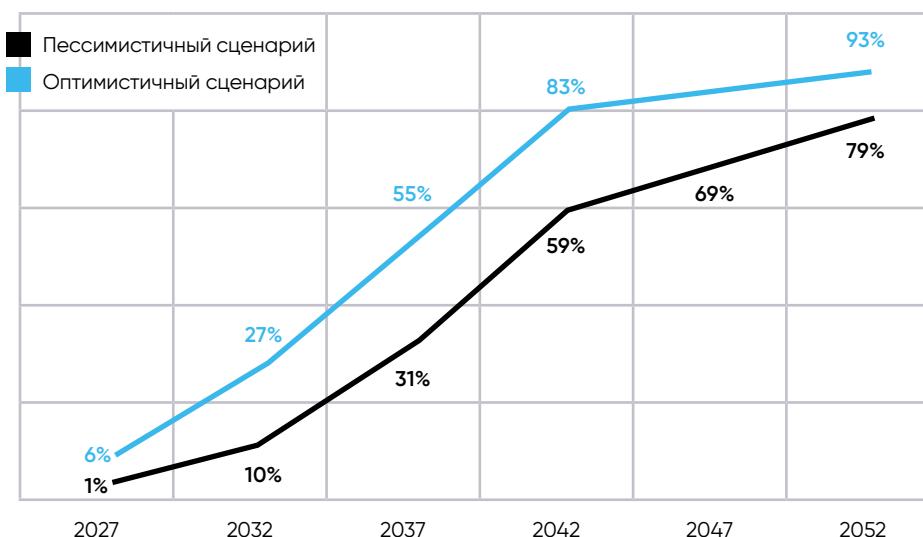
С появлением квантовых компьютеров достаточной мощности полностью небезопасными становятся многие традиционные алгоритмы криптографии:

- распределение ключей (ECDH, DH);
- асимметричное шифрование (RSA);
- электронная подпись (ECDSA, DSA, ГОСТ Р 34.10-2012).

Постквантовая криптография представляет собой семейство асимметричных криптографических алгоритмов, основанных на специальном классе математических преобразований, инвертирование которых представляет большую сложность как для классических, так и для квантовых компьютеров.

Говоря на языке теории сложности, современные алгоритмы шифрования с открытым ключом основаны на классе задач, которые относятся к категории BQP (bounded-error quantum polynomial) — такие задачи за полиномиальное время могут быть решены на квантовом компьютере. Постквантовые алгоритмы не относятся к этому классу: неизвестны ни классические, ни квантовые эффективные алгоритмы для их решения.

К математическим задачам, обеспечивающим соответствующие преобразования, относятся задачи:



Оценка вероятности появления квантового компьютера, способного взломать 2048-битную систему RSA за 24 ч²

- декодирования полных линейных кодов;
- поиска кратчайшего вектора в решетке (shortest vector problem);
- задачи поиска коллизии/прообраза/второго прообраза для криптографических хэш-функций.

Программные решения на основе постквантовых алгоритмов не требуют привнесения новых специализированных аппаратных решений в инфраструктуру конечного бизнес-клиента, при этом некоторые параметры постквантовых алгоритмов могут быть ускорены на аппаратном уровне. Это открывает возможность внедрять постквантовую криптографию в широкий спектр цифровых решений бизнес-клиента.

¹ Precedence Research. Quantum Sensor Market Size, Share, and Trends 2024 to 2030. 2024.

² Global Risk Institute. 2022 Quantum Threat Timeline Report. 2022.

Стандарты постквантовой криптографии

Несмотря на то, что в ближайшие 5-10 лет компьютеры достаточной вычислительной мощности, вероятно, не появятся, ряд стран уже начал миграцию на квантово-устойчивые алгоритмы шифрования из-за вероятности квантовой атаки типа «кража данных сейчас – взлом потом». В настоящее время во всем мире активно развиваются как сами алгоритмы постквантовой криптографии, так и программные решения защиты данных на их основе, формируется регуляторика и реализуются пилотные внедрения.

Программные решения на основе постквантовых алгоритмов шифрования могут быть легко интегрированы в различные информационные системы: серверные решения, мобильные, приложения для персональных компьютеров, веб-приложения и инфраструктура интернета вещей.

Ценность от пилотирования постквантовых алгоритмов:

- защита ценных данных от квантовой угрозы;
- оценка затрат на ввод в эксплуатацию постквантовых алгоритмов в будущем;
- медиа-кейсы с широким покрытием и научные публикации;
- повышение лояльности текущих клиентов и привлечение новых за счет дополнительных функций кибербезопасности.

Стандартизация постквантовой криптографии



США

В августе 2024 г. Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) после восьми лет исследований окончательно утвердил спецификации первых трех алгоритмов постквантовой криптографии. Ещё два постквантовых алгоритма будут стандартизированы до конца 2024 года.



Россия

В России усилиями рабочей группы РГ 2.5 «Постквантовые криптографические механизмы» при техническом комитете Росстандарта «Криптографическая защита информации» (ТК 26) с 2020 года ведется разработка собственного набора квантово-устойчивых криптосхем, которые в ближайшем будущем дополнят семейство национальных стандартов в области криптографии.

В России уже существуют первые открытые программные реализации постквантовых алгоритмов-кандидатов на включение в новые государственные стандарты



Цифровая подпись «Гиперикум»

Разработка: QApp



Цифровая подпись «Шиповник»

Разработка: QApp КРИПТОНИТ

Оценка инвестиций в разработку квантовых технологий в мире и в России

~ 55 млрд \$

Сценарии направлены на решение реальной бизнес-задачи в исследуемых отраслях экономики

~ 8,6 млрд \$

Общий объём венчурных инвестиций в квантовые технологии в мире

80%

Государственные инвестиции. В России этот показатель приближается к 100 %

40 млрд ₺

Объём финансирования российских квантовых программ в 2020–2024 гг.

42,1 млрд \$

Государственные инвестиции ¹

Национальные квантовые программы сейчас приняты практически во всех промышленно развитых странах.

Бюджет российских дорожных карт развития квантовых вычислений и квантовых коммуникаций в 2020–2024 гг. составил 23,8 и 16,1 млрд рублей соответственно.

8,6 млрд \$

Венчурные инвестиции ²

В мире сейчас функционирует более 400 квантовых стартапов. Из общего объёма инвестиций 6,7 млрд долл. пришлось на квантовые вычисления, 1,2 млрд – на квантовые коммуникации и 0,7 млрд – на квантовые сенсоры.

В России крупных венчурных сделок в квантовой сфере пока не зафиксировано.

5 млрд \$

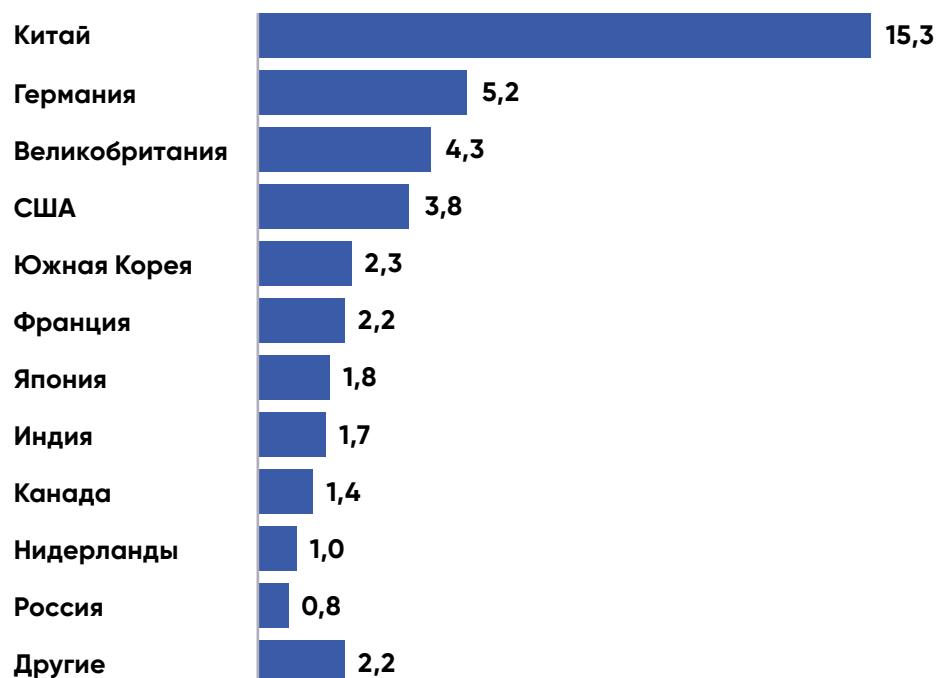
Внутренние инвестиции крупных компаний

С учётом ожидаемых выгод от будущей коммерциализации ряд крупных зарубежных ИТ-компаний начал собственные программы квантовых НИОКР.

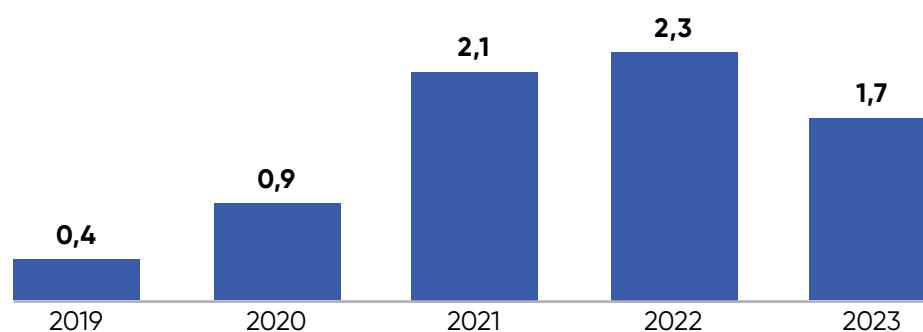
Суммы инвестиций достаточно трудно оценить, однако аналитики считают, что инвестиции каждого из крупнейших игроков составляют не менее 500 млн долл., хотя, очевидно, эта оценка является весьма приблизительной.

¹ McKinsey. Quantum Technology Monitor. 2024.

Объёмы финансирования государственных квантовых программ ¹, в млрд \$



Объёмы венчурных инвестиций в квантовые технологии ², в млрд \$



² IQM Quantum Computers, OpenOcean, and Lakestar. State of Quantum 2024 Report. 2024.

Динамика роста научных статей и патентов

235 тыс.

Статей по квантовым технологиям опубликовано

36,6 тыс.

Патентов в области квантовых технологий получено

14 % в год

Рост количества публикаций научных статей с 2018 г.

44 % в год

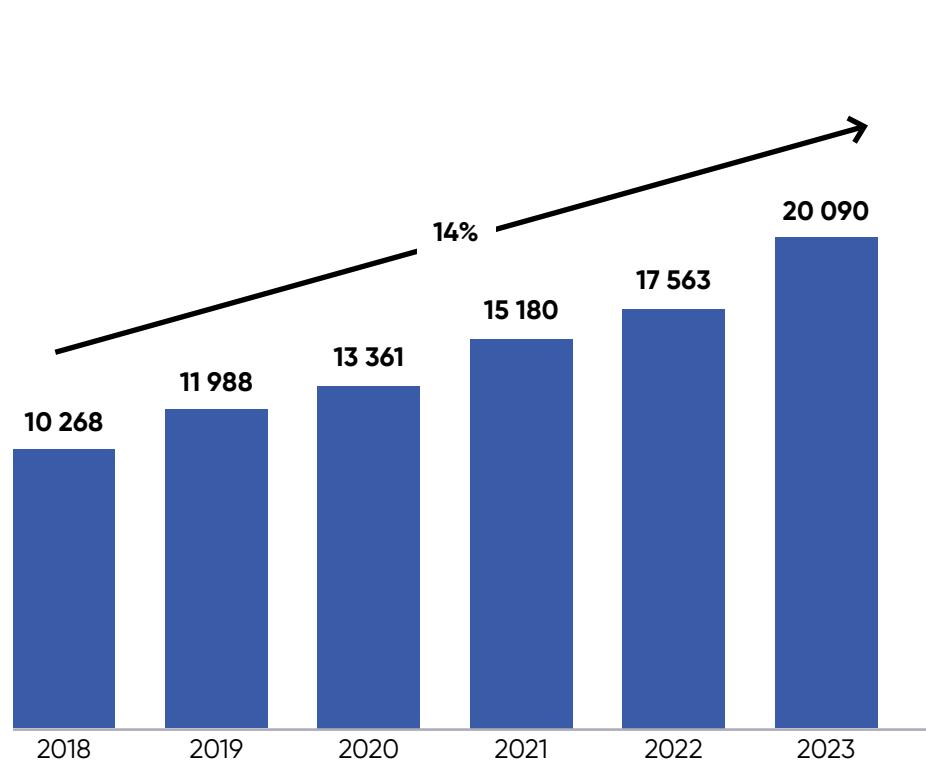
Рост количества полученных патентов с 2018 г.

Квантовые технологии являются одним из наиболее современных наукоёмких направлений. Динамика исследований отражается в стремительном росте количества публикуемых научных статей и патентов. Наибольший рост по всем направлениям отмечается начиная с 2018 г., когда во многих странах стартовали квантовые программы. С тех пор количество ежегодно публикуемых патентов и статей увеличивается на 44 % и 14 % соответственно.

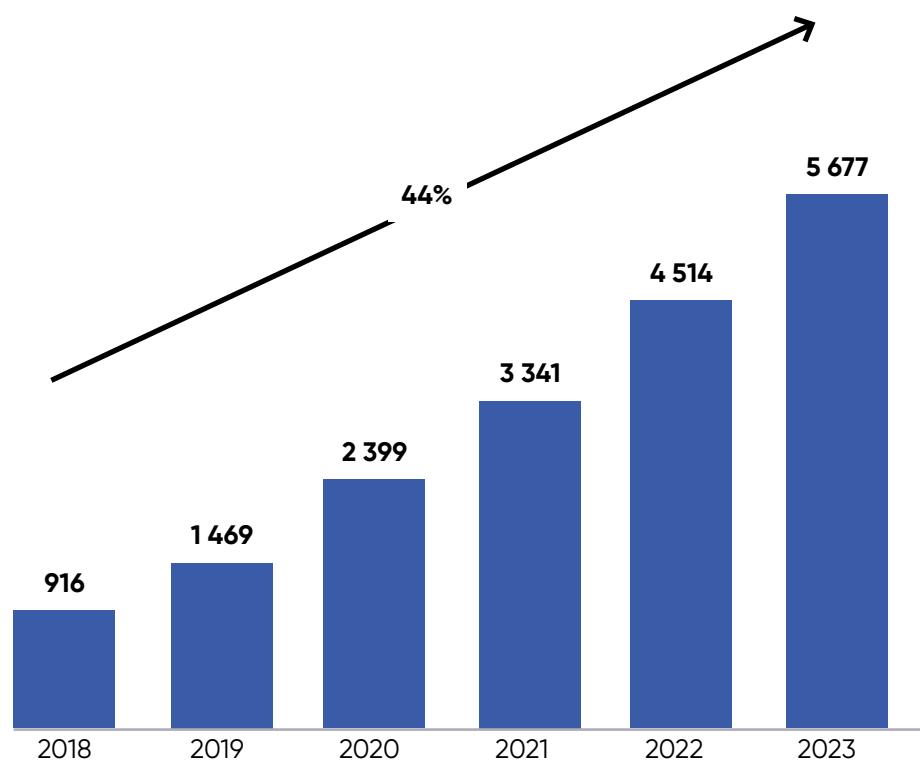
О признании важности этих работ говорит факт присуждения Нобелевской премии трижды за последние годы. Нобелевскую премию по химии в 2023 г. разделили учёные

Мунги Бавенди (США), Луис Брюс (США) и Алексей Екимов (Россия – США) за открытие и синтез квантовых точек. В 2022 г. премия по физике вручена Алену Аспе (Франция), Джону Ф. Клаузеру (США) и Антону Цайлингеру (Австрия) «за эксперименты с запутанными фотонами, доказывающие нарушение неравенств Белла и пионерские исследования в квантовой информатике». В 2012 г. Нобелевской премии по физике были удостоены Серж Арош (Франция) и Дэвид Вайнленд (США) «за новаторские экспериментальные методы, позволяющие измерять и манипулировать отдельными квантовыми системами».

Динамика ежегодно публикуемых научных статей по квантовым технологиям (Scopus):



Динамика ежегодно публикуемых патентов по квантовым технологиям (Lens):



¹ Библиометрический и патентный анализ выполнен авторами исследования с использованием базы данных научных публикаций Scopus и патентной базы Lens.

Рынок квантовых технологий и экономический эффект от внедрения

Мировой рынок квантовых технологий ещё находится в стадии формирования, и его размер достаточно сложно оценить и прогнозировать. Единые методики оценки рынка на сегодняшний день не созданы. В сегменте квантовых вычислений большинство агентств дают оценку рынка в 2024 г. в диапазоне от 1 до 1,5 млрд долл. США². В сегменте квантовых ком-

муникаций и сенсоров – 0,7–1,2³ и 0,15–0,3⁴ млрд долл. США соответственно. При этом большинство аналитиков ожидают до 2030 г. средний ежегодный рост рынка (CAGR) выше 20 %, что является довольно значительным показателем и ведёт к потенциалу всего рынка квантовых технологий к 2035 г. в размере 39,5–89,7 млрд долл. США.

Потенциал рынка квантовых технологий к 2035 г.¹



28–72 млрд \$

Квантовые вычисления



11–15 млрд \$

Квантовые коммуникации



0,5–2,7 млрд \$

Квантовые сенсоры

Ежегодный экономический эффект только от внедрения квантовых вычислений в 2035 г., по мнению McKinsey, составит от 900 млрд до 2 трлн долл. При этом следует заметить, что косвенный и мультипликативный эффект развития отдельных

отраслей на основе внедрения квантовых технологий во всю экономическую систему может существенно превышать прямой эффект для самих отраслей.

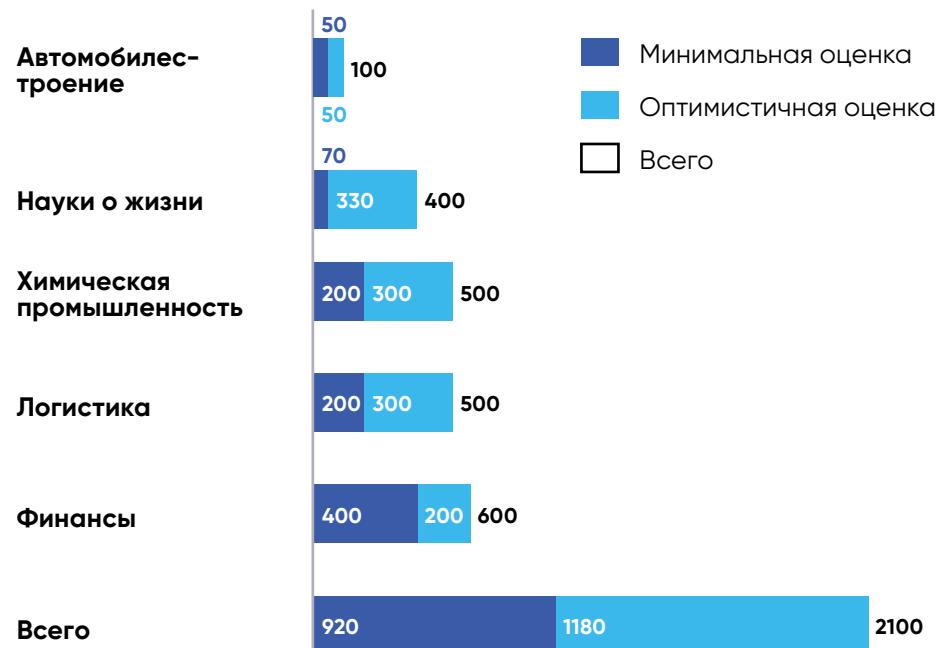
Экономический эффект + Постепенно ++ Существенно +++ Прорыв

Ключевые отрасли	2025–2030	2030–2035
Финансовые услуги	++	+++
Логистика	+	+++
Химическая промышленность	++	+++
Науки о жизни	++	+++
Автомобилестроение	++	+++
Возобновляемая энергия	+	++
Микроэлектроника	+	++
Страховые услуги	+	++
Телекоммуникации	+	++
Нефть и газ	+	+

¹ McKinsey. Quantum Technology Monitor. 2024.

² BCG. The Long-Term Forecast for Quantum Computing Still Looks Bright. 2024.

Следующие 5 отраслей получат наибольший экономический эффект от внедрения квантовых компьютеров (млрд \$)



³ Precedence Research. Quantum Communication Market Size, Share, and Trends 2024 to 2033. 2024.

⁴ Precedence Research. Quantum Sensor Market Size, Share, and Trends 2024 to 2030. 2024.

Цели развития квантовых технологий для отраслей

Возможности, которые предоставляют квантовые технологии, создают множество новых путей для инноваций. Их внедрение в ближайшем будущем может повлиять на развитие самых разных отраслей, от химии и фармацевтики до оборонной промышленности и новых производств. Квантовые технологии относятся к классу возникающих (emerging) технологий. В отличие от уже устоявшихся сегментов высо-

котехнологического рынка здесь отсутствует ясное понимание технических и потребительских характеристик будущих продуктов и сервисов, и это, безусловно, затрудняет прогноз их возможного влияния на бизнес. Тем не менее в последние годы среди учёных и представителей бизнеса крепнет мнение, что уже на горизонте 2030–2035 гг. внеквантовое технологическое лидерство станет невозможным^{1,2}.

Цели цифровой трансформации компаний

Ускорение бизнес-процессов и повышение их качества

Усиление роли на рынке в сравнении с конкурирующими компаниями

Модернизации инфраструктуры в соответствии с новыми вызовами

Ключевые эффекты, которые могут быть достигнуты благодаря развитию квантовых технологий³

Развёртывание новых подходов к решению задач в рамках существующих бизнес-моделей

Новые подходы к решению бизнес-задач возможны благодаря следующим преимуществам:

- Значительное ускорение решения вычислительно-сложных задач, вплоть до их решения в реальном времени
- Обработка больших массивов данных и/или большего количества сценариев для задач предиктивной аналитики
- Более эффективные алгоритмы. Например, в области искусственного интеллекта
- Более чувствительные методы измерения. Например, для геологоразведки или навигации

Создание принципиально новых продуктов и услуг для конечных потребителей

В ряде случаев превосходство квантовых методов над классическими решениями позволит создавать принципиально новые продукты и сервисы:

- Сервисы решения задач финансового и инвестиционного анализа
- Разработка персонализированных лекарств или материалов с заданными свойствами
- Сервисы, связанные с поиском и анализом неструктурированных данных
- Оптимальная маршрутизация транспорта и логистики и управление дорожным трафиком
- Создание сложных генеративных моделей от текста до 3D-контента

Адаптация к новым стандартам в области информационной безопасности

В ближайшее время начнётся внедрение новых инструментов защиты данных и коммуникаций, стойких как к классическим, так и к квантовым угрозам:

- Защита ценных данных с длинным жизненным циклом
- Квантово-устойчивая защита корпоративной видео-конференц-связи, мессенджера и почты
- Квантово-устойчивые протоколы для решения задач обработки конфиденциальной информации
- Гомоморфное шифрование на квантово-устойчивых алгоритмах
- Защита базы транзакций блокчейн-решений

¹ Фонд Росконгресс. Квантовые технологии для государства и бизнеса: настоящее и будущее. 2023.

² Сбербанк. Квантовые вычисления: перспективы для бизнеса. 2023.

³ Аналитика авторов отчёта.

Текущие барьеры при внедрении квантовых технологий и методы их преодоления

Пока большинство продуктов на основе квантовых технологий находится на раннем этапе своего развития, они являются достаточно дорогостоящими и не обеспечивают заметного преимущества по сравнению с классическими аналогами, что в первую очередь ограничивает их массовое использование.

Тем не менее крупнейшие компании проводят эксперименты по внедрению таких продуктов уже сейчас с помощью доступных инструментов, например программных эмуляторов квантовых компьютеров. Такие эксперименты приводят к быстрому накоплению опыта, который в дальнейшем ляжет в основу новых методов решения актуальных практических задач бизнеса.

Появление собственных центров компетенций для тиражирования опыта использования квантовых технологий



Ранний доступ к продуктам и сервисам, использующим квантовые технологии с возможностью их тестирования и оценки эффектов внедрения



Переход на новый уровень эффективности экономических и производственных показателей

Технологии	Текущие барьеры для практического применения	Области раннего внедрения
Квантовые вычисления	<p>Ранний уровень развития квантовых компьютеров Современные системы пока не позволяют решать многие практически полезные задачи.</p> <p>Сложность приобретения и эксплуатации квантовых компьютеров Квантовые компьютеры являются технически сложными системами, требующими сложного обслуживания.</p> <p>Высокая стоимость облачного доступа к зарубежным квантовым сервисам Стоимость доступа к квантовому облачному сервису IBM начинается от 96 долл./мин.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Программные эмуляторы квантовых компьютеров позволяют произвести раннюю оценку применимости и потенциальных преимуществ от использования квантовых вычислений. В России эмуляторы квантовых компьютеров разработаны компанией «КубОрд», они позволяют моделировать квантовые компьютеры мощностью до 34 кубит. В 2025 г. для проведения ранних экспериментов по использованию квантовых вычислений в РФ будет организован облачный доступ к квантовым компьютерам и эмуляторам, созданным в рамках дорожной карты развития квантовых вычислений.
Квантовые коммуникации	<p>Высокая стоимость внедрения Системы КРК пока дороже, чем традиционные аппаратно-программные системы криптографической защиты.</p> <p>Ряд составляющих технологий требует дополнительных исследований и совершенствования Прежде всего это касается подтверждения на практике отсутствия уязвимости перед потенциальными атаками.</p> <p>Низкие потребительские характеристики продуктов Пока не накоплен опыт эксплуатации, а сами системы имеют «непрактичные» характеристики.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Области, где требуется высокий уровень безопасности, например там, где до настоящего времени ключи распределялись с помощью доверенных курьеров. Альтернатива схемам распределения сеансовых ключей в ассиметричных криптосистемах, которые основаны на методах криптографии с открытым ключом.
Квантовые сенсоры	<p>Низкие потребительские характеристики продуктов Высокая стоимость, плохие массогабаритные характеристики, низкая надёжность в полевых условиях</p>	<ul style="list-style-type: none"> Сейчас активно внедряются относительно зрелые решения: квантовые магнитометры и атомные часы.

Продукты компании ООО «КуРЭйт»



QKD312



Аппаратно-программный комплекс квантового распределения ключей (КРК)

Характеристики

- Протокол: BB84 Decoy-State
- Максимальное расстояние: 100 км
- Скорость генерации ключей: 40 кбит/с
- Габариты: 4U, 19", > 25 кг

Сферы применения

Магистральные (междугородние) и городские квантовые сети смежных топологий (точка-точка, цепь, звезда)

QKDmini



Миниатюрный передатчик для системы квантового распределения ключей (КРК)

- Протокол: BB84 Decoy-State
- Максимальное расстояние: 50 км
- Скорость генерации ключей: 10 кбит/с
- Габариты: 270 × 105 × 65 мм, 2,5 кг

Внутригородские корпоративные сети передачи конфиденциальной информации по топологии «звезда»

QChaos



Квантовый генератор случайных чисел

- Скорость генерации случайных чисел: 1 Гбит/с
- Скорость выдачи случайных чисел: 2,5 Гбит/с

Сетевые коммуникационные инфраструктуры, безналичные платежи, корпоративные сети передачи информации, интернет-банкинг

Qbutterfly



Детектор одиночных фотонов

- Темновой счёт: < 2 кГц
- Мертвое время: 1–100 мкс
- Длина волны: 900–1600 нм
- Квантовая эффективность: 5–25 %
- Настройка устройства под заказчика по запросу

Квантовая криптография, телекоммуникации, спектроскопия, системы газового мониторинга, производство лидаров

Образовательное решение



Qlab. Научно-образовательный комплекс по квантовым коммуникациям и фотонике. Предназначен для обучения квантовой оптике, информационной безопасности, программированию, а также реализации научных проектов в учебных заведениях.

Комплекс входит в инфраструктурный лист всех соревнований профессионального мастерства (AtomSkills, DigitalSkills, «Хайтек» и «Профессионалы») в компетенции «Квантовые технологии». Он является ключевой частью обучения по квантовым коммуникациям крупнейших российских образовательных учреждений.



Продуктовая матрица ООО «КуАпп»



Продуктово-услуговая матрица. Комплексная защита от квантовой угрозы

Конечные продукты



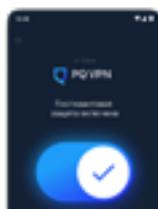
PQC CHAIN – квантово-устойчивый блокчейн



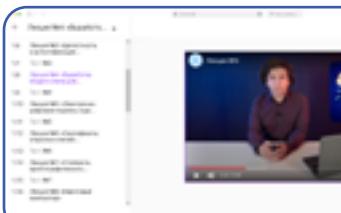
PQC TLS – квантово-устойчивый TLS-шлюз



PQC GATE – постквантовая защита данных в процессе передачи

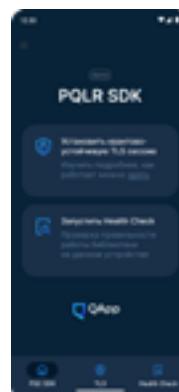


PQ VPN – квантово-устойчивые виртуальные частные сети



PQ EDU – теория и практика по постквантовой криптографии

Системные решения



PQC SDK – библиотека постквантовых алгоритмов и средства, упрощающие их интеграцию



PQC IP – аппаратное ускорение постквантовых алгоритмов



PQC PKI – инфраструктура удостоверяющего центра

Алгоритмы в интересах общества



Новый постквантовый алгоритм цифровой подписи

Кандидат на включение в госстандарты РФ

Конфиденциальные вычисления



PQCompute – ядро системы конфиденциальных вычислений, основанное на технологии SMPC

Продуктовая матрица ООО «КуБорд»



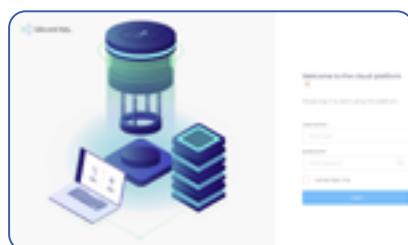
Продуктовая матрица. Комплекс продуктов по ускорению перехода на квантовые вычисления

Ключевые решения



QBoard – облачная платформа квантовых вычислений

Программные эмуляторы квантовых вычислений



QBoardFS – облачная файловая система

Квантово-вдохновлённый оптимизатор

QBoardOS – облачная операционная система

Вентильный эмулятор квантовых вычислений

Перспективное решение

DataGen

генератор синтетических транзакционных данных на основе алгоритмов машинного обучения

QBoard Gate

Python-модуль для квантовых вентильных вычислений

QC-LIB

Python-модуль для квантово-химических расчётов

Изучай квантовые вычисления вместе с Телеквантом

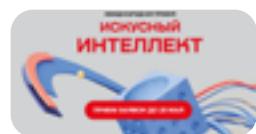


Телеквант – образовательная платформа квантового программирования.

