

Аналитический отчет

Потребности в кадровом обеспечении
высокотехнологичной области «Квантовые
коммуникации» на период до 2030 года

ОАО «МАЦ», Москва, 2022



Оглавление

Оглавление	2
1. ПРИОРИТЕТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	5
1.1 ВВЕДЕНИЕ.....	5
1.2 ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫХ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ В МИРЕ ДО 2030 ГОДА КАК ОСНОВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ВОСТРЕБОВАННОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ, ПРОХОДЯЩИХ ПОДГОТОВКУ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	11
1.2.1 ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ В МИРЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ	12
1.2.2 Оценка развития технологий квантовых коммуникаций в Российской Федерации в целях определения объёма кадровых потребностей отрасли	27
1.3 НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫЕ СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ РЫНКА КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ОПИСАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СЕГМЕНТОВ РЫНКА КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ПЕРИОД ДО 2030 ГОДА В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАДРОВЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ОТРАСЛИ ДО 2030 ГОДА	48
1.4 БАРЬЕРЫ И РИСКИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ, ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ ИЛИ ЯВЛЯЮЩИХСЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ ТАКИХ ТЕХНОЛОГИЙ, В СПЕЦИАЛИСТАХ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	56
1.5 ВЫВОДЫ О ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И МИРЕ И О НЕОБХОДИМОСТИ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ НА ОСНОВании ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И С УЧЕТОМ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ПРИОРИТЕТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОДУКТОВ И СЕРВИСОВ «ДОРОЖНОЙ КАРТЫ»	59
2. ТЕРМИНОЛОГИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ.....	62
3. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ СО СМЕЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЛАСТЯМИ, ВКЛЮЧАЯ ОЦЕНКУ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕКРЁСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ МЕЖДУ ПРЕДМЕТНЫМИ ОБЛАСТЯМИ	66
4. СЦЕНАРНЫЙ ПРОГНОЗ ПОТРЕБНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В СПЕЦИАЛИСТАХ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ПЕРИОД ДО 2030 Г.	86
4.1 Предпосылки.....	86
4.2 Подходы к привлечению и переобучению специалистов.....	86
4.3 Прогноз изменения кадровых потребностей до 2030 года.....	89
4.3.1 Базовый сценарий	89
4.3.2 Оптимистичный сценарий	97
4.4 Прогноз потребности в новых специалистах	107
5. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ РОССИЙСКИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	109

5.1 ПЕРЕЧЕНЬ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ, СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ, ПРОФЕССИЙ ПО УРОВНЯМ ОБРАЗОВАНИЯ (СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, БАКАЛАВРИАТ, СПЕЦИАЛИТЕТ, МАГИСТРАТУРА, АСПИРАНТУРА) В СООТВЕТСТВИИ С ОК 009-2016, В РАМКАХ КОТОРЫХ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПО СТАДИЯМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ (ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНЫХ РЕШЕНИЙ, ВНЕДРЕНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ).....	110
5.2 ОПИСАНИЕ РОЛЕЙ СПЕЦИАЛИСТОВ И ИХ СООТНЕСЕНИЕ С НАИБОЛЕЕ РЕЛЕВАНТНЫМИ БАЗОВЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ПОДГОТОВКИ.....	112
5.3 ПЕРЕЧЕНЬ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ	125
5.3.1 НАУЧНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ	125
5.3.2 РАЗРАБОТЧИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ	131
5.3.3 ОПЕРАТОРЫ СВЯЗИ (И ИНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ ВНЕДРЕНИЕМ)	136
5.3.4 КРУПНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ (И ИНЫЕ ЭКСПЛУАТАНТЫ)	143
5.4 ПЕРЕЧЕНЬ РОССИЙСКИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПОДГОТОВКУ КАДРОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	150
5.5 ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ОБЪЕМА (В 2020-2025 ГГ.) ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКИМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ	168
5.5.1 ПРЕДПОСЫЛКИ И ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ.....	168
5.5.2 КАРТА ВУЗОВ И СПО.....	170
5.5.3 ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ОБЪЕМА ВЫПУСКА ПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ВУЗАМИ, ВКЛЮЧАЯ ПРОГНОЗ ДО 2025 ГОДА	171
5.5.4 ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ОБЪЕМА ВЫПУСКА ПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ СПО ВКЛЮЧАЯ ПРОГНОЗ ДО 2025 ГОДА	179
5.5.5 ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ РЕАЛИЗУЕМЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПОТРЕБНОСТЯМ УЧАСТНИКОВ РЫНКА	181
5.6 ОБОБЩЕННЫЙ АНАЛИЗ КАДРОВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ ИЛИ ЯВЛЯЮЩИХСЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ ТАКИХ ТЕХНОЛОГИЙ, С УЧЕТОМ СЕГМЕНТИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ РЫНКА КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	182
6. ПРОБЛЕМЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ОБЛАСТИ «КВАНТОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ» В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	206
6.1 КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	206
6.2 СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	207
6.3 СПЕЦИФИКА РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ	208
7. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ОБЛАСТИ «КВАНТОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ» В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	210
7.1 ПОТРЕБИТЕЛИ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	210
7.2 ОПЕРАТОРЫ СВЯЗИ.....	213
7.3 РАЗРАБОТЧИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ	214
7.4 НАУЧНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ	218

7.5 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ.....	220
8. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ТРУДОУСТРОЙСТВА СПЕЦИАЛИСТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ, ОРИЕНТИРОВАННЫМ НА КВАНТОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ В СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ	222
8.1 ТРЕБОВАНИЯ К КОМПЕТЕНЦИЯМ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ОРГАНИЗАЦИЯМИ, ЗАНЯТЫМИ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЕТЕЙ СВЯЗИ, ОСНОВАННЫХ НА ПРИНЦИПАХ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ, ОРГАНИЗАЦИЯМИ, ВНЕДРЯЮЩИМИ РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ, ОРГАНИЗАЦИЯМИ – РАЗРАБОТЧИКАМИ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ.....	222
9. ОЦЕНКА ПОДХОДА К ФОРМИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ УНИФИЦИРОВАННОГО УЧЁТА ВЫПУСКНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	266
9.1 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ВАЖНЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ УЧЁТА ДАННЫЕ ИЛИ ВЫПОЛНЯЮЩИЕ АНАЛОГИЧНЫЕ ЗАДАЧИ В ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ.....	266
9.2 ОЖИДАНИЯ РАБОТОДАТЕЛЕЙ, СОИСКАТЕЛЕЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ОТ СИСТЕМЫ УНИФИЦИРОВАННОГО УЧЁТА ВЫПУСКНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ.....	275
9.3 БАРЬЕРЫ И РИСКИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УНИФИЦИРОВАННОГО УЧЁТА ВЫПУСКНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	276
9.4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ УЧАСТНИКОВ РЫНКА В ФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УНИФИЦИРОВАННОГО УЧЁТА.....	278
9.5 КЛЮЧЕВЫЕ ПУТИ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ УНИФИЦИРОВАННОГО УЧЁТА ВЫПУСКНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	282
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	286

1. Приоритетные технологические направления в области квантовых коммуникаций

1.1 Введение

Угроза, которую представляют кибератаки, вынуждает правительства, вооруженные силы и бизнес искать более безопасные способы передачи информации.

Проблемы информационной безопасности в значительной степени связаны с уязвимостями существующих алгоритмов перед квантовым компьютером, человеческим фактором доставки ключей, а также необходимостью постоянной защиты информационных каналов связи от вмешательства нарушителей. Технологии квантовых коммуникаций дополняют существующие средства криптографической защиты информации (СКЗИ) и обеспечивают безопасность передаваемых ключей.

Квантовая связь использует законы квантовой физики для защиты данных. Эти законы позволяют частицам (обычно фотонам) принимать состояние суперпозиции, что означает, что они, в отличие от цифровых систем, могут представлять комбинацию из 1 и 0 с разными весами **одновременно**. Эти частицы известны как квантовые биты или кубиты.

Преимущество кубитов с точки зрения кибербезопасности заключается в том, что, если нарушитель пытается наблюдать за ними в пути, их сверххрупкое квантовое состояние «коллапсирует» до 1 или 0. Незнание кубитов также нельзя скопировать или «усилить» и измерить. Всё это означает, что нарушитель не может вмешиваться в работу кубитов, не оставив после себя явный признак активности.

Некоторые разработчики в мире применяют эти свойства для создания новых решений по генерации и защищённой рассылке секретных ключей, которые затем используются для шифрования информации. Такие решения, использующие квантовые явления для гарантии безопасной связи, носят название квантовое распределение ключей (КРК). В теории системы КРК сверхбезопасны, а на практике

способны повысить защищённость существующих сетей связи, действуя в качестве дополнительной меры.

В квантово-защищённых сетях массив данных пользователей отправляется и шифруется с помощью классических СКЗИ, при этом ключи для СКЗИ квантовым образом распределяются с помощью КРК.

Для реализации КРК были разработаны различные подходы, или протоколы. Так работает широко используемый протокол BB84. Представьте себе двух людей, Алису и Боба. Алиса хочет безопасно отправить данные Бобу. Для этого она создает ключ шифрования с помощью кодирования кубитов, состояния поляризации которых представляют отдельные битовые значения ключа.

Кубиты отправляются Бобу по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) или атмосферной линии, и после измерений состояний части кубитов Алиса и Боб могут получить одинаковый ключ и удостовериться, что его никто не подслушал, статистически оценив его свойства.

По мере того, как кубиты отправляются к месту назначения, хрупкое квантовое состояние некоторых из них разрушается из-за декогеренции. Учитывая, что ошибки, вызванные действиями нарушителя, неотличимы от ошибок, вызванных декогеренцией, в квантовой криптографии принято считать, что все ошибки вызваны действиями нарушителя. Соответственно, чем больше декогеренция, тем больше ошибок, связанных с действиями нарушителя, даже если его в действительности нет. Поэтому для изготовления финального ключа, Алиса и Боб проводят процесс, называемый «усиление секретности», заключающийся в подсчете ошибок и сравнении их с пределом, определяемым протоколом. В случае, когда они не превышают заданный протоколом предел, они могут их исправить и получить конечный ключ.

В противном случае они отказываются от скомпрометированного ключа и продолжают генерировать новые, пока не будут уверены, что только у них двоих общий криптографический ключ. Затем Алиса может использовать свой ключ для шифрования данных и отправки их классическими методами Бобу, который использует свой ключ для декодирования информации.

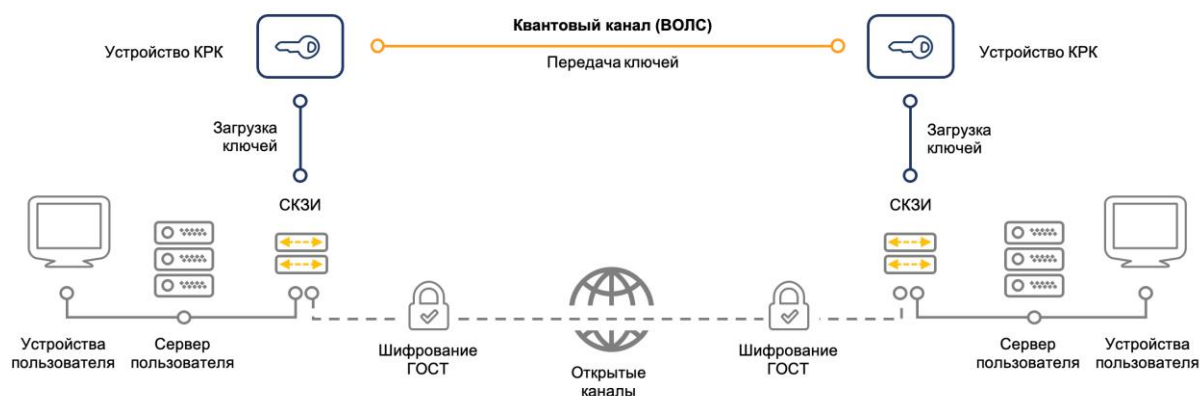


Рисунок 1.1 – Схема передачи информации с использованием КРК

Ключевыми преимуществами технологии КРК являются:

- абсолютная защита передаваемых ключей, основанная на физических принципах;
- автоматизация процесса управления и передачи ключей;
- отсутствие ограничений на частоту смены ключа и возможность использования уже имеющихся систем передачи информации (системы КРК встраиваются в имеющиеся решения).

Таким образом, КРК позволяет гарантированно защитить ключи от несанкционированного доступа и повысить уровень защиты передаваемых данных, исключить из процесса передачи ключей человека, а также снять ограничение на частоту замены ключей в СКЗИ.

Ведущими российскими компаниями уже разработаны и производятся системы КРК. В настоящее время получено разрешение Регулятора на опытную эксплуатацию КРК в связке с СКЗИ. Идёт сертификация готовых решений.

В связи с ограниченной дальностью КРК, связанной с декогеренцией, используется технология доверенных узлов. Однако доверенные узлы нуждаются в охране и в настоящее время ведутся работы по созданию квантовых повторителей, которые позволят кубитам, используемым для генерации ключей, оставаться в квантовой форме при передаче на большие расстояния. Прототипы квантовых повторителей уже созданы, исследователями подтверждена их работоспособность. В настоящее время в целях увеличения параметров работы

таких решений проводится ряд научно-исследовательских работ, что позволит перейти к этапу опытной эксплуатации.

Менее развитым, но не менее перспективным направлением квантовых коммуникаций, кроме КРК, является квантовая телепортация. Квантовая телепортация работает путем создания пар запутанных фотонов и последующей отправки одного из каждой пары отправителю данных, а другого – получателю. Изменение состояния одного фотона в связи с взаимодействием с «кубитом памяти», в котором хранятся данные, мгновенно изменяет состояние другого фотона из пары.

В активной разработке находятся также перспективные технологии квантовых коммуникаций, позволяющие обмениваться ключами без необходимости прокладки ВОЛС: атмосферная связь, позволяющая обмениваться ключами в зоне прямой видимости, а также космическая квантовая связь, при которой ключи распределяются между объектами на большие расстояния при помощи спутника.

Последним этапом развития квантовых коммуникаций принято считать квантовый интернет. Как и в случае с традиционным интернетом, это будет глобальная сеть сетей, соседствующая и взаимосвязанная с интернетом, обеспечивающая безопасность и взаимосвязь вычислительных устройств и сенсоров.

В области квантовых коммуникаций, как и в любой стремительно развивающейся области, необходимо уделять особое внимание кадровым потребностям. Необходимо понимать, какими компетенциями и какой квалификацией должен обладать специалист на каждой из стадий развития технологии, будь то стадия исследований, когда необходимы специалисты, работающие в области фундаментальных исследований, стадия разработки, когда к команде присоединяются специалисты, работающие в области прикладных исследований, или же внедрения, когда нужны специалисты, работающие непосредственно с готовыми продуктами и решениями, отвечающими за эксплуатацию оборудования. Кроме кадровых потребностей для эксплуатации оборудования, необходимо учитывать также кадровую потребность в руководителях направлений разработок, в специалистах в области маркетинга и продаж решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций. Не менее важной задачей является определение компетенций и навыков, которыми должен

обладать будущий специалист, что непосредственно затрагивает и процесс их подготовки в образовательных организациях и их дальнейшее профессиональное развитие.

Таким образом, полноценная проработка вопросов, связанных с кадровыми потребностями и кадровым обеспечением высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации», является одним из необходимых условий для её успешного и быстрого развития.

Целью настоящего исследования является анализ кадровых потребностей высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» на период до 2030 года.

Задачи, поставленные для достижения текущей цели:

- Анализ приоритетных технологических направлений в области квантовых коммуникаций для определения ключевых направлений подготовки квалифицированных кадров;
- Анализ перспектив взаимодействия технологий квантовых коммуникаций со смежными областями в целях выявления возможности перекрёстного использования специалистов;
- Анализ кадровой обеспеченности организаций, работающих в области квантовых коммуникаций или являющихся потенциальными пользователями таких решений;
- Составление перечня направлений подготовки, специальностей, профессий по уровням образования в соответствии с ОК 009-2016, в рамках которых осуществляется подготовка кадров для работы в области квантовых коммуникаций;
- Составление перечня российских образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров для работы в области квантовых коммуникаций;
- Описание наиболее вероятных сценариев развития технологий квантовых коммуникаций в мире до 2030 года как основа для определения уровня востребованности специалистов, проходящих подготовку в области квантовых коммуникаций;

- Оценка наиболее вероятных сценариев развития рынка квантовых коммуникаций в Российской Федерации и описание ключевых сегментов рынка квантовых коммуникаций на период до 2030 года в целях прогнозирования кадровых потребностей отрасли до 2030 года;
- Численная оценка ежегодного объема подготовки кадров и сценарный прогноз потребностей Российской Федерации в кадрах для работы в области квантовых коммуникаций на период до 2030 года;
- Определение требований к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций;
- Оценка подхода к формированию системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций;
- Оценка перспектив трудоустройства специалистов, обучающихся по специальностям, ориентированным на квантовые коммуникации в смежных областях;
- Исследование проблем кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций и поиск путей их решения.

В рамках настоящего исследования использовались следующие **подходы и методы**:

- Анализ «Дорожной карты» высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» с целью выявления основных направлений исследования и составления методологии;
- Проведение анкетирования организаций, занимающихся исследованиями и разработками, подготовкой кадров, а также потенциальных потребителей решений на основе квантовых коммуникаций;
- Проведение интервьюирования с организациями, занимающимися исследованиями и разработками, подготовкой кадров, а также потенциальных потребителей решений на основе квантовых коммуникаций;
- Анализ данных, полученных из открытых источников и специализированных ресурсов (журналы, базы данных, аналитические статьи и другие источники), а также данных Росстата и других источников и данных (в части, применимой к настоящему исследованию), предусмотренных Методикой определения

потребности субъектов Российской Федерации, отраслей экономики и крупнейших работодателей в профессиональных кадрах на среднесрочную и долгосрочную перспективу;

- Проведение стратегических сессий с целью верификации промежуточных результатов исследования и получения дополнительной информации от участников рынка – организаций, занимающихся исследованиями и разработками, подготовкой кадров, а также потенциальных потребителей решений на основе квантовых коммуникаций.

1.2 Описание наиболее вероятных сценариев развития технологий квантовых коммуникаций в мире до 2030 года как основа для определения уровня востребованности специалистов, проходящих подготовку в области квантовых коммуникаций

Проведённый анализ позволяет сделать вывод, что технологии квантовых коммуникаций могут развиваться в соответствии с одним из трех основных сценариев:

А) Динамичное развитие технологии, обусловленное реализацией угрозы квантового компьютера или ожиданием её реализации;

Б) Умеренное поступательное развитие технологии в случае развития альтернативных видов защиты от угрозы квантового компьютера (постквантовые алгоритмы защиты информации);

В) Блокировка развития квантовых коммуникаций в части технологии защиты передачи данных при демонстрации неустранимой возможности незарегистрированного перехвата квантовой информации либо иных критических изъянов данной технологии.

При построении прогнозов кадровой потребности рассматриваются первые два сценария.

При этом значительное внимание при построении прогноза уделяется развитию подтехнологий, поскольку в зависимости от реализуемого сценария значительным образом меняются соотношения между относящимися к ним решениями.

Также влияние на дальнейшее развитие технологий будет оказывать практика применения квантовых коммуникаций в различных сферах деятельности:

- Квантовые коммуникации становятся исключительно военной технологией (доля военного назначения более 95%) – умеренная вероятность – при реализации такой практики наиболее актуален сценарий Б, сценарий А – невозможен;
- Квантовые коммуникации становятся исключительно гражданской технологией (доля гражданского применения более 95%) – низкая вероятность – при реализации такой практики наиболее актуален сценарий Б, сценарий А – невозможен;
- Квантовые коммуникации востребованы и в гражданском, и в военном сегменте – высокая вероятность – при реализации такой практики наиболее вероятен сценарий Б, сценарий А – маловероятен, но возможен;
- Использование технологии квантовых коммуникаций для защиты каналов передачи данных прекращается – низкая вероятность – соотносится в основном со сценарием В.

1.2.1 Тренды развития технологий квантовых коммуникаций в мире как основа для определения ключевых направлений подготовки высококвалифицированных кадров

Развитие, коммерциализация и трансфер технологий требует создания инновационной инфраструктуры для тесной взаимосвязи между заказчиками, поставщиками и технологическими компаниями.

Для оценки текущего состояния вновь разрабатываемых или приобретаемых технологий и компонентов сложных технических систем используется концепция уровней готовности технологий.

Существует несколько методик оценки трендов развития технологии. Одной из наиболее проработанных и устоявшихся является методика Technology Readiness Level (TRL), иными словами, оценка уровня готовности технологии. В Российской Федерации данная методика регламентируется ГОСТ Р 58048-2017, введенным 1 июня 2018 года [1].

Уровни готовности технологий позволяют оценить, как далеко продвинулась разработка, начиная от идеи её создания. Систематическая оценка достигнутых уровней зрелости позволяет на раннем этапе выявлять и снижать риски, связанные с несвоевременным выполнением соответствующих проектов и программ, превышением выделенного на их реализацию бюджета. С учетом уровней готовности принимаются решения о возможности и целесообразности трансфера конкретных технологий, продолжения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и перевода разрабатываемой технологии на следующую стадию жизненного цикла, разрабатываются планы совершенствования систем, их компонентов и соответствующих технологий производства. Концепция уровней готовности позволяет обеспечить унификацию подходов к оценке зрелости технологий и принятию решений по применению и развитию тех или иных критических технологий и компонентов при создании целевых и обеспечивающих систем.

Методика TRL выделяет следующие уровни:

TRL 1. Основные принципы технологии изучены и опубликованы.

Выявлены и опубликованы фундаментальные принципы. Сформулирована идея решения той или иной физической или технической проблемы, произведено её теоретическое и/или экспериментальное обоснование.

TRL 2. Концепция технологии и/или её применения сформулированы.

Сформулированы технологическая концепция и/или применение возможных концепций для перспективных объектов. Обоснованы необходимость и возможность создания новой технологии или технического решения, в которых используются физические эффекты и явления, подтвердившие уровень TRL1. Подтверждена обоснованность концепции, технического решения, доказана эффективность использования идеи (технологии) в решении прикладных задач на базе предварительной проработки на уровне расчётных исследований и моделирования.

TRL 3. Критические функции и/или характеристики подтверждены аналитическим и экспериментальным путём.

Даны аналитические и экспериментальные подтверждения по важнейшим функциональным возможностям и/или характеристикам выбранной концепции. Проведено расчётное и/или экспериментальное (лабораторное) обоснование

эффективности технологий, продемонстрирована работоспособность концепции новой технологии в экспериментальной работе на мелкомасштабных моделях устройств. На этом этапе в проектах также предусматривается отбор работ для дальнейшей разработки технологий.

Критерием отбора выступает демонстрация работы технологии на мелкомасштабных моделях или с применением расчётных моделей, учитывающих ключевые особенности разрабатываемой технологии или эффективность использования интегрированного комплекса новых технологий в решении прикладных задач на базе более детальной проработки концепции на уровне экспериментальных разработок по ключевым направлениям, детальных комплексных расчётных исследований и моделирования.

TRL 4. Компонент и/или макет испытаны в лабораторном окружении.

Компоненты и/или макеты проверены в лабораторных условиях. Продемонстрированы работоспособность и совместимость технологий на достаточно подробных макетах разрабатываемых устройств (объектов) в лабораторных условиях.

TRL 5. Компонент и/или макет испытаны в окружении, близком к реальному.

Компоненты и/или макеты подсистем испытаны в условиях, близких к реальным. Основные технологические компоненты интегрированы с подходящими другими («поддерживающими») элементами, и технология испытана в моделируемых условиях. Достигнут уровень промежуточных/полных масштабов разрабатываемых систем, которые могут быть исследованы на стендовом оборудовании и в условиях, приближенных к условиям эксплуатации. Испытывают не прототипы, а только детализированные макеты разрабатываемых устройств.

TRL 6. Модель системы/подсистемы или прототип продемонстрированы в окружении, близком к реальному.

Модель или прототип системы/подсистемы продемонстрированы в условиях, близких к реальным. Прототип системы/подсистемы содержит все детали разрабатываемых устройств. Доказаны реализуемость и эффективность технологий в условиях эксплуатации или близких к ним условиях и возможность интеграции технологии в компоновку разрабатываемой конструкции, для которой данная технология должна продемонстрировать работоспособность. Возможна

полномасштабная разработка системы с реализацией требуемых свойств и уровня характеристик.

TRL 7. Прототип системы продемонстрирован в условиях эксплуатации.

Прототип системы прошел демонстрацию в эксплуатационных условиях. Прототип отражает планируемую штатную систему или близок к ней. На этой стадии решают вопрос о возможности применения целостной технологии на объекте и целесообразности запуска объекта в серийное производство.

TRL 8. Реальная система завершена и квалифицирована в ходе испытаний и демонстрации.

Создана штатная система и освидетельствована (квалифицирована) посредством испытаний и демонстраций. Технология проверена на работоспособность в своей конечной форме и в ожидаемых условиях эксплуатации в составе технической системы (комплекса). В большинстве случаев данный TRL соответствует окончанию разработки подлинной системы.

TRL 9. Реальная система подтверждена путём успешной эксплуатации (достижения цели).

Продemonстрирована работа реальной системы в условиях реальной эксплуатации. Технология подготовлена к серийному производству.

В рамках настоящего исследования развитие технологий квантовых коммуникаций в мире было проанализировано в соответствии с вышеупомянутой методикой. Для этого было проанализировано развитие приоритетных технологий «дорожной карты» развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» на период до 2024 года, а именно:

1. Магистральные оптоволоконные квантовые сети;
2. Технология доверенных промежуточных узлов в сетях квантового распределения ключей;
3. Мультиплексирование квантовых и классических (информационных) каналов;
4. Технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов на их основе;

5. Технология недоверенных промежуточных узлов в сетях КРК и квантовых коммуникаций на основе несепарабельных состояний;
6. Абонентские системы КРК для портативных устройств и интернета вещей;
7. Атмосферные оптические квантовые связи;
8. Космические оптические линии связи;
9. Протоколы КРК и алгоритмы.

Необходимо отметить, что некоторые приоритетные технологии, указанные в «дорожной карте», пересекаются с другими. Так, например, протоколы КРК и алгоритмы входят почти во все перечисленные технологии. А технология магистральных оптоволоконных квантовых сетей является своего рода конечным продуктом, который может включать в себя сразу несколько технологий из перечисленного списка.

В 2022 году была проведена актуализация данных в отчёте на основе анализа новейших научных результатов, представленных на крупнейшей международной конференции по квантовой криптографии QCrypt-2022, проходившей с 29 августа по 2 сентября 2022 года на Тайване [2]. На их основе можно сделать общий вывод о том, что хотя по всем основным направлениям технологии продолжается развитие, за период 2021-2022 года не было совершено прорывов, которые кардинально бы поменяли распределение среднего TRL по направлениям или общей картины развития отрасли в мире.

- **Магистральные оптоволоконные квантовые сети**

На 2021 год наиболее известной и технологически развитой магистральной оптоволоконной квантовой сетью является Beijing-Shanghai Trunk Line. В сентябре 2017 года была официально открыта сеть распределения квантовых ключей протяженностью 2000 км между Пекином и Шанхаем (Китай). Эта магистраль будет служить магистралью, соединяющей квантовые сети в Пекине, Шанхае, Цзинане в провинции Шаньдун и Хэфэй в провинции Аньхой. Во время церемонии открытия двое сотрудников Банка коммуникаций совершили транзакцию из Шанхая в Пекин, используя сеть. Государственная электросетевая корпорация Китая также разрабатывает приложение для управления каналом связи [3]. Линия использует

32 доверенных узла в качестве повторителей [4]. Квантовая телекоммуникационная сеть также была введена в эксплуатацию в Ухане, столице провинции Хубэй в центральном Китае, которая будет подключена к магистрали. Согласно национальному плану, предполагается создание других подобных городских квантовых сетей вдоль реки Янцзы [5].

В 2021 году исследователи, работающие над этой сетью сетей, сообщили, что они объединили более 700 оптических волокон с двумя линиями КРК земля-спутник с использованием надежной ретрансляционной структуры для общего расстояния между узлами до ~ 4600 км, что делает его крупнейшей интегрированной сетью квантовой связи на Земле [6].

Наличие данной сети в конечном виде в условиях выполнения реальных заданий подтверждает соответствие уровня зрелости данной технологии TRL8.

Также есть сообщения о создании в 2022 году в Европе новой квантовой сети из четырёх доверенных узлов, соединившей две не имевших их ранее страны: Словению и Хорватию, с Италией [7].

- **Технология доверенных промежуточных узлов в сетях квантового распределения ключей**

Ранее было сказано, что часть приоритетных технологий, указанных в «дорожной карте», входит в состав других технологий. Так, например, технология доверенных промежуточных узлов в полной мере реализована в магистральной оптоволоконной квантовой сети Beijing-Shanghai Trunk Line.

Для четырех городских сетей используются различные типы топологии. Для сети Пекин используется круговая, древовидная и звездообразная топологии (каждая линия представляет канал КРК). Круговая сеть состоит из 12 доверенных узлов. Круговая топология имеет преимущество, которое позволяет избежать ошибки или отказа в обслуживании отдельного узла. Узел центра управления в Пекине, один из 12 круговых узлов, берёт на себя контролирующую роль всей сети. Большинство конечных пользователей подключены к доверенным узлам, образуя звездообразную топологическую структуру.

Сети Хэфэй, Цзинань и Шанхай имеют конструкцию, аналогичную сети Пекина. Сеть Цзинань имеет наибольшее количество пользовательских узлов: до

50, включая 3 доверенных реле в качестве основных узлов для трех подсетей, 3 универсальных оптических коммутатора, 50 пользовательских узлов, 95 пользователей и 437 каналов КРК.

Магистральная сеть представляет собой линейную топологию с 32 доверенными ретрансляционными узлами и 31 каналом. Чтобы создать крупномасштабную сеть квантовой связи, которая может эффективно поддерживать большое количество пользователей, используется сетевая архитектура, состоящая из пяти уровней: квантового физического уровня, квантового логического уровня, классического физического уровня, классического логического уровня и прикладного уровня [6].

Уровень развития технологии доверенных промежуточных узлов в мире соответствует TRL8.

- **Мультиплексирование квантовых и классических (информационных) каналов**

Первая экспериментальная реализация КРК с мультиплексированными классическими каналами произошла в 1997 году, когда квантовый канал был мультиплексирован с классическим каналом данных 1,2 Гбит/с, а защищенная связь осуществлялась на расстоянии 28 км [8]. С тех пор другие реализации КРК с мультиплексированными квантовыми и классическими сигналами смогли обеспечить безопасную связь по каналам большей длины и с более классическими сигналами. Например, в 2008 году Такака реализовали протокол КРК BB84 с состояниями-ловушками с мультиплексированными квантовыми и классическими сигналами по каналу длиной 97 км [9], а в 2010 году Qi посредством моделирования продемонстрировано, что теоретически КРК когерентного состояния с гауссовой модуляцией может безопасно выполняться с 38 мультиплексированными классическими каналами на расстоянии 10 км [10]. Хотя все перечисленные примеры являются экспериментальными КРК с мультиплексированными квантовыми и классическими каналами, они рассматривают только однонаправленную передачу информации между передатчиком и приемником. Были выполнены и другие эксперименты КРК, демонстрирующие передачу информации между передатчиком-приемником с мультиплексированными

квантовыми и классическими каналами. В 2010 году Eraerds продемонстрировали, что COW-QKD может быть безопасно выполнено с четырьмя мультиплексированными классическими каналами, обменивающимися двунаправленно по каналу длиной 50 км [11], а в 2015 году Кумар, Цин и Аллеом безопасно выполнили протокол КРК на непрерывных переменных с пятью мультиплексированными классическими каналами, обменивающимися двунаправленно по каналу, протяженностью 75 км [12]. Toshiba в партнерстве с ВТ успешно реализовала первое в Великобритании промышленное развертывание квантово-защищенной сети, обеспечивающей передачу данных между Национальным центром композитов (NCC), ведущим в Великобритании центром исследований и разработок композитных материалов, и Центром моделирования (CFMS), некоммерческой исследовательской организацией, которая является пионером новых возможностей цифровой инженерии. Используя стандартное волокно Openreach, система КРК от Toshiba позволяет распределять тысячи криптографических ключей в секунду. Его инновационная совместимость с мультиплексированием позволяет передавать данные и квантовые ключи по одному оптоволокну, устраняя необходимость в дорогостоящей специализированной инфраструктуре для распределения ключей [13].

В части мультиплексирования и высокоскоростной КРК на QCrypt в 2022 году была представлена работа «К вопросу о КРК со скоростью до 100 Мбит/с» (Towards 100 Mbps secret key rate QKD). Судя по имеющейся информации из более ранних аналогичных работ [14], это становится возможным за счёт одновременного применения высокоскоростных КРК, WDM-мультиплексирования и применения многожильных волокон (до 37 жил) для передачи квантовых сигналов, а также массива из 185 сверхпроводниковых детекторов фотонов.

Уровень развития данной технологии соответствует TRL6.

- **Технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов на их основе**

Под технологией управления квантовыми сетями и предоставлением сервисов на их основе подразумевается технология маршрутизации в квантовых сетях, а также реализация сервисной модели. В магистральной квантовой сети

Beijing-Shanghai Trunk Line квантовый логический уровень управляет генерацией, хранением и передачей ключей, а также маршрутизацией двух узлов через оптический коммутатор [6].

Несмотря на то, что маршрутизация происходит только через два узла, и нет информации о том, способна ли она поддерживать большее количество узлов, согласно методике, уровень развития данной технологии можно считать соответствующим TRL8.

- **Технология недоверенных промежуточных узлов в сетях КРК и квантовых коммуникаций на основе несепарабельных состояний**

Технология недоверенных узлов на данном этапе развития находится на стадии исследования, изучающей алгоритмы и принципы работы этих узлов. В открытых источниках отсутствует информация об экспериментальных образцах и разработках. Существуют конечные решения на уровне фундаментальных исследований, например, «Система и метод передачи конфиденциальной информации через один или несколько ненадёжных промежуточных узлов с устойчивостью к отключенной топологии сети» [15], которые можно назвать граничными с началом появления лабораторных образцов, в связи с чем уровень развития данной технологии можно оценить как соответствующий TRL3-4.

На QCrypt был представлен доклад о возможности квантовой связи на 833 км по оптическому волокну с использованием технологии полей-близнецов с недоверенным узлом в центре (Twin-field quantum key distribution over 833.8 km fiber). Хотя данная технология характеризуется большой инженерной сложностью и обеспечивает низкие скорости генерации ключей, она продолжает активно исследоваться в мире, так как позволяет достичь рекордных дистанций в волокне.

Также есть информация о том, что начались исследования целесообразности размещения квантовой памяти на спутниках в целях достижения более высоких параметров передачи, чем в волоконных сетях [16].

- **Абонентские системы КРК для портативных устройств и интернета вещей**

Распределение квантового ключа в свободном пространстве между прототипами портативных устройств и настенным терминалом (так называемый «квантовый банкомат») было продемонстрировано исследователями Quantum Communications Hub из Бристольского университета, проложив путь для использования абонентских систем КРК на ближних расстояниях. Разрабатываемая система включает миниатюрный передатчик, который стыкуется с большим приемником [17].

Toshiba разработала методы сжатия оптических схем, используемых для КРК и квантовых генераторов случайных чисел, в крошечные полупроводниковые микросхемы. Они не только намного меньше и легче своих оптоволоконных аналогов, но и потребляют меньше энергии. Что наиболее важно, многие из них могут быть изготовлены параллельно на одной полупроводниковой пластине с использованием стандартных технологий, используемых в полупроводниковой промышленности, что позволяет производить их в большом количестве. Например, чипы квантового передатчика, разработанные Toshiba, имеют размеры 2x6 мм, что позволяет одновременно производить несколько сотен чипов на пластине [18].

21 октября 2021 года компания Toshiba Europe Ltd объявила о разработке первой в мире системы квантового распределения ключей на основе микросхем. Такая технология позволит массово производить решения, основанные на технологии квантовой криптографии, обеспечивая их применение в гораздо более широком диапазоне сценариев, включая решения для интернета вещей [19].

В 2022 году опубликован важный результат швейцарской группы по разработке подходов к реализации КРК в интегральном исполнении [20] — к нему подключали внешний сверхпроводниковый детектор фотонов. Аналогичную работу ведут китайские коллективы (Integrated-Chip-Based Quantum Key Distribution).

Уровень развития данной технологии в мире оценивается как соответствующий TRL6.

- **Атмосферные оптические каналы связи**
- **Космические оптические каналы связи**

Магистральная квантовая сеть Beijing-Shanghai Trunk Line содержит две наземные станции, расположенные в городах Синлун и Наньшань. Расстояние между ними около 2600 км. Космический передатчик КРК, основанный на протоколе Беннета-Брассарда (BB84) с состояниями-ловушками, был установлен в спутнике Мо-Цзы (Micius).

Спутник Micius летит по солнечно-синхронизированной орбите с высотой около 500 км и проходит над наземными станциями примерно в 00:00 по местному времени, и позволяет провести эксперимент КРК по нисходящей линии связи.