Теория и практика квантовых вычислений с доступом через «Вконтакте» и «Телеграм»



Финалист конкурса мэра Москвы 2024



Первое место. Премия «Искусственный Интеллект 2023»



Первое место. Премия «Гравитация 2023»

Квантовые продукты компании АО «ИнфоТеКС»



Аппаратура квантового распределения ключей – QTS Lite



Распределительный узел (ViPNet РУКС Лайт)

- Квантовый канал до 44 км
- Один квантовый оптический модуль в корпусе – приёмник
- Защищённый корпус 2U
- Сертификат ФСБ России от 05.05.2023 № СФ/124-4509



Клиентский узел (ViPNet КУКС Лайт)

- Один квантовый оптический модуль в корпусе – передатчик
- Защищённый корпус Mi-di-Tower
- Сертификат ФСБ России от 05.05.2023 № СФ/124-4510

Аппаратура квантового распределения ключей – QTS



Распределительный узел (ViPNet РУКС)

- Квантовый канал до 100 км
- Приёмник и передатчик в одном корпусе
- Защищённый корпус 4U
- До 8 потребителей
- Сертификат ФСБ России от 27.12.2024 № СФ/124-5088



Клиентский узел (ViPNet КУКС)

- Один квантовый оптический модуль в корпусе – передатчик
- Защищённый корпус 2U
- До 8 потребителей

Потребители квантовых ключей (шифраторы)



Ethernet-шифратор ViPNet L2Q-10G

- Шифратор канального уровня
- Производительность шифрования до 10 Гбит/с
- Металлический корпус с датчиком несанкционированного доступа (ДНСД)
- Размер – 1U
- Сертификат ФСБ России от 24.12.2024
- № СФ/124-5067



Защищённый IP-телефон ViPNet CSS Connect HW Special

- Сертификат ФСБ России от 29.08.2023 № СФ/124-4613

Коммутационное оборудование



ViPNet QSS Switch

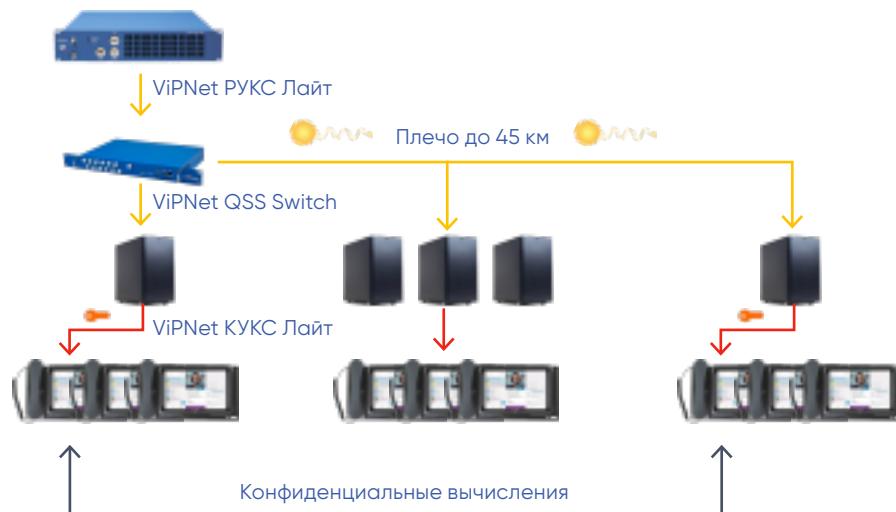
- Оптический коммутатор
- 12 оптических портов
- Вносимое затухание – не более 1,9 дБ
- Размер – 1U

Аппаратура производства АО «ИнфоТеКС» имеет сертификаты ФСБ России

Практическое применение продуктов компании АО «ИнфоТеКС»



Квантовозащищённая IP-телефония (аппаратура QTS Lite)



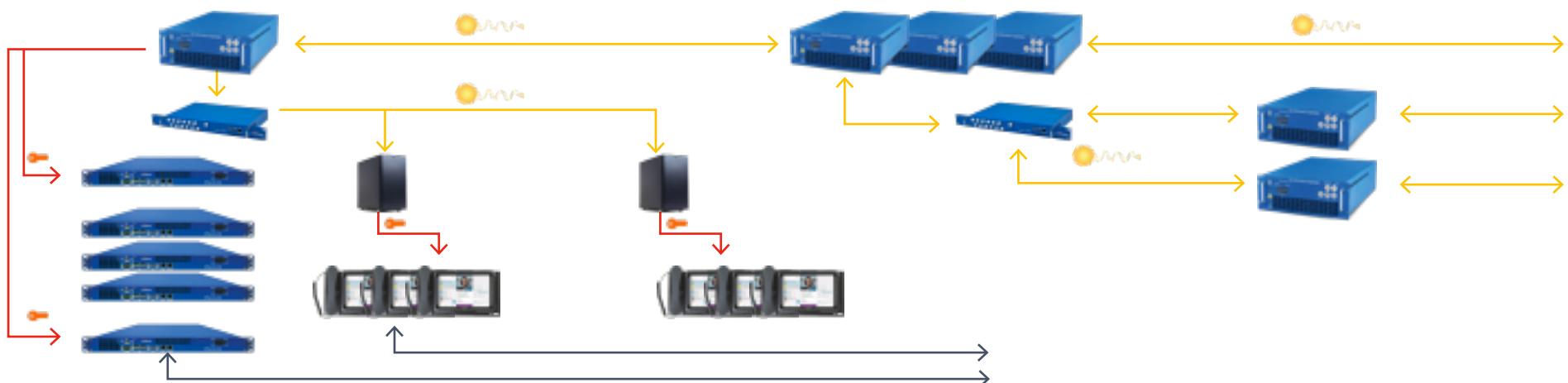
Оборудование квантового распределения ключевой информации:

- Исключение угрозы со стороны человеческого фактора (автоматизация)
- Повышение производительности труда (автоматизация)
- Защита от угроз криптоанализа, включая квантовые вычисления
- Возможность размещения оборудования на территории ограниченного доступа или исключая нахождение персонала
- Бесшовная интеграция с существующими сетями на базе технологии ViPNet

Защита магистральных каналов передачи данных (аппаратура QTS)



Защита сетей передачи данных произвольной конфигурации



Квантовые продукты компании ООО «СМАРТС-Кванттелеком»



Коммерчески доступные системы и компоненты

Система КРК для построения квантовых сетей



КВАКС

- Квантовый канал до **100 км**
- Модули соединяются двумя стандартными оптическими волокнами стандарта **G.652** или **G.654**
- Защищённый корпус 2U, глубина 700 мм



КВАЛИОН

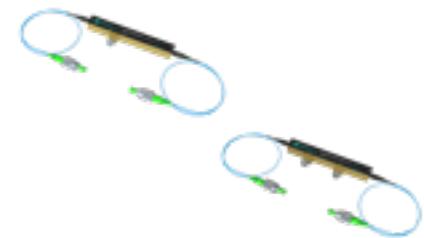
- Скорость выработки квантовых ключей при оптических потерях в квантовом канале **10 дБ** – не менее **700 бит/с**
- Защищённый корпус, энергопотребление не более **250 Вт**

Компонентная база квантовых и оптических технологий



Детектор одиночных фотонов

- Номинальная тактовая частота **100 МГц**
- Компактный размер и наличие системы охлаждения
- Настраиваемое значение времени релаксации детектора от **500 нс** до **100 мкс**
- Оптический интерфейс в виде FC-коннектора



Амплитудный и фазовый модуляторы

- Стабильность работы модуляторов при частоте модуляции в диапазоне до **10 ГГц** при рабочем диапазоне длин волн **1530–1550 нм**
- Общие оптические потери:
 - у амплитудного не превышают **5 дБ**
 - у фазового не превышают **3,5 дБ**

Оборудование для квантовых сетей

Перспективы развития продуктов компании

- Многопользовательская система КРК (топология «звезда») с удешевлённой стоимостью клиентского модуля КРК (ОКР в рамках ДК «Квантовые коммуникации»)

- Поддержка до 32 клиентов
- Интегрировано в один корпус с СКЗИ
- Формирование КЗК между любой парой клиентов и центральным узлом

- Система КРК на основе отечественной компонентной базы (продолжение импортозамещения узлов и модулей)
- Система КРК для более высоких классов СКЗИ
- Высокоскоростной квантовый генератор случайных чисел (КГСЧ)



Аппаратура производства «СМАРТС-Кванттелеком» сертифицируется по требованиям ФСБ России к квантовым криптографическим системам выработки и распространения ключей

Квантовые продукты компании ООО «СМАРТС-Кванттелеком»

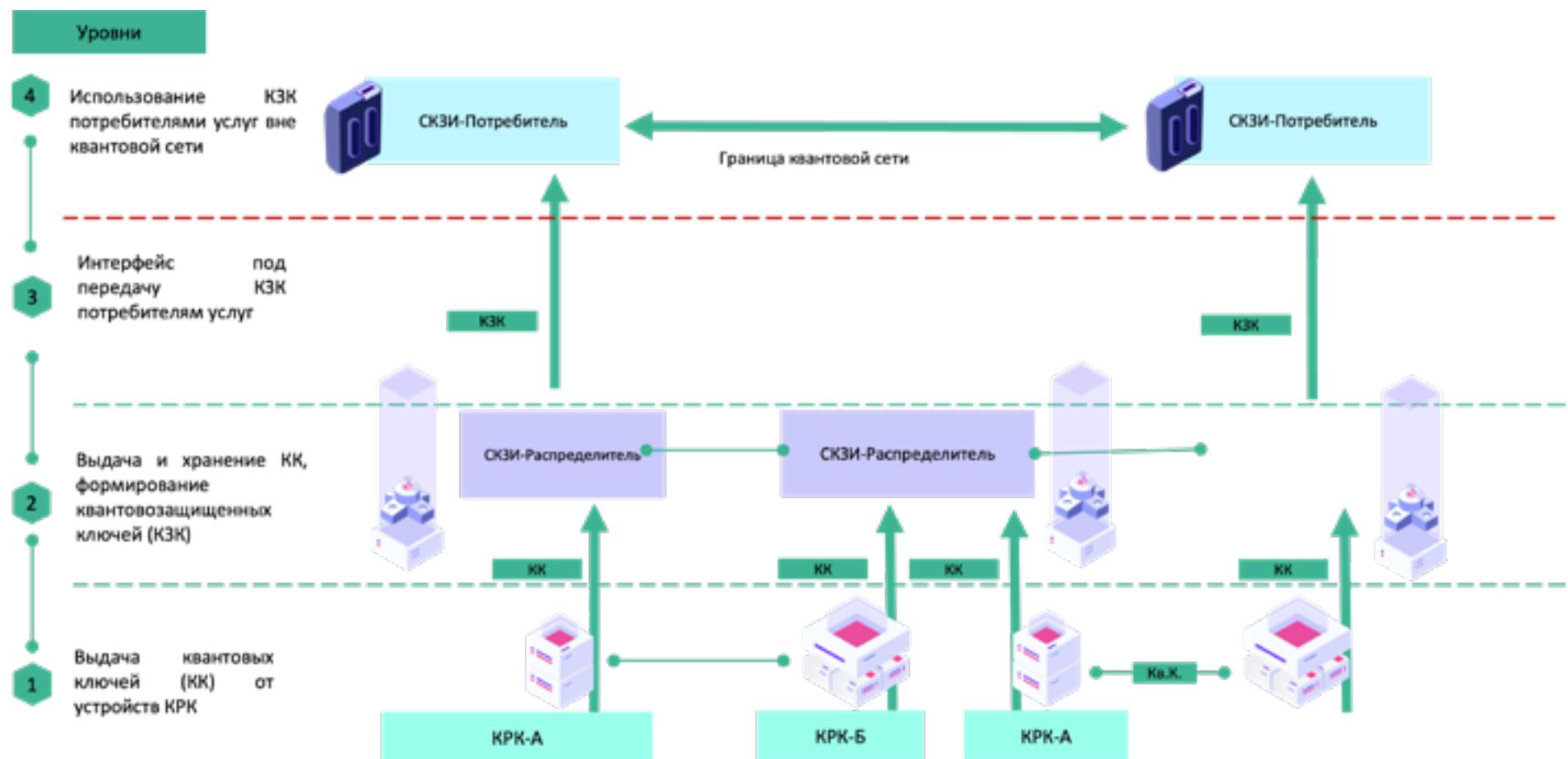


Практическое применение продуктов компании ООО «СМАРТС-Кванттелеком»

- Защита выделенных каналов связи с использованием квантовых ключей в топологии «точка-точка»
- Защита каналов связи произвольной телекоммуникационной инфраструктуры при формировании квантовозащищённых ключей в СКЗИ-распределителях
- Реализация сервисной модели предоставления услуг с выдачей квантовозащищённых ключей СКЗИ-потребителям

Квантовые сети на основе промежуточных узлов

Принципы построения существующих магистральных квантовых сетей



Принцип – квантовозащищённый ключ (КЗК) передаётся по цепочке промежуточных узлов с защитой на квантовых ключах (КК) смежных сегментов (т. е. в каждом промежуточном узле КЗК расшифровывается и зашифровывается разными КК). Этот функционал выполняется внутренними СКЗИ квантовых сетей (СКЗИ-распределители).

Впоследствии КЗК поступает в потребительский сегмент (СКЗИ-потребители), где с использованием КЗК защищается информация. При этом защищаемая информация может передаваться по любым видам сетей (не повторяя маршрут квантовой сети).

С промежуточными узлами можно реализовывать квантовые сети **произвольной топологии и любой протяжённости**

3. Тенденции развития отраслей и направления внедрения квантовых технологий

3.1. Общая характеристика финансового сектора

3.2. Перспективные направления внедрения квантовых технологий в финансовом секторе

3.3. Перспективные практики использования квантовых технологий в финансовом секторе

3.4. Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий

3.5. Общая характеристика отрасли связи и телекоммуникаций

3.6. Перспективные направления внедрения квантовых технологий в отрасли связи и телекоммуникаций

3.7. Перспективные практики использования квантовых технологий в отрасли связи и телекоммуникаций

3.8. Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий

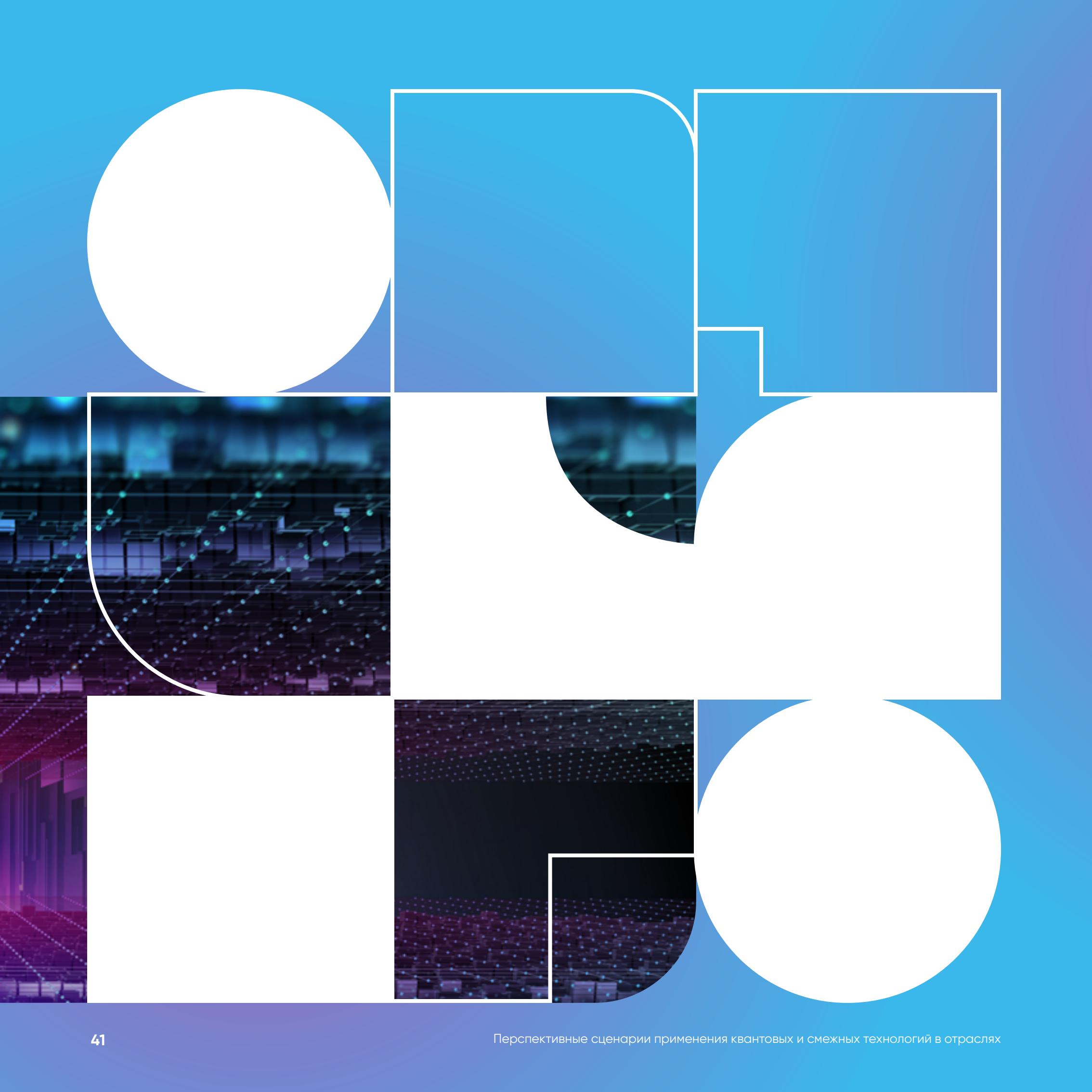
3.9. Общая характеристика отрасли ритейла и маркетплейсов

3.10. Перспективные направления внедрения квантовых технологий в отрасли ритейла и маркетплейсов

3.11. Перспективные практики использования квантовых технологий в отрасли ритейла и маркетплейсов

3.12. Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий





Общая характеристика финансового сектора



168 трлн руб.¹

Активы банков

22 трлн руб.

Активы на брокерском обслуживании

12 трлн руб.

Стоимость чистых активов ПИФ

5 трлн руб.

Профильные активы МФО

Применение новых технологий помогает финансовым учреждениям работать более эффективно и продуктивно и таким образом предлагать более выгодные условия для клиентов. Кроме того, технологические инновации открывают новые возможности для инвестирования и управления финансами, которые ранее были недоступны. Например, искусственный интеллект можно назвать одним из ключевых драйверов развития финансовой аналитики при соблюдении безопасности и этических норм при его применении.

Однако существуют и риски, такие как увеличение числа цифровых атак и мошенничества, что может поставить под угрозу финансовую безопасность пользователей.

Категории задач, для которых финансовыми организациями применяется ИИ², %:

- Взаимодействие с клиентами,
- Управление инвестиционным портфелем,
- Скоринг
- Противодействие мошенничеству
- Управлении рисками и пр.

Тренды развития финансового сектора³

Рост применения искусственного интеллекта на российском финансовом рынке

Использование финансовыми организациями решений на основе искусственного интеллекта выросло с 56 % до 63 % за период с 2023 по 2024 г.⁴

Усиление требований к защите персональных и биометрических данных

Персональные данные являются привлекательной целью для злоумышленников. Их кража приводит к финансовым потерям, и к потере репутации, и другим негативным последствиям.

Усиление регулирования и кибербезопасности

Компании инвестируют значительные средства в кибербезопасность, разрабатывая новые методы защиты от кибератак и мошенничества.

Увеличение использования аналитических инструментов

Аналитические инструменты позволяют автоматизировать принятие решений, проводить детальный анализ клиентских данных, выявлять тенденции, потребительские привычки и риски.

¹ Банк России. Обзор российского финансового сектора, 2023 г.

² Банк России. Доклад для общественных консультаций «Применение искусственного интеллекта на финансовом рынке», 2023 г.

³ Forbes. Emerging Fintech Trends: Navigating the Future of Financial Services, 2024 г.

⁴ Национальный центр развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации. Индекс готовности приоритетных отраслей экономики Российской Федерации к внедрению искусственного интеллекта. 2024»

Перспективные направления внедрения квантовых технологий в финансовом секторе

Финансовый сектор – одна из индустрий, которая может наиболее сильно измениться под влиянием квантовых технологий. Отрасль одной из первых стала тестировать это направление, и на сегодняшний день именно финансовый сектор лидирует по количеству пилотных проектов в области квантовых вычислений. В 2017–2019 гг. специализированные подразделения, ответственные за пилотирование квантовых решений, созданы в крупнейших банках: GP Morgan Chase, Goldman Sacks, Wells Fargo, Barclays и других. Среди первопроходцев в России – Сбербанк и Газпромбанк.

По оценкам McKinsey, к 2035 г. совокупный экономический эффект от внедрения квантовых вычислений в финтехе составит 622 млрд долл. (при общемировом объеме финансового рынка 14,1 трлн долл.).

Квантовые вычисления

Оптимизационные модели

- Структура активов в оптимальном инвестиционном портфеле
- Оптимизация расчётов по сделкам с ценными бумагами
- Оптимальная торговая траектория
- Оптимальные обменные курсы
- Оптимальные возможности арбитража
- Оптимальный выбор функций в кредитном скоринге

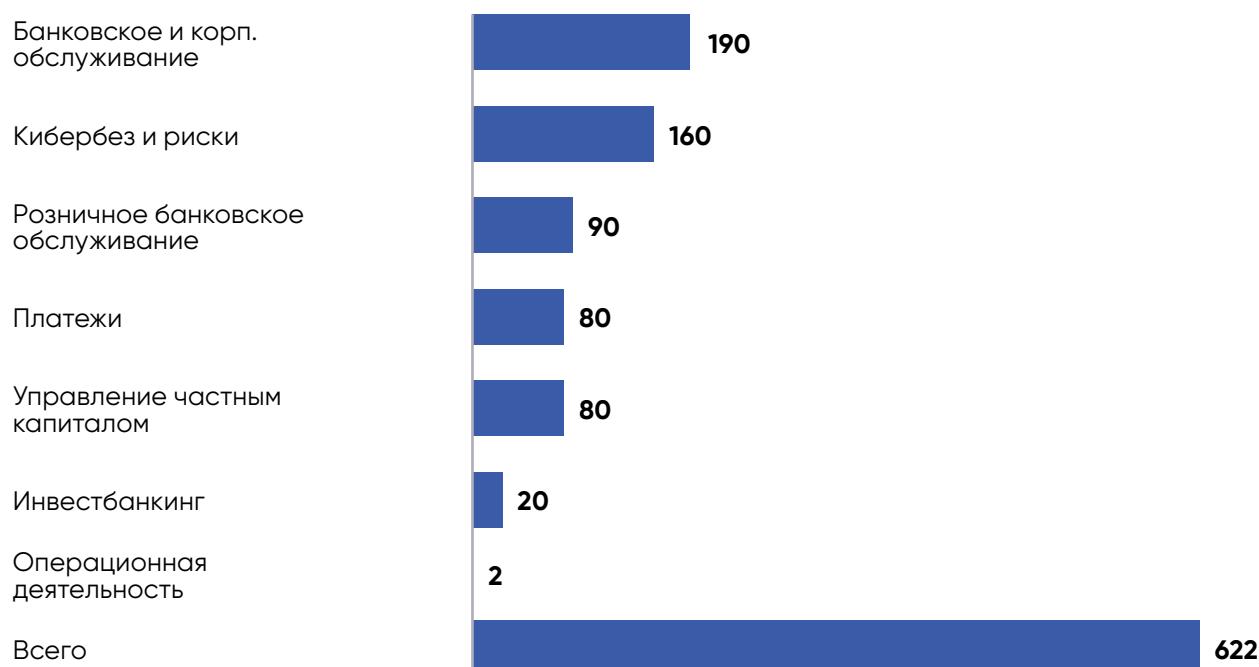
Модели машинного обучения

- Обнаружение мошеннических и нелегальных операций
- Алгоритмическая торговля
- Прогнозирование рынков
- Персональные помощники
- Кредитный скоринг
- Бинарные опционы
- Биометрия

Сценарное моделирование

- Оценка риска и доходности портфеля или целой компании
- Ценообразование финансовых деривативов
- Анализ рынка
- Предсказание кризисов

Экономический эффект (в млрд долл.) от внедрения квантовых вычислений по различным бизнес-направлениям к 2035 г¹



¹ McKinsey. Quantum technology use cases as fuel for value in finance. 2023.

Квантовая защита информации

- Квантовая защита информации
- Защита данных от квантовых кибератак
- Абсолютно безопасная передача транзакций
- Защита цифровых валют и блокчейна

Квантовые сенсоры и метрология

- Атомные часы для синхронизации торговых систем
- Квантовый генератор истинно случайных чисел

Перспективные практики использования квантовых технологий в финансовом секторе

Обеспечение устойчивости и безопасности финансовой системы



Финансовая стабильность – это устойчивость финансовой системы к шокам, бесперебойное и эффективное её функционирование. Для предотвращения негативных событий на финансовых рынках регуляторы прибегают к мерам, которые состоят из макроэкономической политики, всевозможных надзорных и регулятивных мер, направленных на различных участников финансовой системы. Обеспечение финансовой стабильности представляет таким образом целый комплекс взаимосвязанных и весьма непростых задач. Квантовые алгоритмы оптимизации и машинного обучения имеют значительный потенциал как в задачах прогнозирования различных событий на рынках, так и при обеспечении устойчивости и безопасности финансовой системы.

Примеры:



Международное рейтинговое агентство **Moody's** разработало новый подход к прогнозированию экономической рецессии с использованием комбинации классического сигнатурного анализа и квантового машинного обучения. Апробация модели на основе исторических макроэкономических данных доказала существенное преимущество комбинированного подхода. Аналитикам Moody's удалось добиться точности прогнозирования рецессии 86 % против 79 %, достигаемых с помощью классических схем¹.



Динамическая устойчивость финансовой системы регулируется связями между отдельными кредитными организациями, составляющими финансовую сеть. Математики из **университетов Торонто и Нью-Йорка** разработали подход к снижению системного риска на основе оптимизации связей между финансовыми учреждениями, таких как регулирование кредитов, взаимное владение акциями и других обязательств. Квантовый алгоритм позволил идеально настроить взаимодействие между банками и создать модель разветвлённой финансовой сети, устойчивой к рискам².



Агрегирование данных о рисках позволяет центробанкам управлять устойчивостью и безопасностью финансовой системы. Математически эта задача подразумевает анализ многомерной функции распределения вероятности различных событий на финансовом рынке. **GE Research и IonQ** на основе большого набора исторических данных смогли обучить квантовую нейронную сеть находить корреляции между различными биржевыми индексами и предсказывать возникновение потенциальных рисков с более высокой точностью, чем при использовании классического анализа вероятности³.

¹ The Quantum Insider. Moody's Analytics Latest Research Uses Quantum-based Signature Kernels to Predict the Odds of a Recession. 2023.

² Scientific Reports. Quantum computing reduces systemic risk in financial networks. 2023.

³ IonQ. IonQ and GE Research Demonstrate High Potential of Quantum Computing for Risk Aggregation. 2022.

Рост популярности и значимости технологий распределенного реестра



На фоне всё большего принятия криптовалют и цифровых активов традиционными финансовыми компаниями и институтами, а также формирования регулятивного режима во многих странах становится важной работа по оптимизации блокчейн-сетей, а также повышению их защищённости к внешним атакам.

Квантовые методы также могут найти своё применение в индустрии майнинга. Используя квантовый алгоритм Гровера, майнеры с достаточно надёжным квантовым компьютером могли бы значительно повысить эффективность процесса добычи криптовалют. Для этого, например, могут быть созданы специализированные облачные квантовые сервисы, оптимизированные для выполнения алгоритма Гровера.

Примеры:



В **Российском квантовом центре** впервые в мире запустили квантовый блокчейн – инструмент для создания распределённой базы данных, в которой практически невозможно подделать записи. Задача квантового блокчейна – обезопасить классические схемы от появления квантового компьютера. Схема была протестирована на городских оптоволоконных сетях ¹.



Британский финансовый конгломерат **HSBC** успешно опробовал технологию квантовой безопасности для покупки и продажи токенизированного физического золота. Алгоритмы постквантовой криптографии были использованы для безопасного перемещения цифровых активов между распределёнными реестрами и для организации взаимодействия с другими цифровыми платформами и кошельками ².



Проект **Банка Канады** посвящён изучению появления устойчивых маршрутов денежных транзакций в децентрализованных сетях. Один или несколько таких маршрутов динамически формируются в результате компромисса между большим количеством участников, а понимание такого процесса помогает оптимизировать и регулировать работу блокчейн-сервисов. С использованием вычислителя D-Wave построена модель взаимодействия 8–10 игроков рынка, которая включает в себя 290 возможных конфигураций движения денежных средств ³.

¹Arxiv. Quantum-secured blockchain. 2018.

² HSBC. HSBC pilots quantum-safe technology for tokenised gold. 2024.

³ Multiverse Computing. Bank of Canada and Multiverse Computing Complete Preliminary Quantum Simulation of Cryptocurrency Market. 2022.

Использование искусственного интеллекта в инвестициях



Инструменты, создаваемые на базе квантовых алгоритмов, помогают инвесторам отказаться от «интуитивных» решений как при ежедневной торговле, так и при создании долгосрочных стратегий. Одним из наиболее перспективных направлений применения квантовых алгоритмов в инвестиционной сфере является анализ больших объёмов данных о финансовых рынках для выявления тенденций и создания рекомендаций по принятию решений. Другое направление – целевое прогнозирование. Алгоритмы машинного обучения и сценарного моделирования используются для прогнозирования цен на акции, облигации и другие ценные бумаги. Третье направление – оптимизация портфеля инвестиций с учётом различных факторов, таких как риск, доходность и ликвидность для более эффективного управления капиталом.

Примеры:



Компания **«Куборд»** и **Газпромбанк** разработали квантовые алгоритмы для решения задач моделирования финансовых портфелей с использованием квантового облака D-Wave и эмулятора квантового компьютера. В последнем случае было получено ускорение расчёта оптимального портфеля в 1000 раз по сравнению с классическим солвером ¹.



Испанская финансовая группа **CaixaBank** сообщила об ускорении на 90 % решения задачи оптимизации инвестиционного портфеля при использовании квантового облака D-Wave. Общее время расчёта оптимального портфеля составило всего несколько минут. Решение оптимизировало внутреннюю норму доходности на 10 % в выбранном портфеле облигаций ².



Multiverse Computing, Protiviti и **Ally Financial** решили задачу формирования инвестиционного портфеля, который воспроизводил бы поведение биржевых индексов Nasdaq-100 и S&P 500 с использованием минимально возможного набора активов. С помощью квантового облака D-Wave исследователи сократили количество активов соответственно в 4 и 10 раз по сравнению с традиционным набором, снизив при этом профиль риска целевого следования в 2 раза ³.



Multiverse Computing также разработала функцию оценки справедливой стоимости активов. Для оценки справедливой стоимости акций финансовые компании моделируют возможные сценарии развития событий на рынке по методу Монте-Карло. Новая функция оценки активов позволяет уменьшить ошибку оценки стоимости на 43 % по сравнению с классическими методами ⁴.



Новый подход для предсказания стоимости сложных опционов с несколькими активами на основе квантово-вдохновлённых тензорных сетей, предложенный британским инвестиционным банком **Cirdan Capital**, позволяет ускорить ряд вычислительных операций, таких как решение систем дифференциальных уравнений и многомерное интегрирование, и таким образом увеличить скорость решения основной задачи на 75 % ⁵.

¹Куборд. Investment portfolio optimization by quantum, classical and quantum-inspired algorithms. 2019.

²IoT World Today. Quantum System Improves CaixaBank Investment Algorithms. 2022.

³Arxiv. Financial Index Tracking via Quantum Computing with Cardinality Constraints. 2022.

⁴The Quantum Insider. Multiverse Computing's Quantum-based Fair Price Solution a Step Toward Quantum Advantage in Finance. 2022.

⁵Terra Quantum. Towards Quantum Exotic Options Trading: Terra Quantum & Cirdan Capital harness the power of quantum software for enhanced exotic option pricing. 2023.

Улучшение управления рисками



Квантовые алгоритмы машинного обучения и сценарного моделирования позволяют финансовым учреждениям улучшить идентификацию, оценку и ослабление рисков. Например, одним из основных направлений использования ИИ на финансовом рынке является скоринг, который позволяет финансовым организациям более точно сегментировать клиентов на однородные группы, определять их потребности и риск-профиль. Квантовые нейронные сети в перспективе в состоянии дать более быстрое и точное решение такой задачи. Тем не менее, как показывают первые пилотные эксперименты, доступные в настоящее время квантовые ресурсы ещё не в состоянии обеспечить вычислительное превосходство в решении таких задач. В ряде случаев более эффективным является использование квантово-вдохновлённых решений.

Примеры:



KJPMorgan Chase и QC Ware проверили, как квантовые вычисления могут улучшить практику глубокого хеджирования. Используя квантовое машинное обучение с подкреплением, они разработали квантовую структуру для глубокого хеджирования. Исследование доказало, что квантовая нейронная сеть может обучаться с меньшим количеством параметров, а точность моделей улучшается по сравнению с эквивалентным классическим подходом ¹.



Специалисты банка **Crédit Agricole** использовали тензорные нейронные сети для предсказания изменения кредитного рейтинга заемщиков. Расчёты проводились с использованием 60 кубит квантового компьютера Pasqal и реальных банковских данных. Квантово-вдохновлённые тензорные сети использовали намного меньше вычислительных ресурсов, быстрее обучались и обеспечивали более быстрое схождение при той же точности решения задачи ².



Банк **BBVA** сравнил эффективность расчёта нормы отчисления резерва (CVA) и уровня кредитных рисков с помощью квантового алгоритма оценки амплитуды и классического метода Монте-Карло. Несмотря на квадратичное преимущество квантового алгоритма над классическим в теории, существующие квантовые вычислительные ресурсы пока не позволили достичь квантового преимущества на практике. Тем не менее был разработан новый способ реализации квантового алгоритма, который приближает сроки практического внедрения этой технологии ³.

¹Arxiv. Quantum Deep Hedging. 2023.

²Arxiv. Financial Risk Management on a Neutral Atom Quantum Processor. 2024.

³New Journal of Physics. Quantum algorithm for credit valuation adjustments. 2022.

Усиление киберрегулирования и безопасности



Квантовый компьютер может эффективно решать задачи, на которых основывается криптостойкость повсеместно используемых алгоритмов шифрования, что ставит под сомнение возможность применения большинства современных криптосхем. Отчёт, представленный в 2023 г. Федеральной резервной системой Конгрессу США, содержит предупреждение о том, что квантовые вычисления могут сделать текущие методы шифрования, используемые банками и финансовыми фирмами, устаревшими. Аналитики ФРС также предупреждают о потенциальных угрозах искусственного интеллекта: хотя он и может улучшить средства контроля кибербезопасности, но злоумышленники могут использовать ИИ и для автоматизации атак. В частности, новые генеративные инструменты могут обеспечить более убедительные фишинговые и мошеннические действия против финансовых компаний. В связи с этим ФРС настоятельно рекомендовала банкам начать переход к постквантовым инструментам шифрования данных ¹.

Примеры:

-  Компания **КуАпп и Московская биржа** провели успешный эксперимент по защите канала по передаче резервных данных с помощью алгоритмов постквантового шифрования. В ходе тестирования обеспечена защита линии связи между двумя центрами обработки данных Мосбиржи, один из которых расположен в Москве, а второй – в Новосибирске. Особенность эксперимента состоит в том, что технологические решения от вендора Московская биржа внедряла на своей инфраструктуре самостоятельно, а компания-разработчик участвовала в проекте только на уровне техподдержки и не интегрировала свои решения специально под заказчика ².
-  Компания **КуАпп совместно с Газпромбанком** реализовала пилотный интеграционный проект по обеспечению квантово-устойчивой безопасности host-to-host-соединений банка. Проект был реализован путём интеграции в инфраструктуру host-to-host-соединений Газпромбанка программного продукта Qtunnel – клиент-серверного решения, которое позволяет обеспечить квантово-устойчивое соединение в сетях любой топологии. Решение Qtunnel использует библиотеку постквантовых алгоритмов PQLR, взлом которых невозможен с применением классических и квантовых компьютеров ³.
-  Компания **КуАпп совместно с Национальной системой платёжных карт** в рамках Research & Development проведена работа по внедрению постквантового шифрования электронного документооборота. В совместном решении был применён цифровой продукт QApp Qtunnel, основанный на PQLR SDK. В данном сценарии Qtunnel использовался как обратный прокси, выполняющий туннелирование трафика системы электронного документооборота для обмена документами с банками (СЭДО) НСПК через квантово-устойчивый TLS 1.3 туннель, построенный с применением алгоритмов постквантовой криптографии, реализованных КуАпп.» ⁴.
-  **КуАпп и Web3 Tech** завершили интеграционный проект по апробации цифровых продуктов на основе постквантового шифрования в новой блокчейн-платформе «Конфидент» от Web3 Tech. В рамках этого проекта появилась первая в России блокчейн-платформа с постквантовым шифрованием ⁵.

3.3. Перспективные практики использования квантовых технологий в финансовом секторе



Банк Франции и Валютное управление Сингапура завершили новаторский совместный эксперимент в области постквантовой криптографии, нацеленный на укрепление безопасности интернет-коммуникаций и передачи данных, осуществляемых на разных континентах. Партнёры заявляют о наличии потенциальной возможности интегрировать эту технологию в платёжные сети и тем самым помочь финансовым учреждениям привести свои системы безопасности в готовность к отражению надвигающейся угрозы квантовых вычислений ⁶.



Цифровые валюты в недалёком будущем будут выпускаться центробанками в дополнение к существующим наличным и безналичным валютам. Храниться они будут в цифровых кошельках, открытых на платформе центробанков. Там же будут происходить и операции с цифровыми валютами. В 2024 г. **Банк Канады совместно со стартапом evolutionQ** приступил к разработке кода национальной цифровой валюты, защищённого постквантовыми алгоритмами шифрования, что обеспечит его устойчивость к любым видам будущих кибератак ⁷.



Американская компания **Quantum Computing Inc.** и нидерландский **Rabobank** используют фотонный компьютер Dirac 1 для поиска подозрительных транзакций. Оценка риска мошенничества требует мгновенного анализа многих факторов: размера денежного перевода, местоположения отправителя и получателя, истории переводов, а также сравнения операции со множеством аналогичных транзакций ⁸.

1 Federal Reserve. Cybersecurity and Financial System Resilience Report. 2023.

2 Известия. Чувство алгоритма: в РФ создали «антивирус» от квантовой угрозы. 2024.

3 QApp. Пилотный интеграционный проект «Квантово-устойчивая защита host-to-host коммуникаций». 2023.

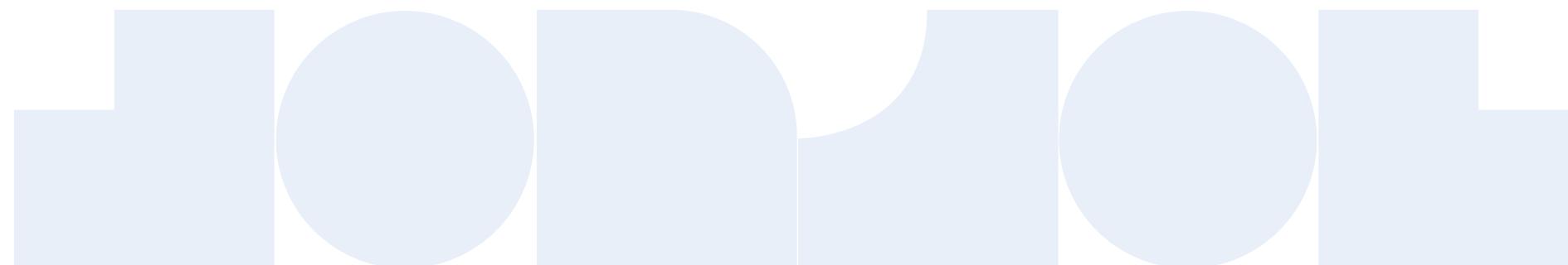
4 QApp. Пилотный интеграционный проект «Постквантовое шифрование электронного документооборота Национальной системы платёжных карт (НСПК)». 2023.

5 ТАСС. Российские компании создали первую блокчейн-платформу с постквантовым шифрованием. 2023.

6 FinExtra. Banque de France and Monetary Authority of Singapore complete post-quantum cryptography trial. 2024.

7 The Quantum Insider. Bank of Canada Engages evolutionQ in Research on Quantum-safe Digital Currencies. 2024.

8 HPC Ware. QCI to Help Rabobank Fight Fraud with Entropy Quantum Computing. 2022.



Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий

Бизнес-процессы организаций финансового сектора* 18 кейсов**

Основные

Обслуживание и ведение банковских счетов ⁴	Расчётное обслуживание ¹	Кассовое обслуживание и инкассация	Привлечение денежных средств
Кредитный скоринг ³	Продажа страховых продуктов	Продажа казначейских продуктов	Выпуск и обслуживание банковских карт
Операции с драгоценными металлами ³	Управление и оптимизация финансового портфеля ⁶	Моделирование поведения рынка ²	Осуществление срочных сделок ³

Обеспечивающие

Обслуживание и ведение банковских счетов	Юридическое сопровождение ⁶	Поддержка пользователей	Управление клиентской базой ³
ИТ-обеспечение и связь ⁷	Реклама и маркетинг	Документооборот ¹	Внутренний контроль
Административно-хозяйственный отдел	Техническое обслуживание и ремонт	Обеспечение информационной безопасности ⁸	Учёт, налогообложение и отчётность ¹

Управленческие

Стратегическое управление ⁶	Оценка рисков ¹⁰	Расчёт оптимальных инвестиций ¹⁰	Развитие бизнеса
Внутренний аудит ²	Выявление мошенничества ⁷	Бизнес-планирование ⁶	Управление ассортиментом
Управление качеством	Прогнозирование стоимости финансовых активов ⁶	Управление маркетингом	Управление персоналом

* Подготовлены совместно с Ассоциацией ФинТех.

** В рамках одного решения могут быть отмечены несколько бизнес-процессов.

Общая характеристика отрасли связи и телекоммуникаций



1,9 трлн руб. ¹

оборот компаний, работающих в сфере телекоммуникаций в России в 2023 г.

+5 % трлн руб.

рост объёма рынка в 2023 г.

61 %

доля мобильной связи в общем объёме рынка

Хотя основной объём выручки компаний телекоммуникационной отрасли по-прежнему приходится на предоставление услуг связи, отечественные и зарубежные операторы связи активно развивают и другие направления деятельности, например цифровое телевидение и медийные сервисы, – такие направления обеспечивают ежегодный стабильный рост бизнеса.

Телеком-операторы также активно консолидируются с IT-компаниями, что позволяет динамично расширять портфель технологий и в итоге выходить за границы оказания лишь телекоммуникационных услуг, а также занять значительные доли рынка в других сегментах, таких как облачные технологии, интернет вещей, видеонаблюдение и безопасность.

В связи с этим на первый план выходят задачи значительного увеличения пропускной способности и обеспечения стабильной работы сетей связи в условиях пиковых нагрузок, а также обеспечения безопасности передаваемых данных. Такие задачи сформулированы, в частности, в принятой в 2023 г. Стратегии развития отрасли связи до 2035 г.

Квантовые технологии, как предполагается, могут оказать своё влияние как при построении оптимальной инфраструктуры и выборе режимов работы сетей, так и при обеспечении безопасной связи.

Тренды развития телекоммуникационной отрасли ²

Увеличение пропускной способности сетей

В перспективе сети шестого поколения обеспечат более высокую пиковую скорость передачи данных (от 100 Гбит/с до 1 Тбит/с), меньшую задержку (на уровне 0,1 мс), а также гораздо большую плотность соединений и энергоэффективность.

Квантовозащищённые сети и квантовый интернет

Создание защищённых каналов связи на квантовых принципах позволяет полностью исключить несанкционированный доступ к ним.

Сети с искусственным интеллектом

ИИ позволяет оптимизировать работу сети и качество обслуживания конечных пользователей, сократить операционные ресурсы, а также уменьшить время на устранение инцидентов.

Цифровые двойники сетей

Цифровые двойники позволяют ускорить испытания и тестировать различные конфигурации и политики безопасности сетей при минимизации временных и финансовых затрат.

Сети спутниковой связи на низкой околоземной орбите (LEO)

Такие группировки могут развёртываться для предоставления широкополосного доступа в интернет или развития IoT-систем. Кроме того, спутники LEO могут обеспечивать транзитные каналы для услуг сотовой связи.

¹ ТМТ Консалтинг. Российский рынок телекоммуникаций: итоги 2023 года. 2024.

² Деловой профиль. Рынок телекоммуникаций РФ: тенденции развития и превращение представителей телекома в экосистемы. 2023.

Перспективные направления внедрения квантовых технологий в отрасли связи и телекоммуникаций

Квантовые лаборатории уже созданы в крупнейших телекоммуникационных компаниях AT&T (2017 г.), Deutsche Telekom (2021 г.), China Mobile (2023 г.). Их задачей является исследование потенциальных вариантов использования квантовых вычислений и квантового искусственного интеллекта с точки зрения сетевого оператора. По мнению игроков рынка, в эпоху постоянного создания новых данных телекоммуникационные компании могут использовать возможности квантовых алгоритмов для совершенствования инфраструктуры, её эксплуатации и обслуживания¹.

В квантовые исследования также вовлечены крупные производители телекоммуникационного оборудования Cisco и Ericsson, которые активно разрабатывают коммерческие решения в области квантово-защищённых сетей и кибербезопасности. В России услуги и сервисы квантовых сетей в пилотном режиме предоставляют крупнейшие телеком-операторы «Ростелеком» и «ТрансТелеКом», компании «Смартс», «Солар Секьюрити», «Софтлайн Трейд» и другие.

В практическом смысле достоинства будущих квантовых телекоммуникационных сетей сводятся к двум основным преимуществам:

- **принципиальная невзламываемость квантового шифрования при передаче данных;**
- **использование «квантовой запутанности», которая теоретически позволяет создать квантовые сети моментального действия, работающие без физических задержек сигнала.**

Пока основным недостатком существующих квантовых сетей является низкая скорость передачи квантового сигнала, которая всё ещё не превышает нескольких десятков кбит/с. Поэтому до сих пор больше всего распространены именно простые сети для передачи квантового ключа. В более отдалённой перспективе квантовые сети позволят пользователям хранить и обмениваться квантовыми битами или кубитами, объединяя таким образом между собой различные квантовые компьютеры («квантовый интернет»). В отличие от классических суперкомпьютеров, вычислительная мощность которых растёт линейно при увеличении количества вычислительных узлов, «квантовый суперкомпьютер» будет экспоненциально наращивать свою мощность при масштабировании.

Квантовые вычисления

Оптимизационные модели

- Оптимизация расположения базовых станций
- Оптимизация топологии и режима работы сетей
- Динамическое присвоение частот сетям сотовой связи
- Формирование планов и тарифов

Модели машинного обучения

- Прогнозирование сбоев оборудования
- Прогнозирование нагрузки на сети связи и их сегменты, вычислительную инфраструктуру
- Распознавание и прогнозирование вторжений в систему
- Кластеризация клиентских сегментов

Сценарное моделирование

- Оценка риска и доходности портфеля или целой компании
- Ценообразование финансовых деривативов
- Анализ рынка
- Предсказание кризисов

Квантовые сети и защита информации

- Квантовая защита данных от кибератак
- Магистральные и городские квантовые сети передачи данных
- Сервисы безопасной передачи данных, обмена сообщениями и видеоконференции
- Квантовый интернет и системы распределённых квантовых вычислений

Квантовые сенсоры и метрология

- Квантовые часы для синхронизации элементов сети
- Квантовые источники и детекторы фотонов
- Квантовый генератор истинно случайных чисел

¹ Frank Phillipson. Quantum Computing in Telecommunication - A Survey. 2023.

Перспективные практики использования квантовых технологий в отрасли связи и телекоммуникаций

Квантовая защита данных, передаваемых по сетям общего пользования



Основная задача квантовой криптографии заключается в безопасном распределении ключей шифрования между различными абонентами. В первую очередь защита требуется в следующих случаях:

- защита чувствительного трафика (госучреждения, финансовый сектор)
- защита информации, предназначенной для управления критической инфраструктурой или характеризующей её состояние (системы безопасности и гражданской обороны, энергетика, транспорт, коммунальная инфраструктура)
- обеспечение безопасной передачи конфиденциальных данных между удалёнными промышленными производственными объектами, в т. ч. «умными» производственными площадками (фабриками, месторождениями, складами и т. п.)
- защита корпоративных данных, в том числе в рамках облачной/виртуальной информационной инфраструктуры.

Несмотря на существующие барьеры для внедрения технологии (высокая стоимость внедрения, необходимость улучшения потребительских характеристик продуктов и др.), пилотное внедрение технологий квантового распределения ключей в мире осуществляется высокими темпами.

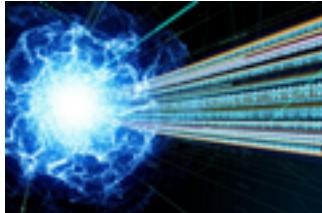
Примеры:



Ростелеком совместно с компанией «Атлас» завершил испытания технологии квантового распределения ключей (КРК) и сопряжённых с ними шифраторов на инфраструктуре первых двух очередей магистральной волоконно-оптической линии связи «Новая ТрансЕврАзийская линия связи» (TEA NEXT). Построенная линия соединит западные и восточные рубежи России с привязками к крупнейшим городам страны и выходами на границы Россия – Монголия, Россия – Китай и береговую станцию подводных линий связи в Находке. На основе инфраструктуры TEA NEXT планируется вывести на российский рынок принципиально новый набор услуг по предоставлению в аренду заинтересованным клиентам волоконно-оптической инфраструктуры и необходимых дополнительных ресурсов для организации магистральных сетей связи последнего поколения внутри РФ¹.

¹ ТАСС. "Ростелеком" начал строительство третьей очереди трансевразийской ВОЛС. 2023.

Квантовая защита данных, передаваемых по сетям общего пользования



-  Компании **Микрон** и **КуРЭйт** при поддержке АО «**Центр исследований и разработок**» и **МФТИ** разработали прототип программно-аппаратного комплекса, позволяющего использовать технологию квантового распределения ключей в любых пользовательских устройствах. Это первая российская разработка, позволяющая обеспечить полноценную защиту информации как в отдельных приложениях, так и во всей сетевой мобильной инфраструктуре. Программно-аппаратный комплекс состоит из системы квантового распределения ключей, смарт-карты на базе защищённого отечественного микроконтроллера и программного обеспечения для смартфона ².
-   В совместном **российско-китайском эксперименте** по распределению квантового криптографического ключа через спутник наземные станции находились на рекордном удалении 3800 км друг от друга: на территории Звенигородской обсерватории и в районе Наньшань (КНР). В ходе эксперимента учёным удалось установить надёжный канал связи и решить множество задач, важных в контексте практического использования квантовых спутниковых систем ³.
-  В Китае учёные **квантовой лаборатории в г. Хэфэй** реализовали первую в мире многоузловую квантовую сеть в масштабах целого города. Сеть полностью адаптирована к условиям мегаполиса и обеспечивает беспрецедентное снижение потерь при передаче данных. От аналогичных сетей, разработанных ранее, эта сеть отличается большим количеством пользователей, которые могут подключаться к ней через собственные устройства ⁴.
-  Проект European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI) нацелен на развёртывание квантовозащищённой сети, объединяющей все 27 государств – членов Европейского союза. При этом предполагается строительство как наземного, так и спутникового сегмента, который будет интегрирован с проектируемой сейчас европейской сетью телекоммуникационных спутников IRIS. Участниками проекта EuroQCI стали **Deutsche Telekom, Airbus Defense and Space (Airbus DS), Thales SIX, AIT** ⁵.

² ТАСС. В РФ разработали решение для квантовой защиты мобильных коммуникаций. 2024.

³ Arxiv. Eurasian-Scale Experimental Satellite-based Quantum Key Distribution with Detector Efficiency Mismatch Analysis. 2023.

⁴ New Science. Китай представил самую передовую квантовую сеть связи, охватывающую целый город. 2023.

⁵ Deutsche Telekom. Deutsche Telekom leads build of high-security communications network for the EU. 2023.

Оптимизация трафика и режима работы телеком-сетей



При организации телекоммуникационных сетей важными задачами являются правильное планирование передачи данных и распределение потоков информации по кратчайшим путям. Под такими путями понимают пути передачи информации, кратчайшие по времени передачи или протяжённости, или пути с минимальными помехами, числом задействованных узлов, стоимостью и т. п. Очевидно, что при этом возникает проблема разработки математического обеспечения оптимизации процедур выбора маршрута с целью снижения нагрузки на вычислительные центры. Создание оптимальной архитектуры сети и режима работы сети – это задачи комбинаторной оптимизации, которые уже сейчас могут быть решены с помощью квантовых и квантово-вдохновлённых алгоритмов.

Примеры:

-  Учёные из **Российского квантового центра** при помощи эмулятора квантовых вычислений SimCIM рассчитали время, необходимое для назначения длин волн в сетях величиной от 10 до 100 узлов, полученных с помощью классического оптимизатора и квантово-вдохновлённого алгоритма. Использование эмулятора позволило вдвое сократить время расчёта при построении для крупномасштабных сетей. В перспективе это даст возможность телеком-операторам значительно снизить расходы на инфраструктуру и повысит интерес к квантово-вдохновлённым алгоритмам для решения других телекоммуникационных задач ¹.
-  Компания **D-Wave** запустила на своей облачной платформе демонстрацию работы квантового алгоритма, оптимизирующего эффективность канального декодирования в беспроводных системах цифрового вещания и связи. Показано, что квантовый компьютер потенциально может повысить пропускную способность передачи данных особенно в перегруженных городских районах с высоким уровнем шума ².
-  Новые поколения сетей 6G требуют новых подходов к инфраструктуре сети. Учёные из **Политехнического университета Валенсии** проанализировали различные способы оптимизации архитектуры сетей 6G. По их подсчётам, 50-кубитный квантовый компьютер в состоянии справиться с такой задачей при количестве узлов не более 6^3 .
-  Компания **China Mobile** – один из крупнейших телеком-операторов мира – в 2023 г. подписала соглашение с Origin Quantum о старте пилотного проекта по изучению возможности квантовой оптимизации архитектур и функционирования сетей 6G ⁴.

¹ Arxiv. Quantum-inspired optimization for wavelength assignment. 2023.

² D-Wave. D-Wave Showcases Advantage™ QPU's Ability to Improve Cellphone Network Transmission. 2023.

³ Sensors. Multi-Objective Routing Optimization for 6G Communication Networks Using a Quantum Approximate Optimization Algorithm. 2022.

⁴ Reuters. China Telecom establishes quantum technology group. 2023.

Квантовый интернет и распределённые квантовые вычисления



Дальнейшее развитие квантовых коммуникационных сетей приведёт к появлению квантового интернета, который будет объединять между собой различные квантовые компьютеры. Подобно тому, как сегодня суперкомпьютеры выполняют параллельные вычисления на многих процессорах, связанных друг с другом, ожидается, что в будущем квантовые операции будут задействованы множеством различных модулей запутанных кубитов, которые будут связаны друг с другом для выполнения вычислений. В отличие от классических суперкомпьютеров, вычислительная мощность которых растёт линейно при увеличении количества вычислительных узлов, «квантовый суперкомпьютер», или вычислительный кластер, состоящий из нескольких квантовых компьютеров, будет экспоненциально наращивать свою мощность при масштабировании. Пока данные разработки находятся на начальном уровне.

Примеры:



О создании стратегического альянса для разработки квантового интернета объявили **Amazon и Гарвардский университет**. В рамках партнёрства будут разработаны элементы квантовой памяти, интегрально-оптические компоненты источников и приёмников сигнала, а также новые квантовые материалы ¹.



Гарвардские физики внедрили квантовый повторитель в оптическую телекоммуникационную сеть, расположенную в очень плотно застроенной городской среде. Прототип повторителя позволил физикам запутать два квантовых объекта, связанных оптоволокном длиной в 35 км ².



Компания **Cisco** объявила об открытии в Калифорнии крупного исследовательского центра в области квантовых технологий, оптики и фотоники. Ближайшей задачей центра станет разработка коммерческих решений в области квантовых сетей и кибербезопасности. В перспективе компания намерена сотрудничать с университетами и национальными лабораториями в создании глобального квантового интернета ³.



Протоколы конфиденциальных вычислений позволяют нескольким участникам произвести вычисления, зависящие от секретных входных данных каждого из них, таким образом, чтобы ни один участник не смог получить никакой информации о чужих входных данных. Компания **IonQ и Университет Мэриленда** заключили в 2024 г. контракт с Минобороны США по разработке концепции конфиденциальных вычислений для квантовых компьютеров ⁴.

¹ Amazon. Amazon and Harvard launch alliance to advance research in quantum networking. 2022.

² Nature. Entanglement of nanophotonic quantum memory nodes in a telecom network. 2024.

³ Cisco. Announcing the opening of the Cisco Quantum Lab. 2023.

⁴ IonQ. IonQ Awarded Ground-breaking Quantum Computing Contract With Applied Research Laboratory for Intelligence and Security. 2024.

Постквантовая защита ВКС, мессенджеров и ПО



Данные интернет-трафика, передаваемые с помощью мессенджеров, интернет-браузеров, сервисов видеоконференций и пр., являются уязвимыми для злоумышленников. Современные квантовые компьютеры пока не обладают мощностью, достаточной для взлома систем на основе асимметричного шифрования, но, по мнению экспертов, первые случаи подобных атак могут быть зафиксированы до 2030 г. Это создаёт риск, что злоумышленники могут уже сегодня сохранять конфиденциальные данные, зашифрованные асимметричной криптографией, чтобы дешифровать их в будущем при первой появившейся возможности. Ввиду очевидной угрозы компрометации чувствительных данных с длинным жизненным циклом, разработчики сетевого ПО уже приступили к внедрению постквантовой криптографии в свои продукты.

Примеры:



В НИЯУ МИФИ разработан способ защиты чатов в мессенджерах с помощью постквантовых алгоритмов для шифрования. Протокол позволяет криптографическим ключам постоянно обновляться. Это значит, что каждое отдельное сообщение можно будет зашифровать. Если в руки злоумышленников попадёт один из ключей, они всё равно не смогут получить доступ ко всей информации ¹.



Сервис Dion от **Группы «Т1»** стал первой отечественной ВКС-системой, способной на программном уровне противостоять кибератакам с применением квантовых компьютеров. Добиться этого удалось благодаря интеграции квантово-устойчивого VPN компании QApp, основанного на криптографической библиотеке PQLR, которая содержит семь созданных в России алгоритмов постквантового шифрования ².



Обновлённые протоколы шифрования добавлены в версии операционных систем **Apple** iOS 17.4, iPadOS 17.4, macOS 14.4 и watchOS 10.4. При этом Apple планирует использовать консервативный метод, совмещая свои традиционные алгоритмы шифрования на эллиптических кривых с постквантовым алгоритмом ML-KEM (Kyber). Таким образом, даже если в будущем будут обнаружены какие-то уязвимости в новом постквантовом алгоритме, информация останется надёжно защищённой традиционным способом. Apple подчёркивает, что новый метод относится к Level 3 – наиболее надёжному классу шифрования данных на сегодняшний день ³.



Zoom объявил о внедрении постквантового сквозного шифрования (E2EE) в конференции Zoom Meetings. В ближайшем будущем аналогичная защита станет доступной и для Zoom Phone и Zoom Rooms. В основе постквантового E2EE от Zoom лежит алгоритм Kyber-768, обеспечивающий уровень безопасности, сопоставимый с AES-192 ⁴.



Компания **Google** ввела поддержку Kyber-768 в интернет-браузере Chrome. При установлении соединения функция TLS (Transport Layer Security) в браузере будет проверять, поддерживается ли Kyber-768 компьютером на другой стороне. Если поддерживается, то браузер будет использовать гибридный механизм инкапсуляции ключей, который включает в себя как Kyber-768, так и X25519 (алгоритм эллиптической кривой). Таким образом, организована двухфакторная защита как против классических, так и против квантовых атак ⁵.

¹ CNews. В России создан постквантовый алгоритм шифрования для защиты переписки в мессенджерах. 2023.

² CNews. В России создана первая система видео-конференц-связи с постквантовым шифрованием. 2023.

³ Apple. iMessage with PQ3: The new state of the art in quantum-secure messaging at scale. 2024.

⁴ Zoom. Zoom bolsters security offering with the inclusion of post-quantum end-to-end encryption in Zoom Workplace. 2024.

⁵ Google. Protecting Chrome Traffic with Hybrid Kyber KEM. 2023.

Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий

Бизнес-процессы организаций отрасли связи и телекоммуникаций* 16 кейсов**

Основные

Формирование рыночной стратегии и политики	Планирование портфеля продуктов и предложений	Разработка продуктов и предложений ²	Тарификация услуг и отдельных событий ³
Стратегия и планирование ресурсов ³	Строительство инфраструктурных объектов	Эксплуатация и обеспечение работы инфраструктуры ⁴	Стратегия и планирование цепочек поставок
Взаимоотношение с клиентами	Удержание клиентов и лояльность ¹	Биллинг и сбор платежей	Постпродажное обслуживание

Обеспечивающие

Управление качеством услуг ⁸	Анализ и прогнозирование спроса	Реклама и маркетинг	Управление клиентской базой
ИТ-обеспечение и связь ¹⁴	Управление заявками	Документооборот	Внедрение технологий
Административно-хозяйственный отдел	Техническое обслуживание и ремонт	Информационная безопасность ⁶	Исследования и разработки

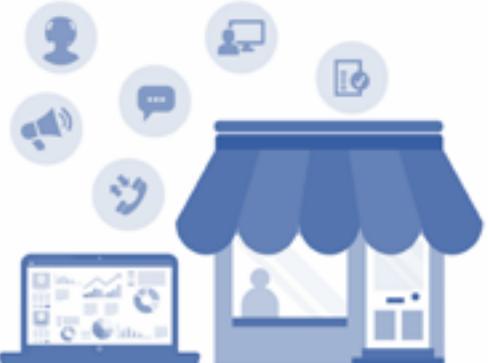
Управленческие

Стратегическое управление	Управление рисками ⁵	Управление маркетингом	Управление знаниями и исследованиями
Внутренний аудит	Управление финансами и активами	Развитие бизнеса	Управление персоналом
Управление качеством	Управление внешними связями		

* Подготовлены совместно с ПАО «МегаФон».

** В рамках одного решения могут быть отмечены несколько бизнес-процессов.

Общая характеристика отрасли ритейла и маркетплейсов



47,4 трлн руб. ¹
оборот розничной торговли в России в 2023 г.

7,9 трлн руб. ²
оборот розничной интернет-торговли в 2023 г.

+80 %.
темпы роста количества заказов

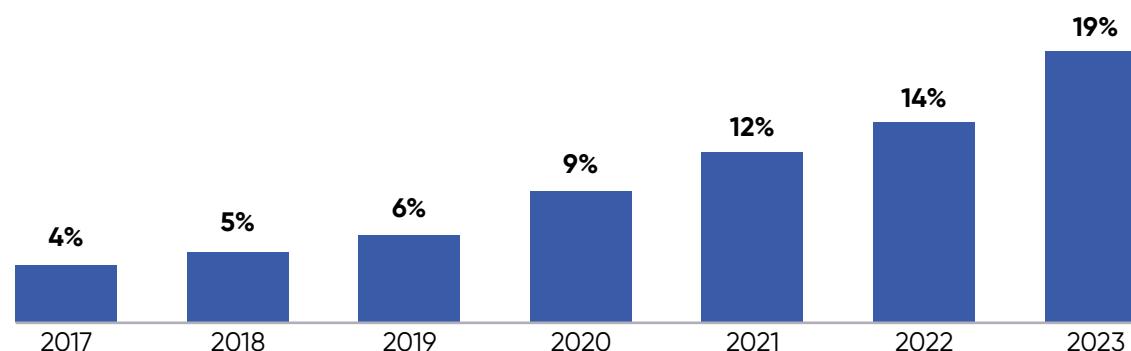
+48 %.
вырос объём рынка в рублях

По данным Росстата, оборот розничной торговли в России в 2023 г. составил 47,4 трлн рублей. При этом структура розничной торговли была сбалансирована практически поровну между продовольственными товарами, включая напитки и табачные изделия, и непродовольственными товарами.

Доля онлайн-продаж продолжает расти. На сегодняшний день около 84 % россиян покупают товары на маркетплейсах, причём 80 % россиян совершают покупки на маркетплейсах чаще 2–3 раз в месяц.

В 2023 г. объём рынка электронной коммерции в России составлял 7,8 трлн рублей, что на 49 % больше, чем в 2022 г. За год было сделано 5,1 млрд заказов.

Рост доли eCommerce от рынка ритейла, 2017–2023 гг. ²



Тренды развития отрасли ритейла и маркетплейсов

Тренд на оптимизацию затрат

Растёт популярность акционных предложений. Покупатели переключаются на более низкие ценовые и функциональные сегменты.

Искусственный интеллект и большие данные

Анализ больших массивов информации о продажах и потребительском поведении для выработки более эффективных стратегий.

Рост онлайн-продаж

За последние 8 лет доля продаж, осуществляемых через интернет, выросла почти в девять раз.

Рост популярности маркетплейсов

Маркетплейсы считаются наиболее экономичным и выгодным каналом покупок.

Усиление регулирования и кибербезопасности

Новые методы защиты от кибератак и мошенничества.

¹ Росстат. Основные экономические и социальные показатели. 2023 г. ² Data Insight. Маркетинговое исследование Интернет-торговля в России 2024.

Перспективные направления внедрения квантовых технологий в отрасли ритейла и маркетплейсов

Ритейл, как и многие другие отрасли, оперирует большими массивами данных. Ритейлеры собирают и анализируют платёжную информацию, данные потребительского поведения, инвентарного учёта и управления цепями поставок в логистике. Компании могут анализировать большие массивы пользовательской информации, чтобы отслеживать закономерности и тренды, персонализировать предложения и оптимизировать бизнес-процессы. Потенциально квантовые компьютеры могут существенно ускорить обработку данных, решать сложные алгоритмы и крупномасштабные задачи оптимизации, которые в настоящее время выходят за рамки классических вычислений.

В настоящее время пилотное внедрение квантовых технологий в сфере торговли в основном идёт в области оптимизации логистических цепочек и графиков доставки товаров, однако, по мнению британской компании Dunnhumby (мирового лидера в области анализа данных о покупателях), по мере совершенствования квантовых компьютеров произойдёт настоящая революция в области торговой логистики, целевой рекламы, организации торговых площадей и прогнозирования спроса^{1,2}.

С другой стороны, по мере цифровой трансформации отрасли розничной торговли расширяется и число векторов атак, доступных киберпреступникам. Все хранящиеся данные должны рассматриваться как стратегический актив компании. При этом очевидно, что такие данные являются и чрезвычайно ценной целью для киберпреступников, которые представляют огромный риск для бизнеса в случае атаки или попытки мошенничества. Это обуславливает всё возрастающий интерес к методам квантовой защиты информации.

до 25 % от общих затрат

компаний в отрасли ритейла составляют потери из-за неэффективности цепочки поставок³

40 % средний уровень колебания запасов

в цепочке поставок из-за перепроизводства³

11,1 % кибератак

в мире нацелены на ритейлеров⁴

Квантовые вычисления

Оптимизационные модели

- Расчёт оптимальной цены товара
- Оптимизация расположения торговых точек и складских помещений
- Оптимизация размещения товара в торговом зале
- Оптимизация загрузки складских помещений
- Маршрутизация цепочек поставки и доставки товаров
- Персонализированные цены и скидки

Модели машинного обучения

- Рекомендательные системы на основании спроса и предпочтений
- Кластеризация и анализ потребительских профилей
- Обнаружение мошеннических и нелегальных операций
- Ассистенты и чат-боты

Сценарное моделирование

- Оценка риска и доходности
- Анализ рынка
- Предсказание кризисов

Квантовая защита информации

- Безопасное хранение пользовательских данных
- Безопасная передача данных и транзакций

1 Dunnhumby. Demystifying quantum computing for commercial companies. 2021.

2 Quantum Zeitgeist. Quantum Computing in the Retail Industry. 2021.

3 Управление производством. Семь потерь в логистике и пути их устранения. 2023.

4 Contimod. Retail Cybersecurity Statistics. 2024.

Перспективные практики использования квантовых технологий в отрасли ритейла и маркетплейсов

Оптимизация логистических цепочек и графиков перевозок



Оптимальная логистика – это важный элемент успеха торговых компаний. Постоянное улучшение логистических процессов может привести к снижению издержек, увеличению эффективности и повышению уровня обслуживания. Оптимизация в логистике – это процедура совершенствования логистических операций и процессов с целью снижения временных и финансовых затрат и достижения максимально возможной эффективности работы. Сюда включается создание оптимальных способов управления поставками, хранения и транспортировки товаров, чтобы достичь одновременно и баланса между уровнем клиентского обслуживания, и экономии ресурсов. Подобные задачи наилучшим образом решаются методами квантовой оптимизации.

Примеры:



Японский стартап **Groovenauts** ещё в 2019 г. выпустил на рынок программный пакет, оптимизирующий логистические цепочки и графики работы персонала для крупных сетевых ритейлеров. В пакете применён квантово-классический подход с использованием канадского вычислителя D-Wave ¹.



Крупный канадский ритейлер **The Pattison Food Group** с помощью вычислителя D-Wave оптимизирует маршруты и расписание внутренней логистики для торговой сети, состоящей примерно из 100 супермаркетов. Ранее маршруты и график доставки составлялись диспетчерами вручную, это занимало около 80 человеко-часов в неделю. После внедрения квантовой оптимизации загрузку диспетчеров удалось сократить на 80 % – до 15 человеко-часов ².



Компании **BMW и Toyota** провели эксперименты по оптимизации системы закупок с помощью квантового компьютера: было продемонстрировано определение маршрута закупок и поставок производственных компонентов с наименьшими расходами на распространение из миллионов потенциальных вариантов закупки деталей у сотен поставщиков и их доставки через несколько транзитных складов на десятки заводов. Применение квантового вычислителя позволило рассчитать оптимальный маршрут в течение 30 минут и снизило транспортные затраты примерно на 2–5 % по сравнению с традиционными решениями ³.

¹ Groovenauts. Groovenauts to Release World's First Business Service Powered with Quantum Computing Technology. 2019.

² D-Wave. QUANTUM IN PRODUCTION: OPTIMIZING E-COMMERCE LOGISTICS. 2023

³ CNET. BMW takes first steps into the quantum computing revolution. 2022.

Квантовая защита для электронной коммерции



Интерес к электронной коммерции растёт и продолжает расти. Для компаний важно доверие пользователя к электронным сделкам, поэтому особое внимание уделяется безопасности и защите электронных транзакций. В перспективе благодаря квантовым методам можно будет построить схему, которая позволит защищать весь процесс электронной торговли, в том числе подписание контрактов и совершение платежей, при помощи квантовых электронных подписей. Несмотря на высокий интерес к данному направлению, практические работы здесь только начинаются. Основной проблемой в уже существующих квантовых системах является медленная скорость процесса подписания, что осложняет масштабирование на большое количество пользователей.

Примеры:



Первый экспериментальный протокол квантовой защиты транзакций разработан в **Нанкинском университете в КНР**. Он построен на базе квантово-математического принципа, который позволяет генерировать очень длинные цифровые подписи, используя относительно короткий квантовый аналог классического «одноразового» ключа шифрования. Этот принцип позволяет обойти сразу несколько проблем, характерных для уже существующих квантовых подходов для генерации цифровых подписей, в том числе медленную скорость работы, а также высокую подверженность помехам и уязвимость к атакам, эксплуатирующим физические особенности и огрехи в работе генерирующих подписи квантовых устройств ¹.



Mastercard тестирует технологию квантового распределения ключей для защиты транзакций. Целью проекта Quantum Security and Communications является выявление архитектурных требований к системам квантового распределения ключа при их использовании в распределённых сетях со множеством подключённых устройств, а также проверка безопасности технологии и её совместимости с существующими телекоммуникационными линиями. Участниками проекта стали **Toshiba** и **ID Quantique** – разработчики систем квантовой криптографии, а также две телекоммуникационные компании – партнёры Mastercard ².

¹ Science Advances. Experimental quantum e-commerce. 2024.

² CIO. Mastercard preps for the post-quantum cybersecurity threat. 2023.

Бизнес-процессы, для которых возможно применение решений на базе квантовых технологий

Бизнес-процессы организаций отрасли ритейла 10 кейсов*

Основные



Обеспечивающие



Управленческие



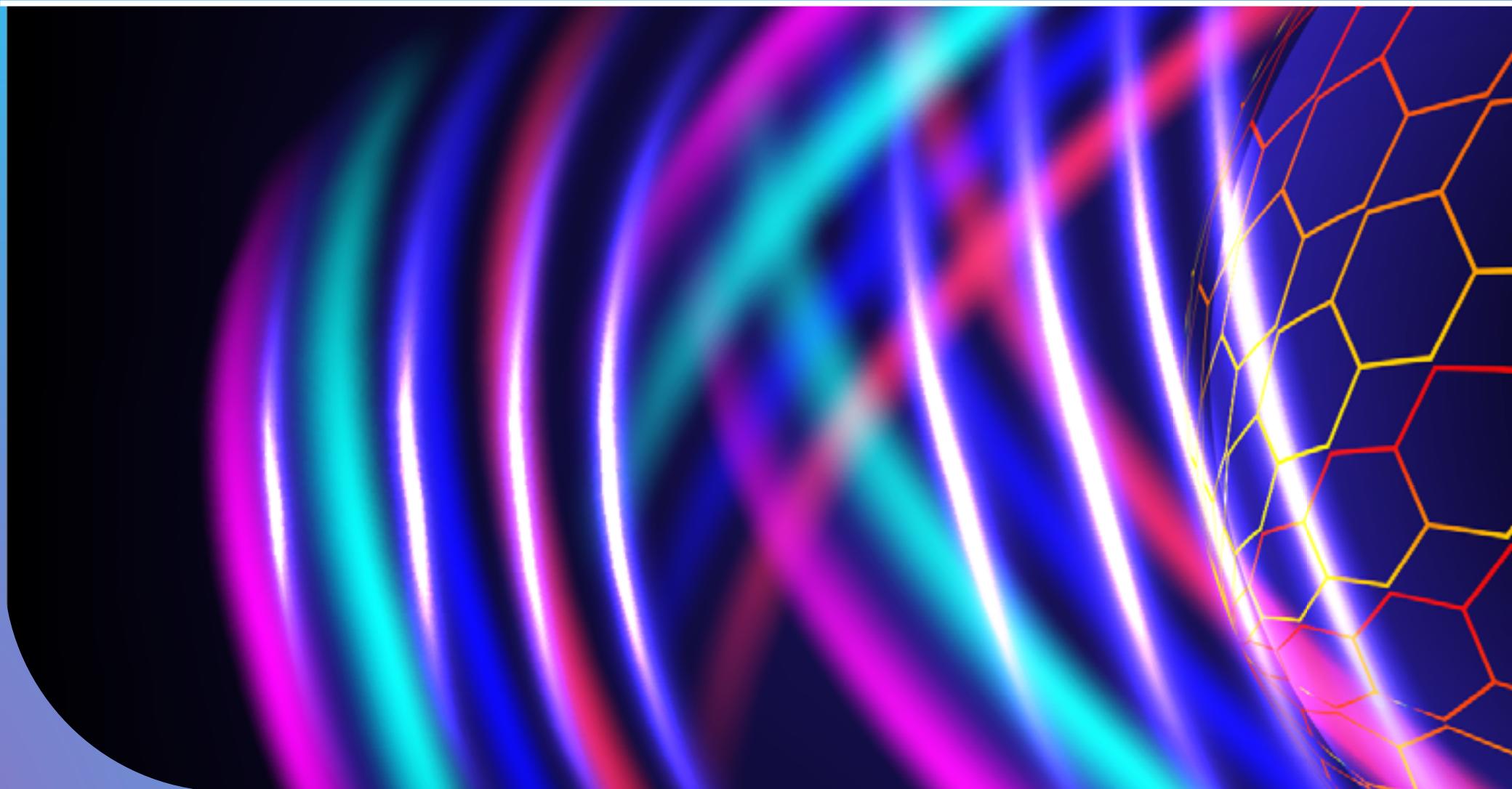
* В рамках одного решения могут быть отмечены несколько бизнес-процессов.