Согласно открытым источникам, по данному каналу связи получается общий размер секретного ключа около 36 Мбит в неделю. Для приложений используется протокол AES-128 в изменённом виде. Для каждой пары спутниковых пользователей (в основном для банков) секретные ключи обновляются со скоростью 8 Кбит каждые 10 дней. Ключи, генерируемые через один спутник (36 Мбит в неделю), таким образом поддерживают около 6000 пользователей [6].

В Китае (Long Distance Quantum State Transfer with Satellite-based Entanglement Distribution) и Евросоюзе (Satellite-to-ground QKD with adaptive optics correction) продолжаются работы по обеспечению квантовой связи «Спутник — Земля».

Также продолжаются работы по переходу к широкому внедрению атмосферной КРК для стационарных объектов («Towards practical metropolitan free-space quantum key distribution networks»).

Таким образом, уровень развития технологий атмосферных оптических каналов связи оценивается как соответствующий TRL8, в то время как прототип космических оптических каналов связи, тестируемый в условиях реальной эксплуатации, можно охарактеризовать как соответствующий TRL7.

- **Протоколы КРК и алгоритмы**

Так как протоколы и алгоритмы КРК используются практически во всех технологиях квантовых коммуникаций, можно смело утверждать о высокой степени

развития технологии, однако отсутствие информации о массовом внедрении решений ограничивает уровень развития технологии на уровне TRL8. Тем не менее, стоит отметить, что существует множество различных протоколов, некоторые из которых почти не используются, и на данный момент имеют реализацию только в теоретическом виде. Оценка степени использования основных протоколов в различных магистральных оптических квантовых сетях приведена в таблице 1.2.1.1.

Таблица 1.2.1.1 – Протоколы, использовавшиеся в существовавших квантовых оптических сетях [6], [21], [22], [23]

Квантовая сеть	Год запуска сети	Используемые протоколы				
		BB84	BBM92	E91	DPS	COW
DARPA Quantum Network	2001	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
SECOCQ QKD network in Vienna	2003	Да	Да	Нет	Нет	Да
Tokyo QKD network	2009	Да	Да	Нет	Да	Нет
Hierarchical network in Wuhu, China	2009	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Geneva area network (SwissQuantum)	2010	Да	Нет	Нет	Нет	Да
Beijing-Shanghai Trunk Line	2021	Да	Нет	Нет	Нет	Нет

В последние годы активно развиваются протоколы КРК на непрерывных переменных: в 2022 году была представлена работа «Security of continuous variable QKD with discrete modulation», которая является важным шагом к их полному доказательству секретности.

Информация о степени развития каждой из приоритетных технологий в мире обобщена в таблице 1.2.1.2.

Таблица 1.2.1.2 – Уровень TRL приоритетных технологий «дорожной карты» высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»

Технология	Уровень TRL
Магистральные оптоволоконные квантовые сети	8
Технология доверенных промежуточных узлов в сетях КРК	8
Мультиплексирование квантовых и классических (информационных) каналов	6
Технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов на их основе	8
Технология недоверенных промежуточных узлов в сетях КРК и квантовых коммуникаций на основе несепарабельных состояний	3-4
Абонентские системы КРК для портативных устройств и интернета вещей	6
Атмосферные оптические квантовые каналы связи	8
Космические оптические квантовые линии связи	7
Протоколы КРК и алгоритмы	8

Определение динамики патентования и публикационной активности также является существенным показателем уровня и трендов развития технологии.

Анализ доли патентов формировался на основании числа патентных документов, зарегистрированных и опубликованных в рамках процедуры Patent Cooperation Treaty (PCT), и документов национальных или региональных ведомств, или Всемирной организации интеллектуальной собственности ВОИС, подтверждающих факт получения и учета международных патентных заявок по процедуре PCT на конец отчетного периода.

При анализе публикационной активности были использованы сведения, полученные в [24].

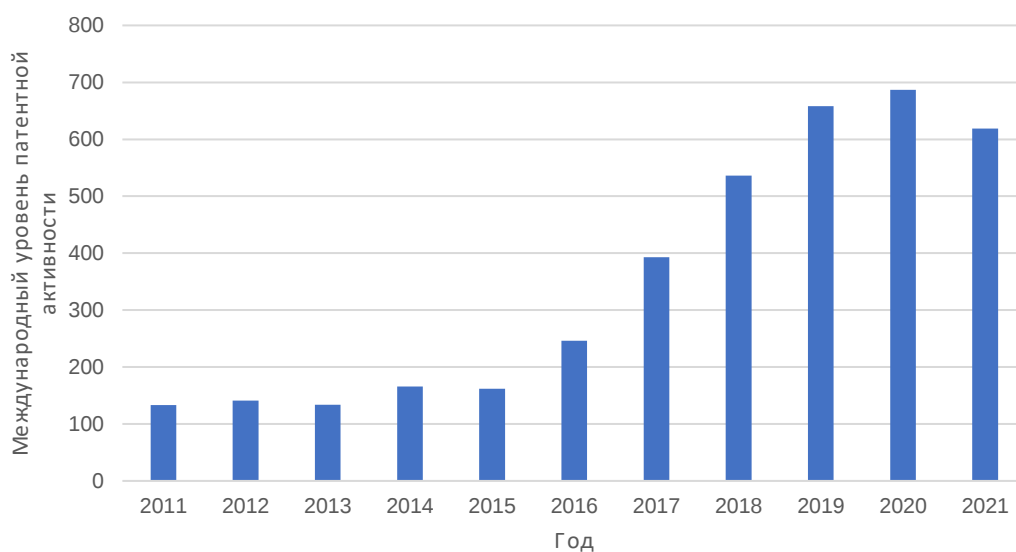


Рисунок 1.2.1.1 – График международной патентной активности в высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»

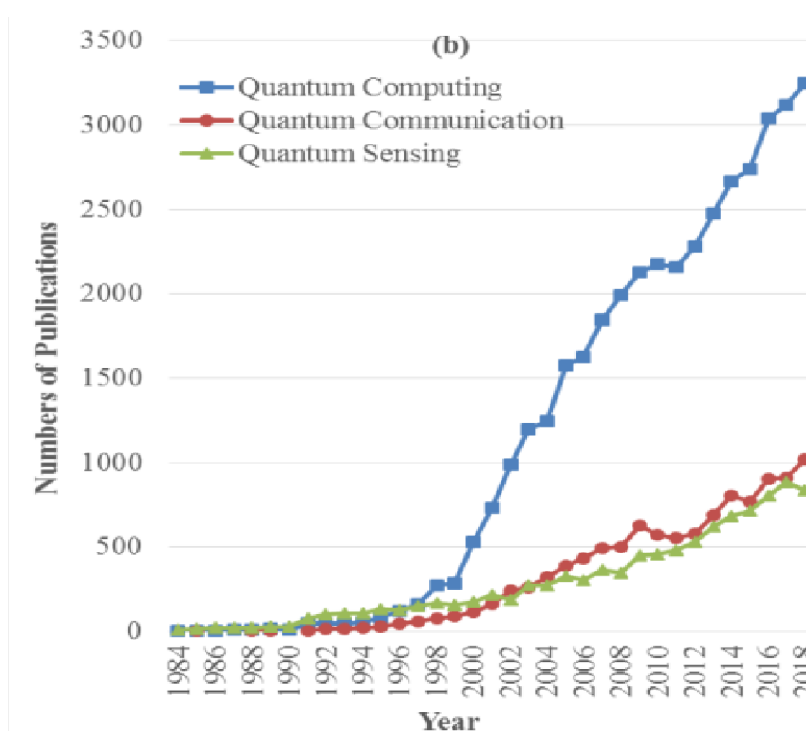


Рисунок 1.2.1.2 – График роста публикационной активности основных областей квантовых технологий

Следует отметить, что информация за 2020 и 2021 гг. не является полной в связи с обязательным временным интервалом, проходящим между возникновением технологии, получением патента и публикацией соответствующей информации патентными ведомствами. Таким образом, на некоторых графиках, иллюстрирующих временную динамику появления патентных документов, можно наблюдать спад в интервале 2020-2021 гг., который учитывать не следует.

Анализируя уровень роста количества публикаций в области квантовых коммуникаций, можно отметить линейный рост, без резких скачков. Единственный небольшой рывок роста количества публикаций был в 2010 году. Связана такая динамика роста с меньшим интересом к данной технологии, нежели к технологиям в области квантовых вычислений, так как область квантовых вычислений имеет гораздо более широкий диапазон применений и перспектив, чем область квантовых коммуникаций. На основе полученных в рамках исследования данных прогнозируется дальнейший плавный рост количества публикаций по годам в области квантовых коммуникаций, в случае если не будет совершаться прорывных открытий, способных кардинально изменить отношение потребителей к области квантовых коммуникаций.

Плавный умеренный рост интереса к квантовым коммуникациям также подтверждается уровнем патентования. При этом можно заметить, что 2014 год выделяется небольшим скачком, что может быть связано с тем, что в 2012 году был небольшой скачок количества публикаций. Данный локальный пик фундаментальных исследований связан с окончанием масштабных квантовых сетевых проектов Евросоюза (SECOQC, SwissQuantum) и параллельным началом создания квантовой сети в Китае, который в скором времени привёл к увеличению количества разработок на основе этих исследований. В дальнейшем наблюдается плавный умеренный рост, связанный со всё большим интересом к области квантовых технологий и области квантовых коммуникаций, в частности.

1.2.2 Оценка развития технологий квантовых коммуникаций в Российской Федерации в целях определения объёма кадровых потребностей отрасли

Анализ развития технологии квантовых коммуникаций в Российской Федерации производится по аналогичной системе TRL, а именно, рассматривается уровень развития технологии по отдельности.

В качестве наиболее продвинутых на рынке квантовых коммуникаций коммерческих компаний можно выделить: АО «ИнфоТеКС», ООО «КуРэйт», ООО «МЦКТ», ООО «СМАРТС-Кванттелеком», ООО «КуСпейс Технологии». С разработчиками решений КРК тесно сотрудничают компании: ООО «Код безопасности», ООО «Амикон», ООО «СПБ». Среди основных научных организаций можно выделить: МГУ им. М.В. Ломоносова, Университет ИТМО, КНИТУ-КАИ, НИТУ МИСиС, КФТИ КазНЦ РАН, ИПФ РАН.

- **Магистральные оптоволоконные квантовые сети**

В июне 2021 года запущена первая в РФ линия связи по магистральному квантовому защищённому каналу между Москвой и Санкт-Петербургом. Он имеет протяженность 700 км, что делает его самым крупным в Европе и вторым по величине в мире. В 2023 году в рамках развития магистральной квантовой сети планируется создание и запуск участка между Казанью и Нижним Новгородом протяженностью более 400 км [25].

Разработкой и проектированием магистральной оптоволоконной квантовой сети ОАО «РЖД» занималось совместно с Университетом ИТМО, а также компаниями ООО «Специальный Технологический Центр», ООО «СМАРТС-Кванттелеком», ООО «Амикон».

Физической основой квантовых сетей в данном случае являются магистральные оптоволоконные каналы ОАО «РЖД». Согласно информации из открытых источников, сеанс связи был успешно осуществлен при участии Заместителя председателя Правительства Российской Федерации Дмитрия Чернышенко [26].

7 декабря 2021 года компанией АО «ИнфоТеКС» получено одобрение регулятора о применении технологии ViPNet Quandor в реальных условиях с реальными данными. Оборудование прошло все инженерные испытания, готово к поставкам и серийному отечественному производству [27]. По мнению участников рынка в 2023 году планируется появление первых сертифицированных решений магистральных сетей.

В перспективе также ожидается присоединение к магистральной оптоволоконной сети Москва – Санкт-Петербург университетской квантовой сети, создаваемой Центром Квантовых технологий МГУ и компанией АО «ИнфоТеКС» при поддержке ПАО «Ростелеком». В проекте «Университетская Квантовая Сеть» используется система ViPNet Quantum Security System (далее – ViPNet QSS). ViPNet QSS является квантовой криптографической системой выработки и распределения ключей (ККС ВРК), выполняющей протокол КРК и снабжающей секретными ключами шифрования СКЗИ [28]. В рамках проекта в кампусе МГУ им. М.В. Ломоносова в октябре 2021 года создана первая в России локальная компьютерная сеть на базе квантового распределения секретных ключей для реализации защищённого документооборота и коммуникаций между легитимными абонентами.

На первом этапе 20 абонентских пунктов установлены в кабинетах Ректора и в выделенных подразделениях МГУ – в кампусе Ленинские горы и в старом здании МГУ на Моховой улице. Легитимные пользователи могут обмениваться секретными сообщениями в текстовом, аудио- или видео-форматах. Сеть базируется на оптоволоконных линиях – как имевшихся ранее, так и проложенных специально в рамках проекта. Специалисты также запустили сегмент беспроводной квантово-защищённой сети между главным зданием МГУ и корпусом на проспекте Вернадского [29].

Важной особенностью проекта является его открытость. В настоящее время ведётся работа по подключению к сети РТУ МИРЭА, компаний ПАО «Ростелеком» и ОАО «РЖД». В перспективе присоединиться к университетской квантовой сети при наличии технической возможности смогут другие образовательные, научные, академические, а возможно - и коммерческие организации.

Открытость проекта позволит участникам плавно и по мере необходимости развивать свои собственные сегменты квантовой сети. При этом для подключения

и использования технологии достаточно будет одного абонентского пункта, что минимизирует порог входа [30].

Также в 2021 году Центром НТИ «Квантовые коммуникации» на базе МИСиС создана межуниверситетская квантовая сеть с открытым доступом, объединившая кампусы НИТУ «МИСиС» и МТУСИ. Сеть состоит из пяти узлов, имеет открытую архитектуру и легко масштабируется по мере появления новых участников. Доступ к сети получают вузы, научные организации, промышленные партнеры, госучреждения, студенческие стартапы [29], [31]. Конфигурация квантово-защищенного канала связи соответствует принятой в промышленных сетях. На оптоволокне между доверенными узлами реализуется метод квантового распределения ключей (КРК) со скоростью 30 кбит/с, что позволяет подключить более 10 высокоскоростных шифраторов одновременно [31].

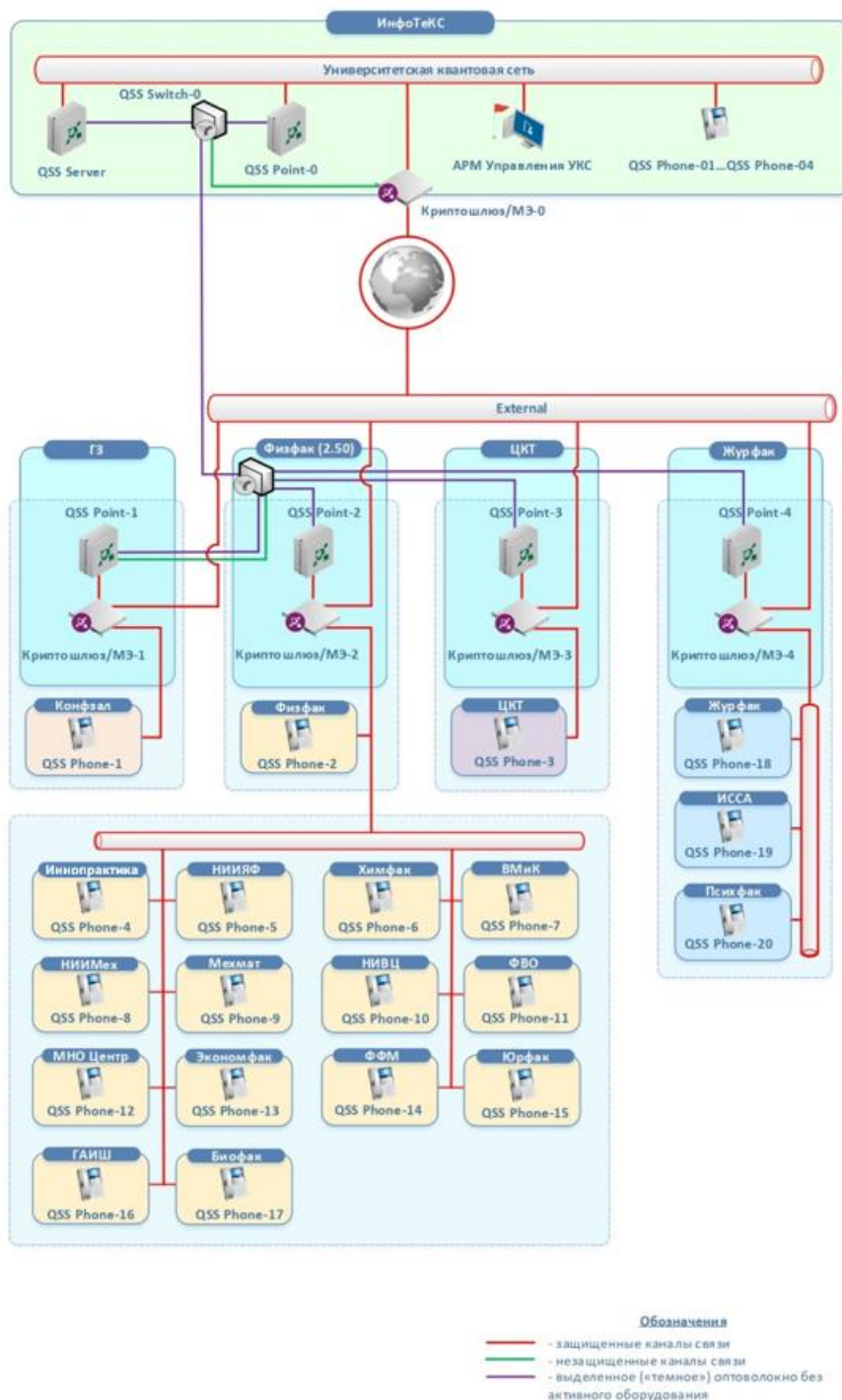


Рисунок 1.2.2.1 – Схема ViPNet QSS между МГУ и ИнфоТеКс

В октябре 2022 года стало известно, что ViPNet QSS как квантово-криптографическая система была впервые в России сертифицирована согласно временным требованиям ФСБ России. Технология разработана для создания и распределения квантовозащищенных ключей и для защиты цифровых

аудиозвонков и текстовых сообщений между абонентами. ViPNet QSS позволяет сформировать сеть КРК топологии «звезда», к которой можно подключить более 150 тысяч СКЗИ. На основе данной технологии компания АО «ИнфоТеКС» анонсировала семейство продуктов ViPNet Quantum Trusted System (QTS). Новые программно-аппаратные комплексы предназначены для создания квантовой криптографической сети произвольной топологии и разработаны в соответствии с рекомендациями по стандартизации ТК26.

17 ноября 2022 года на пресс-конференции, посвященной получению компанией АО «ИнфоТеКС» сертификата ФСБ России для системы квантового распределения ключей ViPNet QSS, также было озвучено, что компания ООО «СФБ Лаб» стала первой аккредитованной лабораторией по проведению полного комплекса тематических исследований квантово-криптографических систем по требованиям ФСБ России, в рамках которой экспертами проведен полный цикл сертификации нового типа СКЗИ [32], [33].

Вместе с тем, в настоящее время ведётся строительство научно-производственного комплекса ПроКванТ, где будет выполняться полный цикл производства квантовой аппаратуры. Основной целью проекта является обеспечение перехода к разработке платформ, основанных на отечественной элементной базе собственными силами, что позволит свести к минимуму зависимость от контрактных заказов и снизить долю импортных комплектующих. Планируемый срок реализации проекта составляет шесть лет. Первый этап реализации – переезд ныне действующего цеха на территории города Томска – запланирован на осень 2023 года [34].

Учитывая вышеизложенное, развитие технологии магистральных оптоволоконных квантовых сетей оценивается на уровне TRL8.

- **Технология доверенных промежуточных узлов в сетях КРК**

В конце 2020 года компания АО «ИнфоТеКС» сообщила об успешном завершении испытаний квантовой системы ViPNet Quandor, проведённых на базе Санкт-Петербургского информационно-аналитического центра (СПб ИАЦ) [27].

ViPNet Quandor – система автоматической доверенной доставки криптографических ключей. Продукт компании АО «ИнфоТеКС» создан с

использованием принципов и алгоритмов квантовой криптографии и предназначен для защиты информации, передаваемой по телекоммуникационным каналам со скоростью до 10 Гбит/с.

В качестве базового сценария используется автоматическая доверенная доставка криптографических ключей для канальных шифраторов ViPNet L2. Для использования квантовых ключей к шифратору по защищенному интерфейсу подключается аппаратура ViPNet Quandor, которая устанавливается в контролируемой зоне шифратора [35].

Также на основе технологии доверенных промежуточных узлов построена магистральная сеть Москва – Санкт-Петербург.

Учитывая вышесказанное, уровень развития технологии доверенных промежуточных узлов в сетях КРК можно оценить как TRL8.

- **Мультиплексирование квантовых и классических (информационных) каналов**

В большинстве магистральных оптоволоконных сетей применяется мультиплексирование по длине волны. Наличие классического сигнала в одной жиле оптоволокну создает засветки для квантового сигнала. Решением может быть как выделение темного волокна, так и мультиплексирование по времени, а также развитие методов оптической фильтрации для квантово-классического xWDM мультиплексирования [36].

В Российской Федерации основные представители рынка квантовых коммуникаций активно ведут работы в области мультиплексирования квантовых и классических (информационных) каналов.

В ноябре 2021 года появилась информация о том, что командой физиков из компании ООО «КуРЭйт» проведен успешный эксперимент по одновременной передаче классического и квантового сигналов по единому оптоволокну с использованием метода спектрального мультиплексирования, в рамках которого удалось эффективно сгенерировать секретный ключ в «светлом» волокне. Приблизить эксперимент к реальным условиям учёным позволило использование промышленного телекоммуникационного оборудования российского разработчика и производителя ООО «Т8». Квантовое распределение ключей команда «КуРЭйт»

осуществляла с помощью собственного оборудования, работающего по протоколу BB84-Decoy State на поляризационных состояниях. При дальнейшем развитии опробованная технология позволит обойтись без использования дефицитного «темного» (свободного от передачи классических данных) волокна [37].

Также в Университете ИТМО разрабатываются системы КРК на боковых частотах, перспективные с точки зрения мультиплексирования в ВОЛС [38]. Теоретическое исследование функционирования системы КРК на боковых частотах в оптической транспортной сети, в том числе при одновременном распространении с классическими (информационными) каналами, исследуется в работе «Влияние хроматической дисперсии и нелинейных эффектов на квантовое распределение ключа на боковых частотах в оптической транспортной сети» [39].

В августе 2023 года планируется завершение работ по теме «Разработка методов совместной передачи квантовых и информационных каналов в одном оптическом волокне» командой исследователей из Университета ИТМО [40].

Масштаб изученности данной технологии, условия проведения экспериментов позволяют оценить уровень развития технологии как TRL 4-5.

- **Технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов на их основе**

В 2018 году специалистами ПАО «Сбербанк» и Университетом ИТМО совместно с КНИТУ-КАИ был проведен комплекс мероприятий по испытанию на действующей телекоммуникационной инфраструктуре банка прототипа Комплекса передачи данных с гибридной квантово-классической защитой, состоящего из системы квантовой коммуникации на боковых частотах и фильтра пакетов сетевого уровня ФПСУ-IP, применяемого в штатном режиме в бизнес-процессах ПАО «Сбербанк» [41].

Как уже упоминалось ранее, в октябре 2022 года стало известно, что ViPNet QSS как квантово-криптографическая система была впервые в России сертифицирована согласно временным требованиям ФСБ России.

Система ViPNet QSS используется в университетской квантовой сети МГУ. В состав ViPNet QSS входят: ViPNet QSS Server, ViPNet QSS Point и ViPNet QSS Switch. ViPNet QSS Server является центральным элементом системы ККС ВРК, а

также управляет системой оптических коммутаторов (ViPNet QSS Switch) для организации канала квантовой связи с каждым клиентом КПК – ViPNet QSS Point. ViPNet QSS Point – клиент ККС ВПК, который обеспечивает снабжение секретными симметричными ключами шифрования подключенных ему СКЗИ. ViPNet QSS Switch – оптический коммутатор, обеспечивающий построение непрерывного волоконно-оптического канала между ViPNet QSS Server и конкретным ViPNet QSS Point, образуя тем самым квантовый канал связи для выработки квантовых ключей [42].

Для обеспечения безопасной передачи информации между защищенными зонами в каждой устанавливаются клиенты ViPNet QSS Point, которые по квантовому каналу подключаются через иерархическую систему оптических коммутаторов ViPNet QSS Switch к серверу ViPNet QSS Server. Таким образом происходит объединение доверенных зон для защищённого взаимодействия. С помощью системы ViPNet QSS осуществляется доставка ключей шифрования на все устройства, шифрующие информацию пользователей [43].

В качестве устройств, использующих выработанные ключи, могут выступать любые средства криптографической защиты информации. Одним из них является первый в России телефон с квантовой защитой связи ViPNet QSS Phone, представленный компанией АО «ИнфоТекС» и Центром квантовых технологий МГУ. Устройство представляет собой настольный аппарат с трубкой и сенсорным экраном под управлением ОС Android, которая снабжена дополнительными механизмами для обеспечения требуемого уровня защиты [42]. За счёт протокола квантового шифрования он шифрует голосовой трафик между собеседниками так, что получить к нему доступ невозможно. К одному ViPNet QSS Point можно подключить много потребителей ключей (ViPNet QSS Phone) в пределах одной зоны доверия [44].

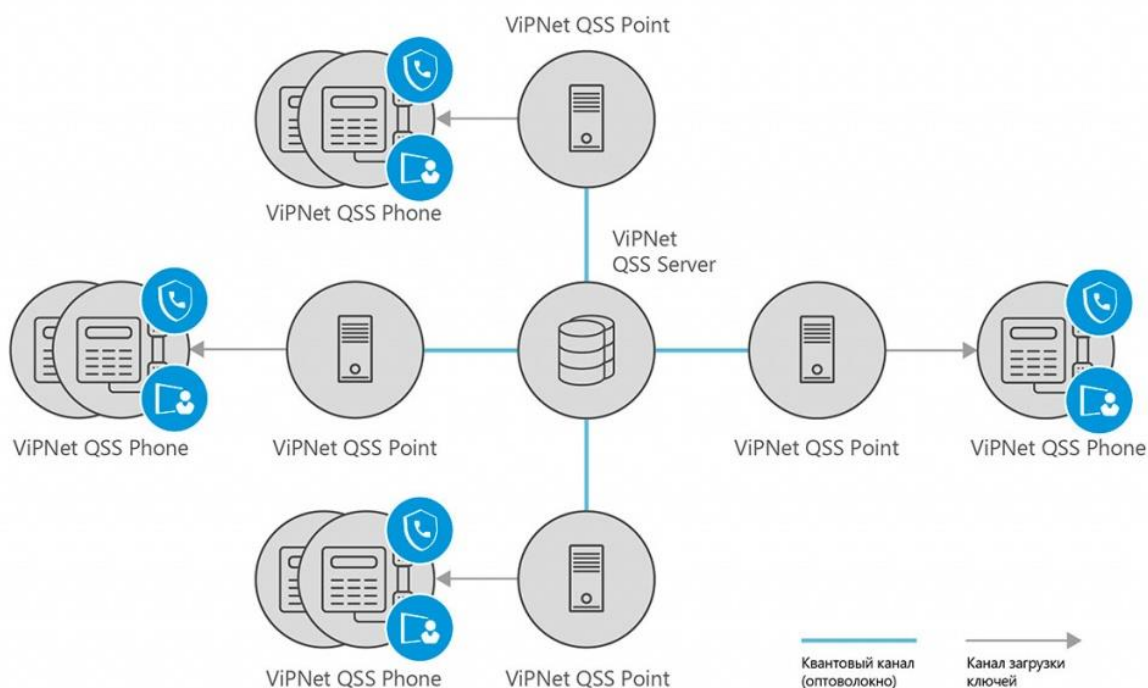


Рисунок 1.2.2.2 – Приблизительная схема для разворачивания системы ViPNet QSS с использованием ViPNet QSS Phone

При создании сети передачи данных используются коммутаторы разных уровней модели OSI, которые отражают тип взаимодействия систем для корректного управления потоком информации [45]. Так, в квантовой оптоволоконной сети «Москва – Санкт-Петербург» используется маршрутизация L2/L3 [46]. Коммутатор L2 работает на втором канальном уровне модели OSI (The Open Systems Interconnection model). Коммутатор L3 работает как на втором, так и на третьем уровне [45].

Таблица 1.2.2.1 – Уровни модели OSI ISO

Уровень	Тип обрабатываемых данных	Функции
7. Приложений	Данные пользователей прикладного ПО	Программы и сервисы обмена данными

Уровень	Тип обрабатываемых данных	Функции
6. Представлений	Закодированные данные пользователей	Общий формат представления данных, сжатие, шифрование
5. Сеансовый	Сессии	Установление сессий между приложениями
4. Транспортный	Сегменты	Адресация процессов, сегментация/повторная сборка данных, управление потоками, надёжная доставка
3. Сетевой	Дейтаграммы/пакеты	Передача сообщений между удалёнными устройствами, выбор наилучшего маршрута, логическая адресация
2. Канальный	Кадры	Доступ к среде передачи и физическая адресация
1. Физический	Биты	Передача электрических сигналов между устройствами

В сети «Москва – Санкт-Петербург» до конца 2022 года пройдут предварительные испытания. В 2023 году планируется проведение окончательных приёмочных испытаний и ввод в эксплуатацию.

Учитывая изложенное, уровень развития технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов находится на уровне TRL7.

- **Технология недоверенных промежуточных узлов в сетях КРК и квантовых коммуникаций на основе несепарабельных состояний**

Как и в мире, в России по технологии недоверенных промежуточных узлов в сетях КРК и квантовых коммуникациях на основе несепарабельных состояний ведутся активные исследования, которые на данный момент находятся в рамках теоретических исследований. Одной из структур, занимающейся исследованиями

в данной области, является Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского. Примеры исследований широко представлены в работах профессора РАН, д.ф.-м.н. Калачева А.А. [47].

11 декабря 2019 года проводился семинар «Квантовые технологии» в рамках научно-производственного Консорциума «Перспективные материалы и элементная база информационных и вычислительных систем». Доклад «Квантовое распределение ключей через недоверенные узлы», представленный д.ф.-м.н. Молотковым С.Н. (ИФТТ РАН) [48], [49] посвящен вышеупомянутой технологии.

Уровень развития данной технологии можно оценить как соответствующий TRL 2.

- **Абонентские системы КРК для портативных устройств и интернета вещей**

В Российской Федерации почти все участники рынка квантовых коммуникаций принимают активное участие в разработке технологий абонентских КРК для интернета вещей. В этом направлении имеется ряд работ, например, «О противодействии атаке с яркими состояниями в двухпроходной системе квантовой криптографии» и др. [50], [51], [52]. Тем не менее, в связи с отсутствием готового решения на данный момент уровень готовности технологии оценивается на уровне TRL 5-6.

Вторым направлением технологии абонентских систем КРК являются портативные устройства, работа в области которых на данный момент находится на начальном этапе, чему соответствует TRL2-3. В Сколковском институте науки и технологий с конца 2021 года проводится работа по теме «Разработка функциональных устройств для квантовых коммуникаций на основе фотонных интегральных схем» [53]. Получение результатов работы по данному проекту ожидается в апреле 2024 года.

Также в конце 2021 года ученые Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» на базе Университета Иннополис и компании ООО «КуРЭйт» запустили между беспилотным автомобилем и управляющим центром обработки данных стабильный канал беспроводной передачи данных 4G. Шифрование проводилось на базе OpenVPN с применением

квантовых симметричных ключей. Без данной технологии беспилотные автомобили защищены классической криптографией, которая не способна противостоять атакам с использованием алгоритмов квантового компьютера. Во время удалённого обновления программного обеспечения такие системы особенно уязвимы. Поэтому во время эксперимента в беспилотный автомобиль установили систему КРК и по оптоволокну во время заправки/зарядки отправляли одиночные фотоны как ключи. Команды разработчиков обеспечили безопасную передачу данных в информационных каналах систем беспилотного транспорта в течение нескольких суток автономной работы без подключения к источнику генерации ключей шифрования, добившись скорости устойчивого распределения ключей 40 Кбит/сек. Тестирование подтвердило, что этого достаточно для противодействия атакам киберпреступников. В будущем данная технология будет испытана с сетями 5G [54], [55].

По словам руководителя Лаборатории автономных транспортных систем Университета Иннополис Салимжана Гафурова, тема функциональной безопасности разрабатываемых технологий автономного вождения для беспилотных автомобилей является первостепенной в исследованиях. Интеграция систем КРК в беспилотники способствует развитию кибербезопасности и является одним из ключевых аспектов для удовлетворения всё возрастающих требований в будущем [54].

Рассматривая технологию абонентских систем КРК для портативных устройств и интернета вещей как единое целое, уровень её развития можно оценить как соответствующий TRL3-4.

- **Атмосферные оптические квантовые каналы связи**

В Центре квантовых технологий (ЦКТ) им. М.В. Ломоносова активно создаётся фундаментальный научный задел и образцы аппаратуры в области защищённых квантовых коммуникаций, и новое поколение аппаратуры с гарантированной криптографической стойкостью – через волоконные линии связи, атмосферные каналы, вплоть до низкоорбитальных спутников [56].

В Университете ИТМО разработки в области атмосферных оптических квантовых каналов связи ведутся в лаборатории атмосферных оптических

квантовых каналов связи. Примером исследования, посвящённого этой теме, является работа «Квантовые сети на боковых частотах для связи в открытом космосе» [57].

В пресс-релизе АО «СМАРТС» от 13 декабря 2019 г. упоминается, что во время приёмных испытаний оборудования квантовой защиты линий между Самарским и Тольяттинским ЦОДами, для рассылки генерируемой квантовым оборудованием информации в Самаре были задействованы не только традиционные оптические связи, но и атмосферные каналы [58].

В августе 2021 года подведены итоги успешного испытания по передаче квантово-защищённых ключей через беспроводную оптическую линию связи на площадке НТИ «Квантовые коммуникации» НИТУ МИСиС. Квантовый канал был организован с применением промышленной установки квантового распределения ключей (КРК) ООО «КуРЭйт», интегрированной с оборудованием для создания высокоскоростной беспроводной оптической линии связи (АОЛС) АО «Мостком».

В начале 2022 года группой исследователей МТУСИ проведен эксперимент с целью демонстрации соединения коммерческой широкодоступной системы АОЛС с КРК, для которого на крышах зданий МТУСИ были установлены терминалы атмосферной оптической связи. В ходе эксперимента тестировалась работа оборудования на расстояниях 180 и 3100 метров под воздействием погодных условий, таких как дождь, снег, туман, а также при солнечном, искусственном освещении и воздействии водяного пара [59]. При неблагоприятных внешних условиях использование приборов может осуществляться в другое время, например, ночью. По мнению ведущих разработчиков успех работы в данной области поможет решить проблему «последней мили».

По данным издания «Письма в Журнал технической физики» (выпуск №15 от 12 августа 2022 года), группе российских учёных удалось экспериментальным путем показать возможность КРК в атмосфере посредством сопряжения выпускаемых серийно блоков квантового распределения ключей, разработанных для волоконно-оптических линий связи, с терминалами атмосферной оптической связи. Для дистанций до 3100 м получены данные о потерях в квантовом канале на оптической трассе и исследовано влияние систем интеллектуальной подстройки терминалов атмосферной связи на систему синхронизации блоков квантовой связи. Установлено, что сбои систем синхронизации при квантовом распределении

ключей в атмосфере на дистанциях более 10 м обусловлены особенностями алгоритма, реализованного в блоке квантовой связи. Доказана возможность построения надёжных устройств КРК в атмосфере за счёт сопряжения представленных на рынке модулей КРК для ВОЛС и терминалов АОЛС [60].

Учитывая всё вышеперечисленное, уровень развития атмосферных оптических квантовых каналов связи в России можно принять равным TRL6.

- **Космические оптические квантовые линии связи**

ООО «КуРэйт» реализует проект по созданию наземного оборудования для приема квантового сигнала из космоса и высокоскоростной оптической связи «спутник-Земля». Финансирование данного проекта квантовой спутниковой связи поступило от АО «Газпромбанк» в размере 6 миллионов рублей. Кроме того, компания ООО «КуРэйт» получила грант от Фонда содействия инновациям в размере 20 миллионов рублей по конкурсу «Развитие-ЦТ» [61].

По словам научного руководителя Центра квантовых технологий физического факультета МГУ, члена экспертной группы «Космические системы квантовых коммуникаций», в рамках реализации нацпроекта «Цифровая экономика» и «дорожной карты» ее подпрограммы «Квантовые коммуникации» Сергея Павловича Кулика, нашей стране предстоит повторить на российском оборудовании результат недавнего китайского эксперимента и передать с низкоорбитального спутника квантовый криптографический ключ на наземный терминал «по линии прямой видимости» сквозь толщи земной атмосферы и космического вакуума [62].

Пока комплексная система из всех частей, включая спутник, есть только у Китая. В настоящее время разрабатывается проект запуска российского спутника формата CubeSat-16U с передающим модулем квантовых состояний, который планируется использовать на низкой околоземной солнечно-синхронной орбите, высотой 440-600 км. Данный спутник представляет собой миниатюрную версию китайского спутникового аппарата Мо-Цзы, который подтвердил свою пригодность в ряде экспериментов.

Проектирование и разработка спутника производятся в Квантовом центре НИТУ «МИСиС», а запуск планируется в 2024 году. В ходе работы используется протокол BB84 с добавлением состояний-ловушек.

Произведена серия работ по проектированию и разработке стационарного наземного модуля для приёма квантовых состояний со спутника. Данная установка расположена в Звенигородской обсерватории и уже подтвердила свою работоспособность в эксперименте с китайскими коллегами по приёму квантового сигнала со спутника Мо-Цзы. Приёмный модуль сам по себе является универсальным устройством, способным отслеживать спутники на низкой околоземной орбите, а также устанавливая с ними стабильную оптическую лазерную связь. То есть его можно использовать и в атмосферных системах квантового распределения ключей, которые работают без спутников и используются, например, для беспилотного транспорта [63]. Данный модуль представляет собой телескоп, включающий в себя оптический модуль, который декодирует поляризационные состояния по протоколу BB84. Также, в завершающей стадии разработки (в ближайшее время будет сдан в эксплуатацию) находится мобильный приёмный модуль для оперативного развёртывания и распределения квантовых ключей со спутника на любой местности.

Если принимать во внимание только приёмный модуль, то уровень развития технологии космических оптических квантовых линий связи в России можно было бы обозначить как TRL5, тем не менее, спутник, как и безопасное соединение двух точек – спутника и станции на Земле, является приоритетной частью технологии. Таким образом, степень развития технологии, согласно проанализированной информации, не превышает TRL3 в России.

• Протоколы КРК и алгоритмы

Так как протоколы и алгоритмы КРК используются повсеместно во всех технологиях квантовых коммуникаций, можно было бы смело утверждать о степени развитости технологии, равной TRL9, но в связи с тем, что в России не осуществляется серийное производство решений в области квантовых коммуникаций, уровень готовности технологии принят равным TRL8. Стоит также учесть, что, как и в случае с анализом использования различных протоколов в мире,

различные российские компании – представители области квантовых коммуникаций используют различные протоколы.

Таблица 1.2.2.2 – Уровень TRL приоритетных технологий «дорожной карты» высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» в России

Технология	Уровень TRL
Магистральные оптоволоконные квантовые сети	8
Технология доверенных промежуточных узлов в сетях КРК	8
Мультиплексирование квантовых и классических (информационных) каналов	4-5
Технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов на их основе	7
Технология недоверенных промежуточных узлов в сетях КРК и квантовых коммуникаций на основе несепарабельных состояний	2
Абонентские системы КРК для портативных устройств и интернета вещей	3-4
Атмосферные оптические квантовые каналы связи	6
Космические оптические квантовые линии связи	3
Протоколы КРК и алгоритмы	8

Не менее значимым показателем развития технологий квантовых коммуникаций является патентная и публикационная информация. Анализ патентной активности осуществляется с помощью сервисов ФИПС (Федеральный институт промышленной собственности). Поисковая система ФИПС позволяет осуществлять поиск патентной информации в следующих официальных базах данных:

- **Патентные документы РФ (рус.)**
 - Рефераты российских изобретений – рефераты российских патентов на изобретения (документы С1, С2) включая графическое изображение, если оно есть.

Рефераты авторских свидетельств СССР (документы А1, А2), опубликованных с 1994 г. (включая графическое изображение, если оно есть);

- Заявки на российские изобретения – формулы опубликованных заявок на изобретение;
- Полные тексты российских изобретений из трёх последних бюллетеней – патентные документы, опубликованные в трёх последних бюллетенях; полные тексты российских патентов на изобретения (документы С1, С2), авторские свидетельства СССР (документы А1, А2) – в объеме публикаций в бюллетене;
- Формулы российских полезных моделей – формулы полезных моделей с графическим изображением (если оно есть);
- Формулы российских полезных моделей из трёх последних бюллетеней – формулы полезных моделей с графическим изображением (если оно есть) из трёх последних бюллетеней.

- **Патентные документы РФ (анг.)**

- Рефераты российских изобретений на английском языке.

- **Российские промышленные образцы**

- Российские промышленные образцы из последнего бюллетеня.

- **Программы для ЭВМ, БД и ТИМС**

- Программы для ЭВМ с 2013 года;
- Базы данных с 2013 года;
- Топологии интегральных микросхем с 2013 года [64].

Результаты проведенной в 2021 году оценки патентной активности в период с 2012 по 2021 год отображены на рисунке 1.2.2.3. Основной областью поискового запроса являлись «квантовые коммуникации», в случае англоязычного запроса - «quantum communications». Суммарное количество результатов по запросу было равно 261 (самый ранний документ в системе датирован 1998 г.), но не все запросы тем или иным образом относились к области квантовых коммуникаций, в связи с чем была проведена фильтрация результатов запроса и исключение патентов, которые никаким образом не связаны с квантовыми коммуникациями. При этом заявки из смежных областей, которые могли бы частично быть полезны, из списка не удалялись. После фильтрации осталось 179 результатов.

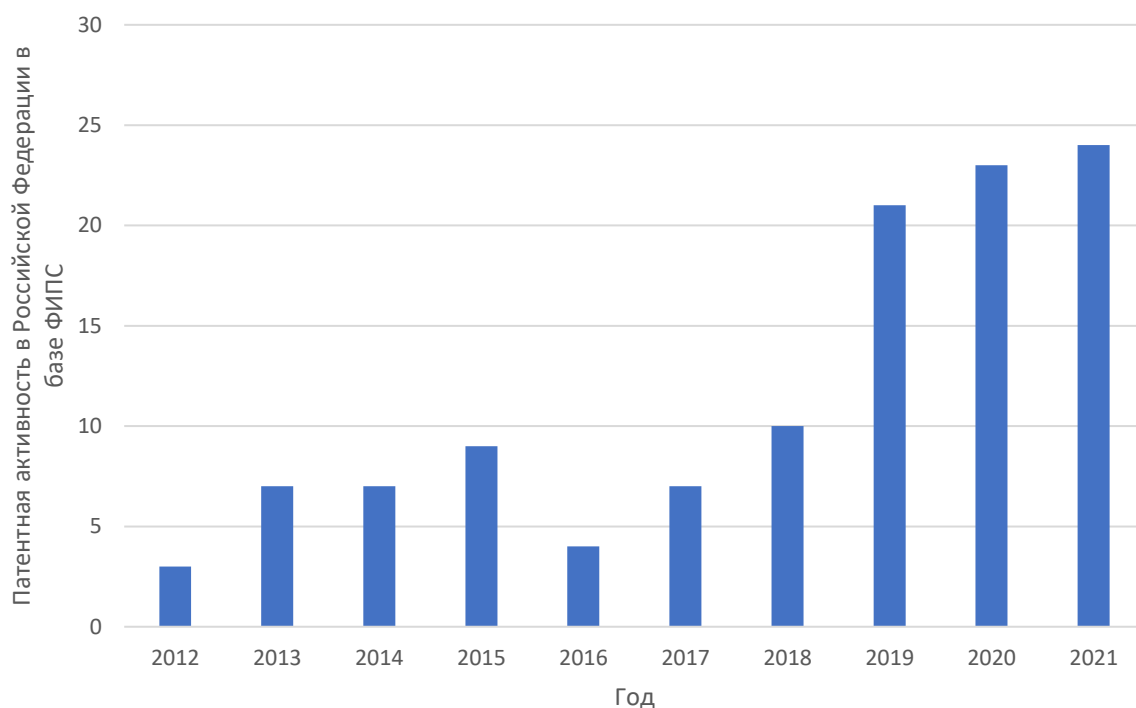


Рисунок 1.2.2.3 – График патентования в области «квантовые коммуникации» согласно патентным базам поисковой системы ФИПС по результатам анализа 2021 года

По уточненным данным Федерального института промышленной собственности с 2012 по 2022 год в общей сложности выявлено 829 патентов на изобретения, патентов на полезные модели, а также заявок.

Исследование проводилось по запросам:

- Квантовые коммуникации;
- Квантовая криптография;
- Квантовое распределение ключей;
- КРК;
- Квантовая криптографическая система выработки и распределения ключей;
- ККС ВРК;
- Квантовый ключ;
- Квантово-защищённый ключ;
- Квантовая телепортация;
- Квантовая защита;

- Квантовая сеть;
- Квантовый канал;
- Воздушный квантовый канал;
- Атмосферный квантовый канал;
- Детектор одиночных фотонов;
- Источник одиночных фотонов;
- Фотонные пары;
- Перепутанные фотоны;
- Квантовый генератор случайных чисел;
- Недоверенный узел;
- Промежуточный доверенный узел;
- Доверенный промежуточный узел;
- Последняя миля;
- Атаки на техническую реализацию;
- Непрерывные переменные;
- Сверхплотное кодирование;
- Квантовая рассылка ключей;
- Навязывание срабатываний.

Результаты исследования представлены на рисунке 1.2.2.4.

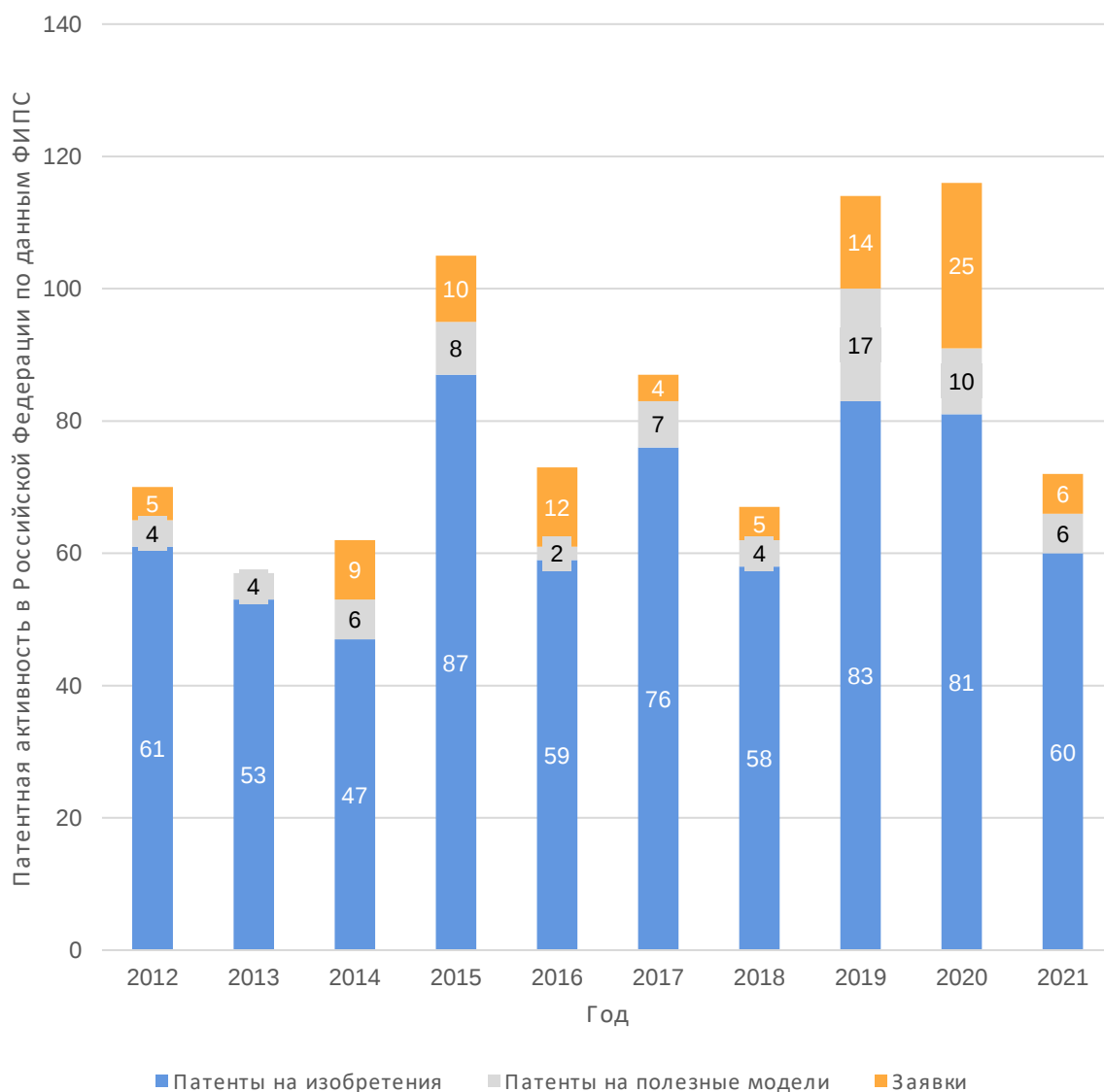


Рисунок 1.2.2.4 – График патентования в области «Квантовые коммуникации» согласно уточненным в 2022 году данным ФИПС

Следует отметить, что число патентов в поисковой системе ФИПС может различаться с числом патентов, зарегистрированных и опубликованных в базе данных ВОИС, т.к. при анализе поисковой системы ФИПС, учитывалась информация из различных баз, перечисленных ранее.

В отличие от мировых тенденций, в Российской Федерации патентование в области квантовых коммуникаций развивалось не так равномерно. Тем не менее, можно наблюдать аналогичный рывок, произошедший в 2013-2015 году, с заметным упадком количества патентов в 2016 году. При этом начиная с 2019 года

можно наблюдать резкий подъем количества патентов, увеличивающийся вплоть до 2021 года, что говорит о том, что утверждение «дорожной карты» развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» оказало положительные результаты на развитие данной технологии.

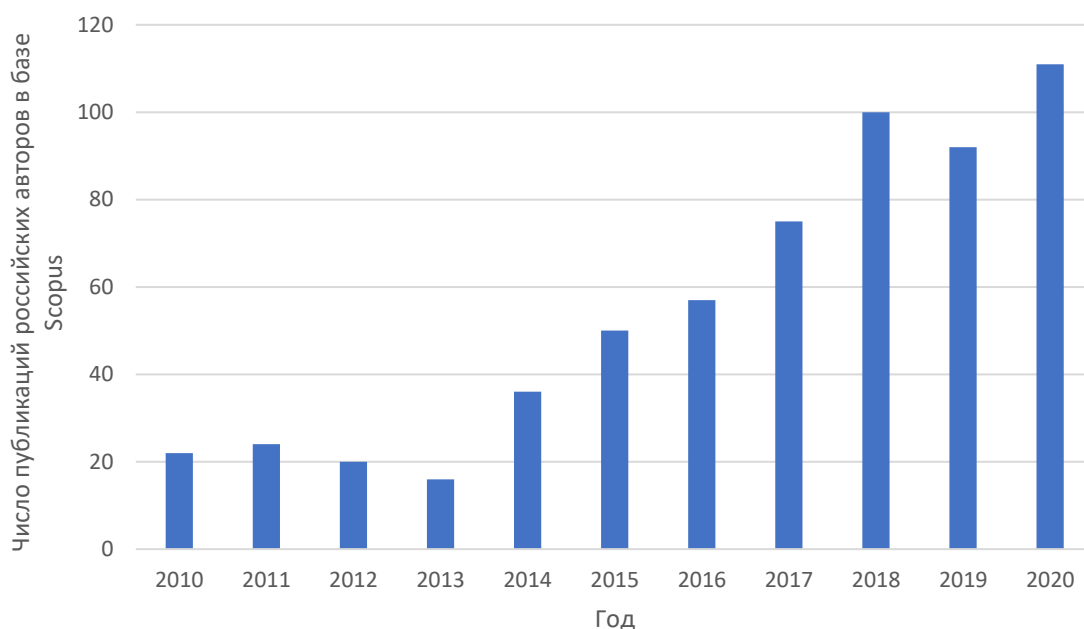


Рисунок 1.2.2.5 – Публикационная активность российских авторов в области квантовых коммуникаций в Scopus

Данные по количеству публикаций коррелируют с данными по патентованию, при этом наблюдается плавный рост количества публикаций, начиная с 2013 года. К 2018 году количество публикаций по теме квантовых коммуникаций в Российской Федерации выходит на один из наибольших уровней, и согласуется с тем, что после локального пика количества публикаций начинается локальный подъем патентования.

1.3 Наиболее вероятные сценарии развития рынка квантовых коммуникаций в Российской Федерации и описание ключевых сегментов рынка квантовых коммуникаций на период до 2030 года в целях прогнозирования кадровых потребностей отрасли до 2030 года

Оценка тенденций развития технологии квантовых коммуникаций

Отправной точкой для определения сценариев развития рынка квантовых коммуникаций служит прогноз, составленный в рамках настоящего исследования в 2021 году. Также учтены тенденции развития технологии как в России, так и в мире (Разделы 1.2.1 и 1.2.2). На основании данной оценки построен прогноз кадровой потребности до 2030 года.

Для описанных в п.1.2 сценариев на основе данных, полученных в ходе анкетирования и интервьюирования участников исследования, были определены ожидаемые сроки перехода между стадиями развития рынка квантовых коммуникаций. С учетом горизонта прогнозирования при визуализации акцент сделан на производстве таких решений. При этом на этапах фундаментальных исследований и разработки не ожидается появление коммерческого продукта, на этапе опытного производства появляются первые заказчики / потребители решений, на стадии серийного производства выстраиваются цепочки сбыта и начинается полноценное использование решений для передачи «боевых» данных, на этапе масштабирования ожидается полноценное открытие рынка и переход на использование технологии квантовых коммуникаций крупных потребителей и/или обязательное / рекомендованное использование технологии для работы с отдельными категориями данных.

Развитие квантовых коммуникаций

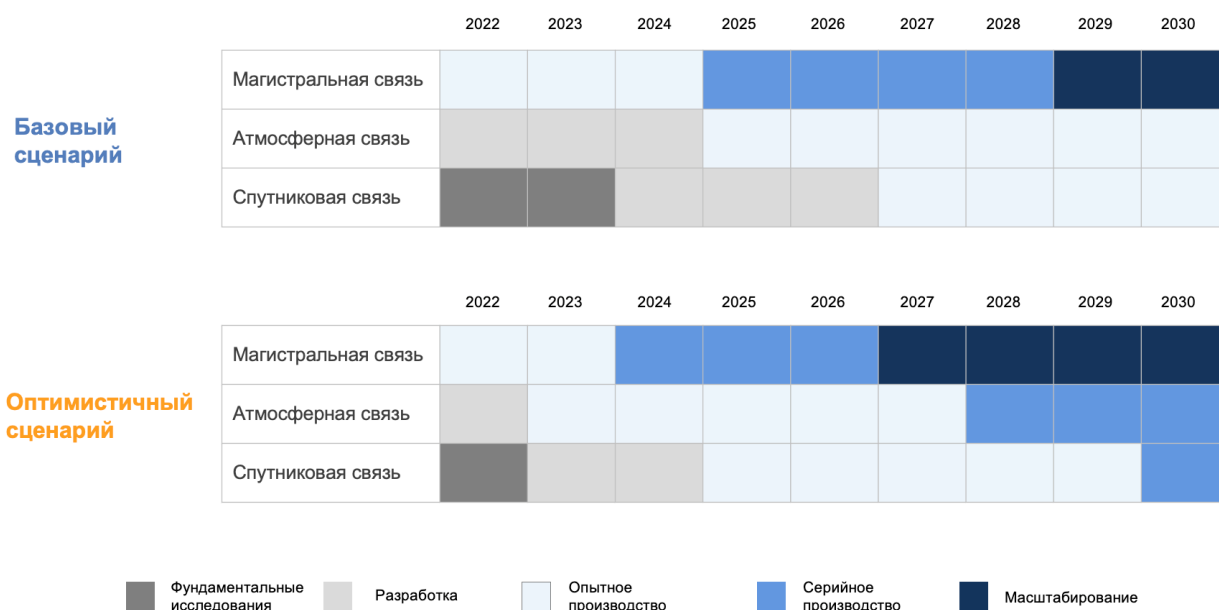


Рисунок 1.3.1 – Влияние реализации базового и оптимистичного сценария на развитие производства и рынка квантовых коммуникаций

На приведённом рисунке наглядно представлено влияние реализации базового и оптимистичного сценария на развитие производства и рынка квантовых коммуникаций в России. Целесообразно рассматривать отдельно три подтехнологии квантовых коммуникаций: магистральная связь, атмосферная связь и спутниковая связь. Подтехнологии находятся на разном уровне технологической готовности, вследствие чего прогноз по наступлению стадий жизненного цикла значительно отличается. Наиболее развиты технологии оптоволоконной связи. Атмосферная связь является перспективным направлением, однако несмотря на наличие опытных образцов, прикладные решения в этой области находятся на стадии разработки. Спутниковая связь использует схожие с атмосферной связью физические принципы, но является более сложной для реализации с технической точки зрения, вследствие чего уровень её готовности в России оценивается еще ниже.

В ходе исследования были определены перечень ожидаемых событий, влияющих на развитие рынка квантовых коммуникаций и сроки перехода между стадиями жизненного цикла. Исходя из данных, полученных при интервьюировании

участников рынка, и иных доступных данных, были построены прогнозы наступления таких событий для базового и оптимистичного сценария.

На рисунках 1.3.2 и 1.3.3 приведены ключевые события, влияющие на развитие рынка квантовых коммуникаций по годам в базовом и оптимистичном сценариях. Оценка сроков наступления и актуальность перечня событий подтверждены в рамках проведенных стратегических сессий с участием ведущих экспертов.

Событие, характеризующее развитие высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»	Базовый сценарий							
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.	2029 г.	2030 г.
Принятие нормативно-правовых актов, регулирующих применение технологий квантовых коммуникаций		✓						
Рекомендации Регулятора об использовании технологий квантовых коммуникаций		✓						
Внедрение технологии квантовых коммуникаций в государственные структуры				✓				
Массовое внедрение технологии квантовых коммуникаций в коммерческие структуры				✓				
Решение ФОИБ о ведомственном использовании технологий квантовых коммуникаций					✓			
Атмосферные оптические квантовые каналы связи (коммерческое применение)						✓		
Применение КРК для беспилотных объектов							✓	
Мультиплексирование квантовых и классических каналов в реальных сетях							✓	
Запуск спутника квантовой связи в Российской Федерации								✓
Запуск спутниковой группировки квантовой связи								✗
Внедрение сервиса («квантовые ключи в телефоне»)								✗
Создание квантового повторителя								✗
КРК для портативных объектов								✗

Рисунок 1.3.2 – Базовый сценарий развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»

Событие, характеризующее развитие высокотехнологической области «Квантовые коммуникации»	Оптимистичный сценарий							
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.	2029 г.	2030 г.
Принятие нормативно-правовых актов, регулирующих применение технологий квантовых коммуникаций		✓						
Рекомендации Регулятора об использовании технологий квантовых коммуникаций	✓							
Внедрение технологии квантовых коммуникаций в государственные структуры	✓							
Массовое внедрение технологии квантовых коммуникаций в коммерческие структуры				✓				
Решение ФОИВ о ведомственном использовании технологий квантовых коммуникаций			✓					
Атмосферные оптические квантовые каналы связи (коммерческое применение)			✓					
Применение КРК для беспилотных объектов				✓				
Мультиплексирование квантовых и классических каналов в реальных сетях				✓				
Запуск спутника квантовой связи в Российской Федерации				✓				
Запуск спутниковой группировки квантовой связи								✓
Внедрение сервиса («квантовые ключи в телефоне»)						✓		
Создание квантового повторителя						✓		
КРК для портативных объектов						✓		

Рисунок 1.3.3 – Оптимистичный сценарий развития высокотехнологической области «Квантовые коммуникации»

А) Принятие нормативно-правовых актов, регулирующих применение технологий квантовых коммуникаций: в настоящее время при участии оператора дорожной карты по развитию квантовых коммуникаций идёт работа по выработке подходов к нормативно-правовому регулированию использования технологии квантовых коммуникаций, выработаны предложения по такому регулированию, предложения активно обсуждаются экспертным сообществом, ведётся работа с регулятором. Ожидается выработка консолидированного подхода к правовому регулированию квантовых коммуникаций к середине 2023 года. В зависимости от уровня, на котором потребуется закрепить соответствующее регулирование, процесс принятия соответствующих НПА займет от 6 до 18 месяцев. Исходя из изложенного, для оптимистичного сценария ожидается вступление в силу регулирующих НПА в 1-2 квартале 2024 года, для базового сценария - в 3-4 квартале 2024 года.

Б) Рекомендации регулятора об использовании технологии квантовых коммуникаций: важным фактором для развития рынка квантовых коммуникаций является позиция регулятора и рекомендации с его стороны по использованию технологии квантовых коммуникаций для отдельных категорий данных и

организаций. Исходя из информации, полученной от потенциальных потребителей, такая позиция станет для многих потребителей важной при принятии решения о внедрении квантовых коммуникаций. С учётом проводимой регулятором работы по сертификации решений, использующих технологию квантовых коммуникаций, ожидается, что такие рекомендации могут появиться в период с 3 квартала 2023 года (оптимистичный сценарий) до 4 квартала 2024 года (базовый сценарий).

В) Внедрение квантовых коммуникаций в государственные структуры: ряд опрошенных в ходе исследования государственных организаций – потенциальных потребителей решений или сервисов, использующих технологию квантовых коммуникаций – выразили заинтересованность в их использовании для решения собственных задач, при этом большинство заинтересованных организаций рассматривают в первую очередь тестирование технологии по сервисной модели. Таким образом, появление первого примера использования квантовых коммуникаций государственной организацией - потребителем зависит от срока появления на рынке соответствующего предложения сервиса (ожидается до 2026 года и соответствует базовой модели) или готовности одного из потенциальных потребителей развернуть собственную инфраструктуру, что может произойти в более короткий срок (в конце 2023 года, что соответствует оптимистичному сценарию).

Г) Массовое внедрение технологии квантовых коммуникаций в коммерческих структурах: исходя из наблюдающихся тенденций развития технологии, выраженной заинтересованности со стороны потенциальных потребителей и темпов развития инфраструктуры, начало массового применения технологии ожидается к 2026 году, при этом базовый и оптимистичный сценарии предполагают различную динамику увеличения объёмов такого потребления.

Д) Решение ФОИВ о ведомственном использовании технологии квантовых коммуникаций: для принятия решения о внедрении технологии на уровне ФОИВ для собственных нужд, в т.ч. необходимо пройти период тестирования соответствующих решений, а также внести соответствующие изменения в стратегии и бюджеты ведомств. В зависимости от сроков тестирования технологии

и прохождения процесса ведомственного согласования, сопряжённого с получением одобрения от регулятора, прогнозируемый срок принятия такого решения находится в диапазоне от 2025 года (оптимистичный сценарий) до 2027 года (базовый сценарий).

Е) Коммерческое применение атмосферных оптических каналов связи: на текущий момент решения, основанные на использовании подтехнологии атмосферных каналов связи, находятся на этапе разработки и тестирования лабораторных образцов и потребуется не менее 3-х лет для появления продукта, пригодного для использования в реальных условиях. Кроме того, открытым остается вопрос сценария использования таких решений. Возможными вариантами являются использование как решение «последней мили» при развитии магистральной оптоволоконной инфраструктуры или применение для работы с мобильными объектами (в первую очередь беспилотные наземные и летательные аппараты). Начало коммерческого применения ожидается во второй половине 2025 года (оптимистичный сценарий) или в 2028 году (базовый сценарий), и связано в первую очередь с «последней милей».

Ж) Применение КРК для беспилотных объектов: использование технологии для беспилотных аппаратов является перспективным направлением, особенно в текущих внешнеполитических условиях, при этом такое применение сопряжено с необходимостью миниатюризации существующего оборудования, повышения стабильности его работы, особенно в сложных метеоусловиях (для БПЛА) и интеграции с иными бортовыми системами беспилотных аппаратов. С учётом объема технических задач, требующих решения, применение КРК для беспилотных объектов, ожидается не ранее 2029 года (для базового сценария) и 2026 года (для оптимистичного сценария).

З) Мультиплексирование квантовых и оптических каналов в реальных сетях: создаваемые магистральные сети квантовых коммуникаций создаются без учёта возможности мультиплексирования, однако появление такой технологии позволит в большей мере задействовать существующие сети и окажет существенное влияние на скорость развития инфраструктуры и снизит стоимость её создания. В

настоящее время принципиально подтверждена возможность мультиплексирования квантовых и обычных каналов, однако пригодные для реального применения решения не представлены и не сертифицированы. Применение технологии ожидается в 2026 году (оптимистичный сценарий) или в 2029 году (базовый сценарий).

И) Запуск спутника квантовой связи в Российской Федерации: для развития подтехнологии спутниковой квантовой связи необходимо отработать как передающие, так и принимающие решения в реальных условиях эксплуатации. Необходимым условием является запуск собственного спутника квантовой связи. В настоящее время прорабатывается возможность запуска спутника квантовой связи до конца 2026 года (оптимистичный сценарий), однако, с учетом отсутствия у разработчиков готовых к интеграции на спутниковую платформу решений, реалистичным представляется появление первого российского спутника квантовой связи не ранее 2029 года (базовый сценарий).

К) Запуск спутниковой группировки квантовой связи: для покрытия потребностей потребителей на всей территории Российской Федерации и увеличения объема трафика требуется группировка спутников квантовой связи. При этом для запуска такой группировки необходимо по крайней мере два условия: наличие отработанной на опытном спутнике технологии, подтвердившей свою работоспособность (включая наземные элементы системы) и наличие потребителей, готовых к эксплуатации таких систем. С учётом изложенного, появление группировки в горизонте прогнозирования ожидается только в оптимистичном сценарии – в 2030 году. В базовом сценарии группировка появится не ранее 2033 года.

Л) Внедрение сервиса «квантовые ключи в телефоне»: наиболее активно используемым средством связи является мобильный телефон и главным «единорогом» квантовых коммуникаций станет компания, внедрившая квантовые коммуникации для использования в мобильных устройствах. При этом текущий уровень развития квантовых коммуникаций не позволяет разместить необходимое для получения квантового ключа оборудование в мобильном телефоне и

организовать приём соответствующего сигнала. Очевидно, что при использовании сервисной модели на текущем уровне развития технологии будет передаваться или ключ, переданный по квантовому каналу до ближайшей стационарной точки, или будет применяться алгоритм постквантовой криптографии (что не является в полной мере применением технологии квантовых коммуникаций). С учётом уровня готовности технологии и оценки ожидаемых сроков внедрения на стороне сотовых операторов, появление такого сервиса прогнозируется только в оптимистичном сценарии не ранее 2028 года. В базовом сценарии появление такого сервиса до 2030 года не ожидается.

М) Создание квантового повторителя: в настоящее время технология находится на низком уровне технологической готовности, решения не продемонстрированы, ведутся разработки. При этом на появление повторителя завязано развитие недоверенных узлов связи, появление которых является важным фактором для развития инфраструктуры. Создание повторителя в горизонте прогнозирования предусматривается только оптимистичным сценарием – не ранее 2028 года.

Н) КРК для портативных объектов: фактически это развитие темы квантовых ключей в телефоне и технологии атмосферной связи, но с достижением прямой передачи квантового ключа на мобильное устройство. В рамках исследования участниками рынка были высказаны ожидания появления такого решения в горизонте 2028 года (оптимистичный сценарий), однако принимая во внимание сложность реализации и объем нерешённых вопросов в базовом сценарии, до 2030 года появление такого решения не рассматривается.

Кроме того, при построении прогноза учитывались целевые показатели, обозначенные в дорожной карте развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» на период до 2024 года (рис. 1.3.4), обобщенная информация от участников исследования и анализ экспертных мнений, полученных в рамках проведённых стратегических сессий.

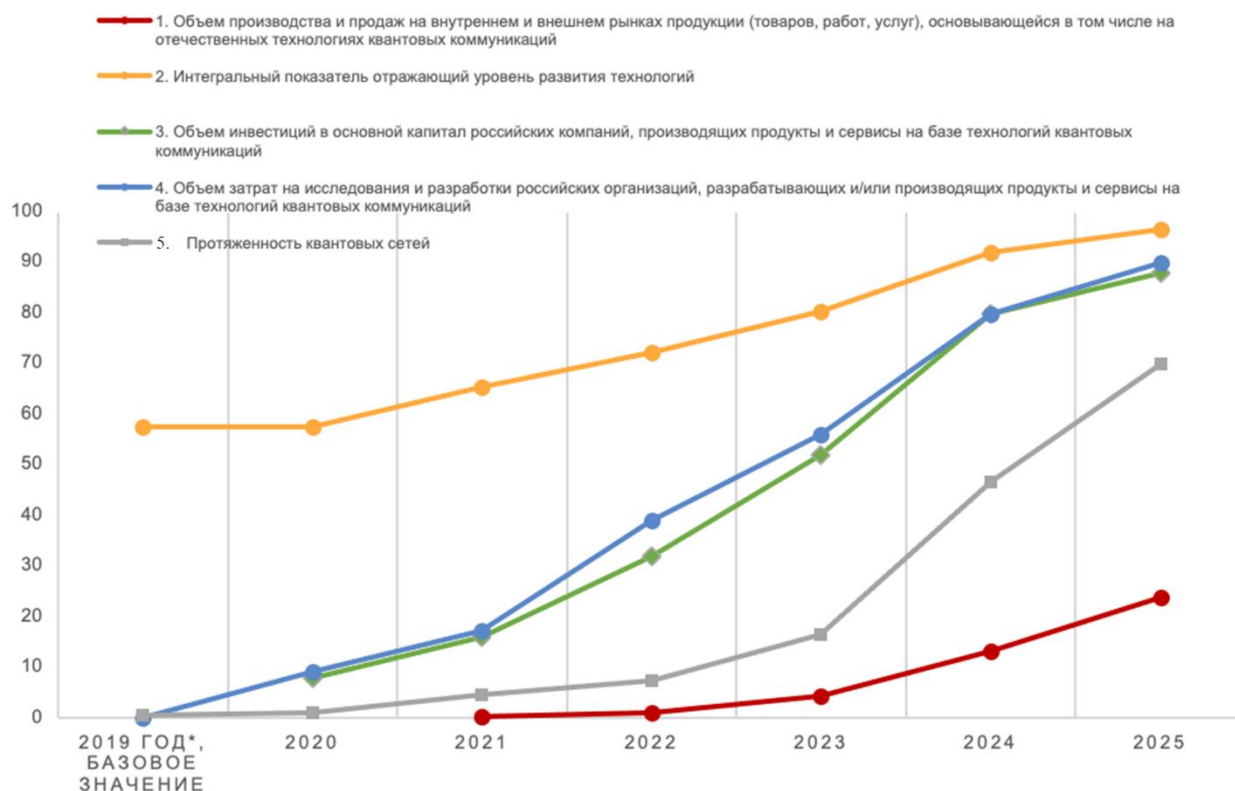


Рисунок 1.3.4 – Динамика изменения целевых показателей Дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»

1.4 Барьеры и риски, в том числе технологические, внедрения технологий квантовых коммуникаций и их влияние на формирование потребностей организаций, работающих в области квантовых коммуникаций или являющихся потенциальными пользователями таких технологий, в специалистах в области квантовых коммуникаций

В условиях внешней нестабильности и усиливающегося санкционного давления высокотехнологичная область «Квантовые коммуникации» в России сталкивается со значительными вызовами, при этом актуальность развития новых технологий защиты информации повышается, что формирует для данного высокотехнологичного направления пул возможностей и подтверждает её актуальность.

В рамках проводимого ежегодно мониторинга с участием разработчиков, производителей и потенциальных потребителей решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций определен ряд барьеров и рисков развития технологии квантовых коммуникаций (рис. 1.4.1). После введения санкций в 2022 году на первое место вышел вопрос организации поставок и импортозамещения компонентной базы и, как следствие – удорожание решений.



Рисунок 1.4.1 – Оценка барьеров и рисков развития технологии квантовых коммуникаций в 2021 г. и 2022 г.

Ключевым фактором для развития области квантовых коммуникаций является сертификация решений со стороны регулятора. С появлением в 2022 году первого сертифицированного решения в области квантовых коммуникаций значимость данного риска сократилась (рис. 1.4.1).

На данный момент отмечается высокая зависимость производителей от поставок импортной компонентной базы, в том числе изделий фотоники и электроники. К критическим компонентам, входящим в состав аппаратуры квантовых коммуникаций и зависящим от геополитической ситуации в мире, относятся порядка 10 функциональных блоков, в том числе быстродействующие оптические аттенюаторы, лазеры, компенсаторы дисперсии, амплитудные и

фазовые модуляторы, оптические переключатели, спектральные фильтры, лавинные диоды, циркуляторы, программируемые логические интегральные схемы.

Критические компоненты являются комплексными сборочными единицами, технологический цикл изготовления которых включает не менее 100 технологических операций. В настоящий момент доля импорта составляет порядка 75% перечня номенклатуры компонентной базы, материалов и комплектующих, применяемых в технологии изготовления оборудования квантовых коммуникаций. Основные страны производства импортных комплектующих – США, Канада, Франция, Нидерланды, Китай.

Как отмечают участники рынка, применение санкционных мер, ограничивающих ведение валютных операций и ввоз на территорию России высокотехнологического оборудования и комплектующих, приводит к частичному переносу сроков поставки и риску роста цен на закупаемую продукцию по новым договорам. Это в свою очередь вызывает необходимость менять сложившиеся логистические цепочки и производственные процессы, что потребует дополнительных временных затрат. Наибольшие затруднения связаны поставками от компаний Европы и США, которые после 24 февраля 2022 года приостановили официальные продажи оборудования и комплектующих в Россию, зафиксированы случаи отказов по ранее оформленным заказам. Сотрудничество с компаниями Китая продолжается, при этом поставщики переходят на расчёт в местной валюте (китайский юань).