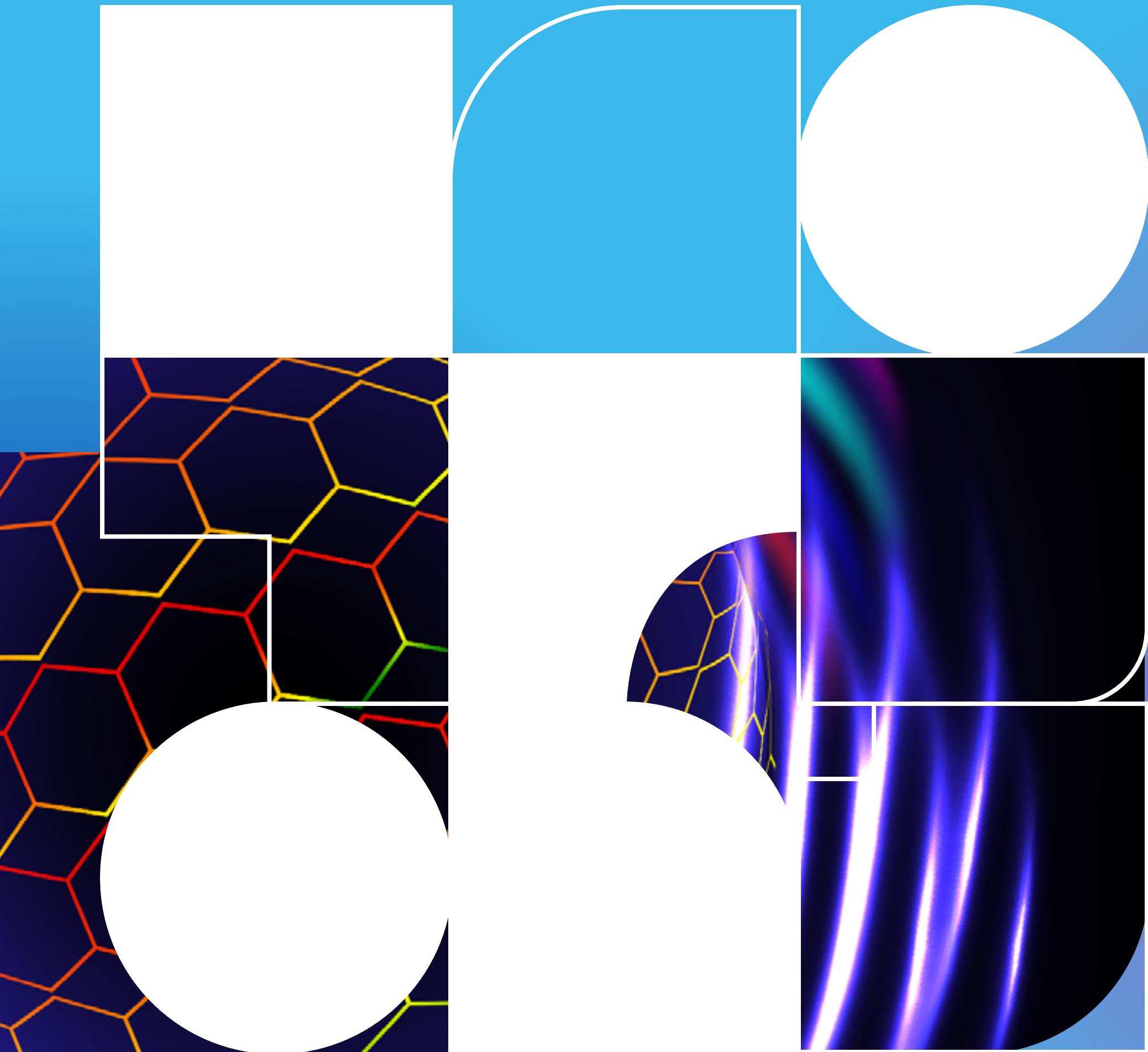
4. Перспективные сценарии использования квантовых технологий российскими компаниями

4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

4.2. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в ритейле

4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации





Программные эмуляторы квантовых компьютеров

«Цифровые двойники» квантовых компьютеров, способные воспроизводить поведение квантового компьютера до некоторого масштаба на традиционных вычислительных архитектурах. Эмуляторы позволяют провести апробацию квантовых вычислений на модельных задачах

без доступа к квантовому компьютеру. Разработанные и протестированные на эмуляторах квантовые алгоритмы можно наследовать на квантовые компьютеры.

Категории эмуляторов	Эмуляторы гейтовых квантовых компьютеров	Эмуляторы квантового отжига
Используемые вычислительные архитектуры		
CPU ¹	✓ УГТ 6-8	✓ УГТ 7-9
GPU ²		✓ УГТ 7-9
FPGA (аппаратно-ускоренные эмуляторы) ³	✓ УГТ 2-3	✓ УГТ 2-3
Наличие отечественных решений и модели доступа		
Облачный доступ (On-Cloud) ⁴	✓	✓
Поставка в периметр (On-Prem)	✓	✓

Модель типового научно-исследовательского проекта по квантовым вычислениям с применением программного эмулятора квантового компьютера

		До начала работ	1-й месяц	2-й месяц	3-й месяц	4-й месяц	5-й месяц	6-й месяц
Контрольные точки проекта		Контрактование	Старт проекта					Окончание проекта
1	Разработка квантового приложения	Выбор модельной задачи	Проектирование квантового алгоритма для решения модельной задачи		Разработка квантового приложения		Тестирование квантового приложения и анализ вычислительного преимущества	
2	Доступ к облачной платформе квантовых вычислений		Предоставление доступа	Самостоятельная работа Заказчика с платформой				Подготовка протокола испытаний

¹ CPU (Central Processing Unit) – процессор

³ FPGA (Field Programmable Gate Array) – специализированная микросхема

² GPU (Graphics Processing Unit) – графический процессор

⁴ Доступ через облачные платформы квантовых вычислений

При упрощении модельной задачи ускорение процесса принятия решений на всех Сторонах можно сократить до 1–2 месяцев

Модели доступа к квантовым вычислительным ресурсам в России до 2030 г.

Вычислительные ресурсы	Квантовые компьютеры на различных архитектурах (программно-аппаратный комплекс)		Программные эмуляторы квантовых компьютеров (программное обеспечение)	
	Облачный доступ (On-Cloud) ¹	Поставка в периметр (On-Prem)	Облачный доступ (On-Cloud) ¹	Поставка в периметр (On-Prem)
Микропредприятие	✓	-	✓	-
Малое предприятие	✓	-	✓	-
Среднее предприятие	✓	-	✓	✓
Крупное предприятие	✓	✓	✓	✓
Образовательное учреждение	✓	✓	✓ ²	✓

Облачный доступ к программным эмуляторам квантовых вычислений в зависимости от модели дистрибуции:

Коммерциализация

Продажа вычислительного времени

пример:
20 часов расчётов

Тарификация

Ограниченное количество вычислительных часов в единицу времени

пример:
10 часов на 1 месяц

Лицензия

Простая (неисключительная) лицензия без права модификации

¹ Доступ через облачные платформы квантовых вычислений

² Доступ через образовательные платформы квантового программирования

Сравнение квантовых и классических вычислений

Критерии сравнения	Классическое вычислительное ПО Например: Gurobi, CPLEX, opensource solvers (Vroom и Jsprit)	Программные эмуляторы квантовых компьютеров Например: Pyqopt, Neal, Pennylane, SimCIM	Квантовые компьютеры Например, отечественные квантовые компьютеры, развиваемые в рамках дорожной карты и при координации ГК «Росатом» ¹
Стоимость решений			
Вычислительные архитектуры	Традиционные (CPU или GPU)	Традиционные (CPU или GPU)	Квантовые (ионы, атомы...)
Необходимость наличия специализированных компетенций по квантовым вычислениям	Нет	Да	Да
Стоимость и сложность разработки алгоритма	Средняя	Средняя * 1,5	Средняя * 1,5
Стоимость и сложность программной реализации алгоритма	Средняя	Средняя	Средняя
Возможность применения технологий «сегодня» (УГТ 7 и более)	Да	Да	Нет
Требуемое количество часов машинного времени (модель поставки On-Cloud)	Среднее	Среднее	Среднее – 20 %
Возможность использования в вычислительном периметре компании-клиента (модель поставки On-Prem)	Да	Да	Не представляется возможным в горизонте 10 лет ²
Сложность перехода на технологию			
Вычислительные архитектуры	Традиционные (CPU или GPU)	Традиционные (CPU или GPU)	Квантовые (ионы, атомы...)
Возможность удалённого доступа (модель поставки On-Cloud)	Да	Да	Да
Возможность поставки в периметр бизнес-клиента (модель поставки On-Cloud)	Да	Да	Нет ²
Энергоэффективность	Сопоставимо с традиционными вычислительными решениями	Сопоставимо с традиционными вычислительными решениями	Может быть эффективнее традиционных вычислительных решений после 2030 г.
Сложность перехода на технологию	Сопоставимо с традиционными вычислительными решениями	Сложнее чем традиционные вычислительные решения. Требуется новая экспертиза по работе с квантово-вдохновлёнными алгоритмами и квантовыми процессорами	

¹ На текущий момент не могут решать задачи индустриальной размерности. Прогнозируется значительное увеличение мощности к 2030 г.

² Высокая стоимость конечного решения и сложность технической поддержки.

Оценка «квантовой зрелости» компаний

Критерии	Уровень «квантовой зрелости» компании		
	1 этап Подготовительный	2 этап Апробация	3 этап «Квантово-зрелая» компания
Наличие стратегии по квантовым и смежным технологиям	Нет, инициация проекта	Нет, иницированы и реализуются первые проекты вне общей концепции, включая НИР, ОКР, пилотные внедрения	Да, сформирована и уже реализуется программа проектов по профильным квантовым и смежным технологиям
Самостоятельная апробация программных и программно-аппаратных продуктов по квантовым и смежным технологиям	Нет, анализ решений на рынке, выбор поставщика решений	Да, протестировано несколько решений	Да, решения внедрены в промышленную эксплуатацию, где это позволяет их УГТ и регуляторика
Повышение компетенций по квантовым и смежным технологиям	Нет, планируется проведение первых образовательных программ, выбор поставщика услуг	Да, проведены первые образовательные мероприятия для сотрудников	Да, образовательные программы по квантовым и смежным технологиям включены в программы корпоративных университетов. Часть модулей программы читают сотрудники компании
Наличие внутренних компетенций	Нет	Да, появились несколько сотрудников с профильными компетенциями	Да, сформирован внутренний проектный офис, и запущена его работа. Выделены профильные сотрудники в блоке «Инновации и RnD»
Установлены партнёрства с профильными научно-техническими компаниями	Нет, выбор первых партнёров	Да, появилась первая компания-партнёр, и начата работа	Да, ведётся системная работа в рамках программы проектов, включая сотрудничество с университетами и вендорами

Сравнение квантовой и постквантовой криптографии

Критерии	Квантовая криптография	Постквантовая криптография
Область применения	Распределение симметричного ключа	<ul style="list-style-type: none"> Асимметричное шифрование Схемы цифровой подписи Механизмы инкапсуляции ключа
Безопасность	Основана на законах квантовой механики (теорема о запрете клонирования)	Основана на математических предположениях, проверенных временем
Реализация	Аппаратно-программная	Программная, но может быть ускорена аппаратно
Стоимость	Высокая цена обусловлена использованием специализированного оборудования, а также мелкими партиями производства (Q4 2024)	Невысокая, так как основные решения являются программными
Сертификация	РФ: ТК26, ТК194, временные требования к СКЗИ класса ККС ВПК (ФСБ России). Мир: ETSI, ISO, ITU-T	РФ: Технический комитет ТК26 Росстандарта МИП: NIST, CACR и прочие
Коммуникация	В основном используются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). На данный момент соединение между двумя точками ограничено 120 км при использовании оптоволоконных линий связи и практически не ограничено при использовании атмосферных оптических линий связи (АОЛС)	Может использоваться в любых цифровых типах коммуникации (беспроводные сети, оптические каналы и т. д.) и на любом расстоянии

Международный опыт. Кейсы: решение и заказчик



Квантовые вычисления



Финансы

Прогнозирование стоимости
финансовых активов

J.P. Morgan



Оптимизация
трансграничных расчётов

Mastercard



Оценка стоимости
опционов

Goldman Sachs



Моделирование поведения
рынка криптовалют

Банк Канады



Ритейл и маркетплейсы

Оптимизация сети

China Mobile



Связь и телекоммуникации

Подготовка клиентов к эпохе
квантовых вычислений

Amazon



Квантовые коммуникации

Квантовое
распределение ключей

J.P. Morgan



Квантовое
распределение ключей

SK Telecom



Алмазы для квантовых
коммуникаций

Amazon



Квантовое
распределение ключей

British Telecommunications



Квантовое распределение
ключей телекоммуни-
кационной сети

Verizon



Квантовое распределение
ключей на спутниках

SES



Постквантовая криптография

Квантово-устойчивые
криптографические
алгоритмы
для подписи и шифрования
электронных писем

**Банк Франции и Валютное управление
Сингапура**



Криптографический протокол
PQ3 для мессенджера
iMessage

Apple



Критерии отбора кейсов

1

Применение квантовых технологий в решении указанных задач может потенциально обеспечить большую эффективность по сравнению с существующими методами

2

Сценарии направлены на решение реальной бизнес-задачи в исследуемых отраслях экономики

3

Сценарии содержат данные об измеримых эффектах от внедрения квантовых технологий. Эффекты сценариев с применением квантовых вычислений определены референтным подходом в сравнении с традиционными вычислениями

4

В сценариях указаны сроки внедрения решения и ориентировочная стоимость

5

Технология должна быть независимой от зарубежных разработок и компонентов, чтобы обеспечить стабильность и возможность для дальнейшего развития



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Оптимизация инвестиционного портфеля

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Управление и оптимизация финансового портфеля Операции с драгоценными металлами Осуществление срочных сделок Стратегическое управление Управление финансами и активами 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>7</p> <p>Прототип подтверждён в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–5 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>		
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Высокая динамичность финансовых рынков и многослойные зависимости между активами требуют возможности анализа больших объёмов данных и выявления скрытых взаимосвязей, а также разработки более точных и эффективных стратегий распределения активов.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оптимизации инвестиционного портфеля способен анализировать большие объёмы данных и учитывать сложные взаимосвязи между различными факторами, что делает их особенно эффективными для задач, связанных с оптимизацией финансовых и инвестиционных портфелей.</p> <p>Такой алгоритм позволит находить более эффективные стратегии распределения активов, что может привести к повышению доходности при минимизации рисков.</p>				
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Инвестиционные фонды 							
<p>эффекты</p> <p>Доходность портфеля по показателю прибыли до 25 %</p>			<p>Доходность портфеля по показателю падения стоимости до 15 %</p>		<p>Выбор наиболее выгодного состава инвестиционного портфеля</p>		



Оптимизация кластеризации акций

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Управление и оптимизация финансового портфеля Операции с драгоценными металлами Осуществление срочных сделок Стратегическое управление Управление финансами и активами 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–5 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>		
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>В условиях высокой динамики рынка необходим быстрый инструмент кластеризации акций, способный оперативно реагировать на изменения параметров и обеспечивать предварительный отбор акций или других активов, повышая точность и адаптивность анализа</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм кластеризации акций выбирает один ключевой показатель (волатильность, прибыльность, максимальная просадка и др.) и проводит кластеризацию для поиска наиболее оптимизированного портфеля.</p> <p>Алгоритм может значительно сократить время вычислений, обеспечивая экспоненциальное ускорение поиска благодаря способности обрабатывать множество данных параллельно.</p>				
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Инвестиционные фонды 							
<p>эффекты</p> <p>Ускорение предварительного анализа акций до 20 %</p>			<p>Оптимизация инвестиционного портфеля</p>		<p>Выбор наиболее выгодного состава инвестиционного портфеля</p>		



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Выбор признаков для кредитного скоринга

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Кредитный скоринг • Управление клиентской базой • Оценка риска • Выявление мошенничества • Бизнес-планирование 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3</p> <p>млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>5–6</p> <p>млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1</p> <p>месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>В процессе кредитного скоринга возникает необходимость повысить точность и надёжность оценки за счёт выделения наиболее значимых и слабо коррелированных признаков, таких как кредитная история, платёжеспособность, финансовое положение, история взаимодействия с банком и личные характеристики.</p> <p>Доступные методы не всегда позволяют выявить скрытые и неочевидные факторы, что создаёт потребность в более продвинутом инструменте для анализа и отбора признаков.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм выбора признаков для кредитного скоринга может обрабатывать огромные массивы данных за считанные минуты, что позволяет значительно сократить время на анализ и принятие решений по кредитам. Это особенно важно в условиях растущего объёма информации о заёмщиках и их финансовом поведении.</p> <p>Алгоритм может быстрее находить наиболее значимые параметры, которые влияют на вероятность дефолта заёмщика.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Банковские организации • Лизинговые компании 						
<p>эффекты</p>						
<p>Ускорение выбора признаков скоринга до 5 %</p>			<p>Снижение потерь от выдачи кредитов</p>			



Оптимизация кредитного скоринга компаний

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Кредитный скоринг • Управление клиентской базой • Оценка риска • Выявление мошенничества • Бизнес-планирование 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3</p> <p>млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>5–6</p> <p>млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1</p> <p>месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Ускорение анализа данных и повышение точности прогнозирования становятся критически важными в условиях работы с масштабными данными.</p> <p>Финансовым организациям необходимо эффективно обрабатывать большие объёмы данных при оценке кредитоспособности компаний, чтобы минимизировать риски ошибок.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм прогнозирования кредитоспособности помогает анализировать финансовые данные компаний и предсказывать вероятность своевременного возврата кредита.</p> <p>Используя квантовые вычисления, алгоритм одновременно обрабатывает большие массивы данных о финансовых показателях, истории кредитов и других важных факторах, что позволяет повысить точность оценки кредитного риска, уменьшить вероятность невозвратов и укрепить устойчивость кредитного портфеля.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Банковские организации • Лизинговые компании 						
<p>эффекты</p>						
<p>Ускорение выбора компаний до 5 %</p>			<p>Ускорение поиска проблемных заёмщиков до 5 %</p>			



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Прогнозирование цены опциона

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Управление и оптимизация финансового портфеля Операции с драгоценными металлами Осуществление срочных сделок Стратегическое управление Управление финансами и активами 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>4</p> <p>Концепция подтверждена в лабораторных условиях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1,5–3 млн руб. Лицензия</td> <td>5–6 млн руб. НИОКР</td> </tr> </table>	1,5–3 млн руб. Лицензия	5–6 млн руб. НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц Лицензия</td> <td>3–4 месяца НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц Лицензия	3–4 месяца НИОКР	
1,5–3 млн руб. Лицензия	5–6 млн руб. НИОКР								
1 месяц Лицензия	3–4 месяца НИОКР								
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Прогнозирование цен опционов связано с множеством вызовов, включая неопределённость, высокую волатильность и ограниченную доступность данных. Эти факторы затрудняют построение точных оценочных моделей и усложняют процесс принятия решений в условиях нестабильности рынка, создавая потребность в новых подходах к обработке данных и повышении точности прогнозов.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм прогнозирования цены опциона может эффективно моделировать волатильность базового актива, что является ключевым фактором в оценке опционов. Это может быть достигнуто через использование квантовых методов для анализа временных рядов данных о ценах. Также традиционные модели имеют свои ограничения в точности прогнозирования, которые данный алгоритм может преодолеть за счёт более сложного анализа данных и учёта большего числа переменных.</p>						
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Биржевые и инвестиционные фонды 									
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Ускорение выбора цены опциона на 5 %</td> <td>Повышение скорости прогнозирования на 5 %</td> </tr> </table>						Ускорение выбора цены опциона на 5 %	Повышение скорости прогнозирования на 5 %		
Ускорение выбора цены опциона на 5 %	Повышение скорости прогнозирования на 5 %								



Оптимизация прогнозирования экономических циклов и трендов

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Управление и оптимизация финансового портфеля Моделирование поведения рынка Стратегическое управление Управление финансами и активами Бизнес-планирование 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1,5–3 млн руб. Лицензия</td> <td>6–10 млн руб. НИОКР</td> </tr> </table>	1,5–3 млн руб. Лицензия	6–10 млн руб. НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц Лицензия</td> <td>5–8 месяцев НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц Лицензия	5–8 месяцев НИОКР	
1,5–3 млн руб. Лицензия	6–10 млн руб. НИОКР								
1 месяц Лицензия	5–8 месяцев НИОКР								
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Прогнозирование цен и валютных курсов часто строится на анализе временных данных, где исследуются циклы и тренды, чтобы предсказать изменения. Однако такие методы лучше справляются со стабильными и предсказуемыми данными. В условиях высокой волатильности и частых изменений их эффективность снижается. Это подчёркивает необходимость использования инструментов, способных учитывать сложность и динамику экономической среды для более точных и адаптивных прогнозов.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оптимизации прогнозирования экономических циклов и трендов может быть использован для решения проблемы прогнозирования цен и валютных курсов в условиях высокой волатильности. Он способен эффективно обрабатывать большие объёмы временных данных и учитывать сложные зависимости, включая случайности и неопределённости, характерные для финансовых рынков. Благодаря этому такие алгоритмы обеспечивают более точное выявление циклов и трендов даже при нестабильных данных, что позволяет принимать обоснованные решения в реальном времени и лучше адаптироваться к динамичной экономической среде.</p>						
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Операторы платёжных систем 									
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Снижение потерь инвестиционного портфеля до 5 %</td> <td>Получение конкурентного преимущества</td> <td>Снижение затрат на вычислительные ресурсы</td> </tr> </table>						Снижение потерь инвестиционного портфеля до 5 %	Получение конкурентного преимущества	Снижение затрат на вычислительные ресурсы	
Снижение потерь инвестиционного портфеля до 5 %	Получение конкурентного преимущества	Снижение затрат на вычислительные ресурсы							



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Оптимизация финансового моделирования

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Управление и оптимизация финансового портфеля Моделирование поведения рынка Стратегическое управление Управление финансами и активами Бизнес-планирование 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–5 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>В финансовом моделировании стохастические дифференциальные уравнения описывают изменение цен активов с учётом случайных факторов, но сложность точного построения таких моделей может приводить к ошибкам и затруднениям в анализе.</p> <p>Кроме того, эффективная работа с большими объёмами данных требует более мощных вычислительных ресурсов, что ограничивает скорость и точность анализа.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм решения дифференциальных уравнений в финансах позволяет проводить более сложные симуляции для оценки рисков, что может привести к более точным прогнозам финансовых кризисов и других экономических явлений.</p> <p>Также алгоритм может использоваться для нахождения оптимальных комбинаций активов в портфеле при заданных ограничениях на риск и доходность.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Страховые организации Биржевые и инвестиционные фонды 						
<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="131 970 780 1075" style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px;">Ускорение финансового моделирования на 5 %</div> <div data-bbox="796 970 1444 1075" style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px;">Повышение прибыльности финансовых операций на 5 %</div> </div>						



Оценка возможности банкротства финансовой организации

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Стратегическое управление Внутренний аудит и контроль Оценка риска Управление финансами и активами 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>6–10 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Оценка возможности банкротства организации требует применения различных моделей и подходов для получения более точной информации о финансовой устойчивости организации.</p> <p>Для снижения риска банкротства целесообразно иметь инструмент анализа финансовой устойчивости организации к банкротству.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оценки возможности банкротства сетевой финансовой организации может обрабатывать большие объёмы финансовых данных быстрее и эффективнее, чем классические методы, что позволяет анализировать более сложные модели и учитывать большее количество факторов (доли владения, обязательные резервы и др.), влияющих на вероятность банкротства.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Страховые организации Биржевые и инвестиционные фонды 						
<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="131 2002 780 2106" style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px;">Эффективность предварительного анализа устойчивости к банкротству – 5 %</div> <div data-bbox="796 2002 1444 2106" style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px;">Повышение устойчивости к банкротству</div> </div>						



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Саммаризация нормативных документов

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Документооборот Юридическое сопровождение 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>4</p> <p>Концепция подтверждена в лабораторных условиях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1,5–3 млн руб.</td> <td>6–7 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1,5–3 млн руб.	6–7 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>4–5 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	4–5 месяцев	Лицензия	НИОКР	
1,5–3 млн руб.	6–7 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	4–5 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>У компаний существует потребность в оперативной обработке и анализе нормативных документов для соблюдения стандартов и требований законодательства.</p> <p>Отсутствие соответствующих вычислительных ресурсов приводит к увеличению трудоёмкости на обработку информации.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм ускорения обучения и работы больших языковых моделей позволяет эффективнее обучать модель на текстах нормативных документов и быстрее получать саммари для поиска.</p> <p>Применение квантовых вычислений сокращает время обучения и позволяет модели быстрее генерировать релевантные и точные ответы, что помогает улучшить качество поиска и минимизировать временные затраты при обработке запросов в поисковой системе.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Страховые организации Операторы платёжных систем 	<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Ускорение саммаризации текстов на 20 %</td> <td>Ускорение поиска документов на 30 %</td> </tr> </table>					Ускорение саммаризации текстов на 20 %	Ускорение поиска документов на 30 %						
Ускорение саммаризации текстов на 20 %	Ускорение поиска документов на 30 %												



Защита удостоверяющего центра

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Обеспечение информационной безопасности ИТ-обеспечение и связь Оценка риска Выявление мошенничества Обслуживание и ведение банковских счетов 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–5 млн руб.</td> <td>10–15 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–5 млн руб.	10–15 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>4–8 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	4–8 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–5 млн руб.	10–15 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	4–8 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>Удостоверяющий центр организации является ключевым звеном, на котором строится доверие как внутри компании, так и у внешних партнёров.</p> <p>Угроза его компрометации с применением квантовых технологий создаёт новые риски, так как стандартные методы защиты могут оказаться недостаточными.</p> <p>Это повышает необходимость поиска новых решений для защиты критически важной информации и предотвращения финансовых и репутационных потерь.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-устойчивый удостоверяющий центр с поддержкой отечественных постквантовых алгоритмов в инфраструктуре открытых ключей поможет крупным финансовым организациям снизить до минимума успешность атак с применением квантовых компьютеров, минимизировать риск утечки информации и увеличить скорость реагирования на атаку.</p> <p>Стойкость постквантовой криптографии обоснована её основами, которые включают сложные математические задачи, защищённые от квантовых вычислений, а также использование принципов квантовой физики для повышения безопасности передачи данных.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Страховые организации Финансово-аналитические агентства 	<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</td> <td>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</td> </tr> </table>					Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %						
Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %												



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Увеличение точности кредитного скоринга

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Кредитный скоринг • Управление клиентской базой • Оценка риска • Бизнес-планирование 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–5 млн руб.</td> <td>10–15 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–5 млн руб.	10–15 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>4–8 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	4–8 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–5 млн руб.	10–15 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	4–8 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>Ограниченный доступ к данным о клиентах и финансовом рынке усложняет усовершенствование скоринговых моделей.</p> <p>Недостаток информации о поведении клиентов, их финансовом положении и кредитной истории затрудняет разработку более точных алгоритмов для прогнозирования кредитных рисков, снижая обоснованность решений в кредитовании.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-устойчивые конфиденциальные вычисления позволят получить результат скоринговой модели, эквивалентный по точности модели, построенной на объединённых данных всех участников.</p> <p>При этом фактической передачи данных производится не будет, что позволит удешевить и упростить процесс взаимодействия различных владельцев данных о клиентах банка и повысить эффективность процедуры кредитного скоринга.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Банковские организации • Кредитные бюро • Операторы платёжной системы 													
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение точности предсказания риска дефолта до 30 %</td> <td>Увеличение качества кредитного скоринга</td> </tr> </table>						Повышение точности предсказания риска дефолта до 30 %	Увеличение качества кредитного скоринга						
Повышение точности предсказания риска дефолта до 30 %	Увеличение качества кредитного скоринга												



Прогнозирование финансовых рисков

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Обеспечение информационной безопасности • ИТ-обеспечение и связь • Оценка риска • Бизнес-планирование 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации, квантовые сенсоры</p>	<p>УГТ</p> <p>8</p> <p>Технология подтверждена и опробована на испытаниях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>от 5 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>ПАК</td> </tr> </table>	от 5 млн руб.	ПАК	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>2–4 месяца</td> </tr> <tr> <td>ПАК</td> </tr> </table>	2–4 месяца	ПАК	
от 5 млн руб.									
ПАК									
2–4 месяца									
ПАК									
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуРЭйт»</p>	<p>проблема</p> <p>В финансовом секторе для точного прогнозирования рисков важно учитывать множество случайных факторов.</p> <p>Однако алгоритмы генерации псевдослучайных чисел могут вносить скрытые зависимости, что искажает моделируемые сценарии и снижает достоверность оценок.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый генератор случайных чисел (КГСЧ) позволяет получать длинные и абсолютно случайные последовательности чисел. Такой генератор использует квантовые эффекты, которые невозможно предсказать или подделать.</p> <p>Моделирование методом Монте-Карло с применением КГСЧ позволит наиболее точно прогнозировать финансовые и страховые риски.</p>						
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Банковские организации • Страховые организации • Финансово-аналитические агентства 									
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Улучшение качества финансовых моделей</td> <td>Увеличение количества прогнозируемых рисков</td> </tr> </table>						Улучшение качества финансовых моделей	Увеличение количества прогнозируемых рисков		
Улучшение качества финансовых моделей	Увеличение количества прогнозируемых рисков								



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Защита облачного хранилища

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Обеспечение информационной безопасности ИТ-обеспечение и связь Обслуживание и ведение банковских счетов Управление и оптимизация финансового портфеля 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>8</p> <p>Технология подтверждена и опробована на испытаниях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>от 40 млн руб.</p> <p>ПАК</p>	<p>срок внедрения</p> <p>от 6 месяцев</p> <p>ПАК</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуРэйт»</p>	<p>проблема</p> <p>Высокий уровень рисков утечки данных и недостаточная защита облачных хранилищ могут привести к компрометации данных, что влечёт за собой серьёзные финансовые и репутационные риски.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовая защита облачного хранилища посредством применения технологии квантового распределения ключа позволит избежать утечек при передаче данных между дата-центрами.</p>		
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Организации, хранящие и обрабатывающие личные данные 					
<p>эффекты</p>					
<p>Повышение уровня доверия</p>		<p>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</p>		<p>Оптимизация защитных мер</p>	



Снижение риска подделки транзакций в инфраструктуре цифрового рубля

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Обеспечение информационной безопасности ИТ-обеспечение и связь Оценка риска Выявление мошенничества 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–5 млн руб.</td> <td>10–20 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–5 млн руб.	10–20 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>5–10 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	5–10 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–5 млн руб.	10–20 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	5–10 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>В модели цифрового рубля блокчейн и электронная цифровая подпись (ЭЦП) обеспечивают авторизацию и целостность транзакций. Однако ЭЦП уязвима перед квантовой угрозой, создавая риск подделки транзакций.</p>		<p>решение</p> <p>Организационные и технические меры, направленные на перевод инфраструктуры цифрового рубля на квантово-устойчивые механизмы поддержания конфиденциальности и целостности данной системы. Использование технологий, устойчивых к квантовым атакам, повысит безопасность цифрового рубля.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банк России Банковские организации 													
<p>эффекты</p>													
<p>Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</p>		<p>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</p>											



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Защита корня доверия для мобильных устройств

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Обеспечение информационной безопасности ИТ-обеспечение и связь Оценка риска Выявление мошенничества 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>4</p> <p>Концепция подтверждена в лабораторных условиях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–6 млн руб.</td> <td>35–40 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–6 млн руб.	35–40 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>8–12 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	8–12 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–6 млн руб.	35–40 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	8–12 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>Для создания отечественного аппаратного корня доверия в формате SIM-карт и eSIM используются асимметричные криптографические схемы.</p> <p>Однако такие алгоритмы могут быть уязвимы перед квантовыми угрозами, что создаёт риск безопасности для устройств доверенной среды.</p>		<p>решение</p> <p>Отечественный квантово-устойчивый аппаратный корень доверия на базе имеющейся архитектуры, но с внедрением постквантовых алгоритмов в качестве механизмов ЭЦП (электронной цифровой подписи) и распределения ключей исключает риск взлома идентификации и аутентификации (включая биометрические) пользователей современных мобильных устройств и их приложений.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Операторы платёжных систем Операторы биометрических данных 													
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</td> <td>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</td> </tr> </table>						Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %						
Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %												



Защита процессинга транзакций эмитент – эквайер

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Обеспечение информационной безопасности ИТ-обеспечение и связь Расчётное обслуживание Обслуживание и ведение банковских счетов 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>4</p> <p>Концепция подтверждена в лабораторных условиях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>5–10 млн руб.</td> <td>25–35 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	5–10 млн руб.	25–35 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>12–18 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	12–18 месяцев	Лицензия	НИОКР	
5–10 млн руб.	25–35 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	12–18 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>Современные платёжные системы и терминалы активно используют электронную подпись для аутентификации платёжных средств, авторизации транзакций и проведения клиринговых операций.</p> <p>Однако текущие алгоритмы электронной подписи уязвимы для атак с применением квантовых компьютеров, что может поставить под угрозу безопасность платёжных систем.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-устойчивый процессинг транзакций Эмитент – Эквайер позволит сохранить возможность осуществлять электронные платежи привычным способом в условиях существования квантовых компьютеров.</p> <p>Потенциальные злоумышленники с доступом к квантовому компьютеру не смогут производить широкий спектр атак, начиная от подделки отдельных транзакций, платёжных средств или терминалов, заканчивая атаками на клиринговые подсистемы.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Операторы платёжных систем 													
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</td> <td>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</td> </tr> </table>						Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %						
Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %												



4.1. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в финансовом секторе

Защита систем дистанционного банковского обслуживания

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Обеспечение информационной безопасности Внутренний аудит и контроль Оценка риска Выявление мошенничества Учёт, налогообложение и отчётность 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>8</p> <p>Технология подтверждена и опробована на испытаниях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–6 млн руб.</td> <td>8–12 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–6 млн руб.	8–12 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>3–6 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	3–6 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–6 млн руб.	8–12 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	3–6 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>Холдинговые компании, являющиеся клиентами крупных банков, централизуют финансовые операции дочерних структур и направляют платёжные поручения через систему дистанционного банковского обслуживания.</p> <p>Однако используемые традиционные криптографические алгоритмы уязвимы к квантовой угрозе, что требует перехода на квантово-устойчивые решения для защиты финансовых данных.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-устойчивая защита каналов передачи данных между информационными системами напрямую подключённых организаций позволит значительно снизить риски утраты целостности и раскрытия конфиденциальной информации, содержащейся в платёжных поручениях крупнейших финансовых компаний.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Операторы платёжных систем 													
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</td> <td>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</td> </tr> </table>						Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %						
Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %												



Защита канала передачи данных клиент – банк

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Обеспечение информационной безопасности ИТ-обеспечение и связь Оценка риска Выявление мошенничества Обслуживание и ведение банковских счетов 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>8</p> <p>Технология подтверждена и опробована на испытаниях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–6 млн руб.</td> <td>8–12 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–6 млн руб.	8–12 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>3–6 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	3–6 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–6 млн руб.	8–12 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	3–6 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>Системы удалённого банковского обслуживания (Клиент – Банк) используют асимметричную криптографию для защиты передачи данных. Однако в условиях развития квантовых вычислений традиционные алгоритмы шифрования становятся уязвимыми, что открывает потенциальную возможность злоумышленникам получить доступ к конфиденциальной информации. Это требует перехода к новым квантово-устойчивым решениям для обеспечения безопасности клиентских данных.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-устойчивая защита канала передачи данных Клиент – Банк позволит значительно снизить риски нарушения конфиденциальности и целостности передаваемой в этих системах информации злоумышленникам, исключив нарушение банковской тайны, утечку персональных данных клиента и кражу средств со счетов клиентов.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Банковские организации Операторы платёжных систем 													
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</td> <td>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</td> </tr> </table>						Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %						
Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %												



4.2. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в ритейле

Оптимизация курьерской доставки и доставки последней мили

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Транспортировка/доставка продукции • Управление персоналом • ИТ-обеспечение и связь • Управление запасами 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>5–7 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Для снижения затрат на доставку товаров необходимо повысить эффективность работы курьеров, однако оптимизация маршрутов требует значительных вычислительных ресурсов и времени из-за большого количества возможных вариантов.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм решения задачи коммивояжёра позволяет обрабатывать множество возможных маршрутов между пунктами доставки, анализируя расстояния и стоимость каждого варианта.</p> <p>Алгоритм особенно эффективен для сложных логистических задач с большим количеством точек, что значительно сокращает время поиска и снижает расходы на транспортировку. Особенность архитектуры квантового вычислителя и использование им квантовых эффектов позволяют эффективнее обрабатывать массивы данных (1000 переменных) и получать более качественные и быстрые результаты при поиске оптимального решения.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Логистические компании • Компании розничной торговли 	<p>эффекты</p> <ul style="list-style-type: none"> Снижение времени поиска оптимальных маршрутов на 10 % Снижение затрат на транспортировку груза на 5 % Сокращение потребности в складских площадях 					



Оптимизация распределения автомобилей по маршрутам и назначения соответствующего груза

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Транспортировка/доставка продукции • Планирование перемещения продукта • Управление персоналом • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–6 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Для снижения издержек, связанных с расходом топлива, временем в пути и трудозатратами, требуется более эффективная расстановка автомобилей по маршрутам.</p> <p>Оптимизация процесса усложняется необходимостью учитывать особенности каждого маршрута и ограничения по количеству и объёму загрузки транспорта.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм квадратичной задачи о назначениях обеспечит нахождение оптимальных способов распределения транспорта по маршрутам с учётом указанных особенностей и ограничений, минимизируя расход топлива и время в пути.</p> <p>В отличие от классических систем, способных обрабатывать ограниченное количество вариантов, квантовые компьютеры позволяют одновременно учитывать гораздо больше возможных решений благодаря их высокой вычислительной мощности и, как следствие, получать более качественные и быстрые результаты при поиске оптимального решения.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Логистические компании • Компании розничной торговли 	<p>эффекты</p> <ul style="list-style-type: none"> Снижение времени поиска оптимальных маршрутов на 10 % Снижение затрат на транспортировку груза на 5 % Сокращение потребности в складских площадях 					



4.2. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в ритейле

Оптимизация плана перевозки товаров в соответствии с характеристиками грузов

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Транспортировка/доставка продукции • Планирование перемещения продукта • Управление запасами • Управление персоналом • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–6 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяца</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>План перевозки товаров зачастую не в полной мере учитывает актуальные объёмы и условия транспортировки груза от склада до потребителя, что приводит к неэффективному использованию транспорта: для доставки малогабаритного груза могут использоваться любые доступные грузовые автомобили.</p> <p>Кроме ограничений на объём, оптимальный план перевозки должен учитывать актуальные данные по наличию товара в точке загрузки.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм решения транспортной задачи рассчитывает затраты на перевозку товаров между точками доставки с учётом ограничений по объёму, условий транспортировки и наличия товаров. Алгоритм использует актуальные данные для поиска оптимального плана перевозки.</p> <p>Квантовые вычисления позволяют одновременно анализировать множество возможных маршрутов, что ускоряет процесс нахождения оптимального решения. Это помогает сократить общее расстояние или затраты на транспортировку, обеспечивая выполнение условий доставки с минимальными издержками.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Логистические компании • Компании розничной торговли 						
<p>эффекты</p> <p>Снижение времени составления плана перевозок на 10 %</p>			<p>Снижение затрат на транспортировку груза на 5 %</p>		<p>Сокращение потребности в складских площадях</p>	



Оптимизации расписания доставки товаров

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Транспортировка/доставка продукции • Планирование перемещения продукта • Управление запасами • Управление персоналом • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–6 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяца</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Составление расписания — это многофакторный процесс, который требует точных данных о времени доставки, задержках, пробках и иных факторах, усложняющих прогнозирование.</p> <p>Срыв расписания увеличивает издержки при логистике товара и может привести к потере лояльности клиентов, ожидающих своевременной и надёжной доставки.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оптимизации расписания учитывает разные факторы при поиске решения: количество возможных маршрутов, динамичность, неопределённость при планировании, возможную нехватку ресурсов и иные параметры.</p> <p>Квантовые вычисления позволяют одновременно анализировать множество возможных маршрутов, что ускоряет процесс нахождения оптимального решения. Это помогает составить наименее затратную сетку расписания доставки товаров благодаря учёту большего количества факторов и их влияния на бизнес-процессы.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Логистические компании • Компании розничной торговли 						
<p>эффекты</p> <p>Снижение времени поиска оптимального расписания на 10 %</p>			<p>Повышение качества доставки товаров</p>		<p>Сокращение потребности в складских площадях</p>	



4.2. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в ритейле

Маршрутизация транспорта и оптимизация многоэтапных перевозок

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Транспортировка/доставка продукции • Планирование перемещения продукта • Управление запасами • Управление персоналом • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1,5–3 млн руб.</td> <td>4–6 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1,5–3 млн руб.	4–6 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>3–4 месяца</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	3–4 месяца	Лицензия	НИОКР	
1,5–3 млн руб.	4–6 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	3–4 месяца												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Крупнейшие компании отрасли вынуждены обрабатывать миллионы посылок в день, что требует от них доступа к высокой вычислительной мощности для определения оптимальных маршрутов доставки товаров в реальном времени.</p> <p>Автоматическая оптимизация маршрутов особенно востребована в условиях растущего рынка маркетплейсов и доставки последней мили.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм маршрутизации транспорта может определить наиболее эффективные маршруты, которые включают порядок посещения пунктов назначения, оценивая стоимость каждого маршрута и сравнивая их между собой.</p> <p>Алгоритм учитывает множество факторов: распределение заказов по транспортным средствам, оптимальные расписания для курьеров и водителей, особенности ландшафта между точками назначения и загруженность дорог.</p> <p>В результате расчёта алгоритм выдаёт наиболее оптимальные и менее затратные маршруты доставки товаров.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Логистические компании • Компании розничной торговли 													
<p>эффекты</p>													
<p>Снижение времени поиска оптимальных маршрутов на 10 %</p>	<p>Снижение затрат на транспортировку груза на 5 %</p>	<p>Сокращение потребности в складских площадях</p>											



Оптимизация загрузки товаров и формирование комбинированных грузов

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Управление персоналом • Транспортировка/доставка продукции • Сборка заказа • Управление запасами • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1,5–3 млн руб.</td> <td>4–6 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1,5–3 млн руб.	4–6 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>3–4 месяца</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	3–4 месяца	Лицензия	НИОКР	
1,5–3 млн руб.	4–6 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	3–4 месяца												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Ограничение по весу и объёму предметов для загрузки требует от компаний поиска наиболее подходящего состава предметов для загрузки в целях максимизации общей стоимости выбранных предметов.</p> <p>С добавлением каждого предмета число вариантов увеличивается в 2 раза. Так, при выборе из 10 различных предметов существует более 1000 вариантов их загрузки, что многократно замедляет поиск подходящего состава.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм задачи о рюкзаке находит оптимальный состав предметов для загрузки с учётом ограничений по весу, объёму и стоимости предметов.</p> <p>Ключевая цель алгоритма – найти самый ценный состав товаров для доставки или хранения и последующей максимизации прибыли.</p> <p>Применение квантовых вычислений ускоряет процесс поиска наилучшего решения, что сокращает время на подбор грузов и повышает эффективность их размещения.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Логистические компании • Компании розничной торговли 													
<p>эффекты</p>													
<p>Снижение времени поиска оптимальных маршрутов на 10 %</p>	<p>Снижение затрат на транспортировку груза на 5 %</p>	<p>Сокращение потребности в складских площадях</p>											



4.2. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в ритейле

Формирование и оптимизация логистических маршрутных кластеров

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Планирование перемещения продукта Транспортировка/доставка продукции Управление персоналом 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–6 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Для удовлетворения быстро меняющихся потребностей клиентов и географии спроса требуется гибкость в сегментации получателей.</p> <p>Повышение эффективности распределения точек назначения ускоряет обработку и отправку товаров, уменьшает затраты на логистику и повышает риск задержек.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм кластеризации данных распределяет точки назначения в оптимальные группы, учитывая их географическое расположение и потребности клиентов.</p> <p>Алгоритм позволяет одновременно обрабатывать огромное количество данных о клиентах и быстро формировать наиболее точные кластеры, которые улучшают логистику и минимизируют расходы на доставку.</p> <p>Благодаря особенностям квантовых вычислений, решение быстрее адаптируется к изменениям в расположении и плотности точек назначения, что повышает точность доставки и сокращает затраты на транспортировку.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Маркетплейсы Логистические компании Компании розничной торговли 	<p>эффекты</p>					
<p>Снижение времени кластеризации на 10 %</p>		<p>Повышение точности кластеризации на 5 %</p>		<p>Снижение затрат на транспортировку груза на 5 %</p>		



Планирование и оптимизация расписаний поставок с ограничениями

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Приёмка и хранение товара на складе Закупка товаров у поставщика Грузовые перевозки 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>5–7 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Для оптимизации использования ресурсов, уменьшения времени на доставку и издержек необходима оптимизация расписания поставок.</p> <p>Необходима координация между складами, транспортом и заказчиками для устранения проблем с избыточными перевозками, простоем транспорта и нарушениями графиков поставок.</p> <p>Это особенно критично в условиях ограниченного парка транспортных средств и сложной сети складов.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оптимизации маршрутов и расписаний определяет наилучшие временные интервалы и маршруты для поставок, минимизируя использование ресурсов и обеспечивая максимальную эффективность работы складов и транспорта.</p> <p>Использование квантовых вычислений позволяет учитывать множество переменных (например, состояние запасов, транспортные возможности и потребности клиентов) и одновременно анализировать огромное количество возможных вариантов расписания.</p> <p>Это решение сокращает время на планирование поставок, улучшает координацию и снижает издержки на логистику.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Маркетплейсы Логистические компании Компании розничной торговли 	<p>эффекты</p>					
<p>Снижение затрат на транспортировку груза на 5 %</p>		<p>Увеличение скорости доставки товара со склада на полки</p>		<p>Сокращение оптимального объёма складских запасов</p>		



4.2. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в ритейле

Оптимизация размещения товаров и товарных групп на складах

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Приёмка и хранение товара на складе • Сборка заказа • Инвентаризация товаров • Управление запасами 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>5–7 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Для ускорения поиска и времени обработки заказов необходима оптимизация размещения товаров на складе.</p> <p>Из-за сложностей в поисках товаров на складах компания может столкнуться с проблемами в обеспечении бесперебойной и эффективной работы и потребностью к формированию избыточной численности складского персонала.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм многокритериальной оптимизации размещения на складе находит наиболее рациональные места для каждого товара, учитывая частоту использования, размеры и потребности в хранении.</p> <p>Квантовые вычисления позволяют одновременно обрабатывать множество факторов, что существенно ускоряет процесс оптимизации, повышает скорость доставки товаров со склада на полки и облегчает доступ к товарам.</p> <p>Решение сокращает время на выполнение складских операций и повышает производительность, обеспечивая минимальные трудозатраты и снижение логистических издержек.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Логистические компании • Компании розничной торговли 	<p>эффекты</p>					
<p>Снижение потерь от просрочки и дефицита на 10 %</p>		<p>Увеличение скорости доставки товара со склада на полки</p>		<p>Сокращение потребности в складских площадях</p>		



Оптимизация размещения рекламы и публикаций товаров

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Управление клиентской базой • Создание и размещение информации о товарах • Управление маркетингом 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>5</p> <p>Концепция подтверждена в производственной среде</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–6 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>		
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Для повышения качества рекомендаций и улучшения пользовательского опыта необходим персонализированный подход к размещению контента.</p> <p>Наличие персонализации повышает конверсию и заинтересованность клиента.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм персонализации контента анализирует интересы, предпочтения и поведение пользователей, чтобы предлагать максимально релевантные товары и информацию. Квантовые вычисления позволяют учитывать и обрабатывать сложные данные о пользователях, предоставляя персонализированные рекомендации в реальном времени.</p> <p>Это повышает заинтересованность пользователей и конверсию, улучшая их опыт взаимодействия и увеличивая объем продаж, так как пользователи чаще видят предложения, соответствующие их реальным потребностям и предпочтениям.</p>				
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Маркетплейсы • Агрегаторы рекламы • Компании розничной торговли 	<p>эффекты</p>						
<p>Повышение эффективности монетизации данных и конверсии</p>		<p>Сокращение времени поиска подходящего товара</p>					



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Оптимизация распределения частот

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Эксплуатация и обеспечение работы инфраструктуры • Стратегия и планирование ресурсов • Управление качеством услуг • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>4</p> <p>Концепция подтверждена в лабораторных условиях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>5–6 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Использование большого числа длин волн в телекоммуникационных системах увеличивает энергозатраты, что делает необходимым разработку методов оптимизации распределения частот для повышения энергоэффективности эксплуатации.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оптимизации распределения частот моделирует телекоммуникационную сеть, соединяющую каналы оптических линий. Каждому каналу назначаются разные длины волн. В результате использования будет снижено количество назначенных частот. Алгоритм может моделировать динамику распределения частот в реальном времени, что позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям сети и требуемым параметрам.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Операторы сотовой связи • Интернет-провайдеры • Телевещатели 						
<p>эффекты</p>						
<p>Ускорение распределения частот на 5 %</p>		<p>Снижение количества используемых частот</p>		<p>Снижение энергозатрат на работу сети</p>		



Оптимизация выбора параметров для станций связи

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Эксплуатация и обеспечение работы инфраструктуры • Стратегия и планирование ресурсов • Управление качеством услуг 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–8 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>При анализе распределения ресурсов на обслуживание станций связи возникает необходимость определить наиболее значимые параметры этих станций, такие как объем трафика и географическое положение.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм выбора признаков для станций связи может обрабатывать большие массивы данных за считанные минуты, что позволяет значительно сократить время на принятие решения по выбору станций связи.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Операторы сотовой связи • Интернет-провайдеры 						
<p>эффекты</p>						
<p>Ускорение выбора параметров до 5 %</p>		<p>Ускорение классификации на 5 %</p>		<p>Снижение затрат на обслуживание станций</p>		



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Оптимизация кластеризации коммуникационных узлов

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Эксплуатация и обеспечение работы инфраструктуры • Стратегия и планирование ресурсов • Управление качеством услуг • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–8 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Необходимость распределения ресурсов для обслуживания коммуникационных узлов требует их кластеризации по таким критериям, как объём трафика и географическое положение.</p> <p>Недостаточно эффективные методы кластеризации затрудняют оперативное принятие решений, что приводит к менее эффективному использованию бюджета.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм кластеризации коммуникационных узлов представляет собой квантовую версию алгоритма кластеризации, широко применяемую в телекоммуникациях для различных задач кластеризации.</p> <p>Алгоритм на основе применения квантовых эффектов значительно быстрее и эффективнее находит наиболее оптимальное решение оптимизации.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Операторы сотовой связи • Интернет-провайдеры 						
<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="131 970 780 1075">Ускорение группирования станций до 20 %</div> <div data-bbox="796 970 1444 1075">Уточнение группирования станций до 5 %</div> <div data-bbox="1460 970 2109 1075">Снижение затрат на обслуживание сети станций</div> </div>						



Классификация потоков связи (трафика)

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Эксплуатация и обеспечение работы инфраструктуры • Стратегия и планирование ресурсов • Управление качеством услуг • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–8 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Эффективное планирование ресурсов требует систематизации трафика на основе его маркировки, включающей классификацию данных по типу (голос, видео, текст) или приоритету передачи.</p> <p>Недостаток такой систематизации затрудняет рациональное распределение и анализ пропускной способности как отдельных каналов связи, так и всей сети.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм классификации потоков связи использует квантовые методы для быстрого и эффективного разделения и определения классов трафика.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Операторы сотовой связи • Интернет-провайдеры 						
<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="131 1998 780 2102">Увеличение максимальной пропускной способности сети до 15 %</div> <div data-bbox="796 1998 1444 2102">Ускорение классификации потоков связи</div> <div data-bbox="1460 1998 2109 2102">Снижение затрат на обслуживание линий связи</div> </div>						



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Оптимизация вычислительных ресурсов связи

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Эксплуатация и обеспечение работы инфраструктуры • Стратегия и планирование ресурсов • Управление качеством услуг • ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>4–8 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>		
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Рост нагрузки на телекоммуникационные системы требует активного использования высоких вычислительных мощностей, включая обработку больших данных.</p> <p>Для обеспечения стабильной работы вычислительных кластеров и снижения затрат на электроэнергию необходимо оптимальное распределение ресурсов.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оптимизации вычислительных ресурсов связи учитывает набор вычислительных ресурсов и набор задач для поиска наиболее оптимального распределения ресурсов с целью минимизации затрат на электроэнергию.</p>				
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Операторы сотовой связи • Интернет-провайдеры 							
<p>эффекты</p> <p>Ускорение оптимизации вычислительных ресурсов до 10 %</p>			<p>Повышение точности вычислительных ресурсов на 5 %</p>		<p>Снижение стоимости энергозатрат на вычисления</p>		



Идентификация и анализ частотного содержания

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Управление качеством услуг • ИТ-обеспечение и связь • Тарификация услуг и отдельных событий 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>3</p> <p>Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>6–10 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>		
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Анализ и распознавание сигналов требуют значительных вычислительных ресурсов, что затрудняет оперативную обработку данных, особенно при высоких объемах информации и динамических изменениях в условиях передачи данных.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм частотного анализа позволяет быстро и эффективно обрабатывать сигналы, разбивая их на составляющие частоты. Это особенно важно для извлечения информации из сложных сигналов и минимизации шума, а также для обеспечения высокого уровня безопасности передачи данных.</p>				
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Операторы сотовой связи • Интернет-провайдеры 							
<p>эффекты</p> <p>Повышение уточнения параметров сигнала на 5 %</p>			<p>Ускорение анализа сигналов</p>		<p>Повышение скорости классификации сигналов</p>		



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Оптимизация моделирования сигналов

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Управление качеством услуг ИТ-обеспечение и связь Тарификация услуг и отдельных событий 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления</p>	<p>УГТ</p> <p>2</p> <p>Исследования для доказательства осуществимости технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>1,5–3 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>6–8 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «ОКТ»</p>	<p>проблема</p> <p>Медлительность вычислительных процессов затрудняет оперативный анализ сигналов, снижая эффективность разработки новых методов их обработки и принятия решений, связанных с интерпретацией данных, управлением системами или реагированием на изменения в реальном времени.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовый алгоритм оптимизации моделирования сигналов обеспечивает проведение сложных симуляций, необходимых для разработки инновационных методов обработки сигналов. Этот подход преобразует данные сигналов в бинарный формат с учётом их временной составляющей и амплитуды, что позволяет повысить точность и эффективность анализа.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Операторы сотовой связи Интернет-провайдеры Телевещатели 						
<p>эффекты</p>						
<p>Ускорение разработки методов обработки сигналов</p>			<p>Повышение точности параметров сигнала</p>			



Защита канала видеосвязи

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Информационная безопасность Управление качеством услуг ИТ-обеспечение и связь Разработка продуктов и предложений Управление рисками 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>от 40 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>срок внедрения</p> <p>от 6 месяцев</p> <p>Лицензия</p>		
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуРЭйт»</p>	<p>проблема</p> <p>Перехват видеотрафика корпоративных конференций, на которых принимаются ключевые решения, может привести к серьёзным финансовым потерям и репутационным рискам.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-защищённая видеосвязь для корпоративных клиентов и интеграции в существующие платформы использует принципы квантовой криптографии для обеспечения высокой степени безопасности при передаче видеoinформации. После успешного обмена ключами видеосигнал шифруется с использованием полученного квантового ключа. Это обеспечивает защиту содержимого видеосвязи от несанкционированного доступа.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Операторы сотовой связи Интернет-провайдеры Разработчики телеком-оборудования 						
<p>эффекты</p>						
<p>Снижение количества утечек</p>			<p>Рост выручки от продажи услуг видеосвязи</p>			



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Защита канала коммуникаций

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Информационная безопасность Управление качеством услуг ИТ-обеспечение и связь Разработка продуктов и предложений Управление рисками 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>от 40 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>срок внедрения</p> <p>от 6 месяцев</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуРэйт»</p>	<p>проблема</p> <p>Передача рабочих документов, файлов или сообщений по незащищенным каналам связи может привести к серьезным утечкам данных, включая как личную информацию сотрудников, так и корпоративные сведения.</p> <p>Одним из наиболее уязвимых мест в этом процессе является само устройство, например смартфон пользователя.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-защищенный мессенджер позволяет создать мастер-ключ – уникальный главный ключ шифрования, который обеспечивает высокий уровень защиты данных.</p> <p>Этот ключ записывается на смарт-карты, представляющие собой физические устройства с встроенными микропроцессорами, которые хранят ключи и выполняют криптографические операции.</p> <p>После записи ключей на смарт-карты пользователи могут безопасно обмениваться зашифрованными сообщениями и файлами в режиме чата, защищая свои данные от взлома.</p>		
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Операторы сотовой связи Интернет-провайдеры Разработчики телеком-оборудования 	<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="131 970 780 1075" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Повышение защищенности корпоративной сети</div> <div data-bbox="796 970 1444 1075" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Вероятность утечки рабочей информации 0,7 %</div> </div>				



Защита устройств умного города

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Информационная безопасность ИТ-обеспечение и связь Управление рисками 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>4–8 млн руб.</p> <p>Лицензия</p>	<p>6–10 млн руб.</p> <p>НИОКР</p>	<p>срок внедрения</p> <p>1 месяц</p> <p>Лицензия</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>В условиях расширения инфраструктуры умных городов, включающей в себя системы управления транспортом, энергетические сети и интеллектуальные здания, возрастает вероятность кибернетических атак.</p> <p>Вычислительные устройства, не обладающие достаточной мощностью вычислений, не могут эффективно выполнять программные реализации постквантовых алгоритмов защиты информации.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-устойчивая защита устройств умного города обеспечивает высокий уровень безопасности при передаче данных между всеми устройствами, защищая их от потенциальных атак со стороны квантовых вычислительных систем.</p> <p>Решение может быть интегрировано с уже существующими системами связи и безопасности, что позволяет улучшить защиту без необходимости полной замены инфраструктуры.</p>			
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Разработчики телеком-оборудования Разработчики IoT-устройств 	<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="131 1998 780 2102" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</div> <div data-bbox="796 1998 1444 2102" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</div> </div>					



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Защита базовой станции мобильной сети связи пятого поколения

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Информационная безопасность ИТ-обеспечение и связь Управление рисками 	<p>технология</p>  <p>Постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–8 млн руб.</td> <td>8–15 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–8 млн руб.	8–15 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>8–12 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	8–12 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–8 млн руб.	8–15 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	8–12 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>При построении мобильных сетей связи пятого поколения высок риск реализации квантовой угрозы при обеспечении конфиденциальности и целостности информации в задачах организации доступа к оборудованию базовой станции.</p>		<p>решение</p> <p>Квантово-устойчивая защита базовой станции 5G посредством квантовой аутентификации и распределения ключей в управляющих протоколах обеспечит защиту конфиденциальности и целостности информации базовых станций.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Разработчики телеком-оборудования Операторы сотовой связи Интернет-провайдеры 													
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %</td> <td>Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %</td> </tr> </table>						Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %						
Повышение стойкости к криптографическим атакам на 50 %	Снижение успешности атак с применением квантовых вычислителей до 1 %												



Конфиденциальный кросс-доменный скоринг

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> Управление качеством услуг Управление рисками ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые вычисления, постквантовая криптография</p>	<p>УГТ</p> <p>6</p> <p>Разработка прототипа технологии</p>	<p>стоимость внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>4–8 млн руб.</td> <td>12–20 млн руб.</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	4–8 млн руб.	12–20 млн руб.	Лицензия	НИОКР	<p>срок внедрения</p> <table border="1"> <tr> <td>1 месяц</td> <td>8–12 месяцев</td> </tr> <tr> <td>Лицензия</td> <td>НИОКР</td> </tr> </table>	1 месяц	8–12 месяцев	Лицензия	НИОКР	
4–8 млн руб.	12–20 млн руб.												
Лицензия	НИОКР												
1 месяц	8–12 месяцев												
Лицензия	НИОКР												
<p>поставщик</p>  <p>ООО «КуАпп»</p>	<p>проблема</p> <p>Выполнение совместного кросс-доменного скоринга и профилирования клиентов может помочь более эффективно оценивать существующих и новых клиентов операторам услуг связи, банкам, платформам социальных сетей и другим организациям.</p> <p>Однако на текущий момент процесс обмена информацией ограничен.</p>		<p>решение</p> <p>Технология конфиденциальных квантовых вычислений позволяет получить результат вычислений, необходимый для профилирования или скоринга абонента без фактической передачи данных от владельца к другим участникам вычислений.</p> <p>Применение этого решения позволит операторам связи и другим участникам рынка как повысить качество предоставляемых услуг, так и сформировать дополнительный рынок для своих данных.</p>										
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Операторы услуг связи Социальные сети 													
<p>эффекты</p> <table border="1"> <tr> <td>Повышение уровня монетизации данных на 100 %</td> <td>Повышение уровня конверсии на 30 %</td> </tr> </table>						Повышение уровня монетизации данных на 100 %	Повышение уровня конверсии на 30 %						
Повышение уровня монетизации данных на 100 %	Повышение уровня конверсии на 30 %												



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Защита телефонной связи с использованием квантово-криптографической технологии

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • ИТ-обеспечение и связь • Информационная безопасность 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>9</p> <p>Система подтверждена путём успешной эксплуатации</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>от 35 млн руб.</p> <p>ПАК</p>	<p>срок внедрения</p> <p>от 1 месяца</p> <p>ПАК</p>	
<p>поставщик</p>  <p>АО «ИнфоТеКС»</p>	<p>проблема</p> <p>Скорость развития технологий, в том числе квантовых, влечёт за собой рост угроз информационной безопасности, выходящих на качественно более высокий уровень и требующих внедрения решений, способных обеспечивать защиту критически важных коммуникаций.</p> <p>Телефонные переговоры, затрагивающие государственные, производственные интересы, а также бизнес-интересы, носят чувствительный характер и должны быть обеспечены гарантированной защитой.</p>		<p>решение</p> <p>VIPNet QTS Lite – программно-аппаратный комплекс для защищённой IP-телефонии с использованием квантового распределения ключей (КРК).</p> <p>Обеспечивает защиту коммуникаций (видео, голос, сообщения, файлы) от криптоугроз, автоматизированную работу с криптографическими ключами и интеграцию с IP-телефонией, включая звонки между защищёнными и обычными телефонами.</p> <p>Подходит для категорированных помещений.</p> <p>Оборудование комплекса имеет сертификаты ФСБ России.</p>		
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Государственные и коммерческие организации с высоким приоритетом защиты коммуникаций • Телеком-операторы 	<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="131 970 780 1075" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Исключение доступа третьих лиц к звонкам и переписке</div> <div data-bbox="796 970 1444 1075" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Обеспечение долговременной гарантированной защиты коммуникаций</div> </div>				



Защита магистральных каналов связи с применением квантово-криптографической технологии

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Информационная безопасность • ИТ-обеспечение и связь • Удержание клиентов и лояльность • Эксплуатация и обеспечение работы инфраструктуры • Тарификация услуг и отдельных событий 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>9</p> <p>Система подтверждена путём успешной эксплуатации</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>от 45 млн руб.</p> <p>ПАК</p>	<p>срок внедрения</p> <p>от 3 месяцев</p> <p>ПАК</p>	
<p>поставщик</p>  <p>АО «ИнфоТеКС»</p>	<p>проблема</p> <p>Быстрое развитие технологий, включая квантовые, усиливает угрозы информационной безопасности, требуя решений для защиты критически важных коммуникаций.</p> <p>Основные вызовы: перспективные методы криптоанализа, инъекция токсичных данных, человеческий фактор и необходимость автоматизации защиты данных.</p>		<p>решение</p> <p>VIPNet QTS использует квантово-криптографические технологии для защиты магистральных каналов связи на расстояниях до 100 км и более (с использованием доверенных узлов), а также для сложных сетевых конфигураций.</p> <p>Обеспечивает создание защищённой VPN, автоматизированную работу с криптографическими ключами (например, для VIPNet L2Q-10G/100G), интеграцию с существующими сетями и гибридными решениями, а также размещение на охраняемых территориях.</p> <p>Оборудование комплекса имеет сертификаты ФСБ России.</p>		
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> • Государственные и коммерческие организации с высоким уровнем требований к автоматизации и защите передачи данных • Операторы сотовой связи • Телеком-операторы 	<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="131 1998 780 2102" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Повышение автоматизации и уровня защиты данных в магистральных каналах связи</div> <div data-bbox="796 1998 1444 2102" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Устойчивость к современным и перспективным средствам криптоанализа</div> <div data-bbox="1460 1998 2109 2102" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Решение для безопасности информации в экономике данных</div> </div>				



4.3. Перспективные сценарии использования квантовых технологий в связи и телекоммуникации

Защита сети связи на базе произвольной телекоммуникационной инфраструктуры

<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>8</p> <p>Технология подтверждена и опробована на испытаниях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>от 65 млн руб.</p> <p>Программно-аппаратный комплекс</p>	<p>срок внедрения</p> <p>3–5 месяцев</p> <p>Программно-аппаратный комплекс</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «SMARTC-Кванттелеком»</p>	<p>проблема</p> <p>Актуальные угрозы информационной безопасности ставят новые вызовы и задачи для защиты данных в уже существующих и вновь развиваемых информационных системах. Развитие магистральных квантовых сетей способно решить ряд проблем по актуальным угрозам, однако важно обеспечить интеграцию решений в области квантовых коммуникаций в существующие информационные системы с существующей телекоммуникационной инфраструктурой.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовая криптографическая система выработки и распределения ключей Qualion, сопряжённая с линейкой средств криптографической защиты информации, позволяет обеспечить реализацию защищённого канала взаимодействия с использованием квантовых ключей на расстоянии до 100 км и на произвольном расстоянии с использованием квантово-защищённых ключей, сформированных по принципу доверенных промежуточных узлов. Защищённые VPN-соединения с использованием квантовых и квантово-защищённых ключей могут реализовываться через произвольную сетевую топологию на базе коммутаторов и маршрутизаторов различных производителей. В качестве сопряжённых шифраторов для защиты данных может использоваться целая линейка устройств с производительностью от 50 Мбит/с до 100 Гбит/с.</p>		
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Операторы сотовой связи Интернет-провайдеры 					
<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="131 970 780 1072" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Повышение защищённости виртуальных сетей связи</div> <div data-bbox="796 970 1444 1072" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Исключение человеческого фактора из процедуры распределения ключей</div> <div data-bbox="1460 970 2109 1072" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Защита от потенциальных угроз при появлении квантового компьютера</div> </div>					



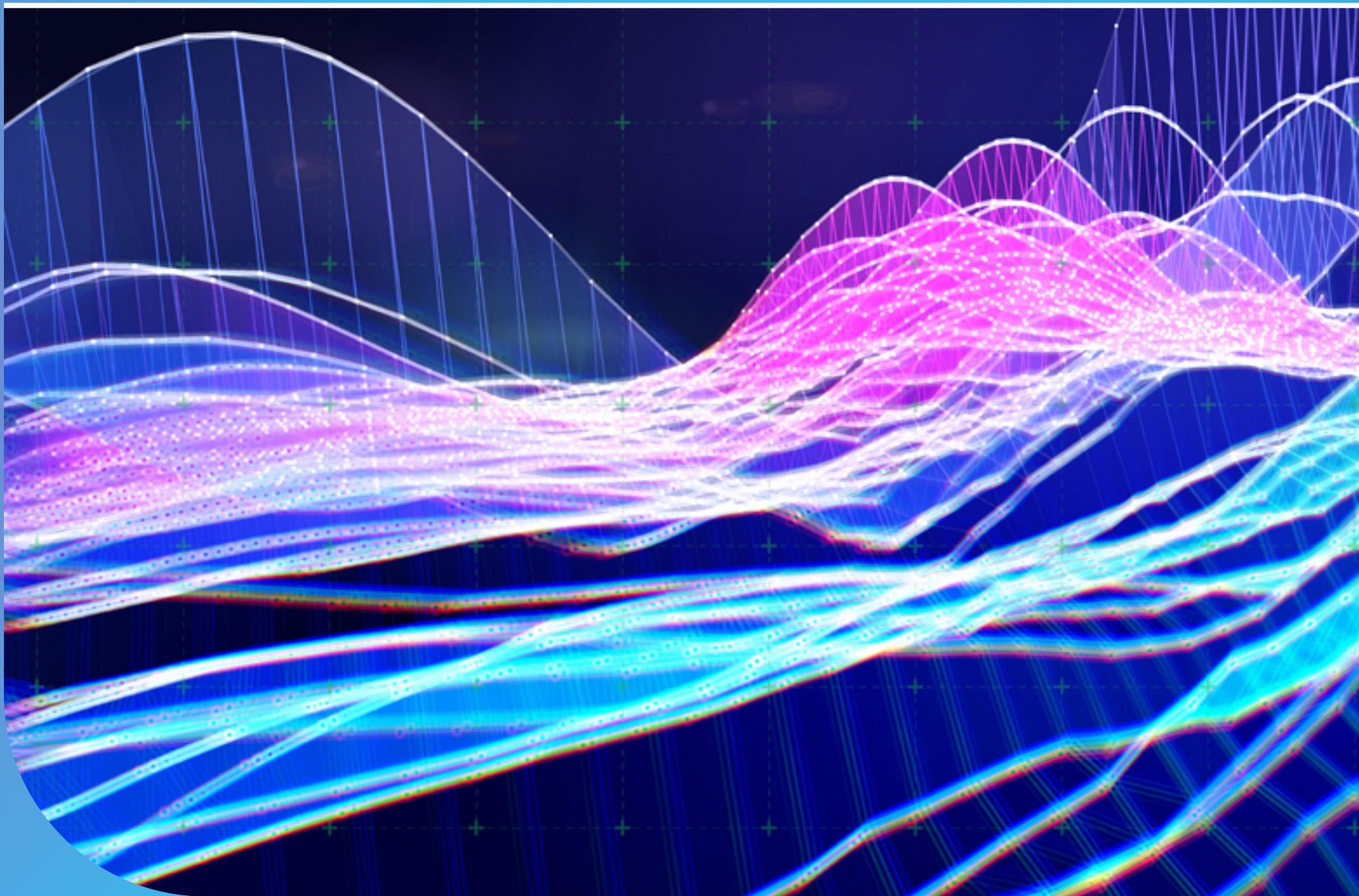
Защита высокопроизводительных выделенных каналов связи

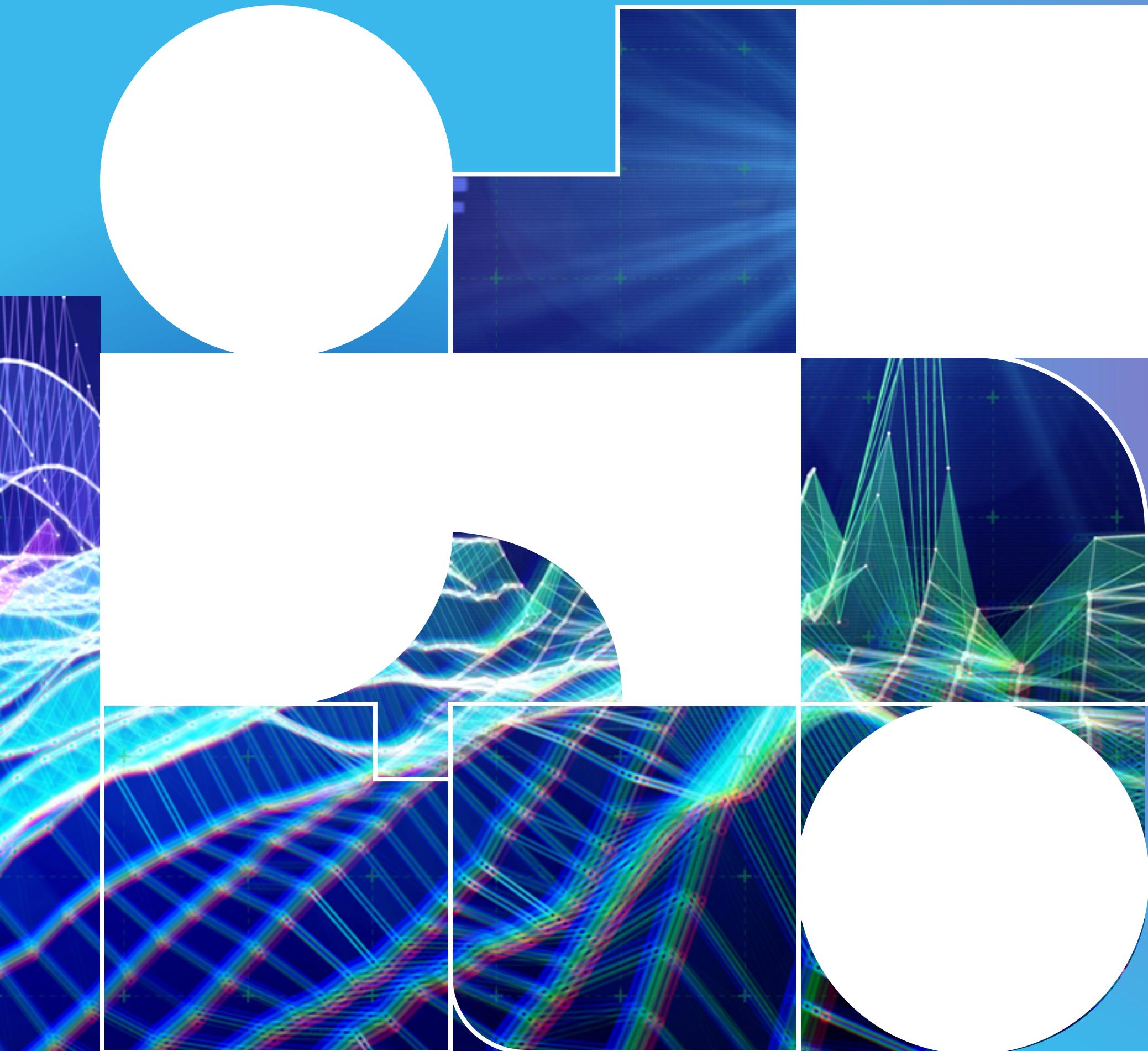
<p>процессы</p> <ul style="list-style-type: none"> ИТ-обеспечение и связь 	<p>технология</p>  <p>Квантовые коммуникации</p>	<p>УГТ</p> <p>8</p> <p>Технология подтверждена и опробована на испытаниях</p>	<p>стоимость внедрения</p> <p>от 35 млн руб.</p> <p>Программно-аппаратный комплекс</p>	<p>срок внедрения</p> <p>3–5 месяцев</p> <p>Программно-аппаратный комплекс</p>	
<p>поставщик</p>  <p>ООО «SMARTC-Кванттелеком»</p>	<p>проблема</p> <p>Современное развитие информационных технологий приводит к росту объёма передаваемых данных, что параллельно с появлением новых угроз безопасности информации приводит к необходимости поиска новых решений для защиты каналов связи. Высокопроизводительные каналы связи между центрами обработки данных (ЦОД) нуждаются в надёжных решениях для защиты данных, поскольку их компрометация может привести к утечке всех агрегируемых данных.</p>		<p>решение</p> <p>Квантовая криптографическая система (КВАКС) – является интегрированным решением, объединяющим квантовую криптографическую систему выработки и распределения ключей (ККС ВРК) и средство криптографической защиты информации (СКЗИ) в едином корпусе для защиты выделенных каналов связи. Особенностью решения является возможность использования СКЗИ, защищающего канал связи в составе оптической транспортной сети, что приводит к существенному снижению сетевых задержек в каналах передачи данных. Интегрированные СКЗИ имеют производительность 10 Гбит/с, при необходимости может быть использована платформа с производительностью 100 Гбит/с.</p>		
<p>потенциальные заказчики</p> <ul style="list-style-type: none"> Операторы сотовой связи Интернет-провайдеры 					
<p>эффекты</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="131 1998 780 2100" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Устойчивость к новым угрозам информационной безопасности</div> <div data-bbox="796 1998 1444 2100" style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 5px;">Автоматизация процессов по обновлению ключей шифрования</div> </div>					

5. Экосистема развития квантовых технологий в России

5.1. Экосистема развития квантовых технологий в России

5.2. Участники экосистемы развития квантовых технологий





Экосистема развития квантовых технологий



Участники экосистемы развития квантовых технологий: Федеральные органы исполнительной власти

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации



Федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере информационных технологий, электросвязи и почтовой связи, массовых коммуникаций и средств массовой информации, в том числе электронных, печати, издательской и полиграфической деятельности, обработки персональных данных, управления государственным имуществом и оказания государственных услуг в области информационных технологий.