Риски задержки или прекращения поставок радиоэлектронных компонентов снижают эффективность и увеличивают длительность сквозного цикла разработки и изготовления оборудования и систем квантовых коммуникаций.

Если для нивелирования рисков задержки или прекращения поставок радиоэлектронных компонентов широкой доступности (не менее 5 производителей в мире) достаточно контролировать постоянное наличие компонентов на складах производителей и в логистических центрах, то риски, связанные с компонентами, изготавливаемыми на заказ или малыми партиями, требуют комплексных мер по обеспечению технологической независимости – проведение ОКР в рамках дорожной карты «Квантовые коммуникации» по разработке компонентов и организации производства в России.

С другой стороны, вследствие стремительного изменения геополитической ситуации, значимость средств защиты информации повышается, а необходимость импортозамещения комплектующих, в конечном итоге, положительно скажется на безопасности выводимых на рынок решений и приведет к расширению собственного научно-технического задела, что в перспективе положительно скажется на динамике развития технологий квантовых коммуникаций в России.

1.5 Выводы о тенденциях развития технологий квантовых коммуникаций в Российской Федерации и мире и о необходимости подготовки высококвалифицированных кадров на основании проведенного исследования и с учетом целевых показателей, приоритетных технологий, высокотехнологичных продуктов и сервисов «дорожной карты»

Результаты сопоставления уровня развития приоритетных технологий «дорожной карты» высокотехнологичной области «Квантовой коммуникации» в Российской Федерации и в мире (по TRL) представлены в таблице 1.5.1.

Таблица 1.5.1 – Сопоставление уровня развития приоритетных технологий «дорожной карты» высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» в Российской Федерации и в мире

Технология	TRL в мире	TRL в России
Магистральные оптоволоконные квантовые сети	8	8
Технология доверенных промежуточных узлов в сетях КРК	8	8
Мультиплексирование квантовых и классических (информационных) каналов	6	4-5
Технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов на их основе	8	7

Технология	TRL в мире	TRL в России
Технология недоверенных промежуточных узлов в сетях КРК и квантовых коммуникаций на основе несепарабельных состояний	3-4	2
Абонентские системы КРК для портативных устройств и интернета вещей	6	3-4
Атмосферные оптические квантовые каналы связи	8	6
Космические оптические квантовые линии связи	7	3
Протоколы КРК и алгоритмы	8	8

По результатам выполненного анализа тенденций развития технологий в области квантовых коммуникаций можно сделать следующие выводы:

1. На ранних этапах формирования технологии квантовых коммуникаций Российская Федерация имела серьёзное отставание от ведущих игроков, как в ежегодном количестве публикаций, так и в ежегодном количестве патентов.
2. Несмотря на имевшее место до 2018 года отставание в области квантовых коммуникаций, за период с 2018 до 2022 года (в процессе реализации «дорожной карты»), Российская Федерация догнала мировых лидеров по уровню развития многих технологий квантовых коммуникаций.
3. Ключевым вопросом для развития технологий квантовых коммуникаций на данный момент в Российской Федерации является увеличение числа сертифицированных решений регулятора. При этом следует отметить, что в 2022 году было сертифицировано первое решение и продолжается работа по сертификации решений нескольких производителей.
4. Серьёзное отставание Российской Федерации от мировых лидеров наблюдается только в технологии космических оптических квантовых линий связи.
5. Исходя из преимущественного уровня TRL8 в мире, можно сделать вывод об активном использовании высококвалифицированных кадров, занимающихся эксплуатацией оборудования и решений квантовых коммуникаций.

6. Уровень развития технологий квантовых коммуникаций равный TRL7 также непременно свидетельствует о необходимости подготовки специалистов, способных обеспечивать бесперебойное функционирование и эксплуатацию оборудования и решений квантовых коммуникаций.
7. Требования к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций должны быть дифференцированы по типам организаций и ролям специалистов.
8. Наличие в списке развития технологий уровней TRL2-6 свидетельствует о том, что в области квантовых коммуникаций в ближайшей перспективе будут вестись активные исследования как фундаментальные, так и прикладные, что также свидетельствует о необходимости подготовки высококвалифицированных специалистов, имеющих компетенции в конкретных научных направлениях, связанных с тематикой разработок.
9. Необходимо обратить особое внимание на изучение требований к компетенциям специалистов исследователей, разработчиков в области квантовых коммуникаций.
10. Бурное развитие области в последние годы может привести к острой востребованности высококвалифицированных кадров, отслеживанию которых, в свою очередь, возможно, поможет система унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций.
11. Проведение анализа кадровых потребностей в высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» является необходимой задачей для обеспечения её успешного и своевременного развития.

2. Терминология, используемая в области квантовых коммуникаций

В отчёте используются термины (понятия) в области «Квантовые коммуникации», которые можно разделить на два вида.

Первый – это термины, которые широко применяются в научном сообществе. Второй – это термины, которые были сформулированы специалистами ОАО «МАЦ», а также экспертами предметной области, которые были приглашены к участию в обозначенной работе. Следует отметить, что такие термины получили подтверждение со стороны экспертного сообщества (в рамках проведенных стратегических сессий), однако могут быть пересмотрены по результатам принятия государственных стандартов.

Асимметричная криптография – это метод шифрования данных, предполагающий использование открытого и закрытого ключа. Открытый ключ применяется для шифрования информации и может передаваться по незащищённым каналам. Закрытый ключ применяется для расшифровки данных, зашифрованных открытым ключом.

Атмосферная оптическая линия связи – вид оптической связи, использующий электромагнитные волны оптического диапазона (как правило, инфракрасные), передаваемые через атмосферу [65].

Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) – вид системы передачи данных, при котором информация между двумя объектами передаётся посредством распространяющегося по кабелю излучения оптического и инфракрасного диапазонов.

Доверенный промежуточный узел (ДПУ) – узел квантовой сети, вырабатывающий в паре с другими ДПУ квантовые и/или целевые ключи [66].

Информационная безопасность – состояние защищённости информационных ресурсов от внутренних и внешних угроз, способных нанести ущерб интересам личности, общества, государства.

Кадровое обеспечение – один из ресурсов научной и производственной деятельности, характеризующийся наличием и составом персонала, отвечающего по количественным и качественным характеристикам потребностям организации.

Квантовая запутанность – квантовомеханическое явление, при котором квантовые состояния двух или большего числа объектов (частиц) оказываются взаимозависимыми.

Квантовая (коммуникационная) сеть – технологическая система, включающая средства и линии связи, предназначенные для передачи квантовой информации [67].

Квантовая суперпозиция – фундаментальный принцип квантовой механики, согласно которому, если для некоторой квантовой системы допустимы состояния ψ_1 и ψ_2 , то допустима и любая их линейная комбинация $\psi = c_1\psi_1 + c_2\psi_2$, которая называется суперпозицией состояний ψ_1 и ψ_2 .

Квантовая телепортация – передача квантового состояния на расстояние при помощи разъединённой в пространстве запутанной пары и классического канала связи, при которой состояние разрушается в точке отправления при проведении измерения и воссоздаётся в точке приёма.

Квантовая физика – физика происхождения явлений на уровне элементарных частиц.

Квантовое превосходство – способность квантовых вычислительных устройств решать проблемы, которые классические компьютеры не могут решить за разумный промежуток времени.

Квантовое состояние – любое возможное состояние, в котором может находиться квантовая система.

Квантовое распределение ключей (КРК) – метод защиты передаваемой информации с использованием технологий квантовых коммуникаций, позволяющего гарантированно защитить данные от компрометации и несанкционированного доступа [68].

Квантовые вычисления – представление и обработка данных с использованием квантовых явлений и квантовых вычислительных ресурсов [69].

Квантовые коммуникации – технологии, связанные с передачей квантовых состояний в пространстве, и направленные на устранение угрозы информационной безопасности, в том числе со стороны квантовых компьютеров [70].

Квантовые сенсоры – высокоточные измерительные приборы, основанные на квантовых эффектах [70].

Квантовые технологии – технологии, использующие квантовые физические явления и квантовую информацию [69].

Квантовый ключ – ключ, сгенерированный на обеих сторонах квантового канала связи с использованием определенного протокола КРК [71].

Квантовый компьютер – вычислительное устройство для математических и логических операций, хранения и обработки квантовой информации в соответствии с законами квантовой механики [69].

Квантовый объём – мера вычислительной мощности квантового компьютера [72].

Квантовый повторитель – комплекс устройств, расположенных в одном или нескольких узлах квантовой сети, обеспечивающий ретрансляцию квантового сигнала посредством обмена запутанностью и квантовой телепортации [67].

Кубит – единица представления квантовой информации, реализуемая двумя состояниями квантовой системы, находящейся в одном из состояний или в суперпозиции обоих состояний [67].

Магистральная квантовая сеть связи – квантовая сеть связи, реализуемая на базе магистральной волоконно-оптической сети передачи данных между крупными населёнными пунктами [67].

Международный рынок квантовых коммуникаций – совокупность международных экономических отношений между производителями товаров и услуг и потребителями в области квантовых коммуникаций [65].

Метод квантового отжига – нахождение глобального минимума некоей целевой функции посредством квантовых флуктуаций (туннелирования через потенциальные барьеры) [73].

Патент на изобретение, полезную модель или промышленный образец – документ, который удостоверяет приоритет изобретения, полезной модели или промышленного образца, авторство и исключительное право на изобретение, полезную модель или промышленный образец [74].

Постквантовая криптография – раздел криптографии, связанный с оценкой и разработкой способности криптографических систем, противостоять атакам с применением квантовых компьютеров, а также синтезом криптографических систем, устойчивых к таким атакам [67].

Протокол КРК – набор требований, определяющий порядок, этапы и характеристики взаимодействия, выполняемые в ходе процедуры квантового распределения ключей с целью получения идентичного квантового ключа на обеих сторонах квантового канала [67].

Смежные области квантовых технологий – области, связанные с квантовыми технологиями, а именно квантовыми коммуникациями, квантовыми вычислениями и квантовыми сенсорами.

Спутниковая оптическая линия связи – реализованная возможность передачи данных между двумя объектами, как минимум один из которых находится в космическом пространстве, посредством распространяющегося в пространстве электромагнитного излучения оптического и инфракрасного диапазонов [65], [71].

Теория квантовой информации – раздел науки на стыке квантовой физики и теории информации.

Топология точка-многоточка – тип логической топологии построения сетей, при котором осуществляется соединение нескольких абонентов с одной точкой доступа.

Топология точка-точка – тип логической топологии построения сетей, при котором осуществляется соединение двух узлов напрямую друг с другом.

Фотон – элементарная частица, квант света.

TRL (Technology Readiness Level) – Уровень готовности технологий (УГТ) – характеристика соответствия конкретной технологии уровню её зрелости от идеи до серийного производства, выражающаяся в определенном научном, научно-техническом или производственном результате, измеряемая соответствующими показателями результативности [75].

3. Оценка перспектив взаимодействия технологий квантовых коммуникаций со смежными технологическими областями, включая оценку возможности перекрёстного использования специалистов между предметными областями

Ранее в отчёте было представлено описание приоритетных технологических направлений и трендов развития в области квантовых коммуникаций. Можно уверенно констатировать, что квантовые технологии, то есть технологии, основанные на управлении индивидуальными квантовыми свойствами частиц, активно развиваются по всему миру.

Ведущие университеты, исследовательские центры и компании ведут разработки в области квантовых технологий. В Российской Федерации квантовые технологии входят в перечень основных «сквозных» цифровых технологий.

В «Дорожной карте развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии» (утверждена Президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности 02.10.2019 г.), разработанной с целью получения в среднесрочной и долгосрочной перспективе практически значимых научно-технических и практических результатов мирового уровня, представлено описание следующих технологических направлений (субтехнологий): квантовые вычисления, квантовые коммуникации и квантовые сенсоры (далее – квантовые технологии, смежные технологические области).

В рамках настоящего раздела рассмотрены следующие аспекты развития квантовых технологий:

- текущий (по состоянию на 2022 год) уровень технологической готовности по смежным технологическим областям, формирование гипотезы о перекрёстном использовании специалистов в рассматриваемых областях;

- описание квантовых технологий, их взаимосвязь и проблемы дальнейшего развития в РФ;
- применимость и взаимозаменяемость специалистов в рамках обозначенных технологических направлений.

В настоящее время существует устоявшаяся шкала оценки уровня готовности технологий квантовых вычислений (далее – КВ) в Российской Федерации, а также оценены уровни технологической готовности по направлениям квантовые коммуникации (далее – КК) и квантовые сенсоры (далее – КС).

Шкала QTRL – это метрика для описания уровня зрелости технологии КВ, шкала состоит из девяти уровней технологической готовности (QTRL). Шкала TRL – это классическая методология сбалансированного подхода к оценке готовности технологий КК, КС, при этом TRL1 (QTRL1) обозначает самый низкий уровень, а TRL9 (QTRL9) - самый высокий.

Оценка уровней технологической готовности по состоянию на 2022 г. представлена в таблице 3.1. Для наглядности зеленым цветом помечены достигнутые уровни готовности, светло-зеленым – уровни, по достижению которых ведется работа.

Таблица 3.1 – Уровни технологической готовности квантовых технологий в Российской Федерации по состоянию на 2022 г.

Уровень готовности	Допустимое значение индекса* готовности, характеристика QTRL/TRL	КВ (QTRL)	КС (TRL)	КК (TRL)
9	(8,9] Квантовые компьютеры (отжигатели) превышают вычислительную мощность классических компьютеров для решения общих (конкретных) задач / реальная система подтверждена путем успешной эксплуатации (достижения цели)			
8	(7,8] Масштабируемая версия квантового компьютера (отжигателя), завершенная и прошедшая тестирование и демонстрацию / реальная система завершена и квалифицирована в ходе испытаний и демонстрации			
7	(6,7] Создан прототип квантового компьютера (отжигателя), решающий небольшие, но важные для			

Уровень готовности	Допустимое значение индекса* готовности, характеристика QTRL/TRL	KB (QTRL)	KC (TRL)	KK (TRL)
	пользователя проблемы / прототип системы продемонстрирован в условиях эксплуатации			
6	(5,6] Компоненты, интегрированные в небольшой квантовый процессор с коррекцией ошибок. Строгое тестирование и выполнение алгоритмов повторяется. / модель системы/подсистемы или прототип продемонстрированы в окружении, близком к реальному			
5	(4,5] Технологии KB включают компоненты, интегрированные в небольшой квантовый процессор без коррекции ошибок / компонент и/или макет испытаны в окружении, близком к реальному			
4	(3,4] Создаются многокубитовые системы и разрабатываются классические устройства для манипулирования кубитами / компонент и/или макет испытаны в лабораторном окружении			
3	(2,3] Изготовленные несовершенные физические кубиты, основные строительные блоки квантовых вычислительных устройств / критические функции и/или характеристики подтверждены аналитическим и экспериментальным путем			
2	(1,2] Теоретические исследования основных свойств устройств квантовых вычислений (отжига) переходят в прикладные исследования и разработки / концепция технологии и/или ее применения сформулированы			
1	(0,1] сформулированы теоретические основы для квантовых вычислений (отжига) / основные принципы технологии изучены и опубликованы			

* - индекс готовности может принимать дробное значение в пределах от предыдущего до текущего уровня готовности



Уровень достигнут.

Уровень достигнут частично.

Согласно классификации QTRL, разработки в области KB компаний (университетов, научно-исследовательских организаций и других

заинтересованных в развитии КВ организаций) в Российской Федерации на данный момент соответствует уровням QTRL 3-4. То есть пока не решена задача реализации квантовых кодов коррекции ошибок и, соответственно, на них не могут быть в полном объёме реализованы практически значимые алгоритмы.

В части технологий КС по состоянию на 2022 год уровень технологической готовности в Российской Федерации соответствует TRL 1-5. Указанный диапазон уровней технологической готовности зависит от направлений развития технологии КС и от типа рассматриваемых сенсоров.

Самые «продвинутые» (перспективные решения) в РФ представлены по направлениям «твердотельные фотоумножители», «спектрографы с использованием двойной оптической гребёнки», «магнитоплазменные сенсоры». Менее развиты следующие направления (решения): это «спинтронные сенсоры», «гравиметры, аксилометры на атомах рубидия», «гироскопы на ансамблях спинов в твердом теле». На уровне TRL 3-4 оцениваются в настоящее время решения по направлениям «оптические атомные часы», «локальные сенсоры магнитного, электрического полей и температуры на центрах окраски» «датчики магнитных полей на основе когерентных состояний спинов в магнитоупорядоченных средах».

В части технологий КК, сегодня уровень готовности отечественных решений соответствует TRL 2-8. Наиболее высокий TRL, равный 8, имеют технологии магистральных оптоволоконных квантовых сетей, технологии доверенных промежуточных узлов в сетях КПК, а также протоколы КПК и алгоритмы. Наиболее низкий TRL, равный TRL 2, имеют технологии недоверенных промежуточных узлов. TRL 3 имеют технологии космических оптических квантовых линий связи.

Анализ доступной информации в области развития квантовых технологий, специфики (физических принципов) применения технологий КК и смежных областей позволяет сделать вывод об их тесной взаимосвязи. Такая взаимосвязь требует от специалистов, осуществляющих свою деятельность в квантовых технологиях, схожих навыков, компетенций и базовой подготовки.

Предполагается, что существуют «универсальные» направления подготовки. Специалисты с образованием по таким направлениям будут востребованы во всех (трёх) смежных областях. Существуют также направления подготовки, имеющие частичные связи в смежных областях (такие специалисты будут востребованы в

двух смежных областях из трёх), а также узкоспециализированные направления подготовки.

Для более глубокого понимания необходимо рассмотреть специфику работы специалистов в области КВ, КС, КК и представить существующие проблемы, с которыми им приходится сталкиваться.

Квантовые вычисления (КВ)

Сферу квантовых вычислений принято разделять на два больших направления: квантовые компьютеры и квантовые симуляторы. Квантовые компьютеры являются аналогами классических процессоров общего назначения в том смысле, что могут решать любую квантовую алгоритмическую задачу, при этом их функционирование существенно базируется на использовании квантовых эффектов.

Квантовые компьютеры могут быть многократно эффективнее классических компьютеров в целом ряде задач, связанных с моделированием материалов и химических веществ, обработкой больших данных и машинным обучением, взломом ассиметричного криптографического ключа [76]. Специалистам, связанным с разработкой решений в области КВ, необходимо использовать современные теоретические, научно-технические методы (в частности, методы квантовой томографии), алгоритмы, подходы и т.д.

С практической точки зрения специалисты сталкиваются с необходимостью, с одной стороны, увеличивать количество кубитов и, с другой стороны, сохранять возможность индивидуального контроля над ними. Именно одновременный рост и количества кубитов, и «качества» работы с ними может дать выигрыш в «квантовом объёме». Под «качеством» в данном случае подразумевается количество ошибок в результате операции над кубитами.

В упрощённом виде – ошибки можно представить двумя уровнями.

На первом уровне ошибки, которые присутствуют в каждом компьютере, в том числе и классическом (ошибки вычислений, работы аппаратных платформ, операторов и т.д.). Эти ошибки современные компьютеры умеют эффективно исправлять. В квантовых вычислениях в настоящее время тоже стали успешно с ними справляться.

Второй уровень ошибок в квантовых компьютерах связан с нестабильностью кубитов, подверженных декогеренции, что нарушает связи внутри квантовых систем. Квантовый процессор на время вычислений нужно максимально изолировать от окружающей среды и охладить. Но из-за декогеренции в результате внутренних процессов этого тоже недостаточно, чтобы избавиться полностью от ошибок второго уровня. Их можно сделать только достаточно редкими, чтобы квантовый компьютер смог эффективно работать [77].

Возможным решением по нивелированию внешнего воздействия могут быть квантовые коды коррекции ошибок – аналог кодов исправления ошибок для классических компьютеров, которые адаптированы под работу с кубитами.

Задача разработки практически применимых квантовых кодов коррекции ошибок в настоящее время является очень актуальной. По существу, для каждого квантового компьютера нужна разработка своего физического метода измерения и коррекции ошибок, которая является одной из самых трудных с точки зрения физической реализации. Для решения этой проблемы используются различные модели (подходы), например:

- Цифровая (гейтовая) модель вычислений. В ней существует набор регистров с кубитами, и над ними производятся квантовые аналоги логических операций. Набор квантовых логических операций формирует алгоритм. Для цифровой модели практически любые шумы играют деструктивную роль. Поэтому текущий этап развития квантовых компьютеров можно охарактеризовать как этап «шумных» квантовых компьютеров.
- Адиабатическая модель квантовых вычислений. В ней исходная задача «кодируется» в параметры гамильтониана некоторой физической системы. Далее параметры системы (гамильтониан) достаточно медленно меняются, принимая значения, соответствующие решаемой вычислительной задаче. Изменившееся (эволюционировавшее) состояние системы считывается в качестве ответа. Адиабатическая модель обладает устойчивостью к шумам, однако свойства такой архитектуры пока недостаточно хорошо изучены.

Квантовые симуляторы, или квантовые ускорители, предназначены для решения узкоспециализированных квантовых задач, связанных, например, с моделированием сложных систем с большим числом частиц, моделированием различных явлений физики твёрдого тела, в частности сверхпроводимости и магнетизма. Квантовые симуляторы могут быть полезны при разработке новых материалов, в частности материалов с высокотемпературной сверхпроводимостью. В целом квантовые симуляторы можно охарактеризовать как узконаправленные вычислители, с помощью которых можно решать задачи определённого типа.

Анализ открытых источников на предмет применения квантовых симуляторов показывает, что одним из основных направлений является решение задач точного расчёта химических реакций за разумное время (пример – замена прямых и дорогостоящих экспериментов на незатратные по времени и стоимости вычисления на квантовом симуляторе). При этом развитие данного направления позволило появиться новому понятию – программируемые квантовые симуляторы. Программируемым квантовым симулятором называется система, в которой некоторые параметры могут быть изменены в процессе функционирования. Таким образом, класс задач, которые можно решить с помощью таких систем, значительно расширяется.

Другое направление, в котором развиваются современные исследования квантовых симуляторов, – разработка более эффективных алгоритмов, в том числе способных исправлять или, как минимум, подавлять неизбежные в подобных системах ошибки. Улучшаются методы работы с кубитами, в частности, увеличивается время их работы, возрастает гибкость настройки квантовой системы и количество контролируемых параметров.

Обобщая представленную выше информацию, можно оценить направления исследований и разработок в области КВ как динамично развивающиеся в РФ [78] и выделить необходимые компетенции специалистов в рамках данных направлений:

- томография квантовых состояний и процессов. Разработка высокоточных методов квантовой томографии представляет большой практический интерес. Указанные методы (квантовых измерений) нужны для понимания таких фундаментальных квантовых явлений как запутанность,

телепортация. Возможность применения методов является необходимым условием создания масштабируемого квантового компьютера. Для применения методов квантовой томографии, исследования оптимальной методики выбора экспериментальных протоколов квантовой томографии конечномерных систем необходимы компетенции в области квантовой информатики (науки на стыке квантовой механики, теории алгоритмов и теории информации), оптики, математики;

- подавление ошибок в квантовых компьютерах (квантовая механика, математика, физика);
- вариационные квантовые алгоритмы (методы решения математических задач с помощью минимизации определённого функционала – математика, квантовая механика);
- алгоритмы квантового машинного обучения (применяются при моделировании искусственного интеллекта по трём направлениям: «точное обучение», «вероятностно приблизительно корректное обучение», «агностическое обучение» – квантовая физика, информатика, математика);
- эмуляция квантовых вычислений (точное воспроизведение оригинального окружения, в частности квантового компьютера (симулятора) – понимание инструментов эмуляции квантовых вычислений, различных библиотек для проведения КВ, умение разрабатывать и оперировать квантовыми решениями. Программирование, математическое моделирование (исследование операций), информатика).
- оптимизация квантовых операций (методы квантовой оптимизации актуальны для квантовых симуляторов, применяются в целях поиска наилучшего решения поставленных задач по определенным критериям – квантовая механика, инженерия, квантовая химия, машинное обучение, криптография);
- исследование параметров существующих квантовых компьютеров (квантовая механика, оптика, фотоника, математика, программирование).

Таким образом, для решения обозначенных выше задач в области квантовых вычислений необходимо знать не только физику и её законы, но и существующие алгоритмы, общие свойства и закономерности алгоритмов (теорию алгоритмов). Необходимо знать актуальные проблемы, обладать навыками управления и информатики («Control and Computer Science»), обладать пониманием современных технологических процессов, быть одновременно нанотехнологом, электроинженером, оптиком, математиком и химиком.

Квантовые сенсоры (КС)

Ранее отмечалось, что квантовые системы и, в частности, квантовые компьютеры очень чувствительны к изменениям внешней среды. То есть, любое изменение внешней среды может повлиять на квантовую систему и привести последнюю в состояние декогеренции. Данное свойство квантовой системы (обозначенная взаимосвязь) лежит в основе создания квантовых сенсоров.

Квантовые сенсоры (датчики) – высокоточные измерительные приборы, основанные на квантовых эффектах. Область применения квантовых сенсоров очень разнообразна. Например, реализованные в виде кристалла размером порядка нескольких нанометров датчики могут быть внедрены в клетку живого организма без нарушения её жизнедеятельности и затем использоваться для измерения микроскопических полей внутри этой клетки [77]. Квантовые датчики могут найти широкое применение в ранней диагностике и терапии онкологических заболеваний, что, соответственно, открывает новые горизонты для биологии и медицины.

Другое направление применения – квантовые сенсоры позиционирования. Используются в атомных часах, а также в новом поколении метрологических устройств. Квантовые часы представляют собой приборы для измерения времени, в которых в качестве периодического процесса используются собственные колебания, связанные с процессами, происходящими на уровне атомов или молекул. Определение положения космических кораблей, спутников, баллистических ракет, самолётов, подводных лодок, а также передвижение автомобилей в автоматическом режиме по спутниковой связи немыслимы без атомных часов.

В России на данный момент идут работы в области квантовой сенсорики и метрологии, имеющие практические приложения и коммерческие перспективы. К ним можно отнести:

- оптические атомные (ионные часы);
- гравиметры (акселерометры на атомах рубидия);
- гироскопы на ансамблях спинов в твердом теле;
- сенсоры магнитного поля и температуры на основе азотозамещенной вакансии в алмазе и электрического поля;
- датчики электромагнитных полей на основе когерентных состояний спинов в магнитоупорядоченных средах;
- спинтронные сенсоры;
- магнитоплазмонные сенсоры;
- твердотельные фотоумножители;
- спектрограф (электронный нос) с использованием микрорезонаторов;
- приёмники фотонов.

Основными разработчиками сенсоров в Российской Федерации являются университеты и научно-исследовательские институты.

Для расширения функциональности различных сенсоров, улучшения их параметров, упрощения технологических процессов при их изготовлении необходимо проводить фундаментальные и поисковые исследования в области квантовой информатики, создания гибридных устройств, основанных на нескольких физических принципах, нейроморфных систем, в том числе работающих на новых физических принципах, использующих заряд электрона и его спинов, и направленных на интеграцию электронных и фотонных технологий.

Необходимо проводить исследования, направленные на реализацию многоэлементных структур на основе когерентных систем (сверхпроводящих квантовых битов-кубитов) для создания связанных цепочек и массивов кубитов, моделирующих молекулярные структуры, спиновую динамику, другие динамические процессы в сильно коррелированных электронных системах [79].

Эти работы будут проводиться в области квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, фотоники, плазмоники, акустоэлектроники, релятивистской СВЧ-электроники больших мощностей, физики

мощных пучков заряженных частиц, рентгеновской оптики для источников синхротронного излучения, лазеров на свободных электронах и нейтронной оптики. Специалистам, приходящим в перечисленные области, желательно иметь профильное образование [79].

Квантовые коммуникации (КК)

Квантовые коммуникации – технологии передачи информации посредством прямой передачи квантовых состояний или посредством квантовой запутанности. Наиболее развитыми системами квантовых коммуникаций являются системы квантовой рассылки ключей (КРК), направленные на устранение угрозы информационной безопасности, в том числе со стороны квантовых компьютеров, использующие свойства квантовых систем для защищённой передачи секретных ключей. Поскольку одним из фундаментальных свойств фотона как квантовой частицы является неизбежное изменение его состояния при измерении его характеристик (согласно принципу Гейзенберга, две связанные квантовые величины не могут быть одновременно измерены с необходимой точностью, так как чем точнее измеряется одна характеристика, тем менее точно можно измерить вторую). Таким образом, невозможно нелегитимно воспользоваться информацией, передаваемой по квантовому каналу системы КРК, оставаясь незамеченным, что, соответственно, является основой обеспечения информационной безопасности.

Специалистам (разработчикам) таких устройств приходится решать ряд технических проблем. Одной из них является необходимость организации многопользовательских квантовозащищенных сетей связи произвольной топологии с учётом того, что системы КРК в общем случае имеют архитектуру «точка-точка».

Другая проблема – это ограничения, связанные с дальностью связи и низкой скоростью генерации ключей в КРК. Ограничения на дистанцию связаны с тем, что квантовые сигналы, закодированные в фотонах, «не выживают» на больших расстояниях из-за тепловых шумов, потерь и дефектов оптоволокна. Высокий уровень помех в канале приводит к тому, что системе приходится многократно повторять генерацию квантов. В результате значительно замедляется скорость рассылки ключей. Для решения указанной проблемы разрабатываются квантовые повторители — устройства, позволяющие восстановить квантовую информацию, не нарушая её целостности. Один из способов реализации данных повторителей

базируется на эффекте квантовой запутанности, однако максимальное расстояние, на котором удаётся сохранить его, ограничено. С учётом того, что на сегодняшний день технология квантовых повторителей недостаточно развита, обычно используется альтернативный подход с доверенными промежуточными узлами, в которых установлены пары систем КРК для соседних сегментов сети и системы управления ключами. Организация таких узлов связи требует компетенций с точки зрения информационной безопасности.

Дальнейшее развитие технологии КРК предполагает её использование в атмосферно-оптических системах передачи специальной информации, что должно обеспечить возможность быстрой, полностью автоматической (без привлечения и участия персонала) смены ключей в распределенных системах высокоскоростного шифрования, характеризующуюся высокой скрытностью ключевого обмена и отсутствием записанной на физические носители ключевой информации, а также гарантированной способностью к обнаружению попыток перехвата. Также предполагается, что развитие технологий КРК будет связано с основными трендами развития инфраструктуры телекоммуникаций, одним из которых является переход к парадигме интернета вещей (IoT). Интернет вещей подразумевает появление нового типа абонента: автоматизированного устройства, общающегося по сети с человеком-оператором и другими устройствами. Примерами таких абонентов являются промышленные роботы, беспилотные летательные аппараты, медицинские и промышленные сенсоры, компьютерные сети. Это обстоятельство подтверждает взаимосвязь квантовых коммуникаций со смежными квантовыми технологиями. При этом, важнейшим аспектом развития IoT является появление нового типа угроз: взлом компьютерных сетей может привести не только к утечке данных, но и к нарушению работы инфраструктуры, авариям и техногенным катастрофам. Квантовые сети помогут значительно расширить пользовательскую базу даже на основе существующей инфраструктуры, а квантовые коммуникации – объединить распределенные устройства для квантовых вычислений и организовать обмен данными между ними.

Возможность перекрёстного использования специалистов в смежных областях квантовых технологий

Как отмечалось ранее, под смежными квантовыми технологиями понимаются технологии в области квантовых коммуникаций, квантовых сенсоров и квантовых вычислений. В целях оценки применимости специалистов в рамках обозначенных смежных технологий, учитывались представленные выше проблемы, тренды развития. Оценка выполнялась с учётом результатов интервью с экспертами по обозначенным направлениям.

Оценка возможности перекрёстного использования специалистов между предметными областями представлена в таблице 3.2, где перечислены направления подготовки специалистов и указана востребованность специалистов организациями, осуществляющими деятельность в области квантовых технологий.

При формировании перечня направлений подготовки специалистов были использованы информационные материалы за 2020 год, а именно статистическая отчетность по форме № ВПО-1 «Сведения об организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» [80] с учетом данных, полученных при анкетировании профильных организаций, интервьюировании и проведении стратегических сессий, иных открытых источников.

Таблица 3.2 – Оценка возможности перекрёстного использования специалистов между предметными областями и направления подготовки (специальности), востребованные организациями, осуществляющими деятельность в области квантовых технологий

№ п/п	Наименование направления подготовки (специальности)	КВ	КС	КК
1.	Математика	+	+	+
2.	Механика и математическое моделирование	+	+	+
3.	Прикладная математика и физика	+	+	+
4.	Физика	+	+	+
5.	Конструирование и технология электронных средств	+	+	+

№ п/п	Наименование направления подготовки (специальности)	КВ	КС	КК
6.	Электроника и нанoeлектроника	+	+	+
7.	Фотоника и оптоинформатика	+	+	+
8.	Материаловедение и технологии материалов	+	+	+
9.	Нанотехнологии и микросистемная техника	+	+	+
10.	Наноинженерия	+	+	+
11.	Наноматериалы	+	+	+
12.	Фундаментальная и прикладная физика	+	+	+
13.	Стандартизация и метрология	+	+	+
14.	Прикладная математика и информатика	+	+	+
15.	Радиофизика	+	+	+
16.	Радиотехника	+	+	+
17.	Химия, физика и механика материалов	+	+	+
18.	Радиоэлектронные системы и комплексы	+	+	+
19.	Приборостроение	+	+	+
20.	Прикладная математика		+	+
21.	Информатика и вычислительная техника			+
22.	Информационные системы и технологии		+	+
23.	Прикладная информатика	+	+	
24.	Программная инженерия		+	+
25.	Лазерная техника и лазерные технологии		+	+
26.	Техническая физика		+	+
27.	Фундаментальные математика и механика	+	+	
28.	Информационная безопасность телекоммуникационных систем	+		+
29.	Информационная безопасность автоматизированных систем	+		+
30.	Химия	+	+	

№ п/п	Наименование направления подготовки (специальности)	КВ	КС	КК
31.	Математика и компьютерные науки	+		+
32.	Фундаментальная информатика и информационные технологии	+		+
33.	Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения			+
34.	Информационная безопасность			+
35.	Медицинская биохимия		+	
36.	Медицинская биофизика		+	
37.	Медицинская кибернетика		+	
38.	Математическое обеспечение и администрирование информационных систем	+		
39.	Оптотехника		+	
40.	Биотехнические системы и технологии		+	
41.	Биотехнология		+	
42.	Фундаментальная и прикладная химия		+	
43.	Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи			+
44.	Биоинженерия и биоинформатика		+	
45.	Компьютерная безопасность			+
46.	Инфокоммуникационные технологии и системы связи			+

Представленные результаты указывают на непосредственную связь технологических областей квантовых вычислений, квантовых сенсоров и квантовых коммуникаций по ряду направлений подготовки (таблица 3.2, пункты 1-19), например «математика», «механика и математическое моделирование», «фундаментальная информатика и информационные технологии», «прикладные математика и физика» и т.д.

Другие направления подготовки специалистов имеют частичную связь (таблица 3.2, пункты 20-32). Здесь имеется в виду связь направлений подготовки

между двумя смежными квантовыми технологиями. Развитие в области квантовых вычислений (КВ) и, в частности, квантового компьютера, предполагает существенное продвижение по решению таких задач, как поиск скрытых подгрупп для конечных абелевых групп, что в свою очередь позволяет эффективно решать задачи факторизации и дискретного логарифмирования. Именно на сложности решения таких задач как факторизация больших чисел и дискретное логарифмирование основывается безопасность распространенных алгоритмов криптографии с открытым ключом (также называемых асимметричными криптографическими алгоритмами), а это уже область, в которой квантовые коммуникации могут дать принципиальное преимущество перед классическими системами защиты передачи данных. Необходимо отметить, что в указанном примере полагается справедливым, что специалисты в области КВ будут более адаптированы для работы в области КК. При этом специалисты в области КК будут менее адаптированы для работы в области КВ, поскольку область КВ – значительно более сложная наукоемкая область, в основе которой лежат фундаментальные принципы квантовой теории информации.

Представленный пример не является уникальным. С развитием уровней технологической готовности квантовых технологий появляются потребности в новых компетенциях специалистов, появляются новые связи и возможности перекрёстного использования специалистов между направлениями подготовки.

Направления подготовки специалистов, являющиеся узкоспециализированными (здесь имеется в виду, что специалисты в данных направлениях могут работать только по одной из трех смежных квантовых технологий), представлены в таблице 3.2, пункты 33-46.

В таблице 3.3 представлены направления подготовки специалистов, которые являются (по нашей оценке) условно приближенными к компетенциям специалистов в области квантовых технологий. Такие специалисты могут быть востребованы в области квантовых коммуникаций и смежных областях в рамках решения конкретных задач при условии их дополнительной подготовки и предварительной адаптации для погружения в тематику.

Таблица 3.3 – Направления подготовки специалистов, условно приближенные к компетенциям специалистов в области квантовых технологий

№ п/п	Наименование направления подготовки (специальности)	КВ	КС	КК
1.	Электроэнергетика и электротехника		+	
2.	Ядерная энергетика и теплофизика	+	+	
3.	Ядерные физика и технологии	+	+	
4.	Машиностроение	+		+
5.	Прикладная механика	+	+	
6.	Автоматизация технологических процессов и производств	+		
7.	Мехатроника и робототехника	+		+
8.	Информационно-аналитические системы безопасности			+
9.	Системный анализ и управление	+	+	
10.	Управление в технических системах	+	+	
11.	Инноватика	+	+	+
12.	Специальные электромеханические системы	+	+	
13.	Электроника и автоматика физических установок	+	+	
14.	Проектирование технологических машин и комплексов	+	+	+
15.	Химическая технология		+	

В целях верификации представленных выше материалов специалистами ОАО «МАЦ» был проведен ряд интервью с представителями экспертного сообщества, обладающими компетенциями в области квантовых технологий. В частности, перед экспертами был поставлен вопрос об уровне подготовки специалистов в образовательных организациях высшего образования и о возможности задействования специалистов в области КК в смежных технологических областях и специалистов в смежных областях в области КК.

Анализ мнений по обозначенному вопросу позволил сформировать консолидированную позицию в зависимости от типов организаций, а именно операторов связи (эксплуатация), образовательных организаций высшего образования (обучение), организаций разработчиков и производителей

программно-аппаратного комплекса (ПАК) или элементной базы (производители), научных организаций и системных интеграторов.

Операторы связи (эксплуатация решений в области КК)

Специалисты в области КК с высшим образованием очень востребованы операторами связи, однако, как отмечают организации, такие специалисты имеют завышенные финансовые ожидания от работодателя.

Организации рассматривают возможности приема на работу специалистов, имеющих базовое профильное образование. Отмечается, что выпускники образовательных организаций высшего образования не смогут легко вписаться в деятельность компаний (операторов связи) из-за недостатка знаний по внутренним процессам указанных компаний в области КК. Адаптация таких специалистов займёт значительное время. Поэтому, в части обучения специалистов в области КК, организации считают наиболее подходящим дополнительную подготовку (переподготовку) существующих специалистов.

В части работы специалистов в смежных областях и их взаимозаменяемости организации подтверждают, что такая возможность существует, однако если специалист работает в области давно и является «узкоспециализированным», то вероятность перехода такого специалиста в другую область минимальна.

Образовательные организации высшего образования

Перекрестное использование специалистов между областями квантовых технологий возможно, однако необходимо учитывать направления, в которых выпускникам образовательных организаций высшего образования предстоит осуществлять свою деятельность.

Если выпускники будут связаны с научной деятельностью, то обязательно должны знать фундаментальную квантовую физику, физику твёрдого тела и фотонику. Проблемы передачи квантового сигнала в области фундаментальных исследований предполагают подготовку специалистов в области фотоники, квантовой физики, радиоэлектроники. Проблемы обработки квантового сигнала в области фундаментальных исследований предполагают подготовку специалистов в области физики твёрдого тела, квантовой физики, программирования. В меньшей степени будут востребованы специалисты в области материаловедения, химии и

электротехники. Для решения проблем хранения квантового сигнала в области фундаментальных исследований необходимы знания в материаловедении, в области квантовой механики, физики твёрдого тела, программирования, а также в области синтеза материалов с базовым физическим (и/или химическим) образованием.

В области прикладных разработок востребованными будут инженеры-конструкторы, инженеры в области радиоэлектроники и оптики, программисты и разработчики, химики-технологи, а также технический персонал.

Таким образом, специалисты в области КК могут легко перекрываться специалистами смежных областей. Специалист по направлению подготовки «физика» может быть востребован в области КК и других смежных областях. Указанное мнение справедливо только по отношению к высококвалифицированным специалистам, выпускникам ведущих образовательных организаций высшего образования страны.

Для профессорско-преподавательского состава вопрос специализации стоит только в рамках отдельных дисциплин, непосредственно связанных с областями квантовых технологий, такие преподаватели должны иметь опыт работы с узкой предметной областью. При этом основная масса дисциплин являются общими для квантовых вычислений, сенсоров и коммуникаций, для таких дисциплин не требуется узкая специализация преподавателей.

Организации разработчики и производители программно-аппаратного комплекса (ПАК) или элементной базы (производители).

Значительному числу сотрудников, задействованных в разработке решений в области КК, не требуется обладать базовыми знаниями криптографии и квантовой физики. Однако, для дальнейшей работы в интересах организации по востребованным направлениям таким специалистам могут предложить пройти курс повышения квалификации.

Выстроенный курс в области квантовых коммуникаций должен состоять из 40-80 часов: 20 лекций плюс, если это необходимо, практика. Квантовые коммуникации, квантовые вычисления, квантовые сенсоры – это, по мнению экспертов, схожие области, и сотрудники, которые занимаются новой областью, могут перейти в смежные.

Таким образом, для специалистов рабочих специальностей необходима адаптация в организации, включающая дополнительную подготовку. Что касается инженеров (специалистов с высшим образованием в смежных областях), им нужно в среднем около года для погружения в тематику.

Научные организации

Если рассматривать КК в широком смысле, как совокупность методов для передачи информации с использованием квантовых состояний, то связь между областями (то есть возможность задействования специалистов в области КК в смежных технологических областях и специалистов в смежных областях в области КК) очень сильная.

Если область квантовых коммуникаций сужается до наиболее прикладной и рыночно значимой области (например, квантовой криптографии), то в этом случае, пересечения также есть, но они более фрагментарные. Например, устройство детектирования одиночных фотонов – это в каком-то смысле квантовый сенсор. Поэтому это естественное пересечение между двумя этими областями. Протоколы квантовых вычислений взаимосвязаны с протоколами для квантовых коммуникаций на уровне алгоритмов, программного обеспечения и т.д. В области квантовой криптографии специалисты могут быть взаимозаменяемы и друг друга понимать, но степень проникновения меньше, поскольку квантовая криптография очень технически развитая область.

Таким образом, предположение о том, что значительная часть специалистов, подготовленных по выделенным (указаны в таблице 3.2) направлениям, будут востребованы в смежных областях, получило своё подтверждение. По ряду направлений существует частичная связь в смежных областях, то есть сохраняется возможность перекрёстного использования специалистов в двух смежных областях из трёх, и существуют узкоспециализированные направления подготовки.

Ограничивающим фактором является уровень подготовки, а именно представленные направления характерны для специалистов с высшим образованием (бакалавров, специалистов, магистров). Что касается специалистов со средним специальным образованием, то подтверждена необходимость дополнительной подготовки таких специалистов.

4. Сценарный прогноз потребности Российской Федерации в специалистах в области квантовых коммуникаций на период до 2030 г.

4.1 Предпосылки

Сценарный прогноз объёма кадровых потребностей базируется на приведенных в разделе 1.3 наиболее вероятных сценариях развития рынка квантовых коммуникаций. При этом основой для численной оценки является исследование в области текущей кадровой обеспеченности высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации», проведённое в 2021 году.

4.2 Подходы к привлечению и переобучению специалистов

Потребности различных организаций, рассматриваемых в рамках исследования, значительно отличаются как по уровню, так и по направлению подготовки специалистов. Динамика изменения кадровых потребностей для разных типов организаций и категорий специалистов также значительно отличается. Различия обусловлены ранним этапом развития высокотехнологичной области и отсутствием сформированного рынка. Кроме того, основные потенциальные потребители уже имеют штат специалистов, работающих с СКЗИ и ВОЛС, планируя их переобучение в области квантовых коммуникаций.

Научные организации

Для организаций и должностей, задействованных в области НИР и ОКР, ожидается относительно небольшое по сравнению с другими сегментами увеличение кадровых потребностей, поскольку к настоящему моменту уже разработаны базовые решения, планируемые к выводу на рынок на первом этапе его становления. При этом, исходя из сложившейся практики такие организации будут готовы закрывать не более 20% своих потребностей специалистами,

получившими специализированное высшее образование и не имеющими опыта работы. Ожидается, что основная масса специалистов будет привлекаться из смежных областей, проходя переподготовку на новом месте работы, и переходить из одних организаций области в другие в рамках нормальной кадровой ротации.

Производство

Основные организации – разработчики уже имеют опытные производства такого оборудования, также существуют производственные площадки, на базе которых осуществляется сборка и производство комплектующих для СКЗИ, часть комплектующих имеют иностранное происхождение. Вследствие этого по мере формирования рынка квантовых коммуникаций будет возрастать запрос на переподготовку персонала существующих производственных площадок и привлечение специалистов с базовым техническим образованием с их последующей переподготовкой.

Также ожидается формирование ограниченного запроса на привлечение или переподготовку высококвалифицированных инженеров, задействованных на производстве. Для таких специалистов значимым требованием станет наличие опыта работы в области квантовых коммуникаций или смежных областях при наличии подготовки в области квантовых коммуникаций, что значительно сократит востребованность на таких позициях выпускников со специализированным образованием без опыта работы.

Операторы связи

Ряд ведущих операторов связи в настоящее время уже ведёт активную работу в области квантовых коммуникаций. К настоящему моменту сформированы группы экспертов, прорабатывающих вопросы внедрения технологии. По мере формирования рынка группы будут трансформированы в центры компетенций с расширением их численного состава. Учитывая специфику деятельности таких организаций, линейный персонал будет проходить переобучение в области квантовых коммуникаций, однако не планируется масштабный набор новых специалистов. Дополнительным сдерживающим фактором являются высокие зарплатные ожидания высококвалифицированных специалистов в области квантовых коммуникаций и выпускников ВУЗов с узкоспециализированной

подготовкой, что не позволит масштабно задействовать их при реализации практических проектов по внедрению квантовых коммуникаций.

Системные интеграторы

Основой работы таких организаций является наличие наработанной клиентской базы и умение работать с сегментами рынка. Со стороны таких организаций ожидается запрос на подготовку (переобучение) специалистов в области решений, основанных на квантовых коммуникациях, в том числе имеющих специалистов в области продаж и развития бизнес-направлений.

Технические подразделения таких компаний также на данный момент сформированы и не планируется увеличение численности сотрудников в целях внедрения квантовых коммуникаций или их замещение профильными специалистами. Таким образом, у уже задействованных специалистов появится запрос на обучение в области квантовых коммуникаций без отрыва от производства.

Как было указано ранее, масштабное вовлечение интеграторов в работу на рынке квантовых коммуникаций не ожидается ранее 2024 года, значимая кадровая потребность таким образом не начнет формироваться ранее 3 квартала 2023 года.

Потребители, эксплуатирующие оборудование квантовых коммуникаций

Потребители, планирующие эксплуатировать оборудование, основанное на технологиях квантовых коммуникаций, как правило уже имеют сформированные подразделения, обслуживающие ЦОД и линии связи. Задачи по эксплуатации оборудования квантовых коммуникаций не будут добавлять значительной трудоёмкости для таких подразделений на этапе эксплуатации. В связи с этим планируется обучение специалистов таких подразделений без отрыва от их основной деятельности в рамках повышения квалификации.

Для отдельных крупных потребителей (например Сбербанк, ВТБ) потребуется формирование центров компетенций по аналогии с операторами связи.

Учитывая прогноз развития рынка, кадровая потребность у таких организаций начнет формироваться не ранее 2023 года и будет возрастать по мере развития рынка на всем горизонте исследования (до 2025 года).

4.3 Прогноз изменения кадровых потребностей до 2030 года

4.3.1 Базовый сценарий

В данном разделе приведена оценка кадровой потребности высокотехнологичной области квантовые коммуникации при базовом сценарии на период до 2030 года. Приведенные в таблицах значения отображают число штатных / внештатных должностей по категориям (ролям) специалистов для организаций различных категорий.

Таблица 4.3.1.1 – Прогноз кадровых потребностей в 2023 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									20	42	59		171
Финансовые организации и другие крупные потребители									13	36			122
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28				105	292	9	21					49
Организации высшего и среднего профессионального образования												266	
Научные организации	49	219	291	374									
Системные интеграторы	5						5		5		20		

Таблица 4.3.1.2 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2023 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									5	9	14		114
Финансовые организации и другие крупные потребители									3	10			81
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	2				14	76	1	3					11
Организации высшего и среднего профессионального образования												24	
Научные организации													
Системные интеграторы	5						5		5		20		

Таблица 4.3.1.3 – Прогноз кадровых потребностей в 2024 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							8		27	59	88		376
Финансовые организации и другие крупные потребители									17	62			267
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28				105	292	9	21					79
Организации высшего и среднего профессионального образования												279	
Научные организации	49	219	291	374									
Системные интеграторы	10						10		10		35		

Таблица 4.3.1.4 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2024 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							8		7	17	29		205
Финансовые организации и другие крупные потребители									4	26			145
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК													
Организации высшего и среднего профессионального образования												13	
Научные организации													
Системные интеграторы	5						5		5		15		

Таблица 4.3.1.5 – Прогноз кадровых потребностей в 2025 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							14		24	59	95		406
Финансовые организации и другие крупные потребители									20	72			626
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	25				109	302	11	19					86
Организации высшего и среднего профессионального образования												264	
Научные организации	44	197	262	337									
Системные интеграторы	14						14		14		54		

Таблица 4.3.1.6 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2025 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							7			6	17		75
Финансовые организации и другие крупные потребители									5	18			428
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК					16	43	3						16
Организации высшего и среднего профессионального образования												14	
Научные организации													
Системные интеграторы	5						5		5		25		

Таблица 4.3.1.7 – Прогноз кадровых потребностей в 2026 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							24		30	71	115		568
Финансовые организации и другие крупные потребители									24	88			876
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	31				133	368	13	23					120
Организации высшего и среднего профессионального образования												322	
Научные организации	45	201	267	343									
Системные интеграторы	16						16		16		66		

Таблица 4.3.1.8 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2026 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							11		6	13	21		162
Финансовые организации и другие крупные потребители									4	16			251
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	6				24	67	2	4					35
Организации высшего и среднего профессионального образования												58	
Научные организации	1	4	5	6									
Системные интеграторы	3						3		3		12		

Таблица 4.3.1.9 – Прогноз кадровых потребностей в 2027 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							43		35	83	135		710
Финансовые организации и другие крупные потребители									28	103			1095
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	36				156	431	15	28					150
Организации высшего и среднего профессионального образования												377	
Научные организации	46	205	272	350									
Системные интеграторы	19						19		19		77		

Таблица 4.3.1.10 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2027 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							19		5	12	20		142
Финансовые организации и другие крупные потребители									4	15			219
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	5				23	63	2	5					30
Организации высшего и среднего профессионального образования												55	
Научные организации	1	4	5	7									
Системные интеграторы	3						3		3		11		

Таблица 4.3.1.11 – Прогноз кадровых потребностей в 2028 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							73		40	94	153		888
Финансовые организации и другие крупные потребители									32	116			1369
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	41				176	487	17	34					188
Организации высшего и среднего профессионального образования												426	
Научные организации	47	209	277	357									
Системные интеграторы	21						21		21		87		

Таблица 4.3.1.12 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2028 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							30		5	11	18		178
Финансовые организации и другие крупные потребители									4	13			274
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	5				20	56	2	6					38
Организации высшего и среднего профессионального образования												49	
Научные организации	1	4	5	7									
Системные интеграторы	2						2		2		10		

Таблица 4.3.1.13 – Прогноз кадровых потребностей в 2029 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							117		45	106	173		1110
Финансовые организации и другие крупные потребители									36	131			1711
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	46				199	550	19	38					235
Организации высшего и среднего профессионального образования												481	
Научные организации	48	213	283	364									
Системные интеграторы	24						24		24		98		

Таблица 4.3.1.14 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2029 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							44		5	12	20		222
Финансовые организации и другие крупные потребители									4	15			342
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	5				23	63	2	4					47
Организации высшего и среднего профессионального образования												55	
Научные организации	1	4	6	7									
Системные интеграторы	3						3		3		11		

Таблица 4.3.1.15 – Прогноз кадровых потребностей в 2030 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							187		51	120	195		1388
Финансовые организации и другие крупные потребители									41	148			2139
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	52				225	622	21	43					294
Организации высшего и среднего профессионального образования												544	
Научные организации	49	217	289	371									
Системные интеграторы	27						27		27		111		

Таблица 4.3.1.16 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2030 году (базовый сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							70		6	14	22		278
Финансовые организации и другие крупные потребители									5	17			428
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	6				26	72	2	5					59
Организации высшего и среднего профессионального образования												63	
Научные организации	1	4	6	7									
Системные интеграторы	3						3		3		13		

4.3.2 Оптимистичный сценарий

В данном разделе приведена оценка кадровой потребности высокотехнологичной области квантовые коммуникации при оптимистичном сценарии на период до 2030 года. Приведенные в таблицах значения отображают число штатных / внештатных должностей по категориям (ролям) специалистов для организаций различных категорий.

Таблица 4.3.2.1 – Прогноз кадровых потребностей в 2023 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									20	42	59		171
Финансовые организации и другие крупные потребители									13	36			122
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28				105	292	9	21					49
Организации высшего и среднего профессионального образования												266	
Научные организации	49	219	291	374									
Системные интеграторы	5						5		5		20		

Таблица 4.3.2.2 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2023 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									5	9	14		114
Финансовые организации и другие крупные потребители									3	10			81
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	2				14	76	1	3					11
Организации высшего и среднего профессионального образования												24	
Научные организации													
Системные интеграторы	5						5		5		20		

Таблица 4.3.2.3 – Прогноз кадровых потребностей в 2024 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							8		27	59	88		376
Финансовые организации и другие крупные потребители									17	62			267
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28				105	292	9	21					79
Организации высшего и среднего профессионального образования												279	
Научные организации	49	219	291	374									
Системные интеграторы	10						10		10		35		

Таблица 4.3.2.4 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2024 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							8		7	17	29		205
Финансовые организации и другие крупные потребители									4	26			145
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК													30
Организации высшего и среднего профессионального образования												13	
Научные организации													
Системные интеграторы	5						5		5		15		

Таблица 4.3.2.5 – Прогноз кадровых потребностей в 2025 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							15		27	65	105		451
Финансовые организации и другие крупные потребители									22	80			695
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28				121	335	12	21					95
Организации высшего и среднего профессионального образования												293	
Научные организации	49	219	291	374									
Системные интеграторы	15						15		15		60		

Таблица 4.3.2.6 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2025 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							7			6	17		75
Финансовые организации и другие крупные потребители									5	18			428
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК					16	43	3						16
Организации высшего и среднего профессионального образования												14	
Научные организации													
Системные интеграторы	5						5		5		25		

Таблица 4.3.2.7 – Прогноз кадровых потребностей в 2026 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							18		33	79	128		722
Финансовые организации и другие крупные потребители									27	98			1112
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	34				148	409	15	26					152
Организации высшего и среднего профессионального образования												357	
Научные организации	50	223	297	381									
Системные интеграторы	21						21		21		84		

Таблица 4.3.2.8 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2026 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							3		6	14	23		271
Финансовые организации и другие крупные потребители									5	18			417
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	6				27	74	3	5					57
Организации высшего и среднего профессионального образования												64	
Научные организации	1	4	6	7									
Системные интеграторы	6						6		6		24		

Таблица 4.3.2.9 – Прогноз кадровых потребностей в 2027 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							23		39	92	166		1083
Финансовые организации и другие крупные потребители									32	127			1668
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	44				192	532	20	34					198
Организации высшего и среднего профессионального образования												418	
Научные организации	51	227	303	389									
Системные интеграторы	27						27		27		109		

Таблица 4.3.2.10 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2027 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							5		6	13	38		361
Финансовые организации и другие крупные потребители									5	29			556
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	10				44	123	5	8					46
Организации высшего и среднего профессионального образования												61	
Научные организации	1	4	6	8									
Системные интеграторы	6						6		6		25		

Таблица 4.3.2.11 – Прогноз кадровых потребностей в 2028 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытным производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							26		44	104	188		1625
Финансовые организации и другие крупные потребители									36	144			2502
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	50				217	601	23	38					317
Организации высшего и среднего профессионального образования												472	
Научные организации	52	232	309	397									
Системные интеграторы	38						38		38		153		

Таблица 4.3.2.12 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2028 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной безопасности	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытным производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							3		5	12	22		542
Финансовые организации и другие крупные потребители									4	17			834
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	6				25	69	3	4					119
Организации высшего и среднего профессионального образования												54	
Научные организации	1	5	6	8									
Системные интеграторы	11						11		11		44		

Таблица 4.3.2.13 – Прогноз кадровых потребностей в 2029 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							39		50	118	263		2275
Финансовые организации и другие крупные потребители									41	163			3128
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	75				304	841	35	43					586
Организации высшего и среднего профессионального образования												533	
Научные организации	68	237	371	596									
Системные интеграторы	49						57		43		214		

Таблица 4.3.2.14 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2029 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							13		6	14	75		650
Финансовые организации и другие крупные потребители									5	19			626
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	25				87	240	12	5					269
Организации высшего и среднего профессионального образования												61	
Научные организации	16	5	62	199									
Системные интеграторы	11						19		5		61		

Таблица 4.3.2.15 – Прогноз кадровых потребностей в 2030 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							44		57	133	297		3185
Финансовые организации и другие крупные потребители									57	228			4379
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	85				344	950	67	60					1055
Организации высшего и среднего профессионального образования												640	
Научные организации	71	246	386	620									
Системные интеграторы	78						91		69		342		

Таблица 4.3.2.16 – Прогноз изменения кадровых потребностей в 2030 году (оптимистичный сценарий)

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (занятый в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)							5		7	15	34		910
Финансовые организации и другие крупные потребители									16	65			1251
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	10				40	109	32	17					469
Организации высшего и среднего профессионального образования												107	
Научные организации	3	9	15	24									
Системные интеграторы	29						34		26		128		

Оценивая динамику изменения кадровых потребностей в прогнозном периоде, можно сказать, что в обоих сценариях кадровая потребность будет возрастать. Для организаций, эксплуатирующих решения на основе квантовых коммуникаций, ожидается существенный рост потребности в специалистах, обслуживающих сети квантовых коммуникаций, поскольку их протяжённость будет увеличиваться.

Количество научных работников в научных организациях будет возрастать только до 2023 года, поскольку эта область уже достаточно укомплектована кадрами, и большого дефицита со стороны организаций не было обозначено. При этом будет наблюдаться переток специалистов между подтехнологиями квантовых коммуникаций.

На рисунке 4.3.1 показана динамика кадровой потребности высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» до 2030 года по подтехнологиям магистральной, атмосферной и спутниковой связи.

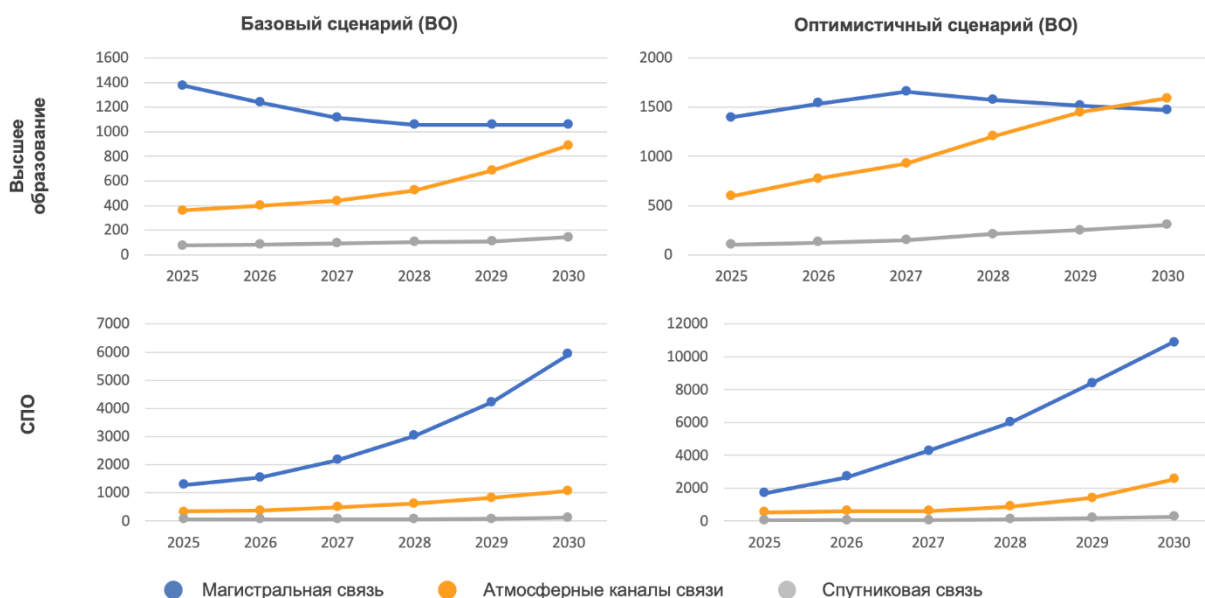


Рисунок 4.3.1 – Прогноз числа задействованных специалистов в высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»

4.4 Прогноз потребности в новых специалистах

Для построения прогноза по числу вновь привлекаемых специалистов был выбран как наиболее реалистичный базовый сценарий развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации».

Для определения потребности в новых специалистах учитывались:

- Новые рабочие места (на основании данных, приведенных в подп. 4.3 настоящего раздела);
- Прогноз выбытия / замещения специалистам по категориям. Прогноз построен на основе данных о развитии рынка квантовых коммуникаций и специфике работы специалистов, относящихся к различным категориям. Данные оценки верифицированы отраслевыми экспертами в рамках проведенных стратегических сессий.

Таблица 4.4.1 – Прогноз кадровой потребности с учетом выбытия специалистов

Период	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Роли специалистов								
Руководитель различного уровня (Team leader)	10 (7)	9 (5)	9 (5)	14 (10)	13(9)	13(8)	14 (9)	15 (10)
Исследователь - теоретик	15 (4)	23 (12)	22 (11)	60 (10)	57 (10)	58 (9)	60 (10)	63 (11)
Экспериментатор	22 (8)	38 (23)	39 (23)	25 (8)	24 (8)	24 (8)	26 (9)	26 (9)
Лаборант	23 (5)	35 (16)	36 (16)	97 (14)	96 (19)	103 (22)	111 (25)	121 (30)
«Архитектор» решений	18 (14)	5 (0)	21 (16)	36 (24)	36 (23)	35 (20)	40 (23)	45 (26)
Инженер, технолог, экспериментатор	86 (76)	14 (0)	57 (43)	100 (67)	99 (63)	99 (56)	111 (63)	127 (72)
Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	8 (6)	17 (13)	23 (15)	28 (16)	39 (24)	57 (34)	82 (49)	123 (75)
Специалист по информационной безопасности	4 (3)	2 (0)	2 (0)	6 (4)	7 (5)	8 (6)	7 (4)	8 (5)
Консультант (эксперт)	46 (45)	43 (39)	43 (37)	62 (31)	64 (30)	66 (26)	75 (30)	85 (34)

Период	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Роли специалистов								
Системный администратор	25 (19)	60 (52)	61 (48)	55 (37)	54 (34)	54 (31)	60 (34)	69 (39)
Специалист по продажам	47 (34)	67 (44)	78 (42)	82 (33)	85 (31)	91 (28)	103 (31)	116 (35)
Преподаватель	68 (42)	65 (35)	53 (20)	105 (70)	106 (67)	105 (60)	118 (67)	135 (77)
Рабочий персонал	353 (334)	663 (611)	743 (630)	814 (638)	779 (557)	976 (698)	1219 (871)	1525 (1090)
ИТОГО								
Профильное высшее образование или ученая степень	157 (112)	145 (91)	148 (89)	277 (145)	276 (139)	277 (123)	307 (139)	343 (158)
Базовое высшее образование + ДПО	192 (146)	198 (132)	260 (171)	296 (165)	308 (165)	333 (163)	389 (190)	469 (235)
Обучение без отрыва от производства	376 (339)	698 (627)	779 (646)	911 (652)	875 (576)	1079 (720)	1330 (896)	1646 (1120)

Примечание:

В таблице приведен прогноз потребности в новых специалистах по годам и категориям специалистов. Данные приведены в формате xx (yy), где:

xx – общая потребность в новых специалистах, включая компенсацию выбывающих специалистов;

yy – в том числе потребность, возникающая при создании новых рабочих мест.

5. Оценка возможностей российских образовательных организаций по подготовке специалистов в области квантовых коммуникаций

Из данных, полученных от высших и средних учебных заведений (приведены в п. 5.1-5.5), а также проведенных стратегических сессий следует:

В части ВО:

- Высших учебных заведений, уже работающих в направлении подготовки специалистов в области квантовых технологий в целом и квантовых коммуникаций в частности, достаточно для удовлетворения прогнозируемой до 2030 года кадровой потребности в специалистах уровня подготовки бакалавриат и выше;
- Для удовлетворения кадровых потребностей указанными в предыдущем пункте ВУЗами необходимо утверждение образовательных стандартов и открытие мест (в т. ч. бюджетных) в соответствующих группах;
- В целях повышения качества подготовки специалистов необходимо создание собственной или получение доступа к партнерской лабораторной базе для всех ВУЗов, ведущих подготовку специалистов в области квантовых коммуникаций.

В части СПО:

- Образовательных организаций, осуществляющих подготовку в области квантовых коммуникаций недостаточно. Увеличение числа таких организаций возможно только при:
 - Открытии рынка квантовых коммуникаций и возникновения спроса со стороны работодателей на профильных специалистов;
 - Утверждении соответствующих образовательных и профессиональных стандартов.
- Необходима разработка специализированных образовательных материалов для уровня подготовки СПО;

- Все организации СПО, осуществляющие обучение специалистов в области квантовых коммуникаций, должны иметь собственную лабораторную базу;
- При определении численной потребности выпуска специалистов в области квантовых коммуникаций на уровне СПО необходимо учитывать два разнонаправленных фактора:
 - Большая часть специалистов проходящих обучение по программам, связанным с квантовыми коммуникациями, продолжает обучение в ВУЗ и не работает по специальности;
 - Потенциальные работодатели в горизонте до 2030 года рассматривают привлечение выпускников уровня СПО в объеме не более чем 15% от общей кадровой потребности в соответствующих специалистах (основная часть потребности удовлетворяется через переобучение без отрыва от производства уже имеющихся сотрудников и специалистов смежных областей).

5.1 Перечень направлений подготовки, специальностей, профессий по уровням образования (среднее профессиональное образование, бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура) в соответствии с ОК 009-2016, в рамках которых осуществляется подготовка кадров для работы в области квантовых коммуникаций, в том числе по стадиям жизненного цикла технологий и решений в области квантовых коммуникаций (фундаментальные исследования, разработка прикладных решений, внедрение, эксплуатация)

В ходе исследования был определён и верифицирован при проведении стратегических сессий ряд предпосылок для определения перечня направлений подготовки, специальностей, профессий по уровням образования и стадиям жизненного цикла технологий квантовых коммуникаций, на базе которых и была выстроена представленная в данном разделе оценка:

- В настоящее время нет утвержденных профессиональных и образовательных стандартов в области квантовых коммуникаций;
- Подготовка в области квантовых коммуникаций осуществляется через специальные (дополнительные) курсы, преподаваемые обучающимся по смежным специальностям;
- Специалисты, соответствующие ряду профессиональных стандартов из смежных областей, могут быть задействованы в области квантовых коммуникаций, однако диапазон таких стандартов велик и расширяется с учетом стадии жизненного цикла на котором работают разные типы организаций, и уникален для каждой из организаций в рамках одного жизненного цикла. Таким образом наиболее эффективным представляется структурирование по ролям специалистов и пропорциям задействования специалистов по разным областям знаний;
- Несмотря на сложность высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации», большинство специалистов, которые задействованы и будут задействованы в ней, будут решать узкие задачи или будут обслуживать готовые решения. Для таких специалистов не требуется специализированная подготовка на уровне СПО или высшего образования в области квантовых коммуникаций, при этом будет необходима подготовка в рамках дополнительного обучения или повышения квалификации, которая в свою очередь может быть успешно проведена при наличии базового образования в одной из смежных областей.

В целях структурирования данного раздела организации, работающие в области квантовых коммуникаций, разделены на три блока (рис. 5.1):

- эксплуатанты, куда входят операторы связи и потребители;
- участники рынка, куда входят разработчики и производители и научные организации;
- образовательные организации.

Специализированная подготовка в области КК	Эксплуатанты		Участники рынка		
	Операторы связи	Потребители	Разработчики и производители	Научные организации	Образовательные организации
Требуется	● Консультант (специалист центра компетенций) ● Системный администратор ● Продажи ● Технический персонал	● Системный администратор ● Технический персонал	● Руководитель проекта / Team leader ● Разработчик / архитектор решений ● Инженер / технолог / экспериментатор ● Развитие бизнеса/маркетинг ● Информационная безопасность	● Руководитель проекта / Team leader ● Исследователь-Теоретик ● Экспериментатор ● Технический персонал / лаборанты	● ППС прикладных дисциплин в области КК ● Технический персонал / лаборанты
Не требуется	● Персонал, не задействованный непосредственно в работе с оборудованием КК;	● Конечные пользователи ● Специалисты в области информационной безопасности	● Технический персонал ● Программисты ● Вспомогательные подразделения	● Технический персонал / лаборанты	● ППС в области фундаментальных дисциплин

Профильное высшее образование или ученая степень
 Базовое высшее образование + ДПО
 Обучение без отрыва от производства

Рисунок 5.1 – Уровни подготовки специалистов в области квантовых коммуникаций

5.2 Описание ролей специалистов и их соотнесение с наиболее релевантными базовыми направлениями подготовки

Руководитель различного уровня (Team leader)

Позиция Team leader предусмотрена как для научных организаций, так и для разработчиков и производителей. При относительной смежности функциональных обязанностей руководителей прослеживаются различия ввиду специфики их деятельности и поставленных целей.