Министерство экономического развития Российской Федерации



Министерство
экономического развития
Российской Федерации



Федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по выработке и реализации экономической политики Правительства России по ряду направлений, в том числе осуществляющий координацию развития высокотехнологичных направлений в России.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральный орган исполнительной власти России, осуществляющий функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере высшего образования и соответствующего дополнительного профессионального образования, а также научной, научно-технической и инновационной деятельности и по развитию федеральных центров науки и высоких технологий.

Министерство финансов Российской Федерации



Министерство финансов России занимается разработкой правовой базы в сфере финансов, анализирует и прогнозирует экономическое развитие, совершенствует бюджетную систему и готовит предложения по изменению денежно-кредитной политики. В части развития технологий Минфин России занимается разработкой и согласованием финансово-экономических обоснований и объемов бюджетных инвестиций, направляемых в развитие высокотехнологичных областей, в том числе квантовых технологий.

Организации, осуществляющие реализацию государственных программ развития квантовых технологий

Госкорпорация «Росатом»



Многопрофильный холдинг, объединяющий активы в энергетике, машиностроении, цифровой сфере. ГК «Росатом» – ответственная организация в России за развитие высокотехнологичной области «Квантовые вычисления». Соответствующее соглашение было подписано между Правительством России и руководством корпорации в 2019 г. Основным механизмом реализации соглашения является дорожная карта, утверждённая в 2020 г. В целях обеспечения выполнения основных задач, целевых показателей, индикаторов и мероприятий дорожной карты создано ООО «СП «Квант» – оператор дорожной карты, единый центр компетенций и проектный офис по направлению «Квантовые вычисления» в структуре корпорации.

ОАО «Российские железные дороги»



ОАО «РЖД» – владелец инфраструктуры общего пользования и крупнейший перевозчик российской сети железных дорог. Компания курирует программу по развитию высокотехнологичной области квантовых коммуникаций в России. Соответствующее соглашение было подписано между Правительством России и руководством компании в 2019 г. Его цель – достижение Российской Федерацией лидерских позиций на глобальных технологических рынках в области квантовых коммуникаций. Дорожная карта «Квантовые коммуникации» была разработана и утверждена в 2020 г. Основной целью дорожной карты и результатом работы в её рамках должен стать выход России на лидирующие позиции в мире по технологиям, продуктам и сервисам в области квантовых коммуникаций.

Российская академия наук



Государственная академия наук Российской Федерации, крупнейший в стране центр фундаментальных исследований. Основной целью деятельности Российской академии наук является организация и проведение фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам естественных, технических, гуманитарных и общественных наук. Научно-технический совет РАН «Квантовые технологии» осуществляет координацию и комплексную экспертизу исследований в области квантовых технологий, выполняемых за счёт средств федерального бюджета научными организациями и образовательными учреждениями высшего профессионального образования. Научные институты Российской академии наук принимают участие в реализации фундаментальных исследований в области квантовых технологий.

Автономная некоммерческая организация «Цифровая экономика»



АНО «Цифровая экономика» – главная платформа взаимодействия бизнеса и государства по развитию цифровой экономики в России. Деятельность АНО «Цифровая экономика» сфокусирована на направлениях, отвечающих текущим задачам развития высокотехнологичных секторов экономики РФ. Сегодня АНО «Цифровая экономика» – это аналитика и исследования, экосистема поддержки бизнеса, кадровое обеспечение, продвижение технологий и решений, устранение проблем применимости цифровых технологий, национальная платформа поддержки цифровой трансформации.

Вендоры/разработчики и интеграторы

ООО «КуБорд»



Компания является Резидентом Сколково. Миссия компании – сделать квантовые вычисления доступными для бизнеса. Квантовые вычисления стремительно развиваются во всем мире и в Российской Федерации. Квантовые компьютеры, за счет новой схемотехники требуют новых подходов в программировании и компетенций. Куборд разработал и уже коммерциализовал «цифровые двойники» квантовых компьютеров (программные эмуляторы квантовых вычислений), облачный интерфейс доступа к ним и библиотеки отраслевых квантовых алгоритмов.

ООО «КуАпп»



Российская компания – разработчик программных решений информационной безопасности на основе квантово-устойчивых (постквантовых) алгоритмов шифрования. Ключевая экспертиза компании: постквантовые технологии и технологии конфиденциальных вычислений. Компания «КуАпп» активно участвует в процессе разработки государственных стандартов по постквантовым алгоритмам шифрования и алгоритму конфиденциальных вычислений. Также компания занимается прикладными научными исследованиями и пилотированием программных решений в сфере кибербезопасности. Компания «КуАпп» является резидентом КиберХаба «Сколково». Результаты работы удостоены высших наград всероссийских конкурсов по направлению кибербезопасности.

ООО «КуРэйт»



и внедряет технологии квантового шифрования в инфраструктуру крупнейших российских организаций. Инновационность решений базируется на фундаментальных законах физики. «КуРэйт» уже сегодня создаёт инструменты, способные противостоять новым типам атак на критическую инфраструктуру и данные. Компания – резидент «Сколково» и член консорциума НТИ «Квантовые коммуникации», а также стратегический партнёр НИТУ МИСИС. Компания «КуРэйт» является разработчиком и правообладателем программ для электронных вычислительных машин.

ООО «КуСпэйс Технологии»



работчик спутниковых и атмосферных систем квантового распределения ключей, в которых ключ распределяется через открытое пространство, что эффективно дополняет оптоволоконные квантовые сети. Стартап появился в научной группе по квантовым коммуникациям Российского квантового центра, затем выделился в отдельное направление из компании «КуРэйт». «КуСпэйс» – единственная в России компания, которая фокусируется на создании спутниковых систем на базе малых космических аппаратов. Участник «Сколково».

Вендоры/разработчики и интеграторы

АО «Газпромбанк»



АО «Газпромбанк» входит в тройку лидеров банковской отрасли России по основным объёмным показателям и обслуживает ключевые отрасли российской экономики. Газпромбанк поддерживает развитие квантовых технологий с 2014 г. Банк первым среди финансовых организаций протестировал средства квантовой криптографии для защиты каналов связи между дата-центрами, а также внедрил постквантовую криптографию в банк-клиент для юридических лиц. Газпромбанк является соучредителем Российского квантового центра.

ПАО «Ростелеком»



ПАО «Ростелеком» – крупнейший в России интегрированный провайдер цифровых услуг и решений, который присутствует во всех сегментах рынка и охватывает миллионы домохозяйств, государственных и частных организаций. Компания занимает лидирующие позиции на рынке услуг высокоскоростного доступа в интернет, мобильной связи и онлайн-кинотеатров. Компания – признанный технологический лидер в инновационных решениях для цифровых государственных сервисов, кибербезопасности, цифровизации регионов, здравоохранения, квантовых коммуникаций, ЖКХ, а также в сфере облачных вычислений и услуг дата-центров.

ПАО «Сбербанк»



Крупнейший банк страны. В Центре квантовых технологий «Сбера» разрабатываются системы для повышения производительности машинного обучения и ИИ, инструменты защиты от квантового взлома, независимая от GPS навигация. Центр также участвует в создании квантовых эмуляторов и компьютеров.

АО «Компания ТрансТелеКом»



«ТрансТелеКом» – российская телекоммуникационная компания, входит в число крупнейших магистральных операторов связи. Основной акционер – ОАО «РЖД», владеет 99,99 % акций компании. Компания является одним из основных поставщиков магистральных услуг связи для операторов и крупнейших корпораций России, а также одним из лидеров среди провайдеров услуг широкополосного доступа в интернет, телевидения и телефонии для конечных пользователей в регионах. Компания является интегратором в сфере предоставления услуг и сервисов квантовых коммуникаций.

Вендоры/разработчики и интеграторы

АО «ИнфоТеКС»



Компания «ИнфоТеКС» – ведущий российский разработчик программно-аппаратных VPN-решений и средств криптографической защиты информации. «ИнфоТеКС» входит в пятёрку крупнейших компаний России в сфере защиты информации. Среди продуктов компании: защита каналов связи и конечных устройств, защита систем промышленной автоматизации, инфраструктура открытых ключей, квантовые криптографические системы.

ООО «СМАРТС-Кванттелеком»



ООО «СМАРТС-Кванттелеком» является российским производителем систем квантового распределения ключей и компонентной базы квантовых технологий: детекторов одиночных фотонов, фазовых и амплитудных модуляторов. Компания обеспечивает комплексное проектирование квантовых сетей, реализует фундаментальные и прикладные научные исследования в сфере квантовых коммуникаций. Резидент фонда «Сколково» и ИНТЦ «Интеллектуальная электроника-Валдай»

Исследовательские центры

Российская академия наук



Российская академия наук (РАН) проводит обширные исследования в области квантовых технологий. Большинство исследований в этих областях носят фундаментальный характер, закладывая основу для технологических решений. РАН также активно участвует в разработке прикладных квантовых технологий, часто в сотрудничестве с промышленными партнёрами. РАН координирует исследования по квантовым технологиям, взаимодействует с профильными министерствами и ведомствами Российской Федерации для решения прикладных научно-технических задач в различных отраслях промышленности.

НИЦ «Курчатовский институт»



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Курчатовский институт принимал активное участие в проектах развития российского интернета и электронных научных коммуникаций. В 2024 г. Курчатовским институтом совместно с Объединённым институтом ядерных исследований (Дубна) и Институтом системного программирования РАН создан консорциум РДИГ-М для работы со сверхбольшими массивами научных данных, в частности получаемых на исследовательских мегаустановках. Сегодня в России действует созданная в 2019 г. Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения (НИКС), которую развивает Курчатовский институт. В рамках этого проекта в 2024 г. по поручению Президента РФ создаётся МУКС – междууниверситетская квантовая сеть.

Российский квантовый центр



Российский квантовый центр – научно-исследовательская организация, ведущая разработки полного стека квантовых технологий, включая вычисления, коммуникации, криптографию и сенсоры. РКЦ является головным исполнителем национальной дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Квантовые вычисления». Центр обладает широкой экспертизой в области реализации консультационных, научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов по квантовым технологиям различного уровня сложности.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова



Московский
государственный
университет
имени М. В. Ломоносова



Центр квантовых технологий МГУ имени М. В. Ломоносова создан в рамках Национальной технологической инициативы. Деятельность центра направлена на развитие научных направлений в сфере квантовых технологий, разработку соответствующих образовательных программ и создание связей с промышленными партнёрами для последующей коммерциализации разработок в области квантовых технологий. В рамках центра ведутся исследования в области волоконной и атмосферной квантовой криптографии, физики холодных атомов, квантовой оптики, нанофотоники и нелинейной оптики и криоэлектроники.

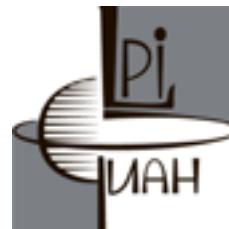
Исследовательские центры

Университет науки и технологий МИСИС



Институт физики и квантовой инженерии МИСИС является структурным подразделением университета и готовит специалистов по квантовым технологиям. Учёные института ведут исследования в области квантовых вычислений, квантовых коммуникаций и квантовых сенсоров. Также в составе университета есть дизайн-центр квантового проектирования, деятельность которого направлена на проектирование элементов и систем квантовых процессоров и квантовых симуляторов на основе сверхпроводниковых кубитов, а также на достижение стратегической цели по созданию многокубитных схем как платформ для квантовых вычислений и симуляций.

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН



Российский физический институт им. П. Н. Лебедева (ФИАН) – старейший научно-исследовательский центр России, ровесник Российской академии наук, после учреждения которой физика получила в России полноправный статус самостоятельной науки. Широкая тематика исследований, охватывающих практически все направления физики, обусловила нынешнюю структуру ФИАН, включающую шесть научных отделений, приравненных в основных направлениях к научно-исследовательским институтам РАН. В ФИАН проводятся активные исследования в области создания передовых технологий квантовых вычислений.

Московский физико-технический институт



Один из ведущих российских вузов по подготовке специалистов в области теоретической, экспериментальной и прикладной физики, математики, информатики, химии, биологии и смежных дисциплин. Согласно большинству национальных и международных рейтингов, МФТИ входит в тройку лучших вузов России, занимая высокие позиции в области физики, математики, компьютерных и технических наук, биологии и электроники. Институт квантовых технологий МФТИ выполняет исследования полного цикла от поисковых научно-исследовательских работ до опытно-конструкторских работ по разработке технологий и оборудования. Для этого в институте создана необходимая научная инфраструктура.

Московский физико-технический институт



Сколтех занимается развитием квантовых технологий через магистерскую программу «Фотоника и квантовые материалы», которая охватывает ключевые аспекты квантовых технологий, включая сверхпроводящие технологии и квантовую спектроскопию. Студенты программы получают теоретические знания и практические навыки в области квантовых систем, участвуя в исследовательских проектах, результаты которых часто публикуются в международных журналах. Сколтех также сотрудничает с промышленностью, что позволяет студентам работать над реальными проектами и развивать инновационные решения на стыке науки и бизнеса.

Исследовательские центры

Новосибирский государственный университет



НГУ занимается исследованиями в области квантовых технологий, предлагая магистерскую программу по квантовым информационным технологиям, где студенты изучают квантовое программирование, криптографию и метрологию. В университете функционирует Лаборатория квантовых оптических технологий, которая разрабатывает новые источники излучения для различных приложений, включая медицину и экологию. НГУ также участвует в разработке новых лазерных систем и систем квантовой связи, что способствует внедрению инновационных решений в практику и подготовке специалистов для высокотехнологичной отрасли.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



МИФИ развивает квантовые технологии через программу бакалавриата «Квантовый инжиниринг», которая является первой в России, полностью ориентированной на подготовку специалистов в этой области. Программа охватывает широкий спектр дисциплин, включая квантовые вычисления, квантовую криптографию и прецизионные измерения, обеспечивая студентов практическими навыками работы с современным оборудованием. МИФИ также проводит олимпиаду «Квантовый вызов», направленную на выявление талантливых студентов и развитие их компетенций в области квантовых технологий. В университете активно ведутся исследования по созданию высокоточных квантовых сенсоров и систем обработки данных, что способствует подготовке кадров для быстро развивающегося рынка квантовых технологий в России.

Самарский университет им. академика С. П. Королёва



Университет активно развивает квантовые технологии, участвуя в создании межуниверситетской квантовой сети (МУКС), которая объединяет несколько ведущих российских университетов и научных центров. В рамках этого проекта университет запускает новую образовательную программу «Квантовые коммуникации и оптоэлектроника», направленную на подготовку специалистов в области квантовых технологий. Исследования университета охватывают широкий спектр тем, включая применение квантовых технологий в медицине и других отраслях.

Университет ИТМО



Университет ИТМО развивает квантовые технологии через создание специализированных лабораторий и программ, включая Лабораторию квантовых коммуникаций и Научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики. В университете проводятся исследования в области квантового распределения ключей, квантовых сетей и квантового имаджинга, а также разрабатываются прототипы систем для беспроводной передачи информации и квантовых сенсоров. ИТМО является одним из лидеров в создании многоузловых квантовых сетей в России, что способствует интеграции квантовых технологий в реальную инфраструктуру. Университет также предлагает образовательные программы по квантовым и нанофотонным системам, готовя специалистов для высокотехнологичной отрасли и активно сотрудничая с международными научными центрами.

Исследовательские центры

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского



Университет участвует в развитии квантовых технологий, присоединившись к «Национальной квантовой лаборатории» и запустив новые научно-исследовательские лаборатории, включая Лабораторию материалов для квантовых технологий и Лабораторию перспективных квантовых стандартов частоты. В университете также реализуются образовательные программы по квантовым технологиям, направленные на подготовку специалистов в этой области. Исследования охватывают создание полупроводниковых квантовых кубитов и разработку квантовых вычислений, что позволяет университету вносить значительный вклад в российскую квантовую отрасль. Кроме того, университет активно вовлекает молодёжь в квантовую науку через мероприятия, такие как «Квантовая неделя», что способствует популяризации знаний в этой перспективной области.

Санкт-Петербургский государственный университет



Санкт-Петербургский
государственный
университет



Университет занимается развитием квантовых технологий через организацию образовательных мероприятий и исследовательские проекты. В рамках экосистемного проекта «Квантовая неделя» университет проводит лекции, мастер-классы и практические занятия, направленные на популяризацию квантовых технологий среди школьников и студентов, а также на подготовку научных кадров в этой области. СПбГУ входит в консорциум «Национальная квантовая лаборатория» и сотрудничает с ГК «Росатом», что позволяет ему участвовать в реализации совместных проектов по развитию квантовых вычислений и технологий. Исследования университета охватывают широкий спектр тем, включая квантовую криптографию и создание новых квантовых устройств, что способствует внедрению инновационных решений в различные сферы науки и техники.

НИУ «Высшая школа экономики»



Высшая школа экономики активно развивает образовательные программы и проводит исследования в области квантовых технологий. Создан Учебный центр квантовых технологий как часть Департамента электронной инженерии. ВШЭ сотрудничает с ведущими российскими научными институтами, в частности с Институтом общей физики им. А. М. Прохорова РАН.

Университет является одним из лидеров в области исследования квантовой физики, сотрудничает с научными и образовательными учреждениями для развития квантовых технологий.

Московский энергетический институт

МЭИ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Московский энергетический институт активно занимается исследованиями и разработками в области квантовых технологий, охватывая несколько ключевых направлений. В частности, институт исследует создание и применение квантовых компьютеров, разрабатывает квантовые алгоритмы и программные эмуляторы для решения сложных задач.

МЭИ разрабатывает высокочувствительные квантовые сенсоры для точных измерений в медицине и биотехнологиях, а также технологии квантовой связи для обеспечения защищённой передачи информации на основе принципов квантовой механики.

Исследовательские центры

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения



ГУАП занимается исследованиями в области квантовой электроники и фотоники, разрабатывает новые материалы и компоненты, создаёт инновационные технологии для применения в электронике и оптике. Специалисты работают над созданием квантовых компьютеров, лазеров, оптических систем передачи информации и других устройств, применяемых в науке, промышленности и медицине.

Уральский федеральный университет



УрФУ занимается исследованиями в области квантовых технологий через свою кафедру Теоретической физики и прикладной математики. В рамках образовательной программы по прикладной математике и физике акцент делается на квантовые вычисления и машинное обучение. Исследования охватывают такие области, как квантовая криптография, материаловедение и ИИ, с акцентом на применение квантовых алгоритмов для решения сложных задач.

Казанский федеральный университет



КФУ активно занимается исследованиями в области квантовых технологий, включая квантовые вычисления, квантовую оптику и квантовые коммуникации. В университете функционирует Центр квантовых технологий, который фокусируется на разработке волноводных нелинейно-оптических методов получения квантовых состояний света и создании оптоволоконных квантовых сенсоров. Исследования охватывают такие направления, как генерация однофотонных состояний и квантовая микроспектроскопия, что способствует развитию новых приложений в области квантовых систем.

Университет Иннополис



Университет Иннополис активно занимается исследованиями и разработками в области квантовых технологий. Основные направления деятельности включают создание квантовых компьютеров, разработку квантовых алгоритмов и протоколов безопасности, изучение квантовой криптографии и квантовой метрологии. Кроме того, университет сотрудничает с различными компаниями и организациями для коммерциализации своих разработок и внедрения квантовых технологий в различные сферы жизни.

Исследовательские центры

Томский государственный университет



ТГУ с 2018 г. активно участвует в развитии квантовых технологий. Университет стал частью консорциума «Национальная квантовая лаборатория», что позволяет ему сосредоточиться на создании кубитов на основе NV-центров в алмазе и разработке квантовых вычислений. В ТГУ функционируют кафедры и лаборатории, занимающиеся квантовыми информационными технологиями, а также проводятся мероприятия, такие как «Неделя квантовых технологий», совместно с госкорпорацией «Росатом». Исследования охватывают широкий спектр тем, включая лазерную генерацию на NV-центрах и создание оптоволоконных квантовых сенсоров, что способствует подготовке специалистов и внедрению новых технологий в практику.

Московский технический университет связи и информатики



МТУСИ активно развивает квантовые технологии через создание специализированного Квантового центра и реализацию образовательных программ в области квантовых коммуникаций. В университете проводятся лекции и семинары по основам квантовой информатики и алгоритмов, а также исследования в сфере квантового распределения ключей и беспроводной квантовой связи. МТУСИ сотрудничает с компанией ООО «КуРэйт» для внедрения практических курсов, где студенты изучают электромагнитные волны и интерференцию многофотонных состояний. Также университет работает над созданием межвузовской квантовой сети, что способствует подготовке специалистов в области квантовых технологий и их применению в реальных задачах.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ТУСУР



Университет активно развивает квантовые технологии через создание образовательных программ и научных исследований. В 2024 г. университет запускает новую магистерскую программу «Квантовые и оптические системы связи», направленную на подготовку специалистов в области проектирования систем, использующих оптоволокно и квантовые технологии для защиты данных. ТУСУР также сотрудничает с компанией «ИнфоТекС» для создания межвузовской квантовой сети в Томске, что позволит реализовать научные и образовательные проекты в области квантовых коммуникаций. В рамках этого сотрудничества разработан учебный стенд по квантовой криптографии, который станет основой для подготовки кадров в области информационной безопасности и квантовых технологий.

Казанский научный центр РАН



КНЦ РАН активно занимается исследованиями в области квантовых технологий, сосредоточив внимание на квантовой оптике и спиновых технологиях. В центре проводятся фундаментальные и прикладные исследования, направленные на развитие технологий квантовой обработки информации, включая разработку квантовых цифровых подписей и систем опознавания на новых физических принципах. Также осуществляется интеграция с другими научными учреждениями для создания федеральных и международных квантовых сетей. Важным аспектом работы центра является подготовка кадров, включая студентов и молодых учёных, что способствует развитию научного потенциала в области квантовых технологий в регионе.

Исследовательские центры

Математический институт им. В. А. Стеклова РАН



МИАН активно занимается исследованиями в области квантовых технологий через свой Отдел математических методов квантовых технологий, созданный в 2018 г. Основная цель отдела заключается в решении математических задач, связанных с квантовыми системами, включая квантовые вычисления, квантовую криптографию и квантовую метрологию. Исследования охватывают управление квантовыми системами и разработку новых методов для их применения, что соответствует современным требованиям и вызовам в области квантовых технологий. МИАН также проводит семинары и конференции, способствующие обмену знаниями и развитию научных кадров в этой перспективной области.

Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН



ИРЭ занимается исследованиями в области квантовых технологий, включая квантовую электронику и спинтронные устройства. В институте проводятся фундаментальные исследования, направленные на разработку новых методов и технологий для квантовых систем, таких как квантовые вычисления и квантовая криптография. ИРЭ также разрабатывает современные микросхемы и устройства на основе фотоники, что позволяет создавать инновационные решения для передачи и обработки квантовой информации. Важным аспектом работы института является сотрудничество с промышленностью для внедрения научных разработок в практику, что способствует развитию высоких технологий в России.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ



Университет активно развивает квантовые технологии через Казанский квантовый центр, где проводятся исследования в области квантовой памяти и квантовых коммуникаций. Учёные университета работают над созданием квантовой памяти для микроволновых фотонов, что является ключевым элементом для разработки универсальных квантовых компьютеров. Кроме того, в центре разрабатываются методы защиты информации на основе квантовых технологий и проводятся эксперименты по передаче квантовой информации между различными системами. КНИТУ-КАИ также предлагает образовательные программы, включая магистерские курсы по квантовым технологиям, что способствует подготовке специалистов в этой перспективной области.

Консорциумы

Национальная квантовая лаборатория



В рамках выполнения мероприятий, предусмотренных дорожной картой, основан консорциум «Национальная квантовая лаборатория» (НКЛ) – международный научно-технологический консорциум, в который вошли ключевые участники российского квантового сообщества. 25 ноября 2020 г. подписано соглашение о создании консорциума, который консолидирует усилия университетов, научных центров, команд-разработчиков, стартапов, технологических компаний и финансовых организаций и является основой отечественной квантовой экосистемы. НКЛ является прямым аналогом научно-индустриальных объединений, созданных в США, ЕС, Канаде, Японии и других странах, и основой отечественной квантовой экосистемы.

НКЛ предполагает создание инфраструктуры для исследований и разработок, кадровую поддержку (включая привлечение иностранных специалистов), образовательные мероприятия, организацию международного консультирования, взаимодействие с ФОИВ и институтами развития, организацию различных мероприятий, включая международные конференции, научные школы, хакатоны, постоянное информационное взаимодействие между участниками экосистемы, работу с индустрией и формирование рынка квантовых вычислений.

На будущих индустриальных партнёров НКЛ возложена обязанность коммерциализации полученных результатов проектов, в том числе в рамках мероприятий по импортозамещению. Кроме того, в части стимулирования спроса планируются мероприятия по оказанию консалтинговых услуг клиентам для повышения эффективности деятельности и образования стоимости как путём предоставления информации и рекомендаций, так и путём предоставления услуг по доступу к облачной платформе. На первичных этапах это будет выражено в подготовке рынка к квантовым вычислениям, формировании у персонала потенциального заказчика понимания, где в его деятельности возможно применение технологии, обобщении отраслевого опыта применения квантовых вычислений для компании, проведении исследований потенциально интересных применений для бизнес-процессов конкретной индустриальной компании, оценке потенциала влияния квантовых вычислений на бизнес и пр.

Межуниверситетская квантовая сеть



На IV Конгрессе молодых учёных было подписано соглашение о создании научно-образовательного консорциума для развития межуниверситетской квантовой сети (МУКС). В консорциум вошли ведущие научные и образовательные учреждения России, включая Курчатовский институт, МГУ им. Ломоносова, Университет ИТМО и Казанский научный центр РАН, а также другие организации.

Инициаторами создания сети стали МГУ и «Иннопрактика», а научное руководство и администрирование осуществляет Курчатовский институт. Разработка велась при поддержке ОАО «РЖД», которое предоставило магистральную квантовую инфраструктуру, позволившую, объединить университеты и научные центры в единое цифровое пространство.

Консорциум займётся развитием сети, созданием новых приложений для квантовых коммуникаций и подготовкой специалистов. МУКС уже стала важным шагом к реализации дорожной карты «Квантовые коммуникации», утверждённой Правительством России в 2020 г. Эта технология откроет новые возможности для научных исследований и повышения уровня информационной безопасности.

Институты развития

Иннопрактика



Иннопрактика



Негосударственный институт развития, миссией которого является содействие росту национального человеческого капитала России путём формирования благоприятных условий для создания новых технологий и продуктов. Компания выступает медиатором между представителями науки, бизнеса и власти: выстраивая коммуникации, компания выявляет и анализирует потребности бизнеса в инновациях, предлагая эффективные решения.

Российский научный фонд



РНФ финансирует научные и научно-технические программы и проекты в сфере фундаментальных исследований – исследований, направленных на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, окружающей среды. Фонд был учреждён по инициативе Президента России в конце 2013 г., за это время Фондом было поддержано более 60 тысяч российских учёных. С 2022 г. расширены полномочия Фонда по поддержке опытно-конструкторских и технологических работ.

Фонд «Сколково»



Современный научно-технологический инновационный комплекс по разработке и коммерциализации новых технологий, который был создан в 2010 г. Фонд «Сколково» выступает в качестве института развития в рамках различных высокотехнологичных направлений. Ежегодно Фонд «Сколково» объявляет о новом конкурсном отборе проектов российских компаний, внедряющих инновационные отечественные решения.

Российский фонд прямых инвестиций



РФПИ осуществляет прямые инвестиции в лидирующие и перспективные российские компании совместно с ведущими инвесторами. Фонд создан в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 7 июня 2006 г. № 838-р с целью стимулирования создания в России собственной индустрии венчурного инвестирования, развития инновационных отраслей экономики и продвижения на международный рынок российских наucoёмких технологических продуктов.

Институты развития

Фонд Национальной технологической инициативы

ФОНД НТИ



Фонд НТИ – проектный офис Национальной технологической инициативы, оказывает финансовую и экспертную поддержку компаниям для реализации проектов НТИ из средств федерального бюджета.

НТИ – это объединение представителей бизнеса и экспертных сообществ для развития в России перспективных технологических рынков и отраслей, которые могут стать основой мировой экономики. В рамках НТИ реализуется несколько дорожных карт различных направлений науки и техники.

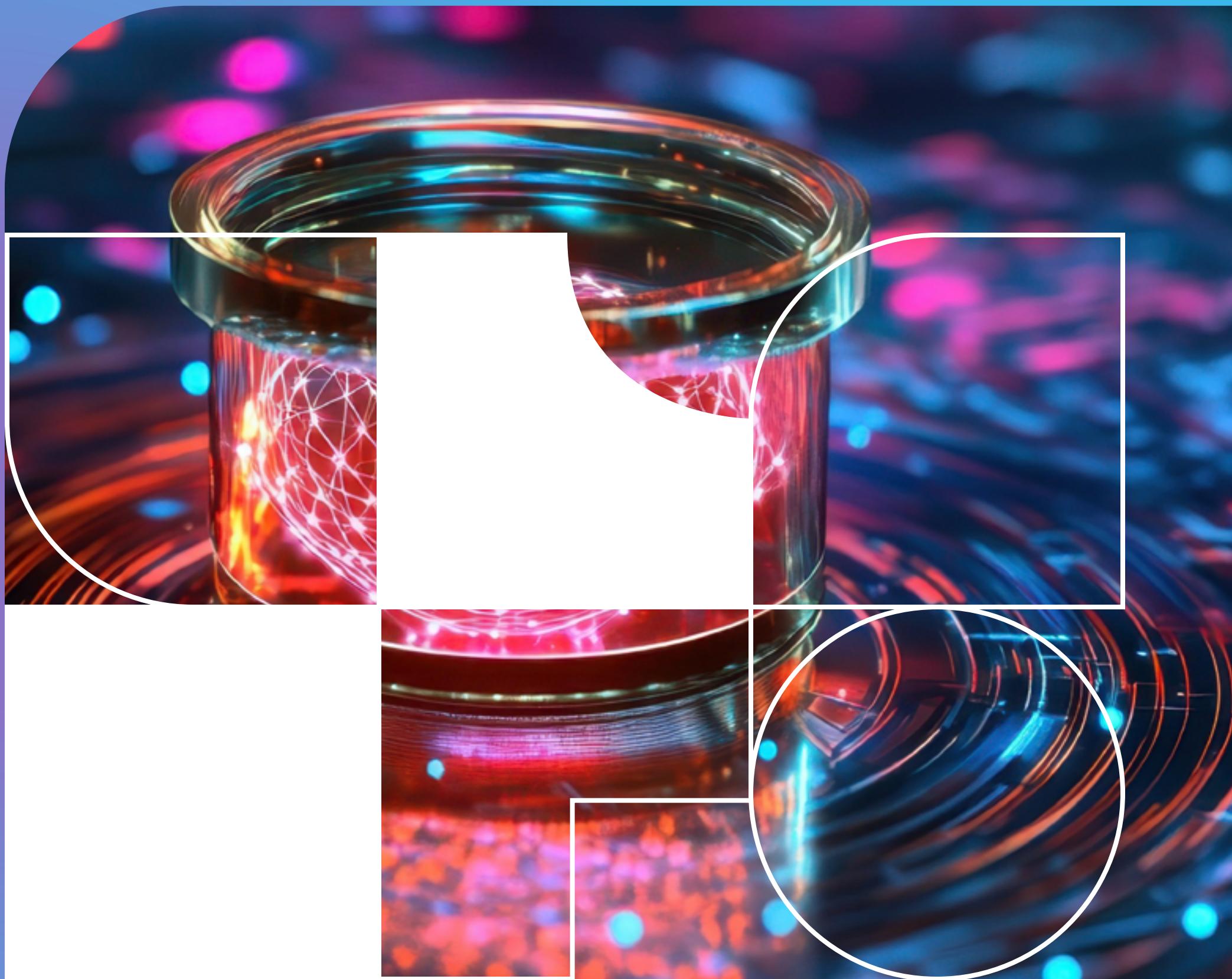
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям)

ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
ИННОВАЦИЯМ



Фонд содействия инновациям является государственной некоммерческой организацией, созданной для поддержки молодых учёных и малых предприятий, занимающихся высокотехнологичными разработками с потенциалом коммерциализации. Основные направления деятельности фонда включают вовлечение молодёжи в инновационную деятельность, поддержку стартапов, содействие коммерциализации научных разработок и развитие высокотехнологичных секторов экономики.