В должностные обязанности руководителя в научной организации входит планирование, определение приоритетных направлений работы, оперативное управление, первичная оценка полученных результатов, внешние коммуникации, ответственность за результат исследования или разработки. К функционалу руководителя в организации, разрабатывающей и производящей решения и продукты на основе квантовых коммуникаций, также добавляется принятие управленческих и продуктовых решений, формирование технических заданий.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Математика (01.04.00)

- Прикладная математика и информатика
- Механика и математическое моделирование

Математика и компьютерные науки (02.04.00)

- Фундаментальная информатика и информационные технологии

Прикладная математика и физика (03.04.00)

- Физика

Информатика и вычислительная техника (09.04.01)

- Прикладная информатика
- Программная инженерия

Информационная безопасность (10.04.01)

Радиотехника (11.04.00)

- Инфокоммуникационные технологии и системы связи

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.06.00)

- Математика и механика
- Статистика

Физика и астрономия (03.06.00)

- Физика и астрономия

Химия (04.06.00)

- Химические науки
- Информатика и вычислительная техника

Технические науки

- Информационная безопасность
- Электроника, радиотехника и системы связи
- Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии
- Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии
- Физико-технические науки и технологии
- Технологии материалов
- Управление в технических системах
- Нанотехнологии и наноматериалы

Исследователь-теоретик

Исследователь-теоретик работает непосредственно над предметом исследования, вырабатывает и проверяет гипотезы, производит расчёты и постановку задач на проведение экспериментов, анализирует и обобщает получаемые результаты, осуществляет поиск информации и дальнейшую работу с данными.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Математика (01.04.00)

- Механика и математическое моделирование
- Прикладная математика

Прикладная математика и физика (03.04.00)

- Физика

Математика и компьютерные науки (02.04.00)

- Фундаментальная информатика и информационные технологии

Информатика и вычислительная техника (09.04.00)

- Информационные системы и технологии

Радиотехника (11.04.00)

- Конструирование и технология электронных средств

Фундаментальная и прикладная физика (03.05.02)

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.00.00)

- Прикладная математика и информатика
- Математика
- Механика и математическое моделирование
- Прикладная математика
- Статистика

Физика и астрономия (03.00.00)

- Прикладная математика и физика
- Физика
- Радиофизика

Химия (04.00.00)

- Химия, физика и механика материалов

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

- Математика и компьютерные науки
- Фундаментальная информатика и информационные технологии
- Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

Инженерные/технические науки

- Информационная безопасность
- Техническая физика
- Технологии материалов
- Электроника и нанoeлектроника
- Конструирование и технология электронных средств
- Фотоника и оптоинформатика
- Ядерная физика и технологии
- Нанотехнологии и микросистемная техника
- Наноинженерия
- Наносистемы и наноматериалы
- Стандартизация и метрология

Экспериментатор

В функциональные обязанности экспериментатора входит участие в исследовании, поддержка работы исследователей-теоретиков, постановка экспериментов, подготовка материально-технической базы.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Радиотехника (11.04.00)

- Электроника и нанoeлектроника

Приборостроение (12.04.01)

- Фотоника и оптоинформатика
- Лазерная техника и лазерные технологии

Техническая физика (16.04.01)

Материаловедение и технологии материалов (22.04.01)

Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения (12.05.01)

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.00.00)

- Прикладная математика и информатика
- Математика
- Механика и математическое моделирование
- Прикладная математика
- Статистика

Физика и астрономия (03.00.00)

- Прикладная математика и физика
- Физика
- Радиофизика

Химия (04.00.00)

- Химия, физика и механика материалов

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

- Математика и компьютерные науки
- Фундаментальная информатика и информационные технологии
- Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

Инженерные/технические науки

- Радиотехника
- Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- Конструирование и технология электронных средств
- Электроника и нанoeлектроника
- Приборостроение
- Опотехника
- Фотоника и оптоинформатика
- Лазерная техника и лазерные технологии
- Ядерная физика и технологии
- Технологические машины и оборудование

- Автоматизация технологических процессов и производств
- Техническая физика
- Химическая технология
- Материаловедение и технологии материалов
- Управление в технических системах
- Нанотехнологии и микросистемная техника
- Наноинженерия
- Наноматериалы
- Наносистемы и наноматериалы

Разработчик/Архитектор решений

Сотрудник на позиции архитектора решений разрабатывает облик продукта, занимается проектированием, участвует в формировании технического задания, производит расчёт параметров, разрабатывает документацию, формирует задания на изготовление опытных образцов и участвует в опытной эксплуатации.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Прикладные математика и физика (03.04.00)

- Физика

Математика и компьютерные науки (02.04.00)

- Фундаментальная информатика и информационные технологии

Информатика и вычислительная техника (09.04.00)

- Информационные системы и технологии

Радиотехника (11.04.00)

- Электроника и нанoeлектроника
- Конструирование и технология электронных средств
- Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Информационная и вычислительная техника (09.04.00)

- Информационные системы и технологии
- Программная инженерия

Химия (04.04.01)

- Химия, физика и механика материалов

Фундаментальная и прикладная физика (03.05.02)

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.00.00)

- Прикладная математика и информатика
- Математика
- Механика и математическое моделирование
- Прикладная математика
- Статистика

Физика и астрономия (03.00.00)

- Прикладные математика и физика
- Физика
- Радиофизика

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

- Математика и компьютерные науки
- Фундаментальная информатика и информационные технологии
- Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

Инженерные/технические науки

- Радиотехника
- Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- Конструирование и технология электронных средств
- Электроника и нанoeлектроника
- Приборостроение
- Опотехника
- Фотоника и оптоинформатика
- Лазерная техника и лазерные технологии
- Ядерная физика и технологии
- Автоматизация технологических процессов и производств
- Техническая физика
- Материаловедение и технологии материалов
- Управление в технических системах
- Стандартизация и метрология

- Нанотехнологии и микросистемная техника
- Наноинженерия
- Наносистемы и наноматериалы

Инженер/технолог/экспериментатор

Основной функционал: комплектование и сборка опытных образцов, проведение экспериментов и опытной эксплуатации, поддержка работы разработчиков/архитекторов, увязка разрабатываемых образцов со сторонними решениями.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Математика (01.04.00)

Прикладная математика и физика (03.04.00)

Радиотехника (11.04.00)

- Электроника и нанoeлектроника

Приборостроение (12.04.01)

- Фотоника и оптоинформатика
- Лазерная техника и лазерные технологии

Техническая физика (16.04.01)

Материаловедение и технологии материалов (22.04.01)

Информационная безопасность телекоммуникационных систем (10.05.02)

Информационная безопасность автоматизированных систем (10.05.03)

Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения (12.05.01)

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.00.00)

- Прикладная математика и информатика
- Математика
- Механика и математическое моделирование
- Прикладная математика
- Статистика

Физика и астрономия (03.00.00)

- Прикладные математика и физика
- Физика
- Радиофизика

Химия (04.00.00)

- Химия
- Химия, физика и механика материалов

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

- Математика и компьютерные науки
- Фундаментальная информатика и информационные технологии
- Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

Инженерные/технические науки

- Информационная безопасность
- Техническая физика
- Материаловедение и технологии материалов
- Электроника и нанoeлектроника
- Программная инженерия
- Радиотехника
- Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- Конструирование и технология электронных средств
- Приборостроение
- Опотехника
- Фотоника и оптоинформатика
- Лазерная техника и лазерные технологии
- Ядерные физика и технологии
- Прикладная механика
- Автоматизация технологических процессов и производств
- Техническая физика
- Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
- Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
- Химическая технология

- Материаловедение и технологии материалов
- Управление в технических системах
- Стандартизация и метрология
- Системный анализ и управление
- Инноватика
- Организация и управление наукоемкими производствами
- Наукоемкие технологии и экономика инноваций
- Нанотехнологии и микросистемная техника
- Наноинженерия
- Наносистемы и наноматериалы

Специалист по развитию бизнеса/маркетингу

Сотрудник на позиции организует внешние коммуникации, выстраивает партнёрские отношения и продвижение продуктов и технологий, продажи, ведёт клиентскую базу.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также:

[Информационная безопасность \(10.04.01\)](#)

[Компьютерная безопасность \(10.05.01\)](#)

- Информационная безопасность телекоммуникационных систем

[Радиоэлектронные системы и комплексы \(11.05.01\)](#)

ОП аспирантуры

[Математика и механика \(01.00.00\)](#)

- Прикладная математика и информатика
- Математика
- Механика и математическое моделирование
- Прикладная математика
- Статистика

[Физика и астрономия \(03.00.00\)](#)

- Прикладная математика и физика
- Физика

- Радиофизика

Химия (04.00.00)

- Химия
- Химия, физика и механика материалов

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

- Математика и компьютерные науки
- Фундаментальная информатика и информационные технологии
- Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

Экономика (38.06.00)

- Экономика

Инженерные/технические науки

- Все инженерные специальности

Специалист по информационной безопасности

Специалист по информационной безопасности участвует в разработке решений и сертификации.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также:

Информационная безопасность (10.04.01)

Компьютерная безопасность (10.05.01)

Радиоэлектронные системы и комплексы (11.05.01)

Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи (11.05.04)

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.00.00)

- Прикладная математика и информатика
- Математика
- Механика и математическое моделирование
- Прикладная математика
- Статистика

Физика и астрономия (03.00.00)

- Прикладные математика и физика
- Физика
- Радиофизика

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

- Математика и компьютерные науки
- Фундаментальная информатика и информационные технологии
- Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

Инженерные/технические науки

- Информационная безопасность
- Информатика и вычислительная техника
- Информационные системы и технологии
- Программная инженерия
- Техническая физика
- Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- Радиотехника

Консультант (эксперт)

Для развития и поддержки сетей квантовых коммуникаций рассматривается возможность создания операторами связи и крупными потребителями, имеющими свои территориально распределённые центры обработки данных, экстерриториальных центров компетенций, включающих высококвалифицированных специалистов в области квантовых коммуникаций (консультантов) и инженеров.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также:

Математика (01.04.00)

- Прикладная математика и информатика

Радиотехника (11.04.00)

Информационная безопасность (10.04.01)

Компьютерная безопасность (10.05.01)

Радиоэлектронные системы и комплексы (11.05.01)

Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи (11.05.04)

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.00.00)

Физика и астрономия (03.00.00)

Химия (04.00.00)

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

Инженерные/технические науки

Системный администратор

Отвечает за работу центров обработки данных или внутренних сетей операторов связи, или крупных потребителей. Требуется наличие профильного высшего образования и переподготовки в области квантовых коммуникаций.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также:

Информатика и вычислительная техника (09.04.00)

Радиотехника (11.04.00)

Информационная безопасность (10.04.01)

Компьютерная безопасность (10.05.01)

Радиоэлектронные системы и комплексы (11.05.01)

Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи (11.05.04)

ОП аспирантуры

Математика и механика (01.00.00)

Физика и астрономия (03.00.00)

Химия (04.00.00)

Компьютерные и информационные науки (02.00.00)

Инженерные/технические науки

Специалист по продажам

Сотрудники операторов связи, которые (как планируется) будут задействованы в продаже услуг квантовых коммуникаций по сервисной модели.

Требуется базовое техническое образование, опыт продаж и базовая переподготовка в области квантовых коммуникаций.

Технический персонал

Принимает участие в построении и эксплуатации сетей. Планируется переподготовка таких специалистов без отрыва от исполнения основной трудовой функции через корпоративные программы обучения или с привлечением производителей оборудования.

Релевантны любые направления подготовки из числа вышеперечисленных.

5.3 Перечень направлений подготовки

Специалисты, прошедшие подготовку по перечисленным ниже направлениям, могут быть задействованы на различных ролях (в соответствии с п. 5.1) в организациях, работающих в области квантовых коммуникаций, при условии прохождения дополнительной подготовки по месту работы. Описание потребностей организаций и соотнесение ролей с действующими профессиональными стандартами приведены в разделе 8.1. При этом объём потребностей распределяется неравномерно. Распределение потребностей по типам организаций приведено в разделе 4.4.

5.3.1 Научные организации

5.3.1.1 Базовые направления подготовки высшего образования – бакалавриата

Математические и естественные науки

01.00.00 Математика и механика

01.03.01 Математика

01.03.02 Прикладная математика и информатика

01.03.03 Механика и математическое моделирование

01.03.04 Прикладная математика

01.03.05 Статистика

02.00.00 Компьютерные и информационные науки

02.03.01 Математика и компьютерные науки

02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

03.00.00 Физика и астрономия

03.03.01 Прикладная математика и физика

03.03.02 Физика

03.03.03 Радиофизика

04.00.00 Химия

04.03.02 Химия, физика и механика материалов

Инженерное дело, технологии и технические науки

09.00.00 Информатика и вычислительная техника

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

09.03.02 Информационные системы и технологии

09.03.03 Прикладная информатика

09.03.04 Программная инженерия

10.00.00 Информационная безопасность

10.03.01 Информационная безопасность

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

11.03.01 Радиотехника

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

12.03.01 Приборостроение

12.03.02 Оплотехника

12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Иные релевантные инженерные/технические специальности:

14.03.02 Ядерная физика и технологии

15.03.02 Технологические машины и оборудование

- 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
- 16.03.01 Техническая физика
- 18.03.01 Химическая технология
- 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
- 27.03.01 Стандартизация и метрология
- 27.03.02 Управление качеством
- 27.03.04 Управление в технических системах
- 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
- 28.03.02 Наноинженерия
- 28.03.03 Наноматериалы

5.3.1.2 Базовые направления подготовки высшего образования – магистратуры

Математические и естественные науки

01.00.00 Математика и механика

- 01.04.01 Математика
- 01.04.02 Прикладная математика и информатика
- 01.04.03 Механика и математическое моделирование
- 01.04.04 Прикладная математика
- 01.04.05 Статистика

02.00.00 Компьютерные и информационные науки

- 02.04.01 Математика и компьютерные науки
- 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии
- 02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

03.00.00 Физика и астрономия

- 03.04.01 Прикладная математика и физика
- 03.04.02 Физика
- 03.04.03 Радиофизика

04.00.00 Химия

- 04.04.02 Химия, физика и механика материалов

Инженерное дело, технологии и технические науки

09.00.00 Информатика и вычислительная техника

09.04.01 Информатика и вычислительная техника

09.04.02 Информационные системы и технологии

09.04.03 Прикладная информатика

09.04.04 Программная инженерия

10.00.00 Информационная безопасность

10.04.01 Информационная безопасность

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

11.04.01 Радиотехника

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

11.04.04 Электроника и микроэлектроника

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

12.04.01 Приборостроение

12.04.02 Опотехника

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Иные релевантные инженерные/технические специальности:

14.04.02 Ядерная физика и технологии

15.04.02 Технологические машины и оборудование

15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

16.04.01 Техническая физика

18.04.01 Химическая технология

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

27.00.00 Управление в технических системах

27.04.01 Стандартизация и метрология

27.04.02 Управление качеством

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

28.04.02 Наноинженерия

28.04.03 Наноматериалы

28.04.04 Наносистемы и наноматериалы

24.04.02 Системы управления движением и навигация (в будущем, для разработки «квантовых спутников», могут быть привлечены кандидаты по этой специальности)

5.3.1.3 Базовые специальности высшего образования – специалитета

Математические и естественные науки

01.00.00 Математика и механика

01.05.01 Фундаментальная математика и механика

04.00.00 Химия

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Инженерное дело, технологии и технические науки

09.00.00 Информатика и вычислительная техника

09.05.01 Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения

10.00.00 Информационная безопасность

10.05.01 Компьютерная безопасность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем

10.05.04 Информационно-аналитические системы безопасности

10.05.05 Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере

10.05.06 Криптография

10.05.07 Противодействие техническим разведкам

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

11.05.02 Специальные радиотехнические системы

11.05.03 Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга

11.05.04 Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения

Иные релевантные инженерные/технические специальности:

- 14.05.04 Электроника и автоматика физических установок
- 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов
- 18.05.01 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий
- Химическая технология материалов современной энергетики
- 27.05.01 Специальные организационно-технические системы

5.3.1.4 Базовые направления подготовки высшего образования – подготовки кадров высшей квалификации по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Математические и естественные науки

01.00.00 Математика и механика

01.06.01 Математика и механика

02.00.00 Компьютерные и информационные науки

02.06.01 Компьютерные и информационные науки

03.00.00 Физика и астрономия

03.06.01 Физика и астрономия

04.00.00 Химия

04.06.01 Химические науки

Инженерное дело, технологии и технические науки

09.00.00 Информатика и вычислительная техника

09.06.01 Информатика и вычислительная техника

10.00.00 Информационная безопасность

10.06.01 Информационная безопасность

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

16.06.01 Физико-технические науки и технологии

18.06.01 Химическая технология

22.06.01 Технологии материалов

27.06.01 Управление в технических системах

28.06.01 Нанотехнологии и наноматериалы

5.3.2 Разработчики и производители

5.3.2.1 Направления подготовки высшего образования – бакалавриата

Математические и естественные науки

- 01.03.01 Математика
- 01.03.02 Прикладная математика и информатика
- 01.03.03 Механика и математическое моделирование
- 01.03.04 Прикладная математика
- 01.03.05 Статистика
- 02.03.01 Математика и компьютерные науки
- 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии
- 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем
- 03.03.01 Прикладная математика и физика
- 03.03.02 Физика
- 03.03.03 Радиофизика
- 04.03.01 Химия
- 04.03.02 Химия, физика и механика материалов

Инженерные специальности

- 16.03.01 Техническая физика
- 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
- 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
- 09.03.02 Информационные системы и технологии
- 09.03.03 Прикладная информатика
- 09.03.04 Программная инженерия
- 10.03.01 Информационная безопасность
- 11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи
- 11.03.01 Радиотехника
- 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств
- 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

- 12.03.01 Приборостроение
- 12.03.02 Оптотехника
- 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика
- 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Менее релевантные специальности, необходимо дополнительное обучение

- 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
- 13.03.03 Энергетическое машиностроение
- 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика
- 14.03.02 Ядерные физика и технологии
- 15.03.01 Машиностроение
- 15.03.02 Технологические машины и оборудование
- 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
- 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
- 15.03.06 Мехатроника и робототехника
- 16.03.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
- 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
- 18.03.01 Химическая технология
- 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
- 27.00.00 Управление в технических системах
- 27.03.01 Стандартизация и метрология
- 27.03.02 Управление качеством
- 27.03.03 Системный анализ и управление
- 27.03.04 Управление в технических системах
- 27.03.05 Инноватика
- 28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы
- 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
- 28.03.02 Наноинженерия
- 28.03.03 Наноматериалы

5.3.2.2 Направления подготовки высшего образования – магистратуры

Математические и естественные науки

- 01.04.01 Математика
- 01.04.02 Прикладная математика и информатика
- 01.04.03 Механика и математическое моделирование
- 01.04.04 Прикладная математика
- 01.04.05 Статистика
- 02.04.01 Математика и компьютерные науки
- 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии
- 02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем
- 03.04.01 Прикладная математика и физика
- 03.04.02 Физика
- 03.04.03 Радиофизика
- 04.04.01 Химия
- 04.04.02 Химия, физика и механика материалов

Инженерные специальности

- 16.04.01 Техническая физика
- 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
- 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
- 09.04.02 Информационные системы и технологии
- 09.04.03 Прикладная информатика
- 09.04.04 Программная инженерия
- 10.04.01 Информационная безопасность
- 11.04.01 Радиотехника
- 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

Менее релевантные специальности, необходимо дополнительное обучение

- 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
- 12.04.01 Приборостроение
- 12.04.02 Опотехника
- 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

- 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии
- 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
- 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
- 13.04.03 Энергетическое машиностроение
- 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика
- 14.04.02 Ядерные физика и технологии
- 15.04.01 Машиностроение
- 15.04.02 Технологические машины и оборудование
- 15.04.03 Прикладная механика
- 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
- 16.04.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
- 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
- 18.04.01 Химическая технология
- 27.00.00 Управление в технических системах
- 27.04.01 Стандартизация и метрология
- 27.04.02 Управление качеством
- 27.04.03 Системный анализ и управление
- 27.04.04 Управление в технических системах
- 27.04.05 Инноватика
- 27.04.06 Организация и управление наукоемкими производствами
- 27.04.07 Наукоемкие технологии и экономика инноваций
- 27.04.08 Управление интеллектуальной собственностью
- 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
- 28.04.02 Наноинженерия
- 28.04.03 Наноматериалы
- 28.04.04 Наносистемы и наноматериалы

5.3.2.3 Специальности высшего образования – специалитета

Математические и естественные науки

- 01.05.01 Фундаментальная математика и механика
- 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Инженерные специальности

09.05.01 Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения

10.05.01 Компьютерная безопасность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем

10.05.04 Информационно-аналитические системы безопасности

10.05.05 Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере

10.05.06 Криптография

10.05.07 Противодействие техническим разведкам

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

11.05.02 Специальные радиотехнические системы

11.05.03 Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга

11.05.04 Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи

12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения

Менее релевантные инженерные специальности, необходимо дополнительное обучение

13.05.01 Тепло- и электрообеспечение специальных технических систем и объектов

13.05.02 Специальные электромеханические системы

14.05.04 Электроника и автоматика физических установок

15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов

18.05.01 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий

18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

27.05.01 Специальные организационно-технические системы

5.3.2.4 Направления подготовки высшего образования – подготовки кадров высшей квалификации по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Математические и естественные науки

01.06.01 Математика и механика

01.06.02 Статистика

02.06.01 Компьютерные и информационные науки

03.06.01 Физика и астрономия

04.06.01 Химические науки

Инженерные специальности

09.06.01 Информатика и вычислительная техника

10.06.01 Информационная безопасность

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

Менее релевантные технические специальности

13.06.01 Электро- и теплотехника

14.06.01 Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии

15.06.01 Машиностроение

16.06.01 Физико-технические науки и технологии

18.06.01 Химическая технология

22.06.01 Технологии материалов

27.06.01 Управление в технических системах

28.06.01 Нанотехнологии и наноматериалы

5.3.3 Операторы связи (и иные организации, занимающиеся внедрением)

5.3.3.1 Направления подготовки высшего образования – бакалавриата

Математические и естественные науки

01.03.01 Математика

01.03.02 Прикладная математика и информатика

01.03.03 Механика и математическое моделирование

01.03.04 Прикладная математика

01.03.05 Статистика

02.03.01 Математика и компьютерные науки

02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

03.03.01 Прикладная математика и физика

03.03.02 Физика

03.03.03 Радиофизика

Инженерные, технические специальности

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

09.03.02 Информационные системы и технологии

09.03.03 Прикладная информатика

09.03.04 Программная инженерия

10.03.01 Информационная безопасность

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

11.03.01 Радиотехника

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

12.03.01 Приборостроение

12.03.02 Опотехника

12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

16.03.01 Техническая физика

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Менее релевантные, необходимо дополнительное обучение в области квантовых коммуникаций

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

13.03.03 Энергетическое машиностроение

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

14.03.02 Ядерная физика и технологии

15.03.01 Машиностроение

15.03.02 Технологические машины и оборудование

15.03.03 Прикладная механика

15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

- 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
- 15.03.06 Мехатроника и робототехника
- 16.03.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
- 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
- 18.03.01 Химическая технология
- 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
- 20.03.01 Техносферная безопасность
- 27.03.01 Стандартизация и метрология
- 27.03.02 Управление качеством
- 27.03.03 Системный анализ и управление
- 27.03.04 Управление в технических системах
- 27.03.05 Инноватика
- 28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы
- 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
- 28.03.02 Наноинженерия
- 28.03.03 Наноматериалы

Специальности ниже будут актуальны при внедрении разработки в области квантовых спутников:

- 24.03.02 Системы управления движением и навигация
- 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей

Специальности в области развития бизнеса/маркетинга

- 38.03.01 Экономика
- 38.03.02 Менеджмент
- 38.03.03 Управление персоналом
- 38.03.04 Государственное и муниципальное управление
- 38.03.05 Бизнес-информатика
- 39.03.01 Социология
- 40.03.01 Юриспруденция
- 41.03.05 Международные отношения
- 41.03.06 Публичная политика и социальные науки
- 42.03.01 Реклама и связи с общественностью

42.03.02 Журналистика

42.03.05 Медиакоммуникации

5.3.3.2 Направления подготовки высшего образования – магистратуры

Математические и естественные науки

01.04.01 Математика

01.04.02 Прикладная математика и информатика

01.04.03 Механика и математическое моделирование

01.04.04 Прикладная математика

01.04.05 Статистика

02.04.01 Математика и компьютерные науки

02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

03.04.01 Прикладная математика и физика

03.04.02 Физика

03.04.03 Радиофизика

Инженерные специальности

09.04.01 Информатика и вычислительная техника

09.04.02 Информационные системы и технологии

09.04.03 Прикладная информатика

09.04.04 Программная инженерия

10.04.01 Информационная безопасность

11.04.01 Радиотехника

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

12.04.01 Приборостроение

12.04.02 Опотехника

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

16.04.01 Техническая физика

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Менее релевантные, необходимо дополнительное обучение в области квантовых коммуникаций

- 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
- 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
- 13.04.03 Энергетическое машиностроение
- 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика
- 14.04.02 Ядерная физика и технологии
- 15.04.01 Машиностроение
- 15.04.02 Технологические машины и оборудование
- 15.04.03 Прикладная механика
- 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
- 16.04.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
- 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
- 18.04.01 Химическая технология
- 20.04.01 Техносферная безопасность
- 27.00.00 Управление в технических системах
- 27.04.01 Стандартизация и метрология
- 27.04.02 Управление качеством
- 27.04.03 Системный анализ и управление
- 27.04.04 Управление в технических системах
- 27.04.05 Инноватика
- 27.04.06 Организация и управление наукоемкими производствами
- 27.04.07 Наукоемкие технологии и экономика инноваций
- 27.04.08 Управление интеллектуальной собственностью
- 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
- 28.04.02 Наноинженерия
- 28.04.03 Наноматериалы
- 28.04.04 Наносистемы и наноматериалы

Специальности ниже будут актуальны при внедрении разработки в области квантовых спутников:

- 24.04.02 Системы управления движением и навигация
- 25.04.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей

Специальности в области развития бизнеса/маркетинга

- 38.04.01 Экономика
- 38.04.02 Менеджмент
- 38.04.03 Управление персоналом
- 38.04.04 Государственное и муниципальное управление
- 38.04.05 Бизнес-информатика
- 38.04.08 Финансы и кредит
- 39.04.01 Социология
- 40.04.01 Юриспруденция
- 41.04.04 Политология
- 41.04.05 Международные отношения
- 42.04.01 Реклама и связи с общественностью
- 42.04.02 Журналистика
- 42.04.05 Медиакоммуникации.

5.3.3.3 Специальности высшего образования – специалитета

Математические и естественные науки

- 01.05.01 Фундаментальные математика и механика

Инженерные специальности

- 09.05.01 Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения
- 10.05.01 Компьютерная безопасность
- 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем
- 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем
- 10.05.04 Информационно-аналитические системы безопасности
- 10.05.05 Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере
- 10.05.06 Криптография
- 10.05.07 Противодействие техническим разведкам
- 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
- 11.05.02 Специальные радиотехнические системы

Менее релевантные, необходимо дополнительное обучение в области квантовых коммуникаций

- 11.05.03 Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга

- 11.05.04 Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи
- 12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения
- 13.05.01 Тепло- и электрообеспечение специальных технических систем и объектов
- 13.05.02 Специальные электромеханические системы
- 14.05.04 Электроника и автоматика физических установок
- 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов
- 18.05.01 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий
- 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
- 27.05.01 Специальные организационно-технические системы
- 24.05.06 Системы управления летательными аппаратами

5.3.3.4 Направления подготовки высшего образования – подготовки кадров высшей квалификации по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Математические и естественные науки

- 01.06.01 Математика и механика
- 01.06.02 Статистика

Инженерные специальности

- 02.06.01 Компьютерные и информационные науки
- 03.06.01 Физика и астрономия
- 09.06.01 Информатика и вычислительная техника
- 10.06.01 Информационная безопасность
- 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Менее релевантные, необходимо дополнительное обучение в области квантовых коммуникаций

- 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии
- 13.06.01 Электро- и теплотехника
- 14.06.01 Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии
- 15.06.01 Машиностроение

16.06.01 Физико-технические науки и технологии

18.06.01 Химическая технология

20.06.01 Техносферная безопасность

22.06.01 Технологии материалов

27.06.01 Управление в технических системах

28.06.01 Нанотехнологии и наноматериалы

Специальности в области развития бизнеса/маркетинга

38.06.01 Экономика

40.06.01 Юриспруденция

Специальности ниже будут актуальны при внедрении разработки в области квантовых спутников

25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники

56.06.01 Военные науки

5.3.4 Крупные потребители (и иные эксплуатанты)

Как правило, на уровне эксплуатации, когда уже всё создано, разработано и налажено, требуются в основном технический персонал, системные администраторы, консультанты, инженеры, специалисты по продажам и развитию бизнеса, по маркетингу и финансам. Окончание аспирантуры не является обязательным, равно как и наличие учёной степени. Физики, химики, материаловеды на данной стадии, как правило, не нужны.

5.3.4.1 Направления подготовки высшего образования – бакалавриата

Математические и естественные науки

01.03.01 Математика

01.03.02 Прикладная математика и информатика

01.03.03 Механика и математическое моделирование

01.03.04 Прикладная математика

01.03.05 Статистика

02.03.01 Математика и компьютерные науки

02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

03.00.00 Физика и астрономия

03.03.01 Прикладная математика и физика

03.03.02 Физика

03.03.03 Радиофизика

Инженерные, технические специальности

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

09.03.02 Информационные системы и технологии

09.03.03 Прикладная информатика

09.03.04 Программная инженерия

10.03.01 Информационная безопасность

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

11.03.01 Радиотехника

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

12.03.01 Приборостроение

12.03.02 Опотехника

12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

13.03.03 Энергетическое машиностроение

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

14.03.02 Ядерная физика и технологии

15.03.01 Машиностроение

15.03.02 Технологические машины и оборудование

15.03.03 Прикладная механика

15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

15.03.06 Мехатроника и робототехника

- 16.03.01 Техническая физика
- 16.03.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
- 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
- 18.03.01 Химическая технология
- 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
- 20.03.01 Техносферная безопасность
- 27.03.01 Стандартизация и метрология
- 27.03.02 Управление качеством
- 27.03.03 Системный анализ и управление
- 27.03.04 Управление в технических системах
- 27.03.05 Инноватика
- 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
- 28.03.02 Наноинженерия
- 28.03.03 Наноматериалы

Область развития бизнеса и продаж:

- 38.03.01 Экономика
- 38.03.02 Менеджмент
- 38.03.03 Управление персоналом
- 38.03.04 Государственное и муниципальное управление
- 38.03.05 Бизнес-информатика
- 39.03.01 Социология
- 40.03.01 Юриспруденция
- 41.03.05 Международные отношения
- 41.03.06 Публичная политика и социальные науки
- 42.03.01 Реклама и связи с общественностью
- 42.03.02 Журналистика
- 42.03.05 Медиакоммуникации

5.3.4.2 Направления подготовки высшего образования – магистратуры

Математические и естественные науки

- 01.04.01 Математика
- 01.04.02 Прикладная математика и информатика

- 01.04.03 Механика и математическое моделирование
- 01.04.04 Прикладная математика
- 01.04.05 Статистика
- 02.04.01 Математика и компьютерные науки
- 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии
- 02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем
- 03.04.01 Прикладная математика и физика
- 03.04.02 Физика
- 03.04.03 Радиофизика

Инженерные, технические специальности

- 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
- 09.04.02 Информационные системы и технологии
- 09.04.03 Прикладная информатика
- 09.04.04 Программная инженерия
- 10.04.01 Информационная безопасность
- 11.04.01 Радиотехника
- 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств
- 11.04.04 Электроника и микроэлектроника
- 12.04.01 Приборостроение
- 12.04.02 Опотехника
- 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
- 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии
- 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
- 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
- 13.04.03 Энергетическое машиностроение
- 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика
- 14.04.02 Ядерная физика и технологии
- 15.04.01 Машиностроение
- 15.04.02 Технологические машины и оборудование
- 15.04.03 Прикладная механика
- 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

- 16.04.01 Техническая физика
- 16.04.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
- 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
- 18.04.01 Химическая технология
- 20.04.01 Техносферная безопасность
- 27.00.00 Управление в технических системах
- 27.04.01 Стандартизация и метрология
- 27.04.02 Управление качеством
- 27.04.03 Системный анализ и управление
- 27.04.04 Управление в технических системах
- 27.04.05 Инноватика
- 27.04.06 Организация и управление наукоемкими производствами
- 27.04.07 Наукоемкие технологии и экономика инноваций
- 27.04.08 Управление интеллектуальной собственностью
- 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
- 28.04.02 Наноинженерия
- 28.04.03 Наноматериалы
- 28.04.04 Наносистемы и наноматериалы

Область развития бизнеса и продаж:

- 38.04.01 Экономика
- 38.04.02 Менеджмент
- 38.04.03 Управление персоналом
- 38.04.04 Государственное и муниципальное управление
- 38.04.05 Бизнес-информатика
- 38.04.08 Финансы и кредит
- 39.04.01 Социология
- 40.04.01 Юриспруденция
- 41.04.04 Политология
- 41.04.05 Международные отношения
- 42.04.01 Реклама и связи с общественностью
- 42.04.02 Журналистика
- 42.04.05 Медиакоммуникации

5.3.4.3 Специальности высшего образования – специалитета

Математические и естественные науки

01.05.01 Фундаментальные математика и механика

Инженерные, технические специальности

09.05.01 Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения

10.05.01 Компьютерная безопасность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем

10.05.04 Информационно-аналитические системы безопасности

10.05.05 Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере

10.05.06 Криптография

10.05.07 Противодействие техническим разведкам

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

11.05.02 Специальные радиотехнические системы

11.05.03 Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга

11.05.04 Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи

12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения

13.05.01 Тепло- и электрообеспечение специальных технических систем и объектов

13.05.02 Специальные электромеханические системы

14.05.04 Электроника и автоматика физических установок

15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов

18.05.01 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий

18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

27.05.01 Специальные организационно-технические системы

5.3.4.4 Специальности среднего профессионального образования

В рамках интервью большинство представителей компаний сообщили что планируют переобучение действующего персонала в небольшом объёме часов (72

или 144 часа), однако некоторые компании высказали предположения о поиске новых специалистов по данному направлению. Например, обучение может происходить в рамках таких колледжей как ГБПОУ «Калужский техникум электронных приборов», ГБПОУ «Колледж связи № 54 имени П. М. Вострухина», с которыми плотно работают представители компании ООО «КуРэйт».

На уровне среднего профессионального образования (СПО) сотрудникам надо понимать телекоммуникационные приложения (одномодовое волокно, многомодовое волокно) и уметь монтировать оборудование в стойку в соответствии с монтажными схемами. Специалисты уровня СПО не занимаются сборкой/разборкой/модернизацией оборудования.

Ниже перечислены примерные, наиболее близко подходящие технические специальности:

08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий

08.02.01 Компьютерные системы и комплексы

09.02.02 Компьютерные сети

09.02.03 Программирование в компьютерных системах

09.02.04 Информационные системы (по отраслям)

09.02.05 Прикладная информатика (по отраслям)

10.02.01 Организация и технология защиты информации

10.02.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

10.02.03 Информационная безопасность автоматизированных систем

11.02.01 Радиоаппаратостроение

11.02.02 Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники (по отраслям)

11.02.03 Эксплуатация оборудования радиосвязи и электрорадионавигации судов

11.02.04 Радиотехнические комплексы и системы управления космических летательных аппаратов

11.02.07 Радиотехнические информационные системы

11.02.08 Средства связи с подвижными объектами

11.02.09 Многоканальные телекоммуникационные системы

11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение

11.02.11 Сети связи и системы коммутации

- 11.02.13 Твердотельная электроника
- 11.02.14 Электронные приборы и устройства
- 12.02.03 Радиоэлектронные приборные устройства
- 12.02.04 Электромеханические приборные устройства
- 12.02.05 Оптические и оптико-электронные приборы и системы
- 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)
- 13.02.08 Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника
- 13.02.10 Электрические машины и аппараты
- 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)
- 15.02.01 Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)
- 15.02.02 Техническая эксплуатация оборудования для производства электронной техники
- 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)
- 15.02.09 Аддитивные технологии
- 20.02.04 Пожарная безопасность
- 27.02.01 Метрология
- 27.02.02 Техническое регулирование и управление качеством.

5.4 Перечень российских образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров для работы в области квантовых коммуникаций

При формировании оценки возможностей российских образовательных организаций по подготовке специалистов в области квантовых коммуникаций в качестве основы использовался перечень российских образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров для работы в области квантовых коммуникаций, полученный по результатам исследования кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций, проведённого в 2021 году.

В рамках исследования был проведён сбор данных и анализ информации от российских образовательных организаций высшего и среднего профессионального

образования в части наличия у этих организаций компетенций и осуществления подготовки в области квантовых коммуникаций.

При формировании перечня учитывался:

- 1) сформированный (имеющиеся у организаций) научно-технический задел в области квантовых коммуникаций, а также научно-производственное, научное, экспериментальное и исследовательское оборудование, необходимое для реализации мероприятий и проектов (организации практики обучающихся) по предметной тематике;
- 2) наличие образовательных программ или программ (курсов) повышения квалификации в области квантовых коммуникаций;
- 3) наличие у образовательных организаций высшего образования кадров (профессорско-преподавательского состава), обладающих профессиональными знаниями и квалификацией в предметной области;
- 4) наличие у образовательных организаций высшего образования в штате специалистов преподавателей, имеющих публикации в изданиях, индексируемых Web of Science, Scopus, в области квантовых коммуникаций;
- 5) реализация взаимодействия образовательных организаций с другими организациями (разработчиками решений, производителями) участниками рынка в высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации».

В таблице 5.4.1 представлен перечень образовательных организаций высшего образования, которые подтвердили, что ведут обучение по специальностям в области «Квантовые коммуникации».

Таблица 5.4.1 – Перечень российских образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров по специальностям в области квантовых коммуникаций (по данным анкетирования 2021 года)

№	Образовательная организация	1	2	3	4	5
1.	Национальный исследовательский университет ИТМО	+	+	+	+	+
2.	Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича	-	+	+	+	+

№	Образовательная организация	1	2	3	4	5
3.	Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова	+	+	+	+	+
4.	Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»	+	+	+	+	+
5.	Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ	+	+	+	+	+
6.	Национальный исследовательский Томский государственный университет	+	+	+	-	+
7.	Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского	-	+	+	+	+
8.	НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»	+	+	+	+	+

По результатам исследования кадровой потребности, проведенного в 2022 году, перечень был актуализирован. В таблице 5.4.2 представлен уточненный перечень, в который вошли 11 образовательных организаций высшего образования, реализующих специализированные программы подготовки кадров в области квантовых коммуникаций.

Таблица 5.4.2 – Перечень российских образовательных организаций, реализующих специализированные программы подготовки кадров в области квантовых коммуникаций

№	Образовательная организация
1.	Национальный исследовательский университет ИТМО
2.	Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
3.	Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

№	Образовательная организация
4.	Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
5.	Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ
6.	Национальный исследовательский Томский государственный университет
7.	Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
8.	НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»
9.	ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В. И. Ленина «ЛЭТИ»
10.	ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»
11.	ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»

В таблице 5.4.3 представлены образовательные организации высшего образования, которые не реализуют образовательные программы в области квантовых коммуникаций, однако осуществляют подготовку по другим, смежным направлениям. Так, например, АНОО ВО «Сколковский институт науки и технологий» проводит подготовку специалистов по следующим образовательным программам (в рамках магистратуры):

- оптические коммуникации;
- дополнительные главы квантовой механики;
- квантовая оптика;
- физика лазеров;
- спектроскопия квантовых материалов;
- квантовая оптика;
- квантовая механика;
- основы фотоники и другие образовательные программы.

Представленный в таблице 5.4.3 перечень организаций не является исчерпывающим.

Таблица 5.4.3 – Перечень российских образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров по специальностям смежным с областью «Квантовые коммуникации»

№	Образовательная организация
1.	АНОО ВО «Сколковский институт науки и технологий»
2.	ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
3.	ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
4.	ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
5.	ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский политехнический университет Петра Великого»
6.	ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина»
7.	ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
8.	ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»
9.	ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Алексеева»
10.	ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
11.	НИУ «Московский институт электронной техники»
12.	ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

№	Образовательная организация
13.	ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет»
14.	ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
15.	ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
16.	ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»
17.	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
18.	ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
19.	ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»
20.	ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

В части образовательных организаций среднего профессионального образования, необходимо отметить, что по состоянию на конец 2021 года выявлены всего две организации, осуществляющие подготовку специалистов (в рамках специальных программ или курсов) в области квантовых коммуникаций. К таким организациям относятся:

- ГБПОУ «Колледж связи № 54 имени П. М. Вострухина»;
- ГБПОУ «Калужский техникум электронных приборов».

Так, например, ГБПОУ «Колледж связи № 54 имени П. М. Вострухина» осуществляет подготовку специалистов по направлению 11.02.15 «Инфокоммуникационные сети и системы связи». Колледж декларирует указанное направление подготовки специалистов как профильное для будущих специалистов в области квантовых коммуникаций. Колледж проводит подготовку участников чемпионата WorldSkills, имеет в штате преподавательский состав, который обладает профессиональными знаниями и квалификацией в предметной области,

осуществляет взаимодействие с другими организациями (разработчиками решений, производителями) участниками рынка в области квантовых коммуникаций.