6. Инфраструктурные проекты





Первая межвузовская квантовая сеть

В 2021 году в Москве запустили первую в России экосистемную межвузовскую квантовую сеть с открытым доступом. Она объединила кампусы НИТУ МИСИС и МТУСИ. Сеть была создана в рамках проекта «Разработка сетевых программных решений для квантовых сетей».

Проект по созданию экосистемной межвузовской квантовой сети реализуется участниками консорциума Центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) «Квантовые коммуникации», созданного на базе НИТУ МИСИС. Участие в разработке, при поддержке Минобрнауки России, принимали студенты, аспиранты и молодые ученые столичных вузов, специалисты профильных партнерских организаций.

Экосистемная межвузовская квантовая сеть состоит из пяти узлов, расположенных в корпусах НИТУ МИСИС и МТУСИ. Она имеет открытую архитектуру и масштабируется по мере

появления новых участников. Доступ к сети получили вузы, научные организации, промышленные партнеры и государственные учреждения. На базе сети они могут разрабатывать современные программные приложения в сфере информационной безопасности с применением квантовых ключей.

Конфигурация квантовозащищенного канала связи соответствует принятой в промышленных сетях. Между доверенными узлами связи методом квантового распределения ключа по существующим оптическим линиям связи передаются ключи, формируемые со скоростью 30 кбит/с, что позволяет подключить одновременно более 10 высокоскоростных шифраторов.

Данный проект в дальнейшем вошел в состав Межуниверситетской квантовой сети (МУКС).



Презентация в 2021 году первой межвузовской квантовой сети на коворкинге «Точка кипения – Коммуна» с участием Председателя Правительства Российской Федерации Д.Н. Чернышенко

Партнеры проекта



Создание межуниверситетской квантовой сети

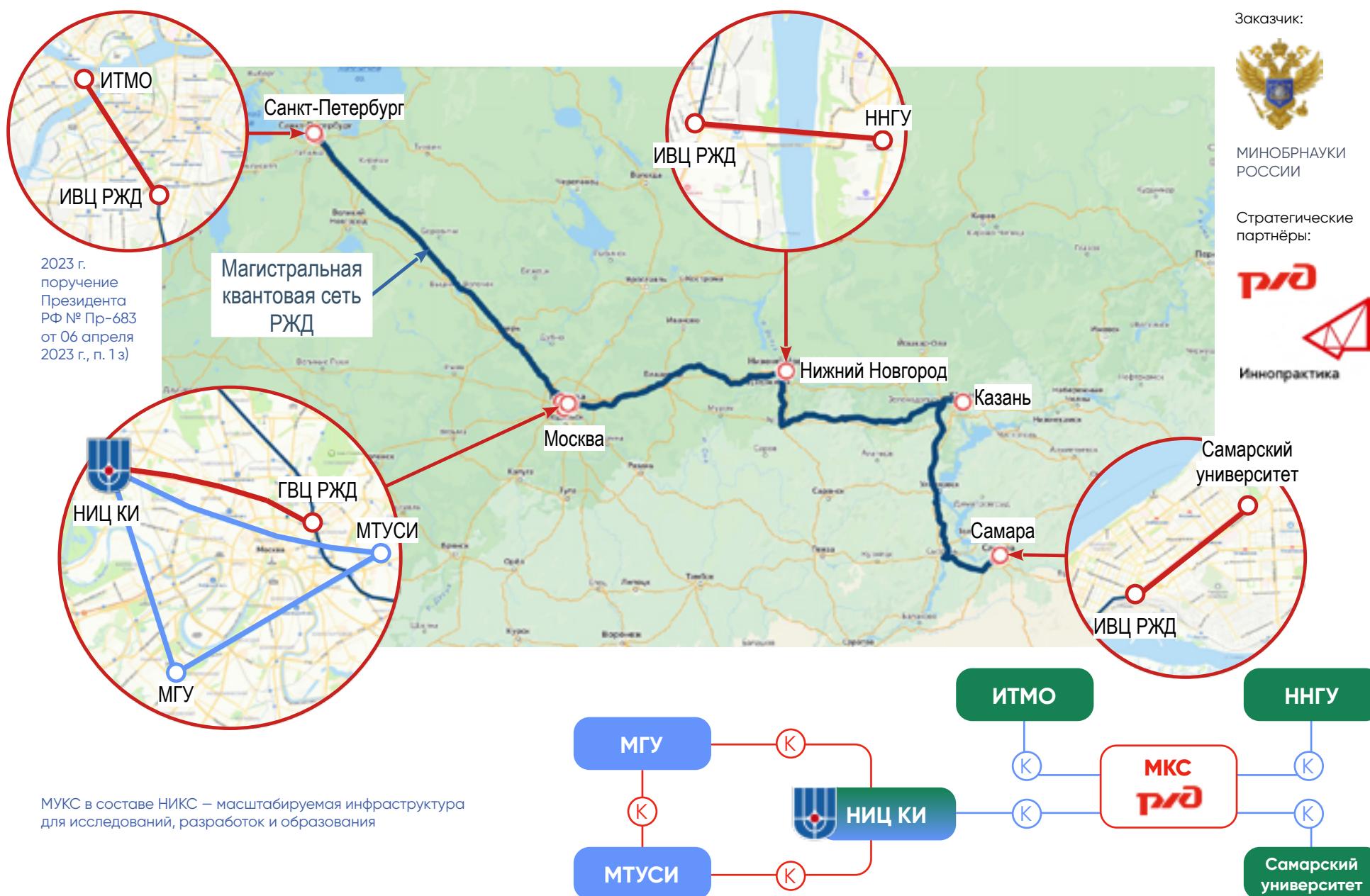


на базе Национальной исследовательской компьютерной сети

В 2022–2024 гг. в России реализуется проект по созданию межуниверситетской квантовой сети (МУКС) на основе Национальной исследовательской компьютерной сети (НИКС). Созданная в соответствии с поручением Президента Российской Федерации межуниверситетская квантовая сеть объединяет с помощью магистральной квантовой сети ОАО «РЖД» ведущие российские университеты и

научные организации в области квантовых технологий. В состав МУКС на первом этапе вошли: НИЦ «Курчатовский институт» – научный руководитель и оператор МУКС, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Московский технический университет связи и информатики, Университет Лобачевского в Нижнем Новгороде, Университет ИТМО в Санкт-Петербурге и Самарский университет им.

С. П. Королёва. Созданный на базе МУКС консорциум участников будет использовать сеть в научно-образовательных целях для развития квантовых технологий, развития университетского технологического предпринимательства, а также совместно с промышленными партнёрами для реализации сценариев практического использования квантовых систем передачи данных.



Применение квантовых вычислений в атомной отрасли



Программа в атомной отрасли

2024–2025

апробация на модельных задачах

17

компаний – участников атомной отрасли

2026–2030+

постепенный переход к решению практических задач

15

пилотных проектов:

- 3** – формирование компетенций
- 3** – моделирование
- 8** – оптимизация
- 1** – машинное обучение



Квантовые алгоритмы для атомной индустрии

Атомная промышленность: оптимизация производства и распределения ядерного топлива для обеспечения работы ядерных реакторов с длительным горизонтом планирования

Оптимизация: интеграция алгоритмов в платформу создания цифровых двойников и прогнозно-оптимального управления для решения обобщённых задач оптимизации

Оптимизация размещения объектов для сокращения издержек при 3D-печати, календарного планирования строительных работ, перезагрузки ядерных реакторов топливными элементами

Логистика: оптимизация логистических задач для Северного морского пути

Ядерная медицина: ускорение обработки медицинских данных (ускорение алгоритмов поиска аномалий в диагностических данных)

Критическая информационная инфраструктура: анализ данных об атаках, поиск аномальной активности и пр.

QKD – сервис усиленной защиты каналов связи



Сервис QKD – это максимально высокий уровень защиты каналов связи с помощью СКЗИ с использованием технологии квантового распределения ключей.

Не нужно покупать, внедрять и сертифицировать дорогостоящее квантовое оборудование. Достаточно просто подключить сервис QKD.

Для кого



Гос. органы и компании с гос. участием



Медицинский сектор



Финансовый сектор



Центры обработки данных

Возможности

Автоматизация

Секретные ключи генерируются и передаются автоматически без участия человека

Гибкие политики

Если квантовый канал неисправен, можно как разрешить, так и запретить обмен информацией с использованием классических ключей шифрования

Усиленная защита

Любое воздействие на канал связи детектируется, перехватить секретный ключ невозможно

Информирование клиентов

Оповещение клиента о воздействии на канал связи без компрометации защищаемой информации

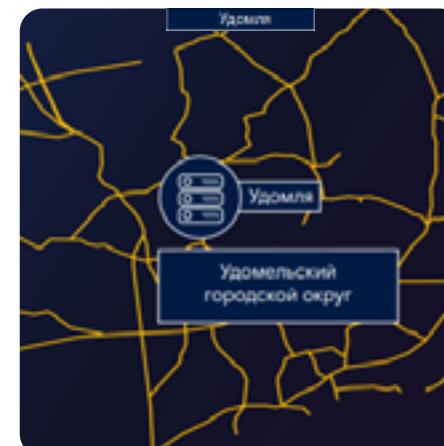
Варианты предоставления сервиса

В ЦОД «Ростелекома»

I. Вы размещаете ресурсы ЦОД «Ростелекома», передача данных между которыми защищена с применением технологии КРК

На площадках клиента

II. «Ростелеком» строит защищённый канал между вашими площадками с использованием алгоритма шифрования ГОСТ и технологии КРК



ЦОДы «Ростелекома»

Преимущества

01. Надёжная защита передаваемой информации

02. Устранение угрозы ИБ в долгосрочной перспективе

03. Минимизация влияния человеческого фактора при работе с ключами шифрования

04. В основе сервиса передовые отечественные технологии и оборудование

05. Эксплуатация силами ГК «Солар» – дочерней компании ПАО «Ростелеком»

06. Не нужно покупать дорогостоящее квантовое оборудование

Реализованные квантовые проекты АО «ИнфоТеКС» для рынка информационной безопасности



Университетская квантовая сеть
МГУ им. М. В. Ломоносова

infotecs ViPNet QSS

UQN Университетская
Квантовая Сеть

6 квантовых устройств

20 абонентских терминалов

40 км длина канала кванто-
возащищённой связи

Реализовано

Квантовая сеть ТУСУР

ТУСУР
TUSUR UNIVERSITY

Состав сети:

1 шт. – ViPNet РУКС Лайт 1 шт. – ViPNet QSS Switch

3 шт. – ViPNet КУКС Лайт 3 шт. – абонентские устройства
ViPNet CSS Connect HW

Реализовано

Межуниверситетская
квантовая сеть

Состав сети:

3 шт. – ViPNet РУКС

3 шт. – ViPNet L2Q-10G

2 шт. – ViPNet QSS Switch

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

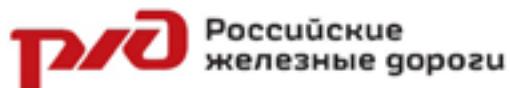
Московский
государственный
университет
имени М. В. Ломоносова

МТУСИ
МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ
И ИНФОРМАТИКИ

Реализовано

Реализованные квантовые проекты АО «ИнфоТеКС» для рынка информационной безопасности

Магистральная квантовая сеть ОАО «РЖД»
на участке Москва – Сочи



Шифраторы ViPNet L2Q-10G

>1000 км

длина магистральной квантовой сети

>50

ViPNet РУКС



Конвергентная сеть ПАО «Газпром»



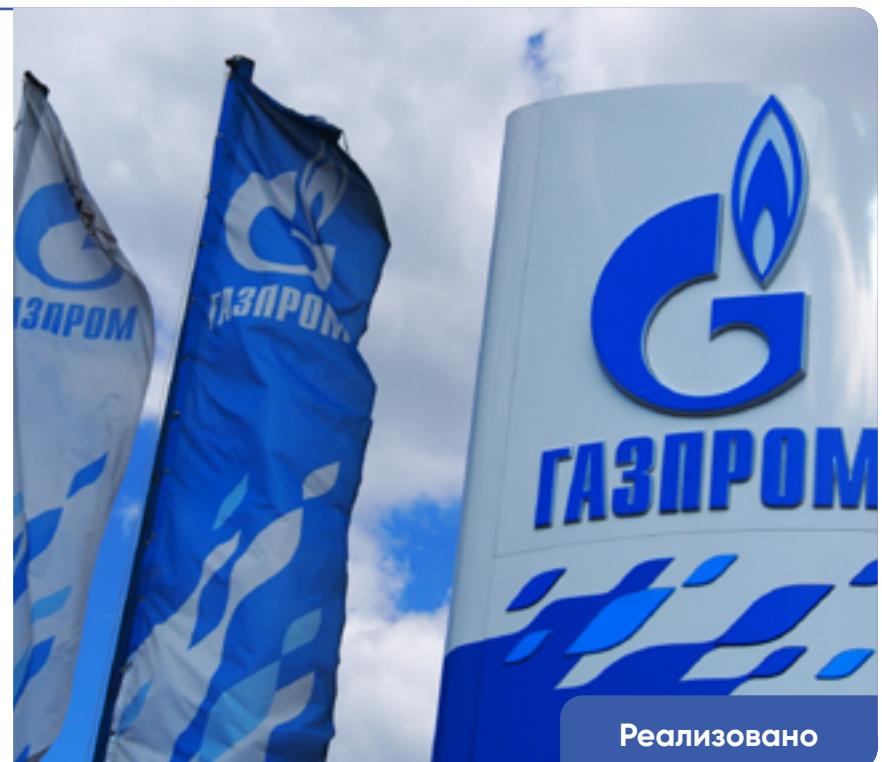
Состав сети:

1 шт. – ViPNet РУКС Лайт

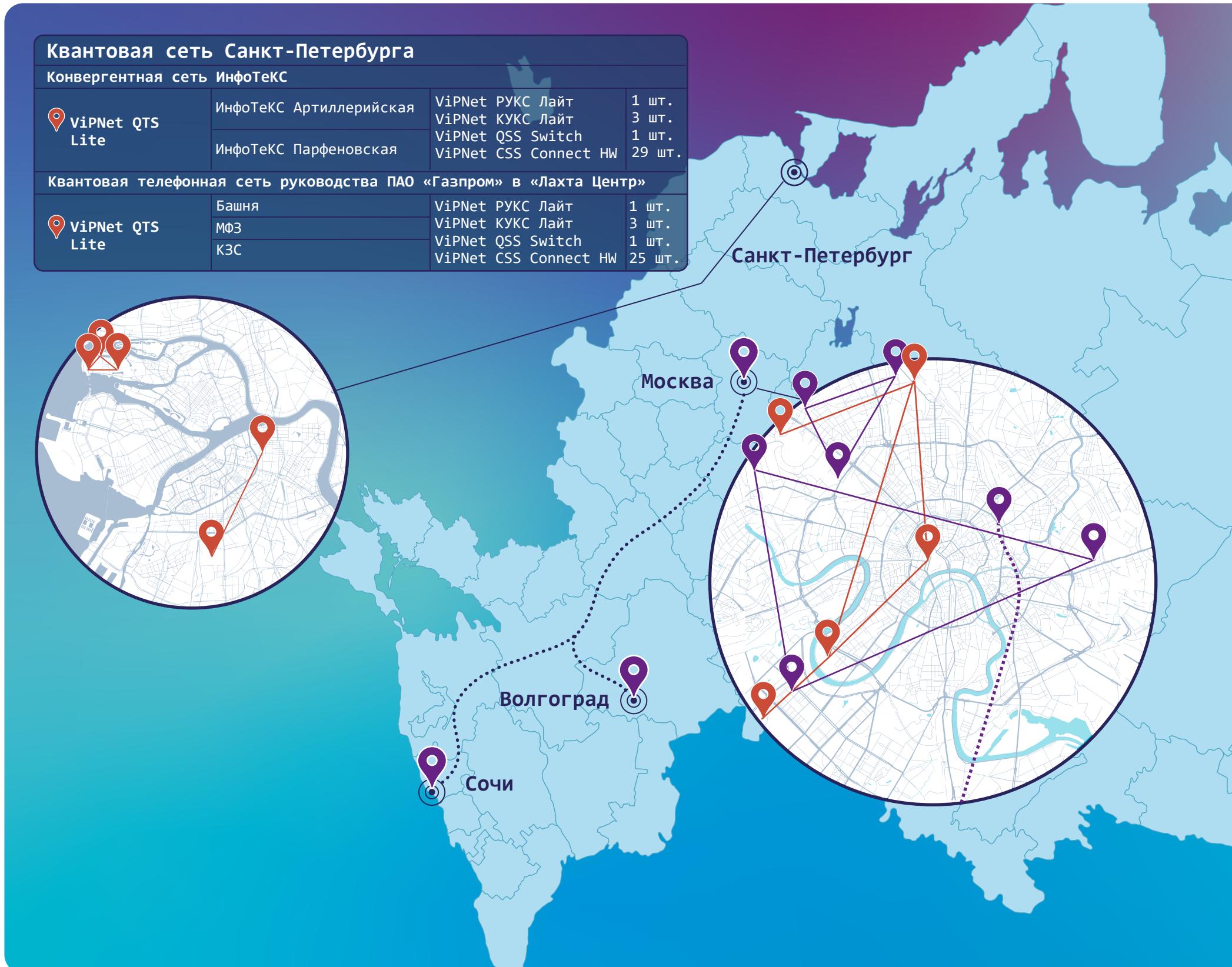
3 шт. – ViPNet КУКС Лайт

1 шт. – ViPNet QSS Switch

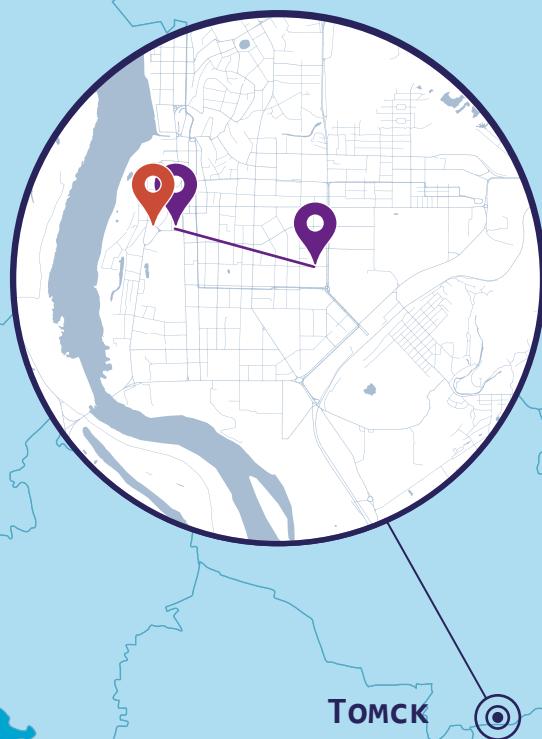
25 шт. – абонентские устройства
ViPNet CSS Connect HW Special



Карта реализованных проектов АО «ИнфоТеКС»



Карта реализованных проектов АО «ИнфоТеКС»



Квантовые сети Москвы

Университетская квантовая сеть

ViPNet QTS Lite	ИнфоТеКС Отрадное	ViPNet КУКС Лайт	5 шт.
	МГУ Воробьевы горы	ViPNet CSS Connect HW	23 шт.
	МГУ Моховая	ViPNet РУКС Лайт	1 шт.
	Кластер Ломоносов (Раменки)	ViPNet QSS Switch	1 шт.

Конвергентная сеть ИнфоТеКС

ViPNet QTS Lite	ИнфоТеКС Отрадное	ViPNet РУКС Лайт	1 шт.
	ИнфоТеКС Аэропорт	ViPNet КУКС Лайт	3 шт.
		ViPNet QSS Switch	1 шт.
		ViPNet CSS Connect HW	49 шт.

Защита каналов ИнфоТеКС

ViPNet QTS	ИнфоТеКС Отрадное	ViPNet РУКС	3 шт.
	ИнфоТеКС Мишина	ViPNet L2Q-10G	3 шт.
	ИнфоТеКС Аэропорт		

Межуниверситетская квантовая сеть

ViPNet QTS	НИЦ «Курчатовский институт»	ViPNet РУКС	3 шт.
	МГУ Воробьевы горы	ViPNet L2Q-10G	3 шт.
	МТУСИ Авиамоторная	ViPNet QSS Switch	2 шт.

Квантовые сети Томска

Большой университет Томска

ViPNet QTS	ТУСУР Ленина	ViPNet РУКС	2 шт.
	ИнфоТеКС Кирова	ViPNet L2Q-10G	2 шт.

Сеть ТУСУР

ViPNet QTS Lite	ТУСУР Ленина	ViPNet РУКС Лайт	1 шт.
		ViPNet КУКС Лайт	3 шт.
		ViPNet QSS Switch	1 шт.
		ViPNet CSS Connect HW	3 шт.

Магистральная квантовая сеть РЖД

Защита каналов связи

ViPNet QTS	Москва – Сочи	ViPNet РУКС	55 шт.
		ViPNet L2Q-10G	5 шт.

Импортозамещение в системах КРК



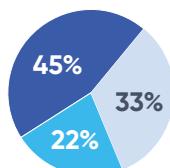
Применение отечественных разработок для создания систем КРК

Цель работы

Разработка промышленной технологии создания комплекса передачи информации для оптических сетей связи с применением квантовых и классических методов защиты каналов на основе отечественной компонентной базы.

2019 год

2022 год



Импортные компоненты

Компоненты российских поставщиков

Компоненты «СМАРТС-Кванттелеком»

Импортные компоненты



Заказчик

Департамент радиоэлектронной промышленности Минпромторга России

Исполнители

ИТМО и «СМАРТС-Кванттелеком»

Мониторинг квантовой сети

Подсистема управления и мониторинга (ПУМ)

Возможности по мониторингу:

- Построение **карты сети** произвольной топологии, отображение различного **состава оборудования**
- **Накопление статистики** основных параметров функционирования систем КРК (скорость генерации ключей и QBER)
- Мониторинг **количества квантовых ключей**, переданных от модулей КРК в сопряжённые СКЗИ
- Возможность самостоятельной **установки критериев отказа квантовой сети** (установка триггеров) с разделением по четырём уровням критичности
- Более **1000** параметров сетевого оборудования и СКЗИ, получаемого по стандартному **SNMP-протоколу**
- **Биллинг услуг** квантовой сети – в разработке



Проекты компании в разных регионах Российской Федерации



1800+ км

квантовых сетей

11 субъектов

Российской Федерации

Крупные города

Северо-Западного, Центрального и Поволжского федеральных округов

Ключевые события в жизни компании. Основные достижения по развитию технологии

СПБ Пилотный участок **ртд** Москва Первый промышленный сегмент **ртд** Н. Новгород



В 2021 г. состоялся первый «квантовый звонок» между Москвой и Санкт-Петербургом с участием вице-преьера РФ Чернышенко Д. Н. и губернатора Санкт-Петербурга Беглова А. Д. на оборудовании ООО «SMARTC-Кванттелеком»



В 2023 г. Президент РФ В. В. Путин принимает участие в «квантовой» ВКС, реализованной посредством магистральной квантовой сети Москва – Нижний Новгород на оборудовании ООО «SMARTC-Кванттелеком»

Монтаж и запуск 2023 г.



Казань

Следующие сегменты



КВЦ «Патриот», Армия 2023

Трехузловая квантовая сеть со стендом Главного управления связи Минобороны России



Испытания на инфраструктуре TEA NEXT

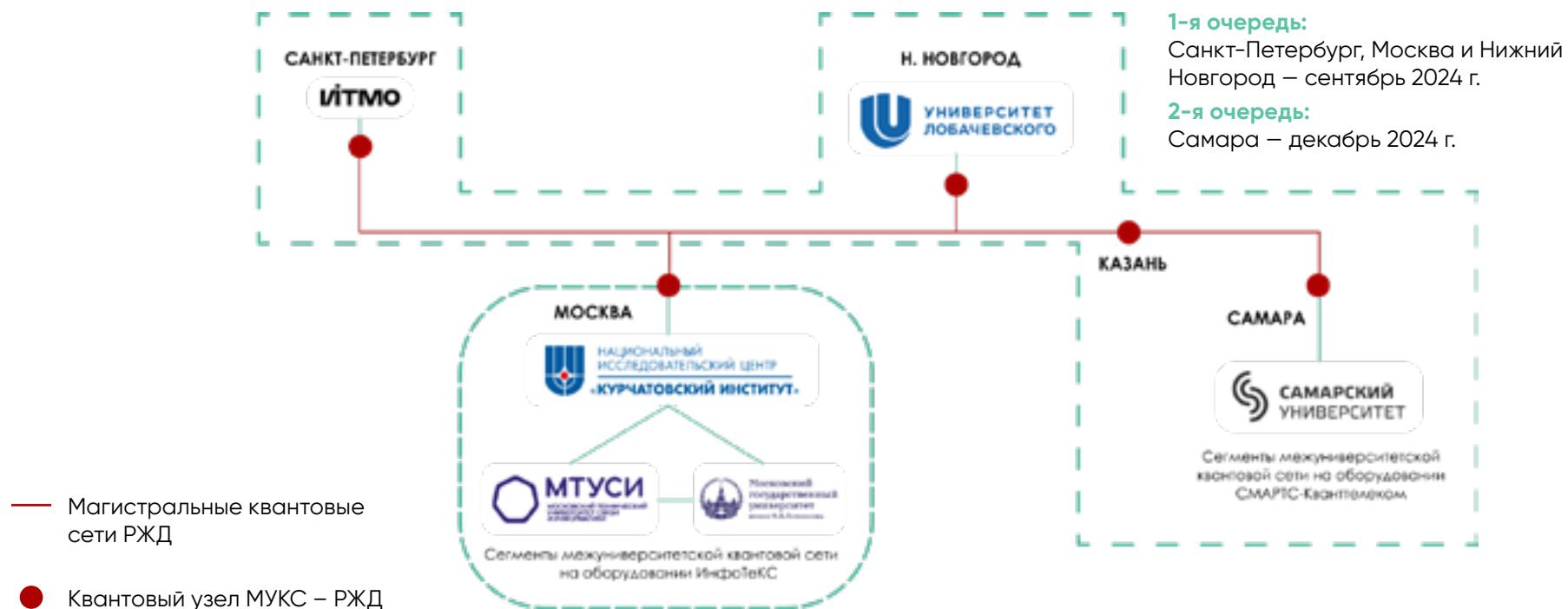
ВОЛС нового поколения, используются волокна со сниженными оптическими потерями



Сегменты межуниверситетской квантовой сети

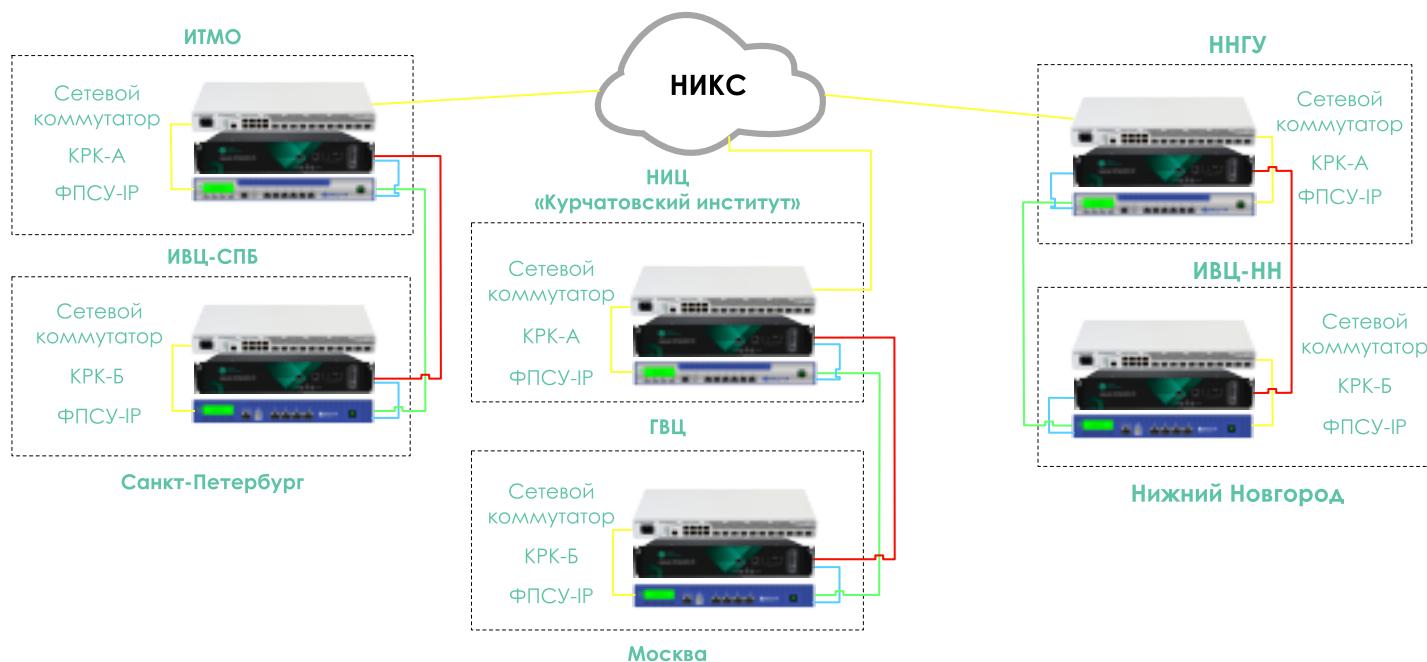


Точки подключения МУКС к магистральной квантовой сети



Состав оборудования на узлах подключения. Решения для подключения МУКС к магистральным сетям

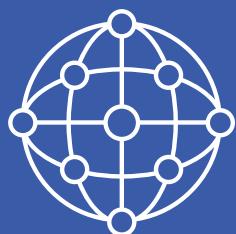
- Квантовый канал + синхронизация (SMF-28)
- Канал выдачи квантовых ключей (F/UTP)
- Обеспечивающие сетевую связь каналы (F/UTP)
- Служебный канал (SMF-28)



Основные сервисы на базе магистральной квантовой сети (МКС) АО «РЖД»

ТТК.ТрансТелеКом

Квантовый VPN



Оборудование КРК и СКЗИ находятся на балансе оператора

Описание

Комплексная услуга криптозащиты VPN трафика «под ключ»

- Каналы связи необходимой пропускной способности
- СКЗИ с поддержкой криптозащищенного ключа
- Оборудование для выработки и распределения квантового ключа

Тарификация

- Разовый (инсталляционный) платеж
- Ежемесячный платеж за аренду оборудования
- Ежемесячный платеж за аренду каналов связи

Ключ как сервис



Оборудование КРК и СКЗИ находятся на балансе клиента

Описание

Клиент сам приобретает необходимое оборудование

Оператор осуществляет присоединение к МКС и организацию служебного (криптозащищенного) и квантового каналов между КРК

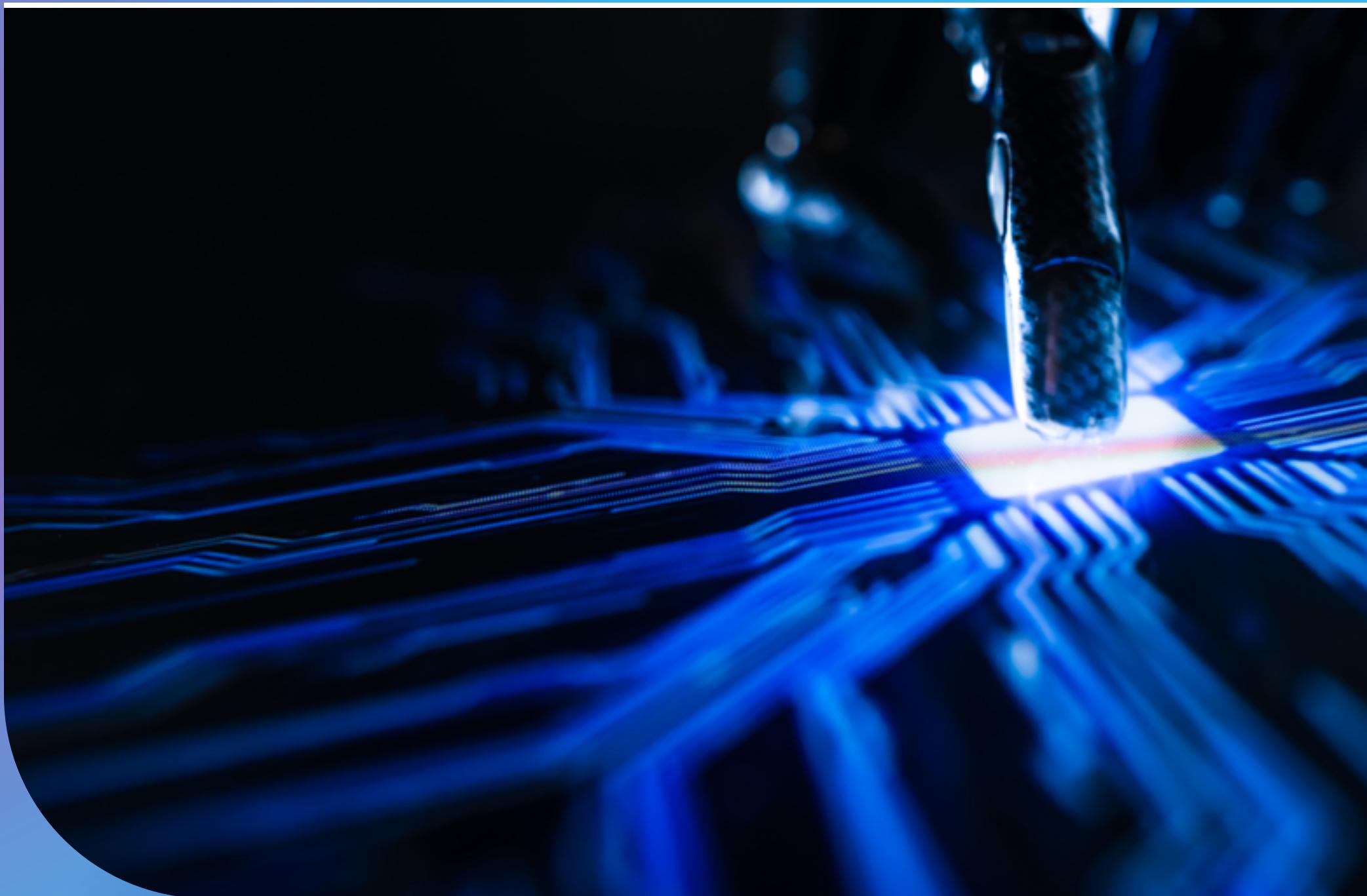
Тарификация

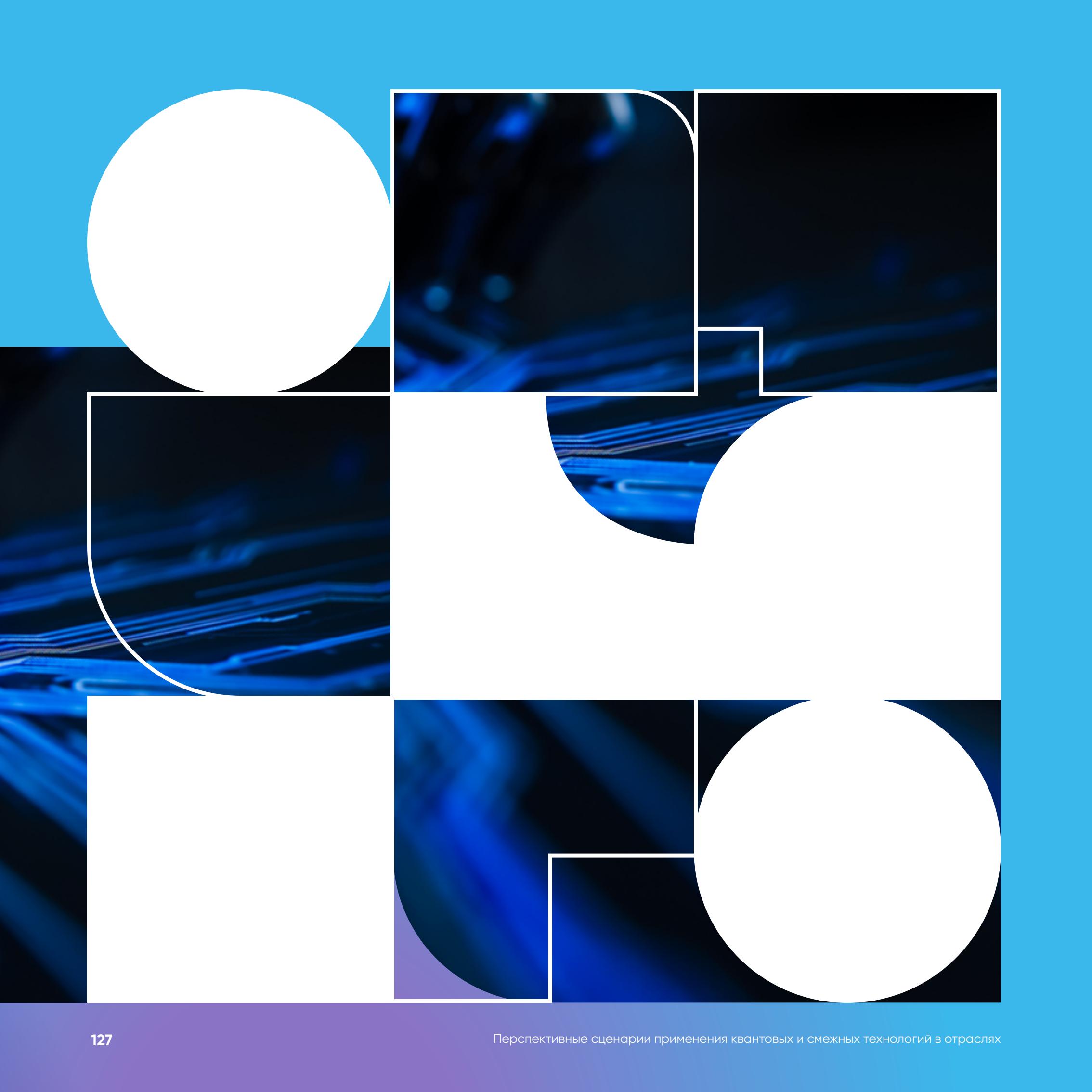
- Разовый платеж за техническое присоединение к МКС
- Ежемесячный платеж за служебный канал
- Ежемесячный платеж за квантовый канал

7. Нормативно-правовая база развития квантовых технологий

7.1. Нормативные и правовые документы

7.2. Стандартизация квантовых технологий





Государственные программы и нормативно-правовые акты в области квантовых технологий

Государственные программы

- Федеральный проект «Прикладные исследования и перспективные разработки» национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства»
- Федеральный проект «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»;
- Соглашение о намерениях между Правительством Российской Федерации и Госкорпорацией «Росатом» по развитию высокотехнологичных областей «Квантовые вычисления», а также Дорожная карта «Квантовые вычисления», утверждённая президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию в рамках реализации указанного соглашения.
- Соглашение о намерениях между Правительством Российской Федерации и ОАО «РЖД» по развитию высокотехнологичных областей «Квантовые коммуникации», а также Дорожная карта «Квантовые Коммуникации», утверждённая президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию в рамках реализации указанного соглашения.