В ГБПОУ «Калужский техникум электронных приборов» также осуществляется подготовка и повышение квалификации специалистов в области квантовых коммуникаций. Колледж является центром проведения демонстративного экзамена, аккредитованным по стандартам Ворлдскиллс Россия по компетенции «Квантовые технологии». В Колледже реализуются мастер-классы по компетенции «Квантовые технологии».

В таблице 5.4.4 представлены другие образовательные организации среднего профессионального образования, которые реализуют образовательные программы по смежным направлениям области квантовых коммуникаций.

Таблица 5.4.4 – Перечень российских образовательных организаций среднего профессионального образования, реализующих образовательные программы по смежным направлениям области квантовых коммуникаций

№	Образовательная организация
1.	Авиационный техникум имени В.А. Казакова
2.	Академия управления городской средой, градостроительства и печати
3.	Амурский государственный университет
4.	Арзамасский приборостроительный колледж им. П.И. Пландина
5.	Армавирский машиностроительный техникум
6.	Архангельский колледж телекоммуникаций им. Б.Л. Розинга (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича
7.	Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

№	Образовательная организация
8.	Белгородский университет кооперации, экономики и права
9.	Бердский электромеханический колледж
10.	Бийский государственный колледж
11.	Бузулукский строительный колледж
12.	Бурятский институт инфокоммуникаций Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики
13.	Владивостокский судостроительный колледж
14.	Владикавказский колледж электроники
15.	Владимирский авиамеханический колледж
16.	Волго-Вятский филиал Московского технического университета связи и информатики
17.	Волгоградский государственный университет
18.	Вологодский колледж связи и информационных технологий
19.	Воронежский государственный промышленно-гуманитарный колледж
20.	Воронежский государственный технический университет
21.	Георгиевский региональный колледж «Интеграл»
22.	Гжельский государственный университет
23.	Гидрометеорологический техникум

№	Образовательная организация
24.	Горно-Алтайский государственный политехнический колледж
25.	Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова
26.	Дмитровский институт непрерывного образования Государственного университета «Дубна»
27.	Екатеринбургский техникум «Автоматика»
28.	Западный комплекс непрерывного образования
29.	Ивановский радиотехнический техникум-интернат
30.	Ижевский машиностроительный техникум им. С.Н. Борина
31.	Ингушский государственный университет
32.	Институт профессионального образования Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева
33.	Институт среднего профессионального образования Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
34.	Кабардино-Балкарский колледж «Строитель»
35.	Камчатский государственный технический университет
36.	Ковылкинский филиал Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева
37.	Колледж «Коломна»
38.	Колледж «Синергия»
39.	Колледж автоматизации и информационных технологий № 20

№	Образовательная организация
40.	Колледж Алтайского государственного университета
41.	Колледж банковского дела и информационных систем
42.	Колледж Государственного университета «Дубна»
43.	Колледж индустрии гостеприимства и менеджмента № 23
44.	Колледж инновационных технологий и предпринимательства Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
45.	Колледж информатики и программирования Финансового университета при Правительстве Российской Федерации
46.	Колледж информационных технологий и экономики Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х. М. Бербекова
47.	Колледж инфраструктурных технологий Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова
48.	Колледж Кисловодского гуманитарно-технического института
49.	Колледж космического машиностроения и технологий Технологического университета
50.	Колледж приборостроения и информационных технологий МИРЭА — Российского технологического университета
51.	Колледж Псковского государственного университета
52.	Колледж радиоэлектроники имени П.Н. Яблочкова Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского
53.	Колледж связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики
54.	Колледж сервиса и дизайна Владивостокского государственного университета экономики и сервиса

№	Образовательная организация
55.	Колледж телекоммуникаций и информатики Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики
56.	Колледж телекоммуникаций Московского технического университета связи и информатики
57.	Колледж экономики и информатики им А.Н. Афанасьева Ульяновского государственного технического университета
58.	Колледж электроники и приборостроения
59.	Красногорский колледж
60.	Краснодарский колледж электронного приборостроения
61.	Краснокаменский промышленно-технологический техникум
62.	Красноярский колледж радиоэлектроники и информационных технологий
63.	Красноярский монтажный колледж
64.	Кузнецкий колледж электронных технологий
65.	Курганский промышленный техникум
66.	Курганский технологический колледж имени Героя Советского Союза Н.Я. Анфиногенова
67.	Курский техникум связи
68.	Кыштымский филиал Южно-Уральского государственного колледжа
69.	Магнитогорский технологический колледж
70.	Майкопский государственный гуманитарно-технический колледж Адыгейского государственного университета

№	Образовательная организация
71.	Марийский радиомеханический техникум
72.	Международный центр компетенций - Казанский техникум информационных технологий и связи
73.	Миасский машиностроительный колледж
74.	Многопрофильная академия непрерывного образования
75.	Многопрофильный колледж Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова
76.	Многопрофильный колледж Професионал
77.	Многопрофильный колледж Тюменского индустриального университета
78.	Московский городской открытый колледж
79.	Московский государственный образовательный комплекс
80.	Московский индустриальный колледж
81.	Московский колледж архитектуры и градостроительства
82.	Московский колледж управления, гостиничного бизнеса и информационных технологий «Царицыно»
83.	Московский областной колледж информации и технологий
84.	Московский приборостроительный техникум Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова
85.	Московский радиотехнический колледж имени академика А. А. Расплетина
86.	Московский техникум космического приборостроения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

№	Образовательная организация
87.	МПК НовГУ. Политехнический колледж
88.	Муромский институт (филиал) имени В.К. Зворыкина Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
89.	Муромский техникум радиоэлектронного приборостроения
90.	Невинномысский энергетический техникум
91.	Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (Княгининский университет)
92.	Нижегородский радиотехнический колледж
93.	Новороссийский колледж радиоэлектронного приборостроения
94.	Новосибирский авиационный технический колледж имени Б.С. Галуцака
95.	Новосибирский колледж электроники и вычислительной техники
96.	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
97.	Новосибирский радиотехнический колледж
98.	Новочеркасский промышленно-гуманитарный колледж
99.	Ноябрьский институт нефти и газа (филиал) Тюменского индустриального университета
100.	Образовательный комплекс «Юго-Запад»
101.	Омский авиационный колледж имени Н.Е. Жуковского

№	Образовательная организация
102.	Омский государственный колледж управления и профессиональных технологий
103.	Омский юридический колледж
104.	Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
105.	Орский индустриальный колледж
106.	Пашковский сельскохозяйственный колледж
107.	Пензенский колледж информационных и промышленных технологий (ИТ-колледж)
108.	Первый московский образовательный комплекс
109.	Пермский авиационный техникум им. А. Д. Швецова
110.	Пермский радиотехнический колледж им. А.С. Попова
111.	Петровский колледж
112.	Поволжский государственный колледж
113.	Поволжский государственный технологический университет
114.	Подмосковный колледж «Энергия»
115.	Подольский колледж имени А.В. Никулина
116.	Политехнический колледж им. Н.Н. Годовикова
117.	Политехнический колледж имени П.А. Овчинникова

№	Образовательная организация
118.	Политехнический колледж № 8 имени дважды Героя Советского Союза И.Ф. Павлова
119.	Политехнический техникум № 2
120.	Приборостроительный колледж, г. Тамбов
121.	Промышленный колледж энергетики и связи
122.	Пятигорский государственный университет
123.	Раменский колледж
124.	Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации
125.	Российский государственный университет туризма и сервиса
126.	Ростовский-на-Дону государственный колледж связи и информатики
127.	Ростовский-на-Дону колледж радиоэлектроники, информационных и промышленных технологий
128.	Рязанский колледж электроники
129.	Рязанский станкостроительный колледж Рязанского государственного радиотехнического университета
130.	Рязанский технологический колледж
131.	Самарский государственный колледж
132.	Санкт-Петербургский колледж информационных технологий

№	Образовательная организация
133.	Санкт-Петербургский колледж телекоммуникаций им. Э.Т. Кренкеля Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича
134.	Санкт-Петербургский политехнический колледж городского хозяйства
135.	Санкт-Петербургский технический колледж управления и коммерции
136.	Саранский электромеханический колледж
137.	Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
138.	Серпуховский колледж
139.	Сибирский государственный индустриальный университет
140.	Смоленская академия профессионального образования
141.	Смоленский колледж телекоммуникаций (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
142.	Смоленский политехнический техникум
143.	Ставропольский колледж связи имени Героя Советского Союза В.А. Петрова
144.	Сызранский медико-гуманитарный колледж
145.	Таганрогский колледж морского приборостроения
146.	Тверской промышленно-экономический колледж
147.	Тверской химико-технологический колледж

№	Образовательная организация
148.	Технический колледж (Махачкала)
149.	Технический колледж Тамбовского государственного технического университета
150.	Технический пожарно-спасательный колледж имени Героя Российской Федерации В.М. Максимчука
151.	Технологический колледж Императора Петра I Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова
152.	Технологический колледж № 21
153.	Технологический колледж № 24
154.	Технологический колледж № 34
155.	Тольяттинский электротехнический техникум
156.	Томский индустриальный техникум
157.	Трехгорный технологический институт (филиал) Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
158.	Тульский технико-экономический колледж им. А.Г. Рогова
159.	Университетский колледж Оренбургского государственного университета
160.	Университетский колледж информационных технологий Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)
161.	Университетский колледж Ярославского государственного университета имени П. Г. Демидова
162.	Университетский профессиональный колледж Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского

№	Образовательная организация
163.	Уральский политехнический колледж - Межрегиональный центр компетенций
164.	Уральский радиотехнический колледж им. А. С. Попова
165.	Уральский технический институт связи и информатики - филиал Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики
166.	Уфимский авиационный техникум Уфимского государственного авиационного технического университета
167.	Уфимский колледж радиоэлектроники, телекоммуникаций и безопасности
168.	Факультет среднего профессионального образования Академии маркетинга и социально-информационных технологий
169.	Хабаровский институт инфокоммуникаций - филиал Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики
170.	Центр среднего профессионального образования Елецкого государственного университета имени И.А. Бунина
171.	Чебоксарский техникум связи и информатики
172.	Чебоксарский электромеханический колледж
173.	Челябинский радиотехнический техникум
174.	Челябинский юридический колледж
175.	Шатурский энергетический техникум
176.	Щелковский колледж
177.	Энгельсский промышленно-экономический техникум
178.	Южно-Уральский государственный технический колледж

№	Образовательная организация
179.	Ярославский техникум радиоэлектроники и телекоммуникаций

Представленный в таблице 5.4.4 перечень организаций среднего профессионального образования также не является исчерпывающим. В таблице представлены организации, осуществляющие подготовку специалистов по образовательным программам, которые подтверждены (верифицированы) официальными интернет-сайтами организаций.

Специалисты (выпускники) по ряду образовательных программ, которые реализуют представленные выше организации, являются по компетенциям наиболее близкими (релевантными) к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций.

5.5 Численная оценка ежегодного объёма (в 2020-2025 гг.) подготовки кадров для работы в области квантовых коммуникаций российскими образовательными организациями

В рамках исследования кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций, выполненного в 2021 году, проведена численная оценка ежегодного объёма подготовки кадров для работы в области квантовых коммуникаций российскими образовательными организациями и составлен прогноз объёма выпуска таких специалистов в перспективе до 2025 года. Полученные результаты были сопоставлены с кадровыми потребностями участников рынка.

5.5.1 Предпосылки и источники данных

Для исследования динамики ежегодного объёма подготовки специалистов в области квантовых коммуникаций использовались результаты проведённого анкетирования образовательных организаций, в рамках которого респондентам было предложено указать реализуемые образовательные программы в области

квантовых коммуникаций, а также в смежных областях, контрольные и фактические цифры приема, объем выпуска по указанным образовательным программам и план выпуска по этим программам на период до 2025 года.

Организации высшего и среднего специального образования для анкетирования были выбраны в соответствии со спецификой своей образовательной и научной деятельности.

Для анкетирования были выбраны организации СПО, осуществляющие подготовку по смежным специальностям, в том числе по наиболее близким к области квантовых коммуникаций:

- 10.02.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем»;
- 10.02.04 «Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем»;
- 10.02.01 «Организация и технология защиты информации»;
- 11.02.11 «Сети связи и системы коммутации»
- 11.02.15 «Инфокоммуникационные сети и системы связи»;
- 09.02.07 «Информационные системы и программирование»;
- 11.01.05 «Монтажник связи»;
- 11.02.16 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств».

Организации высшего образования были выбраны по принципу осуществления профильной образовательной или научной деятельности (полный список приведен в разделе 5.4) или работы в наиболее близких с квантовыми коммуникациями областях.

Также в качестве источников данных использовались формы статистической отчетности СПО-1 (для среднего специального образования), ВПО-1 (для высшего образования) и НК-1 (для аспирантуры), содержащие совокупные по РФ сведения о деятельности образовательных организаций, такие как:

- объем приема и выпуска студентов за год;
- численность студентов на 1, 3, 5 курсах;
- планируемый объем выпуска студентов на следующий за отчетным периодом год.

5.5.2 Карта ВУЗов и СПО

В ходе исследования было выявлено несколько категорий ВУЗов и организаций СПО (рис. 5.5.1).

Среди них можно выделить ВУЗы, ведущие собственные исследования непосредственно в области квантовых коммуникаций и имеющие посвящённые данной тематике научные лаборатории, и большое количество промышленных партнеров – будущих потенциальных эксплуатантов и разработчиков решений на основе технологий квантовых коммуникаций. В таких учреждениях, как правило, реализуется наибольшее количество тематических образовательных программ, многие из которых достаточно близко подошли к тематике квантовых коммуникаций. В ходе исследования были определены 6 таких ВУЗов, ведущих обучение по тематическим образовательным курсам, наиболее близким к тематике квантовых коммуникаций. В таких образовательных организациях уже формируются, несмотря на отсутствие образовательного стандарта, программы подготовки непосредственно в области квантовых коммуникаций.

ВУЗы другой категории заинтересованы в развитии профильных направлений подготовки в области квантовых коммуникаций, но не ведут в этой области масштабных исследований, поскольку их основные научные интересы сосредоточены в других областях. Зачастую такие ВУЗы осуществляют подготовку по 1-2 направлениям, смежным с рассматриваемой тематикой. Тем не менее, каждый из них также сотрудничает с несколькими компаниями, заинтересованными в развитии технологий квантовых коммуникаций.

Среднее профессиональное образование		Высшее образование		Аспирантура
Программы подготовки с профильными курсами по квантовым	2 колледжа	Материально-техническая база, профильные программы по квантовым коммуникациям, собственные научные центры	11 ВУЗов	ВУЗы
	По направлениям сетей и телекоммуникаций: 27 колледжей По направлениям ИБ: 33 колледжа По направлениям электроники: 35 колледжей По прочим смежным направлениям: 84 колледжа		20 образовательных организаций	Профильные НИИ

Рисунок 5.5.1 – «Карта» ВУЗов и СПО

Часть организаций среднего профессионального образования включила в специальности подготовки, смежные с областью квантовых коммуникаций, дополнительные курсы по квантовым коммуникациям. По состоянию на 2021 год таких учебных заведений два (рис. 5.5.1). Другие образовательные организации СПО выпускают студентов по смежным направлениям, в том числе перечисленным в п. 5.5.1, в которых отдельных модулей, связанных с тематикой квантовых коммуникаций нет.

5.5.3 Численная оценка ежегодного объема выпуска профильных специалистов ВУЗами, включая прогноз до 2025 года

В настоящее время не утверждён федеральный государственный образовательный стандарт для программ в области квантовых коммуникаций. В существующих программах подготовки освоение компетенций по квантовым коммуникациям предполагается в рамках специальных курсов и профильных дисциплин по смежным направлениям.

Специализация в области квантовых коммуникаций может производиться на уровне магистратуры для студентов, проходящих подготовку по направлениям, перечисленным в разделе 5.

Для того, чтобы вывести общую динамику, направления были сгруппированы следующим образом:

- математика и смежные специальности;
- информатика, программная инженерия и смежные специальности;
- электроника и радиотехника;
- физика и химия
- телекоммуникации;
- информационная безопасность.

Индивидуальные особенности выпускников также имеют принципиальное значение для дальнейшей траектории развития: по оценкам опрошенных в ходе исследования экспертов не более 20% выпускников способны эффективно принимать участие в исследовательской деятельности или разработке прикладных решений. Значительная часть таких выпускников продолжает обучение на уровне аспирантуры. Приведённые обстоятельства значительно сужают возможность привлечения специалистов для разработчиков и научных организаций, работающих в области квантовых коммуникаций.

Полученная в ходе исследования картина динамики выпуска специалистов (рис. 5.5.2 и 5.5.3, на основании статистических данных Министерства науки высшего образования РФ) позволяет сделать вывод о том, что в целом количество выпускников по профильным программам как бакалавриата, так и магистратуры, увеличится в 2022 году и будет сохранять положительную динамику до 2025 года.

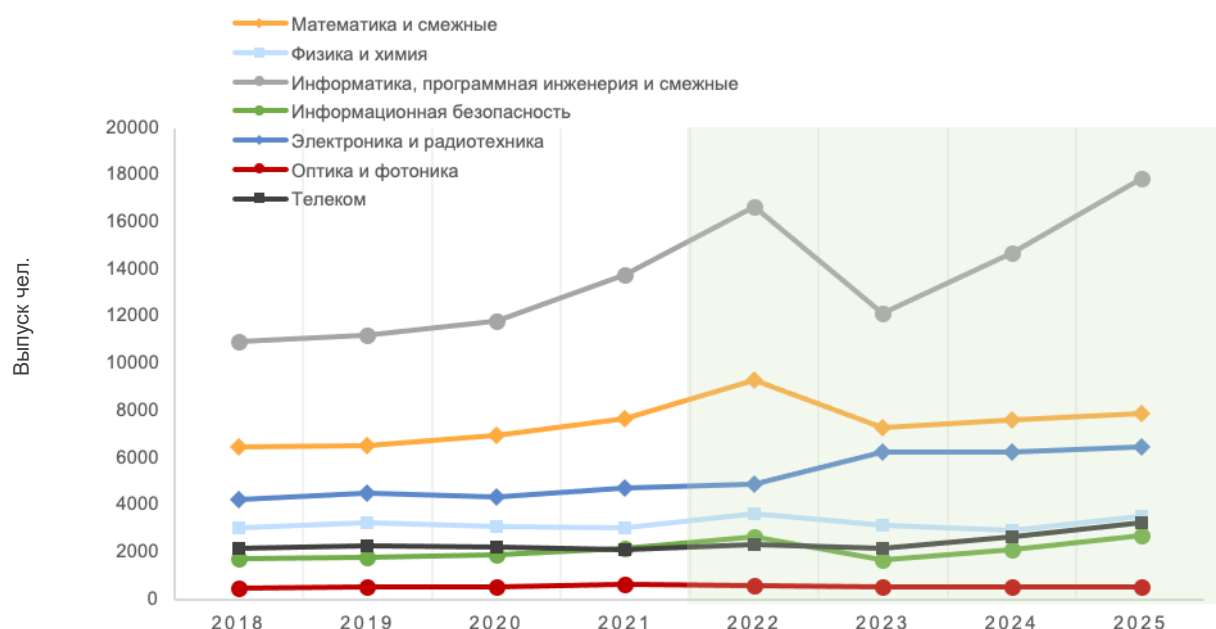


Рисунок 5.5.2 – Численная оценка выпуска по программам бакалавриата и специалитета по смежным специальностям

Наибольшее количество выпускников бакалавриата в прогнозном периоде ожидается по программам в области информатики и программной инженерии (17870 человек в 2025 году), и телекоммуникаций (3184 человека в 2025 году). Средние темпы роста выпуска по этим группам направлений составят 4% в год.

Выпуск магистров по смежным с квантовыми коммуникациями направлениям, согласно прогнозу, будет иметь менее выраженную положительную динамику. Данный прогноз отличается также несколько меньшей точностью, поскольку срок обучения магистров составляет 2 года, и на объем выпуска может повлиять больше факторов.

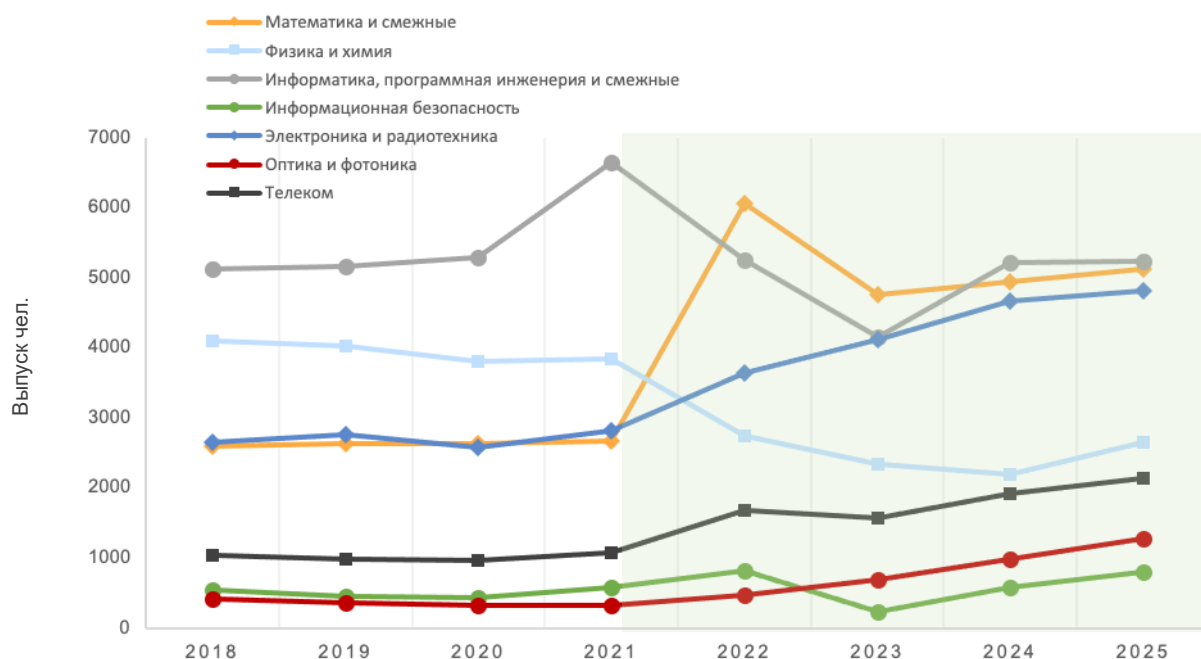


Рисунок 5.5.3 – Численная оценка выпуска по программам магистратуры по смежным специальностям

Необходимо отметить, что направления подготовки в областях квантовых технологий (коммуникации, вычисления, сенсоры) сходны до степени смешения между собой, при этом сегментированы по направлениям (квантовая физика, математика, оптика и др.). Выпускники, получившие такое образование, имеют достаточно широкий выбор дальнейших траекторий трудовой деятельности, научной работы и обучения. Таким образом, прогнозируется задействование в области квантовых коммуникаций не более 30% от общего объема выпускников. Основная потребность в специалистах с таким образованием существует в основном у организаций – разработчиков решений в области квантовых коммуникаций и научных организаций, которые ведут индивидуальную работу с такими студентами еще на стадии обучения (в отдельных случаях даже на 1-2 курсе).

По результатам проведенных в 2021 году анкетирования и интервьюирования составлено представление о минимальном выпуске специалистов, которые будут иметь углубленную подготовку в области квантовых коммуникаций (рис. 5.5.4 и 5.5.5).

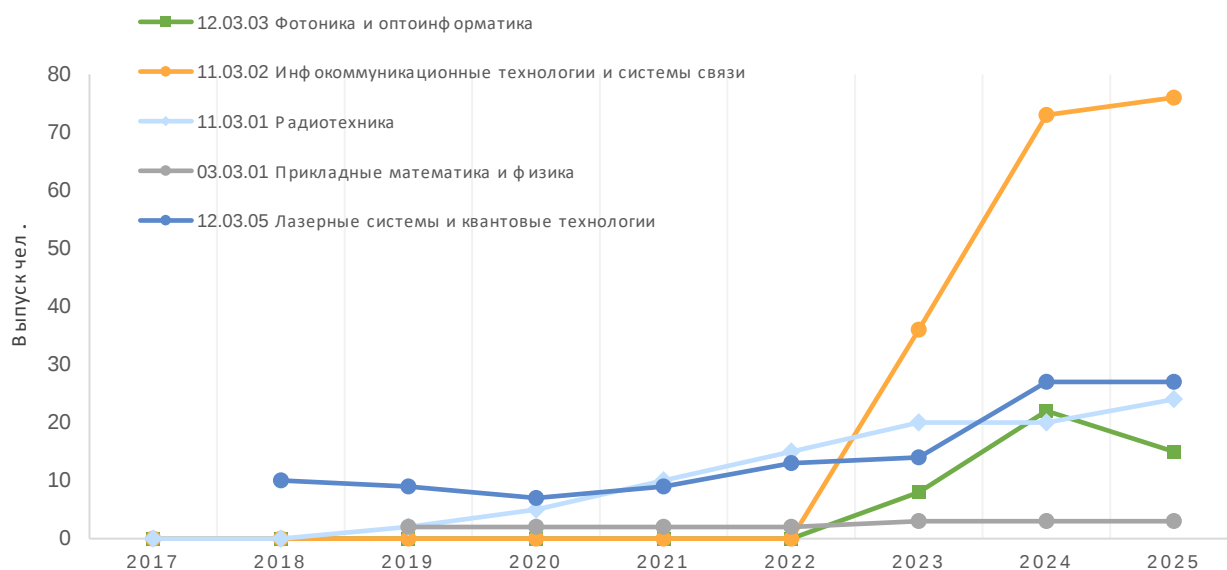


Рисунок 5.5.4 – Численная оценка ежегодного объема выпуска профильных специалистов в области квантовых коммуникаций по программам бакалавриата

По результатам проведенных анкетирования и интервьюирования было выявлено, что в основном существующие профильные программы бакалавриата в области квантовых коммуникаций относятся к пяти направлениям подготовки:

- 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика.
- 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.
- 11.03.01 Радиотехника.
- 03.03.01 Прикладные математика и физика.
- 12.03.05 Лазерные системы и квантовые технологии.

На основании мнений опрошенных экспертов-представителей ВУЗов, а также текущей динамики приема на упомянутые образовательные программы, можно сделать прогноз о том, что наибольший прирост выпуска в 2023-2025 году ожидается по программам в области инфокоммуникационных технологий и систем связи (как минимум, 70-85 человек в год). По программам в области фотоники, оптоинформатики и лазерных систем прогнозный ежегодный выпуск составит 25-40 человек в год, с ежегодным ростом в 20%.

Выпуск бакалавров по профильным программам в области радиотехники по прогнозу составит 15-20 человек ежегодно.

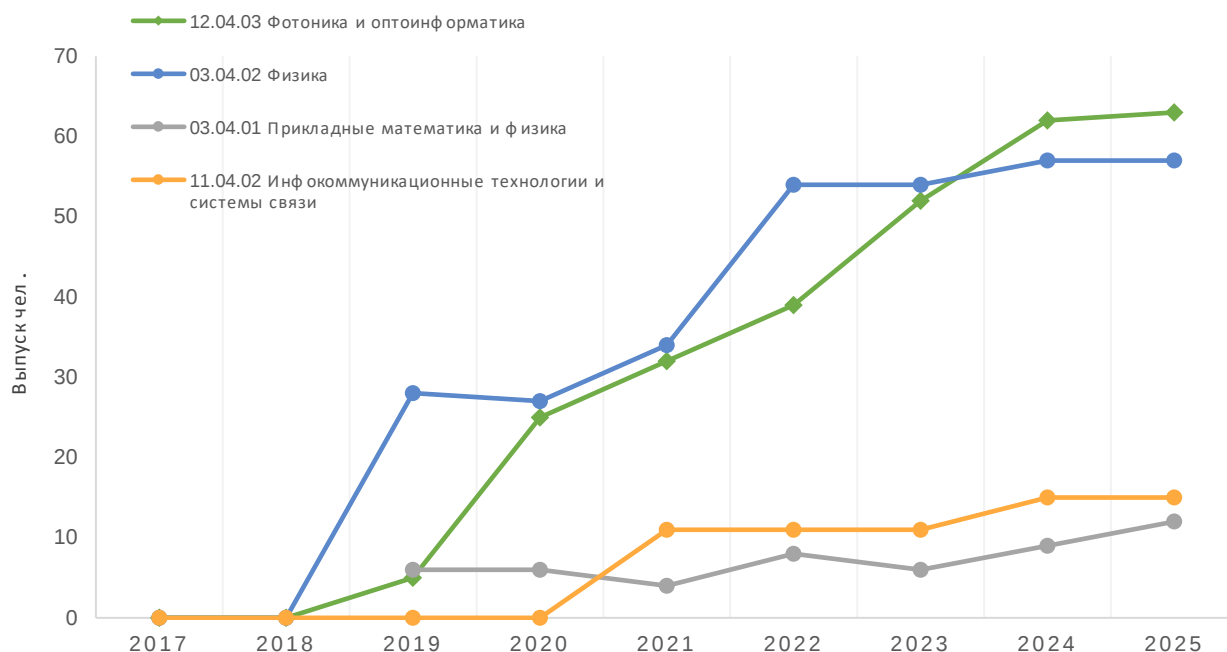


Рисунок 5.5.5 – Численная оценка ежегодного объема выпуска профильных специалистов в области квантовых коммуникаций по программам магистратуры

В ходе исследования было определено, что в основном существующие профильные программы в области квантовых коммуникаций относятся к четырем направлениям подготовки:

- 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика.
- 03.04.02 Физика.
- 03.04.01 Прикладные математика и физика.
- 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Наибольшее количество выпускников-магистров ожидается по направлениям «Физика» и «Фотоника и оптоинформатика»: по каждому из них ожидается выпуск 50-55 человек в год, начиная с 2023 года.

Выпуск магистров профильных программ по специальностям «Прикладные математика и физика» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» составит 5-8 и 10-16 человек в год соответственно.

Также предполагается, что в прогнозном периоде будут созданы и другие программы профильной подготовки в области квантовых коммуникаций. Вероятнее всего, наибольшее количество новых программ появится в магистратуре.

Выпуск профильных специалистов в области квантовых коммуникаций российскими образовательными организациями в 2022 году

При проведении исследования кадровой потребности высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» от образовательных организаций высшего образования получены уточнённые данные по выпуску специалистов в 2022 году (представлены в таблицах 5.5.1, 5.5.2 и 5.5.3).

Таблица 5.5.1 – Выпуск специалистов в области квантовых коммуникаций по программам бакалавриата в 2022 году

Образовательная организация	Направление подготовки	Название образовательной программы	Число выпускников, чел.
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича	12.03.03 Фотоника и оптоинформатика	Фотоника в инфокоммуникациях	8
Национальный исследовательский университет ИТМО	12.03.03 Фотоника и оптоинформатика	Квантовые технологии в коммуникациях	27
Всего:			35

Таблица 5.5.2 – Выпуск специалистов в области квантовых коммуникаций по программам магистратуры в 2022 году

Образовательная организация	Направление подготовки	Название образовательной программы	Число выпускников
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова	03.04.02 Физика	Квантовые и оптические технологии	2

Образовательная организация	Направление подготовки	Название образовательной программы	Число выпускников
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)	03.04.01 Прикладные математика и физика	Прикладные квантовые технологии	17
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»	03.04.02 Физика	Квантовое материаловедение	9
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича	11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи	Оптоэлектронные технологии (фотоника) в инфокоммуникациях	17
Национальный исследовательский университет ИТМО	12.04.03 Фотоника и оптоинформатика	Квантовые коммуникации и фемтотехнологии	15
	16.04.01 Техническая физика	Световодная фотоника и программируемая электроника	23
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В. И. Ленина «ЛЭТИ»	11.04.04 Электроника и микроэлектроника	Нанoeлектроника и фотоника	8
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ	12.04.03 Фотоника и оптоинформатика	Современные квантовые технологии	1
	12.04.03 Фотоника и оптоинформатика	Физика и техника радиофотонных систем	3
Всего:			95

Таблица 5.5.3 – Выпуск специалистов в области квантовых коммуникаций по программам аспирантуры в 2022 году

Образовательная организация	Направление подготовки	Название образовательной программы	Число выпускников
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»	03.06.01 Физика и астрономия	Физика конденсированного состояния и квантовые технологии	4
Всего:			4

5.5.4 Численная оценка ежегодного объема выпуска профильных специалистов СПО включая прогноз до 2025 года

По результатам исследования было выявлено, что по состоянию на 2021 год организациями СПО подготовка профильных специалистов в области квантовых коммуникаций не ведётся, при этом в отдельных учебных заведениях СПО с 2018 года начали появляться специальные курсы в области квантовых коммуникаций для студентов, проходящих обучение по смежным направлениям подготовки.

Смежные с рассматриваемой областью специальности включают: «Инфокоммуникационные сети и системы связи», «Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем», «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», а также другие, обозначенные на рисунке 5.5.6.

Оценить, как будет изменяться количество выпускников, можно достаточно точно на основании данных о том, сколько студентов было принято на обучение.

Предполагаемая динамика выпуска специалистов приведена на рисунке 5.5.6.



Рисунок 5.5.6 – Ожидаемый выпуск учреждениями СПО специалистов в смежных с квантовыми коммуникациями областях

Всего к 2023 году ежегодный выпуск по программе «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» может составить примерно 650 человек, и в дальнейшем увеличиваться будет незначительно.

Наибольшими темпами будет возрастать количество выпускников по специальности «Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем», поскольку количество поступивших с 2018 года стабильно возрастает, в 2021 году достигнув отметки в 3458 человек. При этом, как можно видеть на графике, к 2025 году выпуск может составить до 4000 человек. На основании имеющихся данных можно предположить, что указанное направление подготовки может заместить смежное направление «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Выпуск по специальности «Инфокоммуникационные сети и системы связи» будет возрастать меньшими темпами, и к 2024 году может достигнуть отметки в 1082 человека. По специальности «Сети связи и системы коммутации» ежегодный выпуск ожидается на уровне 900-1200 человек в год.

По другим смежным направлениям подготовки ожидается ежегодный выпуск от 300 до 1000 человек в год.

Среди организаций СПО, ведущих подготовку в области телекоммуникаций и информационной безопасности, в ходе исследования было выявлено только 2 организации (Колледж связи № 54 имени П.М. Вострухина и Калужский техникум электронных приборов), активно ведущих работу по подготовке студентов непосредственно в области квантовых коммуникаций. Побудительную роль для такой работы сыграло участие данных колледжей в программах WorldSkills. Обучение в области квантовых коммуникаций в указанных организациях ведётся в рамках отдельных (дополнительных) курсов. Рассматривать пример этих учебных заведений как решение проблемы подготовки рабочего персонала не представляется возможным, поскольку до 80% выпускников этих учебных заведений после выпуска продолжают обучение в высших учебных заведениях, переходя в другую категорию.

Причиной отсутствия интереса у основной массы организаций СПО к подготовке студентов в области квантовых коммуникаций является отсутствие сформированного запроса со стороны работодателей на таких специалистов.

5.5.5 Оценка соответствия реализуемых образовательных программ потребностям участников рынка

Согласно результатам проведённого исследования, распределение дефицита специалистов в организациях-разработчиках в целом соответствует распределению выпускников по смежным направлениям, указанному в разделе 5.5.3.

В области исследований наиболее востребованы специалисты в области квантовых коммуникаций по оптике и фотонике, квантовой физике, при этом «спрос» на специалистов в области программирования ниже (это обусловлено тем, что программисту, задействованному в таких исследованиях, не нужны специфические знания в области квантовых коммуникаций).

Учитывая, что дефицит профильных специалистов по квантовым коммуникациям в области физики, включая оптику и фотонику, по состоянию на 2021 год составляет около 90-100 человек для научных организаций и 40-50 для

разработчиков и производителей, то даже по минимальной оценке данный дефицит может быть восполнен на счёт выпуска по уже имеющимся программам.

Дефицит специалистов в области математики и электроники (области, по которым нет специальных программ), может быть восполнен за счёт специалистов из смежных специальностей, которые на этапе обучения включатся в изучение рассматриваемой области.

5.6 Обобщенный анализ кадровой обеспеченности организаций, работающих в области квантовых коммуникаций или являющихся потенциальными пользователями таких технологий, с учетом сегментирования и перспектив развития рынка квантовых коммуникаций

В рамках исследования кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций, проведенного в 2021 году, проведен обобщённый анализ кадровой обеспеченности организаций, работающих в области квантовых коммуникаций или являющихся потенциальными пользователями таких технологий, с учетом сегментирования и перспектив развития рынка квантовых коммуникаций и составлен прогноз объёма выпуска таких специалистов в перспективе до 2025 года. Полученные результаты были сопоставлены с планами подготовки профильных специалистов и подтверждены по итогам исследования, проведенного в 2022 году.

5.6.1 Предпосылки

В ходе исследования 2021 года были определены категории организаций, задействованных в работе в области квантовых коммуникаций и потенциальных потребителей решений, основанных на технологии квантовых коммуникаций.

На момент проведения исследования на рынке не были представлены сертифицированные регулятором решения, использующие технологии квантовых коммуникаций.