Нормативно-правовые акты

- Перечень поручений Президента Российской Федерации от 13.07.2023 № Пр-1734 по итогам встречи с учёными и пленарного заседания Форума будущих технологий.
- Поручение Президента Российской Федерации от 25.04.2024 г. № Пр-1166, п.1 д) по итогам пленарного заседания съезда и встречи с членами бюро правления Общероссийской общественной организации «Российский союз промышленников и предпринимателей».
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 июля 2023 г. № 1856-р «Об утверждении Концепции регулирования отрасли квантовых коммуникаций в Российской Федерации до 2030 года».
- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 27 ноября 2023 г. № 1477-ст об утверждении Изменений 63/2023 ОКВЭД 2 к Общероссийскому классификатору видов экономической деятельности и Изменений 94/2023 ОКПД 2 к Общероссийскому классификатору продукции по видам экономической деятельности.
- Приказ Федеральной службы безопасности Российской Федерации от 9 февраля 2005 года №66 «Об утверждении Положения о разработке, производстве, реализации и эксплуатации шифровальных (криптографических) средств защиты информации (Положение ПКЗ-2005)»
- Приказ Федеральной службы безопасности Российской Федерации от 20 июля 2017 года «Об утверждении Временных требований к квантовым криптографическим системам выработки и распределения ключей для средств криптографической защиты информации, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну».
- Приказ ФАПСИ от 13.06.2001 N 152 «Об утверждении Инструкции об организации и обеспечении безопасности хранения, обработки и передачи по каналам связи с использованием средств криптографической защиты информации с ограниченным доступом, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну».

Стандартизация квантовых технологий



Стандартизация квантовых технологий в РФ осуществляется техническими комитетами 26, 194 и 480 Росстандарта при участии российских экспертов

TK 26	Криптографическая защита информации
TK 194	Киберфизические системы
TK 480	Связь



JTC3 Quantum Technologies

Технический комитет IEC/ISO JTC 3 создан в 2024 г. Международной электротехнической комиссией (IEC) и Международной организацией по стандартизации (ISO).

Его задачей является разработка международных стандартов для новых высокотехнологичных отраслей: квантовые компьютеры и симуляторы, квантовая метрология, квантовые сенсоры и квантовые коммуникации.

Россия вошла в комитет как одна из 25 стран, имеющих право голоса.

Предварительные национальные стандарты Российской Федерации

- ПНСТ 829-2023 «Квантовые коммуникации. Общие положения» – определяет основные положения и принципы в области квантовых коммуникаций, типовые схемы построения квантовых сетей, общие принципы их использования для задач квантового распределения ключей и другое.
- ПНСТ 830-2023 «Квантовые коммуникации. Термины и определения» – устанавливает термины и определения в области квантовых коммуникаций: «квантовая информация», «кубит», «квантовая система» и другие.
- ПНСТ 832-2023 «Квантовый интернет вещей. Термины и определения» – унифицированы понятия «квантовый сигнал», «квантовый передатчик/приёмник», «квантовая сеть», «хранилище квантовых данных» и другие.
- ПНСТ 831-2023 «Квантовый интернет вещей. Общие положения» – определяет основные положения в области квантового интернета вещей, его типовую модель, особенности по сравнению с обычным интернетом вещей и другое.
- ПНСТ 906-2023 «Квантовый интернет вещей. Типовой программно-аппаратный комплекс (ПАК), реализующий функции системы квантового распределения ключей. Архитектура» – определяет архитектуру типового ПАК, реализующего распределение квантовых ключей в системе квантового интернета вещей.
- ПНСТ 907-2023 «Квантовый интернет вещей. Типовой программно-аппаратный комплекс, реализующий функции системы квантового распределения ключей. Интерфейсы подключения» – определяет требования к интерфейсам подключения типового ПАК в области квантового распределения ключей.

Профессиональные стандарты

- 06.050 «Специалист по монтажу и технической эксплуатации квантовых сетей»
- 06.054 «Специалист по исследованиям и разработкам в области квантовых коммуникаций»

Авторы

АНО «Цифровая экономика»

Ярослав Авдиев
Директор направления
«Технологическое лидерство»

Карен Казарян
Директор по аналитике

Мария Сайкина
Ведущий аналитик

Шушанна Петросян
Руководитель проекта

Николай Зарубин
Старший аналитик

Мария Мешкова
Старший аналитик

Редакторская коллегия

Роман Кесоян
ООО «Конатех»

Антон Гугля
ООО «КуАпп», ООО «КуБорд»

Михаил Кольченко
ООО «СП «Квант»

Эксперты

Алексей Федоров
АО «Газпромбанк»

Максим Кот
ООО «КуАпп»

Михаил Турчанинов
ПАО «МегаФон»

Павел Воробьев
ООО «КуРэйт»

Ярослав Кожемяко
ООО «КуРэйт»

Евгений Семёнов
АО «Компания ТрансТелеКом»

Константин Лукьянов
ООО «КуРэйт»

Ярослав Борисов
ООО «СП «Квант»

Александр Шаманаев
АО «ИнфоТеКС»

Максим Бобров
ООО «Конатех»

Алексей Сантьев
ООО «СМАРТС-Кванттелеком»

Анна Каткова
НИУ «МЭИ»

Марианна Данилина
Ассоциация ФинТех

Ансар Сафин
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Иван Саков
ООО «Конатех»

Пётр Ганелин
АНО «Национальный технологический
центр цифровой криптографии»

Сергей Ханенков
ПАО «Ростелеком»

Василий Велихов
НИЦ «Курчатовский институт»

Николай Трофимов
ООО «КуРэйт»

Глоссарий

АЛГОРИТМ ШОРА (КВАНТОВЫЙ АЛГОРИТМ ФАКТОРИЗАЦИИ) – квантовый алгоритм разложения чисел на простые множители. Суть алгоритма заключается в сведении задачи факторизации к поиску периода функции

АЛГОРИТМ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ – метод криптографии, основанный на математических свойствах эллиптических кривых. Под эллиптической кривой понимается набор точек, координаты которых принадлежат конечному полю

АСИММЕТРИЧНОЕ ШИФРОВАНИЕ – шифрование информации с применением открытого ключа, который можно передавать по незащищённым каналам связи

ГОМОМОРФНОЕ ШИФРОВАНИЕ – форма шифрования, позволяющая производить определённые математические действия с зашифрованным текстом и получать зашифрованный результат, который соответствует результату операций, выполненных с открытым текстом

ГРАФИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ – специализированный микропроцессор или часть компьютерной системы, предназначенные для выполнения операций, связанных с обработкой графики и видео

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ – уравнение, которое помимо функции содержит её производные. Порядок входящих в уравнение производных может быть различен

КВАНТОВЫЙ АЛГОРИТМ ГРОВЕРА – квантовый алгоритм быстрого поиска в неупорядоченной базе данных

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ – тип вычислений, использующий квантово-механические явления для выполнения операций над данными
КВАНТОВАЯ ЗАПУТАННОСТЬ – квантово-механическое явление, при котором квантовые состояния двух или большего числа объектов оказываются взаимозависимыми

КВАНТОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ (КВАНТОВАЯ КРИПТОГРАФИЯ) – метод защиты коммуникаций, основанный на принципах квантовой физики. В отличие от традиционной криптографии, которая использует математические методы, чтобы обеспечить секретность информации, квантовая криптография опирается на принципиальную неопределённость поведения квантовой системы

КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР (ВЫЧИСЛИТЕЛЬ) – квантовое вычислительное устройство, основанное на кодировании информации в квантовом состоянии двухуровневой системы – кубита (или многоуровневой системы – кудита). В отличие от классического компьютера, основанного на бинарном коде (т. е. анализирующем информацию, представленную в виде «0» и «1»), такие машины основаны на кодировании информации в квантовом состоянии двухуровневой системы, что позволяет работать не только с состояниями «0» и «1», но и любой их суперпозицией

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА – раздел физики, описывающий физические явления на самом элементарном уровне – уровне частиц (атомов, фотонов и пр.)

КВАНТОВАЯ ПЛАТФОРМА – способ физической реализации кубитов (например, энергетические уровни атомов или ионов, поляризация фотонов, направление спина и пр.)

КВАНТОВОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ – совокупность программ системы обработки информации и программных документов, предназначенных для использования на устройствах квантовых вычислений

КВАНТОВЫЙ ПРОЦЕССОР – устройство, предназначенное для кодирования и хранения информации в состояниях квантовых систем, выполнения логических операций и измерений над этими состояниями (с использованием дополнительного оборудования). Обладает следующими характеристиками: число кубитов (эквивалентная размерность пространства логических состояний), точность однокубитных и двухкубитных операций

КВАНТОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕЙ – метод передачи ключа, который использует квантовые явления для гарантии безопасной связи. Позволяет двум сторонам, соединённым по открытому каналу связи, создать общий случайный ключ, который известен только им, и использовать его для шифрования и расшифровывания сообщений

КВАНТОВЫЙ РЕГИСТР – совокупность связанных между собой кубитов в квантовом процессоре

КВАНТОВЫЕ СЕНСОРЫ – высокочувствительные измерительные приборы, основанные на регистрации индивидуальных квантовых эффектов, то есть квантовых эффектов, касающихся отдельных квантовых систем

КВАНТОВОЕ СОСТОЯНИЕ – любое возможное состояние, в котором может находиться квантовая система

КВАНТОВАЯ СУПЕРПОЗИЦИЯ – фундаментальный принцип квантовой механики, согласно которому, если для некоторой квантовой системы допустимы определённые состояния, то допустима и любая их линейная комбинация, она называется суперпозицией состояний

КВАНТОВАЯ ТОЧКА – фрагмент проводника или полупроводника, носители заряда которого ограничены в пространстве по всем трём измерениям

КВАНТОВЫЙ ШУМ – шум, возникающий из-за неопределённости состояния материи в соответствии с основными принципами квантовой механики

КВАНТОВЫЙ ЭМУЛЯТОР (ЭМУЛЯТОР КВАНТОВОГО ПРОЦЕССОРА) – программно-аппаратный комплекс, позволяющий моделировать поведение квантового процессора посредством классических вычислительных средств

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – материалы, обладающие ферромагнитными свойствами и способные накапливать магнитный момент и сохранять его даже после удаления внешнего магнитного поля

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ОТКРЫТЫМ КЛЮЧОМ – система шифрования и/или электронной подписи (ЭП), при которой открытый ключ передаётся по открытому каналу и используется для проверки ЭП и для шифрования сообщения

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ ХЕШ-ФУНКЦИИ – специализированный тип хеш-функции, предназначенный для использования в различных криптографических приложениях, включая цифровые подписи, коды аутентификации сообщений и другие формы аутентификации

КУБИТ – элементарная единица квантовой информации. Кубит может быть закодирован в состоянии двухуровневой системы. Различают физические кубиты (реальные квантовые реализации кубитов на одной из физических платформ, как правило страдающие от нежелательной декогеренции, что приводит к ошибкам в вычислениях) и логические кубиты (алгоритмы, реализующие помехозащищённое кодирование квантовой информации в физическом носителе)

МАССИВНЫЙ ПАРАЛЛЕЛИЗМ – подход к вычислениям, при котором множество операций выполняется одновременно с использованием большого количества процессоров или вычислительных узлов

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ – процесс обучения компьютеров и других систем на основе имеющихся данных с целью автоматического извлечения знаний и принятия решений.

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО – метод анализа, применяемый в случаях, когда параметры известны приблизительно и есть информация о статистическом распределении этих параметров. Для проведения анализа генерируют большое число случайных значений параметров, для каждого такого значения выполняют расчёт и формируют статистическое распределение для результата

МОДЕЛЬНАЯ ПРАКТИКА – обобщённые понятные сценарии применения технологий ИИ, которые направлены на решение конкретной функции или «боли» бизнеса и дают положительные измеримые эффекты

НЕРАВЕНСТВА БЕЛЛА – уравнения, подтверждающие, что вне зависимости от реального наличия в квантово-механической теории неких скрытых параметров, влияющих на любую физическую характеристику квантовой частицы, можно провести серийный эксперимент, статистические результаты которого подтвердят либо опровергнут наличие таких скрытых параметров в квантово-механической теории

ОБЛАЧНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ – набор инструментов, предназначенных для удалённого запуска и использования квантовых алгоритмов и квантового программного обеспечения

ПОИСК КОЛЛИЗИИ – процесс нахождения двух различных входных данных (или сообщений), которые приводят к одному и тому же хеш-значению в контексте криптографических хеш-функций

ПОЛИНОМИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ – концепция улучшения времени выполнения определённых алгоритмов за счёт использования дополнительных ресурсов, таких как память или параллелизм

ПОЛНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ КОД – код фиксированной длины (блоковый код), исправляющий ошибки, для которого любая линейная комбинация кодовых слов также является кодовым словом

ПОСТКВАНТОВАЯ КРИПТОГРАФИЯ – новые криптографические алгоритмы, устойчивые к кибератакам с применением квантовых компьютеров

ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНАЯ АНАЛИТИКА – использование статистических и математических методов для выявления скрытых закономерностей и составления прогнозов о будущих событиях или поведении систем.

СИГНАТУРНЫЙ АНАЛИЗ – один из методов антивирусной защиты, заключающийся в выявлении характерных идентифицирующих свойств каждого вируса и поиске вирусов при сравнении файлов с выявленными свойствами

СХЕМА ДИФФИ – ХЕЛЛМАНА – криптографический протокол, позволяющий двум и более сторонам получить общий секретный ключ, используя незащищённый от прослушивания канал связи

ТОЧНОСТЬ (ДОСТОВЕРНОСТЬ) ОПЕРАЦИЙ (FIDELITY) – средняя вероятность получения ожидаемого результата при выполнении операции (1-кубитной или 2-кубитной) на квантовом процессоре

УГТ – метрика, используемая для оценки зрелости технологий в процессе их разработки и внедрения, регулируемая национальным стандартом ГОСТ Р 58048-2017

УРАВНЕНИЕ НАВЬЕ – СТОКСА – система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости

RSA – криптографический алгоритм с открытым ключом, основывающийся на вычислительной сложности задачи факторизации больших полупростых чисел

ИСТОЧНИКИ

Отраслевые и технологические исследования

1. McKinsey. Quantum Technology Monitor. 2024. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage>
2. IQM Quantum Computers, OpenOcean, and Lakestar. State of Quantum 2024 Report. 2024. URL: <https://www.meetiqm.com/newsroom/press-releases/state-of-quantum-report-2024>
3. WEF. Quantum Economy Blueprint. 2024. URL: <https://www.weforum.org/publications/quantum-economy-blueprint/>
4. IBM Institute for Business Value. Coming soon to your business – Quantum computing. 2022. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/OVIVONLX>
5. Nature. Beyond quantum supremacy: the hunt for useful quantum computers. 2019. URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02936-3>
6. Precedence Research. Quantum Sensor Market Size, Share, and Trends 2024 to 2030. 2024. URL: <https://www.precedenceresearch.com/quantum-sensor-market>
7. Precedence Research. Quantum Communication Market Size, Share, and Trends 2024 to 2033. 2024. URL: <https://www.precedenceresearch.com/quantum-communication-market>
8. BCG. The Long-Term Forecast for Quantum Computing Still Looks Bright. 2024. URL: <https://www.bcg.com/publications/2024/long-term-forecast-for-quantum-computing-still-looks-bright>
9. McKinsey. Quantum technology use cases as fuel for value in finance. 2023. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/tech-forward/quantum-technology-use-cases-as-fuel-for-value-in-finance>
10. НИУ ВШЭ. Развитие отдельных высокотехнологичных направлений. Белая книга. 2022. URL: <https://roscongress.org/materials/razvitie-otdelnykh-vysokotekhnologichnykh-napravleniy-belaya-kniga/>
11. Фонд Росконгресс, Российский квантовый центр, СП «Квант», РЖД, Правительство Москвы. Квантовые технологии для государства и бизнеса: настоящее и будущее. 2023. URL: <https://roscongress.org/materials/kvantovye-tehnologii-dlya-gosudarstva-i-biznesa-nastoyashchee-i-budushchee/>
12. Сбербанк. Квантовые вычисления: перспективы для бизнеса. 2023. URL: <https://sberlabs.com/publications?publication=781>
13. Positive Technologies, QApp, Куборд, Российский квантовый центр. Безопасность квантовых технологий в сфере IT. 2024. URL: <https://qapp.tech/research/analytics/phd2024>
14. Рексофт Консалтинг, Куборд. Квантовые вычисления: взгляд в будущее. 2024. URL: <https://www.reksoft.ru/blog/2024/10/17/quantum-computing-research/>
15. Финтех-Радар, сентябрь 2024 г. Квантовые вычисления. URL: <https://www.fintechru.org/analytics/fintekh-radar-sentyabr-2024-kvantovye-vychisleniya/>
16. Банк России. Обзор российского финансового сектора 2023 г. URL: <https://asiic.ru/wp-content/uploads/2024/04/bank-rossii.-obzor-rossijskogo-finansovo-sektora-za-2023-god.pdf>
17. GradientFlow: Primary applications of AI in Financial Services. 2022. URL: <https://gradientflow.com/one-simple-chart-primary-applications-of-ai-in-financial-services/>
18. Forbes. Emerging Fintech Trends: Navigating the Future of Financial Services. 2024. URL: <https://councils.forbes.com/blog/emerging-fintech-trends>
19. Росстат. Основные экономические и социальные показатели. 2023. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Dok_12-2023.htm
20. Деловой профиль. Рынок телекоммуникаций РФ: тенденции развития и превращение представителей телекома в экосистемы. 2023. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-telekommunikatsiy-rf-tendentsii-razvitiya-i-prevrashchenie-predstaviteley-telekoma-v-ekosistem/>
21. TMT Консалтинг. Российский рынок телекоммуникаций: итоги 2023 года. 2024. URL: <https://tmt-consulting.ru/napravleniya/telekommunikacii/tmt-rejting-rossijskij-rynok-telekommunikacij-predvaritelnye-itogi-2023-goda/>
22. Frank Phillipson. Quantum Computing in Telecommunication – A Survey. 2023. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7390/11/15/3423>
23. DataInsight. Маркетинговое исследование «Интернет-торговля в России 2024». 2024. URL: https://datainsight.ru/eCommerce_2023?ysclid=m154762b9g208435612
24. Dunnhumby. Demystifying quantum computing for commercial companies. 2021. URL: <https://www.dunnhumby.com/resources/reports/ai-science-data/en/demystifying-quantum-computing-for-commercial-companies/>
25. Quantum Zeitgeist. Quantum Computing in the Retail Industry. 2021. URL: <https://quantumzeitgeist.com/quantum-computing-in-the-retail-industry/>
26. Управление производством. Семь потерь в логистике и пути их устранения. 2023. URL: https://up-pro.ru/library/logistycs/logistic_systems/sem-poter-v-logistike/
27. Contimod. Retail Cybersecurity Statistics. 2024. URL: <https://www.contimod.com/retail-cybersecurity-statistics/>

Примеры решений на базе квантовых технологий

- The Quantum Insider. Moody's Analytics Latest Research Uses Quantum-based Signature Kernels to Predict the Odds of a Recession. 2023. URL: <https://thequantuminsider.com/2023/05/12/moodys-analytics-latest-research-uses-quantum-based-signature-kernels-to-predict-the-odds-of-a-recession>
- Scientific Reports. Quantum computing reduces systemic risk in financial networks. 2023. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-30710-z#Sec25>
- IonQ. IonQ and GE Research Demonstrate High Potential of Quantum Computing for Risk Aggregation. 2022. URL: <https://www.ge.com/research/newsroom/ionq-and-ge-research-demonstrate-high-potential-quantum-computing-risk-aggregation>
- Arxiv. Quantum-secured blockchain. 2018. <https://arxiv.org/abs/1705.09258>
- HSBC. HSBC pilots quantum-safe technology for tokenised gold. 2024. URL: <https://www.hsbc.com/news-and-views/news/media-releases/2024/hsbc-pilots-quantum-safe-technology-for-tokenised-gold>
- Multiverse Computing. Bank of Canada and Multiverse Computing Complete Preliminary Quantum Simulation of Cryptocurrency Market. 2022. URL: <https://www.multiversecomputing.com/news/bank-of-canada-and-multiverse-computing-complete-preliminary-quantum-simulation-of-cryptocurrency-market/>
- KyБорд. Investment portfolio optimization by quantum, classical and quantum-inspired algorithms. 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/1cNebqIrmex-vMxzwrxpOb12cj7xZKsJr/view>
- IoT World Today. Quantum System Improves CaixaBank Investment Algorithms. 2022. URL: <https://www.iotworldtoday.com/2022/03/18/quantum-system-improves-caixabank-investment-algorithms/>
- Arxiv. Financial Index Tracking via Quantum Computing with Cardinality Constraints. 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2208.11380>
- The Quantum Insider. Multiverse Computing's Quantum-based Fair Price Solution a Step Toward Quantum Advantage in Finance. 2022. URL: <https://thequantuminsider.com/2022/01/19/multiverse-computings-quantum-based-fair-price-solution-a-step-toward-quantum-advantage-in-finance/>
- Terra Quantum. Towards Quantum Exotic Options Trading: Terra Quantum & Cirdan Capital harness the power of quantum software for enhanced exotic option pricing. 2023. URL: <https://terraquantum.swiss/news/terra-quantum-and-cirdan-capital>
- Arxiv. Quantum Deep Hedging. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2303.16585>
- Arxiv. Financial Risk Management on a Neutral Atom Quantum Processor. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2212.03223>
- New Journal of Physics. Quantum algorithm for credit valuation adjustments. 2022. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/ac5003>
- Arxiv. Quantum-inspired optimization for wavelength assignment. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2211.00317>
- D-Wave. D-Wave Showcases Advantage™ QPU's Ability to Improve Cellphone Network Transmission. 2023. URL: <https://www.dwavesys.com/company/newsroom/press-release/d-wave-showcases-advantage-qpu-s-ability-to-improve-cellphone-network-transmission/>
- Sensors. Multi-Objective Routing Optimization for 6G Communication Networks Using a Quantum Approximate Optimization Algorithm. 2022. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7570>
- Reuters. China Telecom establishes quantum technology group. 2023. URL: <https://www.reuters.com/technology/china-telecom-establishes-quantum-technology-group-2023-05-31/>
- Federal Reserve. Cybersecurity and Financial System Resilience Report. 2023. URL: <https://www.federalreserve.gov/publications/files/cybersecurity-report-202308.pdf>
- Известия. Чувство алгоритма: в РФ создали «антивирус» от квантовой угрозы. 2024. URL: <https://iz.ru/1773145/andrei-korsunov/cuvstvo-algoritma-v-rf-sozdali-antivirus-ot-kvantovoi-ugrozy>
- QApp. Пилотный интеграционный проект «Квантово-устойчивая защита host-to-host коммуникаций». 2023. URL: <https://qapp.tech/cases/gazprombank>
- QApp. Пилотный интеграционный проект «Постквантовое шифрование электронного документооборота Национальной системы платежных карт (НСПК)». 2023. URL: <https://qapp.tech/cases/nspk>
- TACC. Российские компании создали первую блокчейн-платформу с постквантовым шифрованием. 2023. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/18863517>
- FinExtra. Banque de France and Monetary Authority of Singapore complete post-quantum cryptography trial. 2024. URL: <https://www.finextra.com/newsarticle/45010/banque-de-france-and-monetary-authority-of-singapore-complete-post-quantum-cryptography-trial>
- The Quantum Insider. Bank of Canada Engages evolutionQ in Research on Quantum-safe Digital Currencies. 2024. URL: <https://thequantuminsider.com/2024/04/13/bank-of-canada-engages-evolutionq-in-research-on-quantum-safe-digital-currencies/>
- HPC Ware. QCI to Help Rabobank Fight Fraud with Entropy Quantum Computing. 2022. URL: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/qci-to-help-rabobank-fight-fraud-with-entropy-quantum-computing/>

Примеры решений на базе квантовых технологий

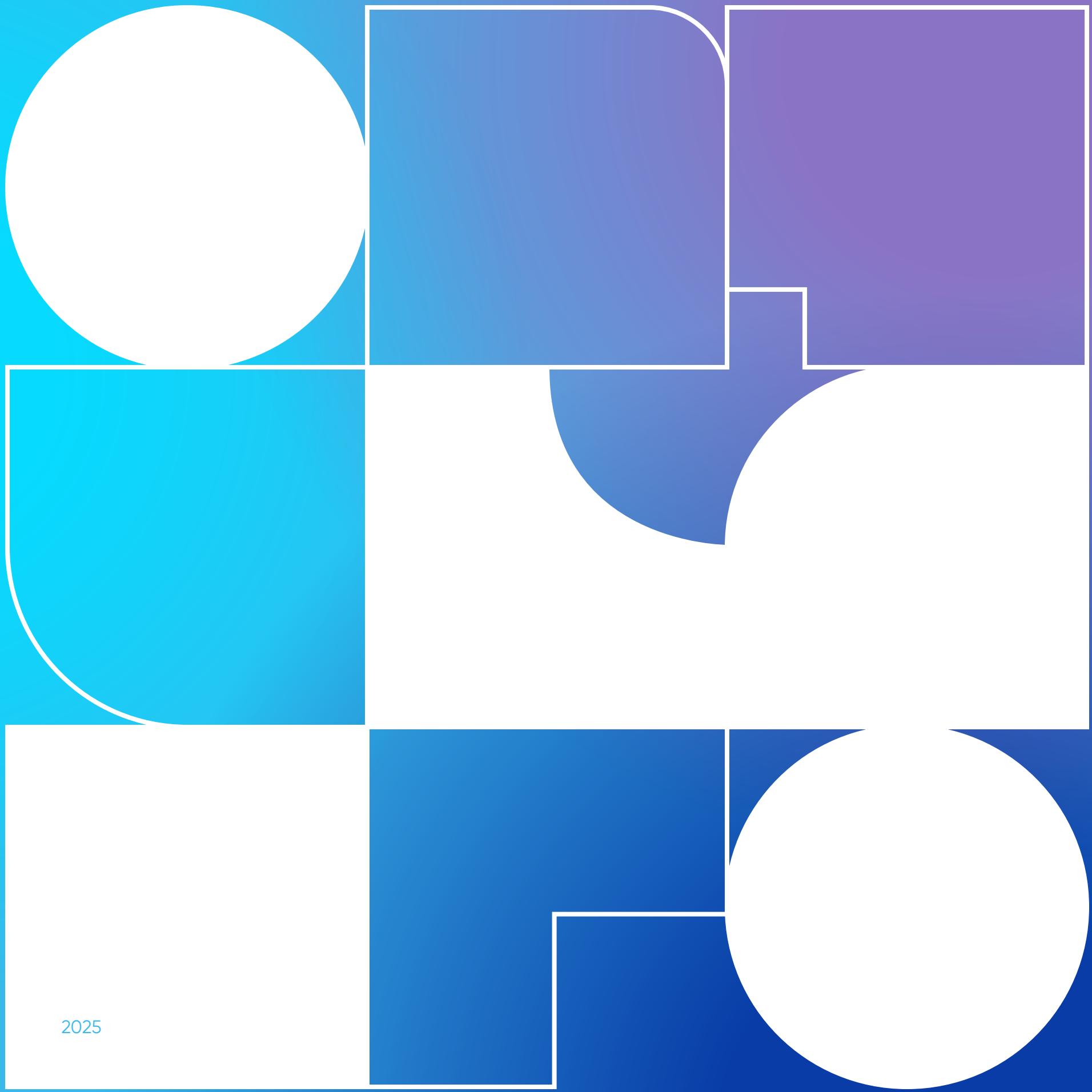
- ТАСС. "Ростелеком" начал строительство третьей очереди трансевразийской ВОЛС. 2023. URL: <https://tass.ru/ekonomika/19512483>
- ТАСС. В РФ разработали решение для квантовой защиты мобильных коммуникаций. 2024. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/21850499>
- Arxiv. Eurasian-Scale Experimental Satellite-based Quantum Key Distribution with Detector Efficiency Mismatch Analysis. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2310.17476>
- New Science. Китай представил самую передовую квантовую сеть связи, охватывающую целый город. 2023. URL: <https://new-science.ru/kitaj-predstavil-samuju-peredovuju-kvantovuju-set-svyazi-ohvatyvajushhuju-celyj-gorod/>
- Deutsche Telekom. Deutsche Telekom leads build of high-security communications network for the EU. 2023. URL: <https://www.telekom.com/en/media/media-information/archive/deutsche-telekom-leads-build-of-high-security-communications-network-for-the-eu-1026404>
- Amazon. Amazon and Harvard launch alliance to advance research in quantum networking. 2022. URL: <https://www.amazon.science/academic-engagements/amazon-and-harvard-launch-alliance-to-advance-research-in-quantum-networking>
- Nature. Entanglement of nanophotonic quantum memory nodes in a telecom network. 2024. URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07252-z>
- Cisco. Announcing the opening of the Cisco Quantum Lab. 2023. URL: <https://outshift.cisco.com/blog/quantum-research-lab-announcement>
- IonQ. IonQ Awarded Ground-breaking Quantum Computing Contract With Applied Research Laboratory for Intelligence and Security. 2024. URL: <https://investors.ionq.com/news/news-details/2024/CORRECTING-and-REPLACING-IonQ-Awarded-Ground-breaking-Quantum-Computing-Contract-With-Applied-Research-Laboratory-for-Intelligence-and-Security-ARLIS/default.aspx>
- CNews. В России создан постквантовый алгоритм шифрования для защиты переписки в мессенджерах. 2023. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2023-01-06_na_zashchitu_messenzherov_vstanut
- CNews. В России создана первая система видеоконференцсвязи с постквантовым шифрованием. 2023. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2023-02-16_rossiyane_sozdali_sistemu?ysclid=m18xbl93v586076563
- Apple. iMessage with PQ3: The new state of the art in quantum-secure messaging at scale. 2024. URL: <https://security.apple.com/blog/imessage-pq3/>
- Zoom. Zoom bolsters security offering with the inclusion of post-quantum end-to-end encryption in Zoom Workplace. 2024. URL: <https://news.zoom.us/post-quantum-e2ee/>
- Google. Protecting Chrome Traffic with Hybrid Kyber KEM. 2023. URL: <https://blog.chromium.org/2023/08/protecting-chrome-traffic-with-hybrid.html>
- Groovenauts. Groovenauts to Release World's First Business Service Powered with Quantum Computing Technology. 2019. URL: <https://www.magellanic-clouds.com/blocks/en/2019/03/26/quantum-computing-technology/>
- D-Wave. QUANTUM IN PRODUCTION: OPTIMIZING E-COMMERCE LOGISTICS. 2023. URL: https://www.dwavesys.com/media/2sof3qhz/the-pattison-food-group_case_story_v8.pdf
- CNET. BMW takes first steps into the quantum computing revolution. 2022. URL: <https://www.cnet.com/news/bmw-takes-first-steps-into-the-quantum-computing-revolution/>
- Science Advances. Experimental quantum e-commerce. 2024. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk3258>
- CIO. Mastercard preps for the post-quantum cybersecurity threat. 2023. URL: <https://www.cio.com/article/652972/mastercard-preps-for-the-post-quantum-cybersecurity-threat.html>



Сайт АНО "Цифровая экономика"
d-economy.ru



Сайт проекта
"Технологическое лидерство 2030"
техлид.рф



2025