В конце 2022 года такие решения начали появляться. Появление таких решений напрямую связано с позицией регулятора и зависит от двух факторов:

- разработка стандартов сертификации при взаимодействии регулятора с ключевыми участниками рынка;
- доработка опытных образцов в соответствии с разработанными требованиями.

Таким образом, потребность в профильных специалистах по состоянию на конец 2022 года не сформирована у потребителей таких решений и компаний, занимающихся дистрибуцией и поддержкой СКЗИ. Такие организации были исключены из оценки текущей кадровой обеспеченности, однако учитывались при прогнозировании кадровой потребности.

По состоянию на 2022 год в отдельных организациях-разработчиках существует только опытное производство. Серийное производство не осуществляется ни одной организацией. По прогнозам ключевых игроков, с учётом сроков прохождения сертификации и ожидаемых сроков принятия решений о корректировке требований к частоте смены ключа для ключевых потребителей, масштабирование производства на серийных производственных площадках ожидается не ранее 2025 года. Таким образом, серийные производители также были исключены из оценки текущей кадровой потребности. При этом учитывался ожидаемый период подготовки к серийному производству и формирование профильных компетенций в 2024 – 2025 году.

При этом ряд операторов связи вовлечен в опытную эксплуатацию сетей квантовых коммуникаций, формирует профильные подразделения и планирует оказание услуг по предоставлению защищённых с помощью технологий квантовых коммуникаций каналов связи своим потребителям после сертификации соответствующих решений.

Полученными данными была подтверждена гипотеза об отсутствии необходимости в наличии компетенций в области квантовых коммуникаций у всех сотрудников профильных организаций, вовлечённых в процесс разработки, производства и эксплуатации решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций. В разделе 5.5 настоящего отчета оценивается потребность в специалистах, имеющих специализированную подготовку в области квантовых коммуникаций. Значительная часть таких специалистов будет задействована в эксплуатации таких решений, и для таких специалистов планируется проведение

переподготовки без отрыва от производства или в рамках курсов повышения квалификации.

5.6.2 Методика

В ходе исследования 2021 года для проведения оценки кадровой обеспеченности была разработана и верифицирована в рамках трёх стратегических сессий комплексная методика анализа кадровой высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации».

Источники данных:

В качестве источников данных используются анкеты (более 40 шт.), полученные от организаций – участников опроса, и ответы на запрос информации, полученные в свободной форме (более 30 ответов). При формировании оценки учитывались результаты интервьюирования руководителей и представителей профильных организаций, а также позиции, замечания и информация участников стратегических сессий.

Дифференцированный подход:

Для каждого из типов организаций была использована адаптированная версия анкеты и применён индивидуальный подход к оценке кадровой потребности, основанный на определении ключевых показателей, от которых зависит кадровая потребность в специалистах конкретных профилей. Для отдельных категорий организаций оценка была проведена на основании собственной оценки кадровых потребностей организаций, которая также была получена в ходе исследования.

Вспомогательные источники информации и НПА:

В качестве дополнительной информации для обеспечения корректности масштабирования (в том числе корректного формирования генеральной совокупности по каждому типу организаций) также использовались:

- данные Росстата по общему количеству, численности сотрудников и результатам экономической деятельности организаций в разрезе соответствующих видов экономической деятельности;

- открытые данные Банка России по кредитным организациям, зарегистрированным на территории Российской Федерации;
- данные по структуре и штатной численности федеральных органов государственной власти, установленным соответствующими нормативными правовыми актами Президента и Правительства Российской Федерации;
- данные Реестра предприятий, находящихся в собственности Российской Федерации, государственных корпораций, хозяйственных обществ, акции (доли) которых находятся в собственности Российской Федерации;
- данные Минпромторга России по российским производителям телекоммуникационного оборудования;
- данные по образовательным организациям высшего и среднего специального образования, находящимся в ведении Минобрнауки России, Минпросвещения России, Минцифры России и Минобороны России;
- нормативные показатели развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» и смежных областей, предусмотренные национальным проектом «Цифровая экономика», федеральным проектом «Цифровые технологии», «дорожной картой» развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»;
- экспертные оценки участников рынка;
- положения Методики определения потребности субъектов Российской Федерации, отраслей экономики и крупнейших работодателей в профессиональных кадрах на среднесрочную и долгосрочную перспективу (приказ Минтруда России от 31.03.2021 № 191н, зарегистрирован в Минюсте России 22.06.2021 № 63948).

Роли специалистов:

В результате проведения исследования были определены категории организаций, нуждающихся в специалистах, прошедших специализированную подготовку в области квантовых коммуникаций, определены роли таких специалистов и определены типовые составы исследовательских групп (для

организаций, выполняющих НИР) и групп разработки (для организаций, выполняющих ОКР).

Роли специалистов в научных организациях и организациях – разработчиках решений в области квантовые коммуникации (организации которые реализуют научно-исследовательские работы в предметной области):

- Руководитель различного уровня (Team leader).
- Исследователь-теоретик.
- Экспериментатор.
- Лаборант.

Типовой состав исследовательской группы, имеющий компетенции в области квантовых коммуникаций (средний уровень вовлеченности участников группы – 0,6 ставки):

- Руководитель группы: 1 человек.
- Исследователь-теоретик: 2 человека.
- Экспериментатор: 4 человека.
- Лаборант: 3 человека.

Численность иных специалистов, не нуждающихся в специальной подготовке в области квантовых коммуникаций, задействованных на постоянной основе в обеспечении деятельности исследовательской группы: 3-10 человек.

Численность привлекаемых для решения отдельных задач узкопрофильных специалистов: 10-30 человек.

Роли специалистов в организациях – разработчиках решений и производители (реализуют опытно-конструкторские работы):

- Руководитель (Team leader).
- «Архитектор» решений.
- Инженер, технолог, экспериментатор.
- Специалист по развитию бизнеса, маркетингу.
- Специалист по информационной безопасности.
- Рабочий персонал, задействованный на опытном производстве.

Типовой состав группы разработки, имеющий компетенции в области квантовых коммуникаций:

- Руководитель группы: 1 человек.
- «Архитектор» решений: 2 человека.
- Инженер, технолог, экспериментатор: 4 человека.
- Специалист по информационной безопасности: 1 человек.

Средняя численность специалистов, не вовлеченных в процесс разработки, которым необходима профильная подготовка в области квантовых коммуникаций в организациях-разработчиках:

- Специалист по развитию бизнеса, маркетингу: 2 человека.
- Специалист по информационной безопасности: 2 человека.
- Рабочий персонал, задействованный на опытном производстве: 6 человек.

Роли специалистов в телекоммуникационных компаниях и операторах связи:

- Консультант (эксперт).
- Системный администратор.
- Специалист по продажам (sales manager, KAM).
- Рабочий персонал.

Роли специалистов, имеющих компетенции в области квантовых коммуникаций, в организациях, эксплуатирующих решения, использующие технологии квантовых коммуникаций (банки, крупные компании, интегрированные структуры, иные организации, имеющие собственные ЦОД):

- Системный администратор.
- Рабочий персонал.

Роль профильных специалистов в образовательных организациях высшего и среднего профессионального образования:

- Преподаватель прикладных дисциплин в области квантовых коммуникаций.

Оценка кадровых потребностей произведена с учетом указанных выше ролей и типовых составов проектных команд в области исследований и разработок. Для каждой из перечисленных ролей в разделе 5.1 отчета приведены приоритетные направления подготовки. Кроме того, на основе данных, полученных в ходе исследования, были определены пропорции между направлениями подготовки таких специалистов.

5.6.3 Оценка кадровой обеспеченности по типам организаций и ролям специалистов

От организаций – участников анкетирования было получено более 40 анкет. Поскольку была опрошена только часть организаций, работающих в области квантовых коммуникаций или являющихся потенциальными потребителями решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций, для приведённых данных были введены поправочные коэффициенты. Кроме того, в ходе исследования были получены дополнительные данные (при проведении интервью, рабочих встреч и стратегических сессий с представителями организаций), что позволило более корректно интерпретировать полученные результаты и дополнить оценку по недостающим категориям специалистов. Полученные по результатам этой работы данные приведены в Таблице 5.6.1 (полные данные с учетом масштабирования приведены в Таблице 5.6.3).

Таблица 5.6.1 – Результаты предварительной оценки кадровой обеспеченности организаций специалистами в области квантовых коммуникаций (до масштабирования)

Категории специалистов	Специалист в области исследований в высокотехнологичной области квантовых коммуникаций		Специалисты по управлению и администрированию в области квантовых коммуникаций (включая специалистов по сертификации)			Специалист в области разработки и производства ПАК или элементной базы, в том числе с базовым образованием в области						Инженер по внедрению систем (сетей) связи с использованием технологий в области квантовых коммуникаций (включая метрологов)	Инженер по эксплуатации систем (сетей) связи	Профессорско-преподавательский состав			
	квантовой физики, оптики, фотоники	математики	Эксперты	Руководители	Маркетинг и развитие бизнеса	Сертификация	квантовой физики, оптики, фотоники	программирование	информационной безопасности	электроники (цифровой, аналоговой, квантовой и т. д.)	связи и телекоммуникаций	технологии производства		квантовой физики, физики, оптики, фотоники, радиоэлектроники	математики, квантовой информатики	связи и телекоммуникаций	информационной безопасности
Операторы связи (или эксплуатанты)			8	6	31								120 (+400) ¹	20 (+400)			
Финансовые организации				1									3	2			
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	23	25		15	4		83	10	11	58			1				
Организации высшего и среднего профессионального образования														160	45	25	8
Научные организации	123	7		315	0	0	190	338	581	170	16						

На основе полученной информации, а также использования открытых источников информации и анализа форм статистической отчетности по отдельным категориям организаций, была оценена доля задействования специалистов в

¹ В скобках приведено количество кадрового резерва компании Ростелеком, полученного в результате прохождения сотрудниками собственного курса подготовки в области квантовых коммуникаций.

опрошенных организациях относительно всего объёма специалистов в области квантовых коммуникаций, задействованных в организациях по категориям.

Таблица 5.6.2 – Оценка доли опрошенных организаций

Тип организации	Доля задействования специалистов в опрошенных организациях от общего числа организаций (по задействованию кадров)
Операторы связи (или эксплуатанты)	70,0%
Финансовые организации	9,2%
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	80,0%
Организации высшего и среднего профессионального образования	73,3%
Научные организации	90,0%

Доля операторов связи была оценена исходя из предположения, основанного на результатах опроса, две компании – ПАО «Ростелеком» и АО «Транстелеком» – будет составлять более 65% рынка услуг связи с применением технологий квантовых коммуникаций. Доля финансовых организаций определена исходя из доли капитализации опрошенных финансовых организаций на рынке с поправкой на имеющиеся данные о работе в области квантовых коммуникаций в ряде ведущих российских банков.

Доля разработчиков с учётом опытного производства была получена по результатам анализа интервью с компаниями данного типа и исходя из численности подобных организаций в экосистеме ОАО «РЖД». Доля научных организаций была оценена как 90%, исходя из патентного ландшафта.

На основании оценки долей, приведенных в Таблице 5.6.2, было произведено масштабирование оценки задействования кадров. Результаты

масштабирования приведены в таблице 5.6.3. Точность данной оценки составляет (-5%; +15%).

Таблица 5.6.3 – Кадровая обеспеченность организаций после масштабирования

Категории специалистов	Специалист в области исследований в высокотехнологичной области квантовых коммуникаций		Специалисты по управлению и администрированию в области квантовых коммуникаций (включая специалистов по сертификации)				Специалист в области разработки и производства ПАК или элементной базы, в том числе с базовым образованием в области						Инженер по внедрению систем (сетей) связи с использованием технологий в области «Квантовых коммуникаций» (включая метрологов)	Инженер по эксплуатации систем (сетей) связи	Профессорско-преподавательский состав			
	квантовой физики, оптики, фотоники	математики	Эксперты	Руководители	Маркетинг и развитие бизнеса	Сертификация	квантовой физики, оптики, фотоники	программирования	информационной безопасности	электроники (цифровой, аналоговой, квантовой и т. д.)	связи и телекоммуникаций	технологии производства			квантовой физики, физики, оптики, фотоники, радиоэлектроники	математики, квантовой информатики	связи и телекоммуникаций	информационной безопасности
Операторы связи (или эксплуатанты)			10 - 15	8-10	40-50								25-35 (+400) ²	25-35 (+400)				
Финансовые организации				10-12									35-40	20-25				
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	20-25	25-30		5-10	10-15		35-40	15-20	7-10	80-100			3-5					
Организации высшего и среднего профессионального образования															240-250	65-70	35-40	12-13
Научные организации	115-140	7-8		300 - 360			245-295	460-555	16-19	270-325	70-85							

² В скобках приведено количество кадрового резерва компании Ростелеком, полученного в результате прохождения сотрудниками собственного курса подготовки в области квантовых коммуникаций.

5.6.4 Обобщённая оценка кадровой обеспеченности по состоянию на 2021 год

Обобщённая оценка кадровой обеспеченности (результаты приведены в Таблице 5.6.4) проводилась после распределения количества задействованных специалистов по ролям, указанным в п. 5.6.2.

Таблица 5.6.4 – Численная оценка кадровой обеспеченности организаций по состоянию на 2021 год

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной безопасности	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (задействованный в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									10-12	25-30	40-48		38-46
Финансовые организации									10-12	26-31			27-32
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	15-18				83-100	166-199	5-6	13-16					38-46
Организации высшего и среднего профессионального образования												216-260	
Научные организации	38-46	190-228	253-304	325-390									

На основании данных о нехватке кадров по категориям, полученных из анкет и интервью, была произведена оценка текущего уровня дефицита специалистов отдельных категорий по типам организаций (Таблица 5.6.5).

Таблица 5.6.5 – Текущий дефицит специалистов

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной безопасности	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									0	0	0		0
Финансовые организации										0			0
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	35-40				10-12	40-45	2-3	10-15					
Организации высшего и среднего профессионального образования												45- 50	
Научные организации	10-15	30-35	45-55	35-40									

5.6.5 Оценка кадровой обеспеченности по состоянию на 2022 год

На основе данных, полученных в ходе исследования кадровой обеспеченности высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» проведена оценка кадровой обеспеченности в 2022 году (результаты приведены в Таблице 5.6.6).

Таблица 5.6.6 – Оценка кадровой обеспеченности организаций по состоянию на 2022 год

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной безопасности	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (задействованный в опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									15	33	45		57

Роли специалистов	Руководитель различного уровня (Team leader)	Исследователь - теоретик	Экспериментатор	Лаборант	«Архитектор» решений	Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по развитию бизнеса, маркетингу	Специалист по информационной безопасности	Консультант (эксперт)	Системный администратор	Специалист по продажам	Преподаватель	Рабочий персонал (задействованный в опытном производстве)
Типы организаций													
Финансовые организации									10	26			41
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	26				91	216	8	18					38
Организации высшего и среднего профессионального образования												242	
Научные организации	49	219	291	374									

В ходе исследования 2021 года был выявлен ряд особенностей деятельности отдельных категорий организаций, влияющих на структуру и объём их кадровых потребностей.

Научные организации

Организации, ведущие научно-исследовательские работы по тематике квантовых коммуникаций, как правило имеют опыт в смежных областях исследований и обладают значительным кадровым ресурсом, сформированным в рамках профильной для организаций деятельности (ВУЗы, исследовательские институты), который в приоритетном порядке используется при формировании проектных команд.

Организации – разработчики решений в области квантовых коммуникаций также ведут ряд НИР, для чего формируются исследовательские команды. Принципиальные отличия их НИР от НИР ВУЗов и НИИ заключаются в более прикладном, узком характере исследований, более коротких сроках проведения исследований и параллельной вовлеченности участников таких команд в выполнение ОКР.

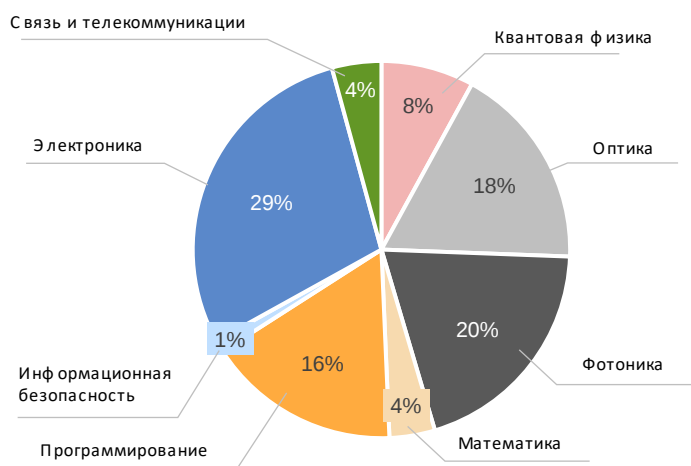


Рисунок 5.6.1 – Долевое распределение специалистов в области исследований и разработок в научных организациях

Наиболее проблемной позицией является выбор руководителя проекта – требования к таким специалистам наиболее высокие и включают помимо наличия профильного образования, опыта исследований в квантовых коммуникациях и ученой степени, наличие опыта управленческой и административной работы.

Также актуальным для ВУЗов и НИИ является вопрос привлечения сотрудников (обычно 1-2) на роли исследователей – теоретиков и экспериментаторов, имеющих практический опыт работы в исследованиях в области квантовых коммуникаций в случае отсутствия такого опыта у собственных сотрудников.

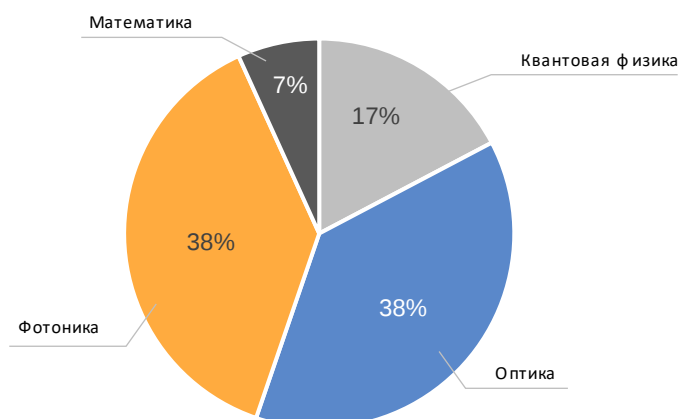


Рисунок 5.6.2 – Долевое распределение специалистов в области фундаментальных исследований в научных организациях

Дефицит штатных специалистов для таких групп как правило составляет 10-20% от общего числа группы. При этом возможность привлечения ограничена ввиду отсутствия на рынке свободных специалистов с необходимой квалификацией и опытом работы. Основным путём закрытия потребности остается привлечение специалистов из смежных областей или молодых специалистов (аспирантов и выпускников магистратуры) с последующим обучением внутри команды.

На момент проведения исследования наибольший дефицит в научных организациях составляли специалисты в области оптики и фотоники (рис. 5.6.3).

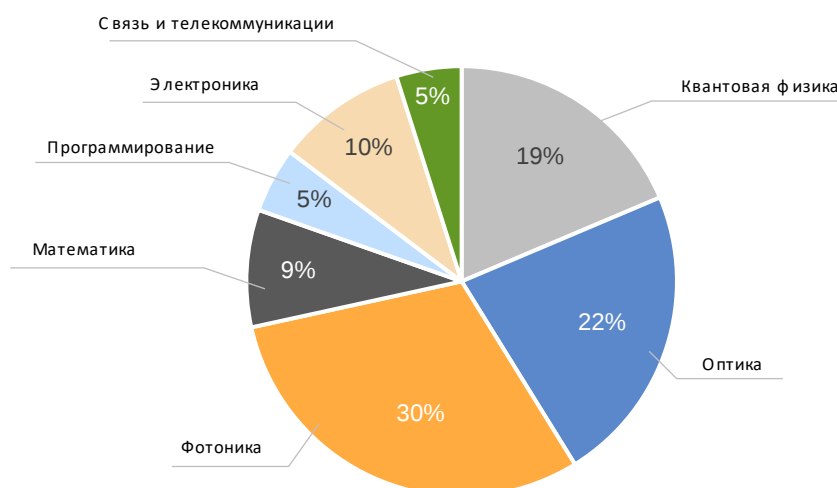


Рисунок 5.6.3 – Структура дефицита специалистов в научных организациях по областям подготовки

Разработчики решений

Организации – разработчики действуют в логике разработки коммерческих решений и исходят в своей работе из потребностей рынка, кроме того, именно на таких организациях лежит бремя сертификации решений. На базе таких организаций также развёрнуто опытное производство, вследствие чего спектр ролей специалистов, вовлеченных в работу с решениями в области квантовых коммуникаций значительно шире, чем у научных организаций. При этом только

части таких сотрудников (от 30 до 50%) необходимы специализированные знания в области квантовых коммуникаций.

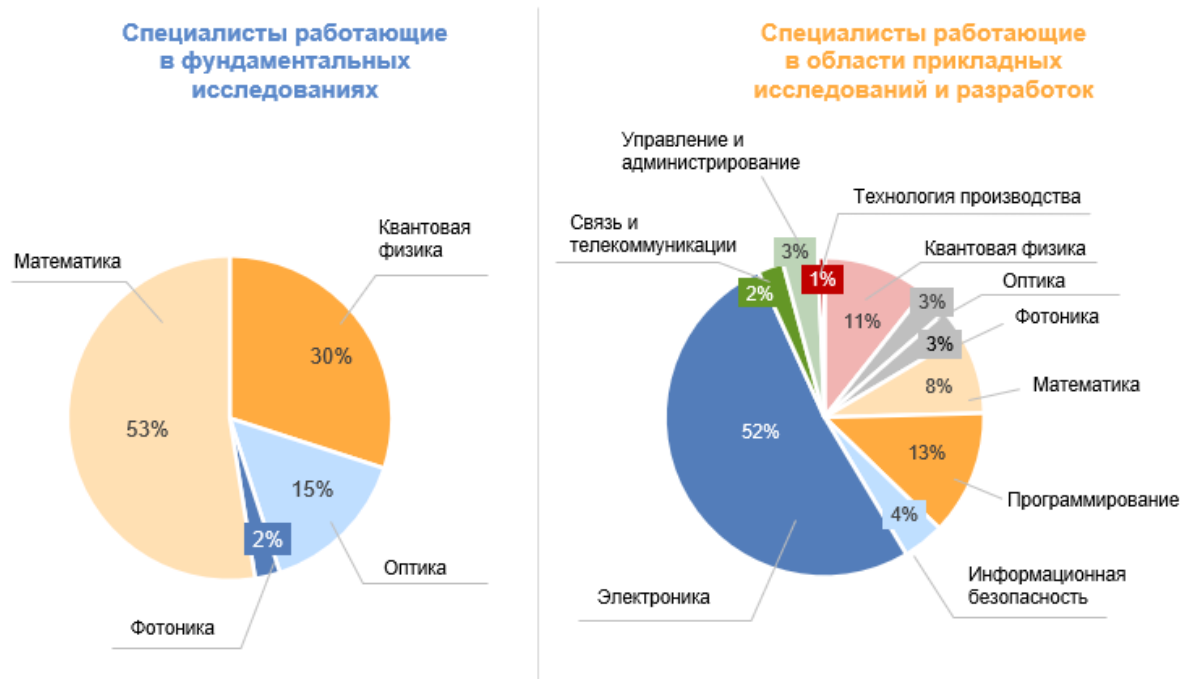


Рисунок 5.6.4 – Долевое распределение специалистов в области исследований и разработок в организациях-разработчиках

Наиболее проблемной позицией является выбор руководителя проекта, требования к таким специалистам, так же как и в научных организациях, наиболее высокие и включают наличие профильного высшего образования, опыта ведения разработок в области квантовых коммуникаций, радиоэлектронного оборудования, СКЗИ, опыта управленческой и административной работы.

Специалисты, задействованные на иных ролях в составе групп разработки, должны иметь высшее техническое образование, обладать навыками разработки, при наличии квалифицированного руководителя проекта и основного состава команды, возможно их погружение в предметную область в рамках работы в команде разработки.

Проблемным вопросом для организаций – разработчиков является привлечение квалифицированных специалистов по продажам решений в области квантовых коммуникаций и развитию бизнеса. Учитывая ранний этап формирования рынка, такие специалисты должны одновременно обладать

знаниями и навыками в области продаж и иметь подготовку в области квантовых коммуникаций. Такие специалисты могут быть привлечены только с дополнительной переподготовкой внутри компании, причем могут рассматриваться 2 сценария:

- привлечение специалистов с опытом продаж в области телекоммуникаций и проведение для них курсов повышения квалификации внутри компании в области квантовых коммуникаций;
- привлечение специалистов с профильным высшим образованием или техническим опытом в области квантовых коммуникаций с последующим переобучением в области продаж.

В рамках исследования были получены разнонаправленные мнения о представленных сценариях, при этом единогласно подтверждена острая потребность в специалистах такой роли и сложность закрытия таких позиций.

В отношении персонала, задействованного в рамках опытного производства, предъявляются требования, не отличающиеся от требований для производства другого телекоммуникационного и радиоэлектронного оборудования, профильная подготовка проводится в рамках адаптации новых сотрудников. Нехватка таких специалистов обусловлена общим дефицитом квалифицированного рабочего персонала в смежных областях.

На момент проведения исследования штат организаций – разработчиков в целом укомплектован в соответствии с располагаемыми финансовыми ресурсами, незначительная нехватка персонала наблюдается только по отдельным позициям, в остальном соответствует естественному уровню «текучки кадров». При этом в случае сертификации разрабатываемых решений, в горизонте от 6 до 12 месяцев после такой сертификации и начале формирования рынка, будет наблюдаться значительный рост кадровой потребности. Дефицит кадров может составить от 20 до 50% по отдельным категориям специалистов. На момент проведения исследования наибольший дефицит составляли специалисты в области программирования, а также в области оптики и фотоники (рис. 5.6.5).

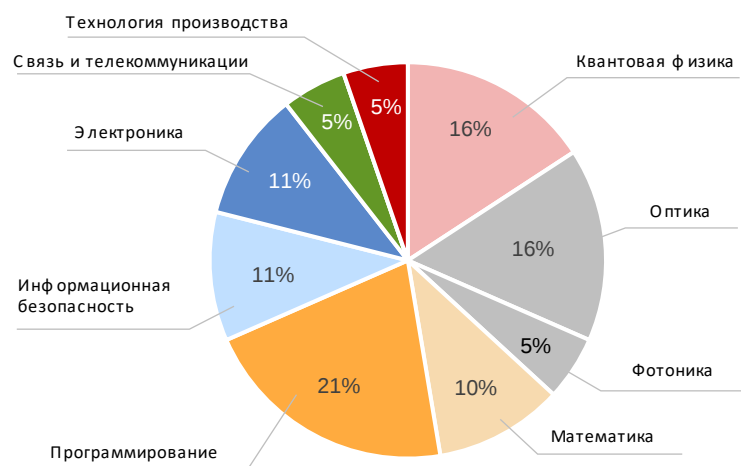


Рисунок 5.6.5 – Структура дефицита специалистов в организациях-разработчиках по областям подготовки

Операторы связи

Ряд крупных телекоммуникационных компаний и операторов связи изучают перспективы области квантовых коммуникаций, ведут работу в области развития сетей квантовых коммуникаций и планируют продажи услуг сетей связи квантовых коммуникаций по сервисной модели. В рамках такой работы сформированы группы профильных специалистов и проводится обучение собственного персонала с использованием корпоративных инструментов повышения квалификации персонала. Специфика деятельности таких организаций ограничивает возможность привлечения большого числа высококвалифицированных (высокооплачиваемых) специалистов-исследователей в области квантовых коммуникаций, при этом потребность в персонале, обслуживающем квантовые линии связи и оборудование после появления сертифицированных решений оценивается как высокая.

Решения, основанные на технологии квантовых коммуникаций, на данном этапе развития не могут эксплуатироваться отдельно от классических СКЗИ, оборудования ЦОД и оптоволоконных линий связи, при этом увеличение штата системных администраторов и рабочего персонала при внедрении решений в области квантовых коммуникаций нецелесообразно (обусловлено экономической моделью работы таких организаций и подходом разработчиков решений в области

квантовых коммуникаций, максимально унифицирующих свои решения с существующими стандартами).

В процессе формирования рынка планируется создание экстерриториальных центров компетенций и переобучение линейного персонала для работы с квантовыми сетями связи и решениями, использующими технологии квантовых коммуникаций.

Также перед крупными телекоммуникационными компаниями стоит вопрос подготовки менеджеров по продажам при начале оказания услуг предоставления квантовых каналов. Учитывая более понятную для конечных потребителей сервисную модель, к квалификации таких сотрудников предъявляются меньшие требования, чем в компаниях-разработчиках и планируется переподготовка имеющегося персонала с использованием корпоративных инструментов повышения квалификации.

На момент проведения исследования кадровая обеспеченность крупных телекоммуникационных компаний – операторов связи, вовлечённых в работу по тематике квантовых коммуникаций, в целом соответствует этапу развития рынка, привлечение значительного числа сотрудников с рынка не требуется. С учётом декларируемых подходов к подготовке персонала не ожидается масштабного запроса на привлечение профильных высококвалифицированных специалистов с рынка труда в перспективе до 2025 года. При этом ожидается рост «спроса» на специалистов, получивших профильное СПО со стороны таких организаций после 2023 года.

В рамках исследования также были опрошены региональные операторы связи, предоставляющие услуги связи. Такие организации на данный момент не ведут работу по тематике квантовых коммуникаций, при этом в случае появления на рынке сервисных продуктов от крупных участников рынка – готовы встраивать собственную инфраструктуру в сети квантовых коммуникаций и транслировать соответствующие сервисы своим абонентам. Таким операторам также потребуется некоторое количество профильных специалистов и переобучение линейных сотрудников с участием вендоров и интеграторов решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций. При этом, с учётом ожидаемых сроков сертификации решений и необходимости масштабного развития магистральной

инфраструктуры, появление и развитие такого сегмента рынка не ожидается ранее 2025 года.

Потребители

Организации, относящиеся к категории потенциальных потребителей решений, основанных на технологии квантовых коммуникаций (за исключением ФОИВ и ГВО), были разделены в ходе исследования на 2 основных группы:

1. Организации, планирующие использовать технологии квантовых коммуникаций по сервисной модели через крупных операторов связи и не планирующие закупку собственного оборудования.

2. Организации, имеющие собственные ЦОД, самостоятельно эксплуатирующие и обслуживающие СКЗИ.

По результатам опроса и анкетирования организаций – потребителей, ожидаемое доленое распределение между категориями организаций составит 70% - 80% организаций первой категории и 20% - 30% организаций второй категории.

Организации, отнесенные к первой категории, не планируют организовывать на своей стороне обслуживание решений, основанных на квантовых коммуникациях и соответственно не планируют привлечение профильных специалистов или переобучение уже имеющегося персонала. Нагрузка по эксплуатации используемого ими оборудования в полной мере будет возложена на линейный персонал операторов связи. Таким образом кадровые потребности в области квантовых коммуникаций у таких организаций отсутствуют.

Организации, отнесенные ко второй категории, планируют закупать СКЗИ, использующие технологию КРК и эксплуатировать их. Как правило у таких организаций уже есть укомплектованный штат системных администраторов и технического персонала. При внедрении систем КРК планируется повышение квалификации для такого персонала и руководителей профильных подразделений с привлечением вендоров или интеграторов. Для организаций, обладающих одним ЦОД, ожидается обучение 2-3 человек на организацию. Для организаций, обладающих 2 и более собственными ЦОД, ожидается обучение 1 человека на ЦОД, если ЦОД расположены на территории региона (и находятся в пределах локальной транспортной доступности), и 2 человек на ЦОД, если они находятся в разных регионах и удалены друг от друга. Также потребуется обучение 1-2 руководителей

и специалистов профильных подразделений на организацию. Привлечение новых сотрудников, обладающих профильными компетенциями, с рынка труда не планируется.

Высшее образование

Образовательные организации высшего образования проявляют заинтересованность в подготовке специалистов по направлению квантовых коммуникаций. При этом к настоящему моменту не сформирован образовательный стандарт и не выделены направления подготовки по квантовым коммуникациям.

Специализированная подготовка в области квантовых коммуникаций профессорско-преподавательского состава в настоящее время сосредоточена в нескольких ведущих ВУЗах, ведущих исследования в области квантовых коммуникаций в рамках своей научной деятельности и в первую очередь заключается в непосредственном участии таких преподавателей в научной работе.

В ходе исследования была выявлена заинтересованность в подготовке студентов в области квантовых коммуникаций у ряда ВУЗов, не ведущих собственные научные работы в области квантовых коммуникаций. Для таких учебных заведений наиболее остро стоит вопрос подготовки и привлечения преподавателей, имеющих практический опыт работы в области квантовых коммуникаций и создания собственной учебной базы. На данном этапе такие вопросы как правило решаются через межвузовскую кооперацию.

В реализации профильных курсов внутри программ подготовки задействованы преподаватели, имеющие опыт работы в НИР или ОКР в области квантовых коммуникаций, преподающие профильные курсы. По оценке опрошенных представителей учебных заведений, таких предметов в программе подготовки относительно немного и достаточно 2-4 преподавателей для их реализации. Отдельно отмечается принципиальная значимость наличия материально-технической базы для проведения практических занятий (лабораторных работ) и квалифицированного персонала, работающего с таким оборудованием.

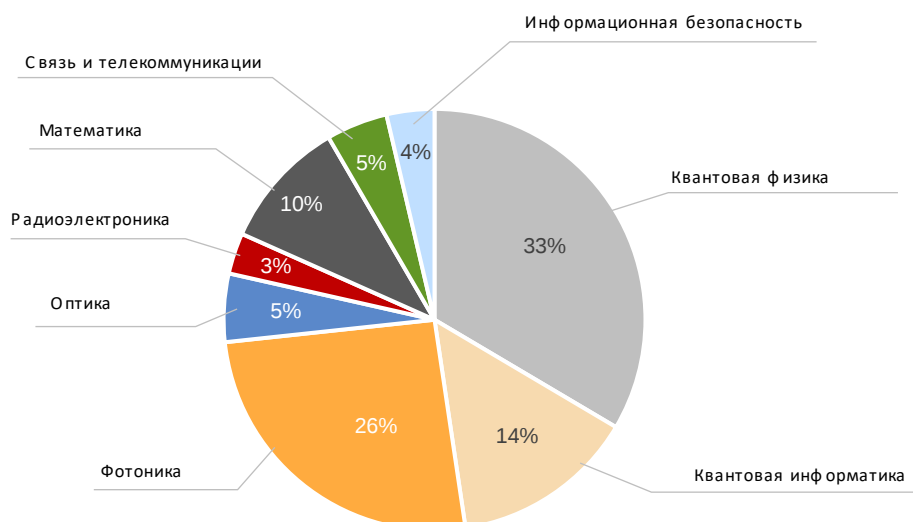


Рисунок 5.6.6 – Долевое распределение преподавателей дисциплин в области квантовых коммуникаций в образовательных организациях

Перечисленные особенности были учтены при сопоставлении объёмов подготовки специалистов и кадровых потребностей организаций, работающих в области квантовых коммуникаций.

Среднее профессиональное образование

На уровне СПО в области квантовых коммуникаций и обеспечения таких организаций преподавателями также были выявлены некоторые особенности подготовки:

- Существующие учебные материалы рассчитаны на обучение в ВУЗах и слишком сложны для восприятия на уровне СПО;
- Структурно организации СПО относятся к зоне ответственности Министерства просвещения, что накладывает дополнительные требования к верификации образовательного (в том числе видео) контента. На данный момент такого контента в области квантовых коммуникаций нет;
- Для организации обучения требуется наличие учебной базы, при этом на уровне СПО требуется более дешёвое оборудование ввиду более строгих финансовых ограничений таких учебных заведений;

- По мнению уже ведущих обучение в области квантовых коммуникаций на уровне СПО преподавателей, наиболее эффективным методом является приведение практических примеров работы в области квантовых коммуникаций и демонстрация практических опытов, что требует наличия у преподавателя практического опыта работы в области квантовых коммуникаций, причём на уровне выше базового.

Системные интеграторы

Компании – интеграторы и региональные партнеры вендоров СКЗИ на данный момент проявляют ограниченную заинтересованность в технологиях квантовых коммуникаций. Учитывая специфику деятельности таких организаций, до появления сертифицированных регулятором решений, пригодных для прикладного использования и формирования спроса на такие решения, не ожидается их масштабное вовлечение в работу с решениями, основанными на технологиях квантовых коммуникаций в ближайшие 1,5-2 года. Кадровая потребность также не сформирована.

При этом в ходе исследования в 2021 году отмечались факты контактов зарубежных разработчиков решений в области квантовых коммуникаций с представителями таких организаций в рамках изучения возможности выхода на российский рынок.

Производители

В настоящее время примеров переноса производства оборудования КРК на серийные производственные площадки не отмечено. С учётом прогноза развития области квантовых коммуникаций, в ближайший год такой перенос не ожидается.

Лаборатории сертификации

Отдельной категорией организаций, которым требуются специалисты в области квантовых коммуникаций, являются испытательные лаборатории, принимающие участие в сертификации СКЗИ.

На данный момент потребности рынка могут быть удовлетворены 1-2 лабораториями, проводящими такие испытания. Учитывая специфику их деятельности, численная потребность каждой из них в специалистах в области

квантовых коммуникаций (помимо специалистов других направлений) оценивается на уровне 3-4 человек. Также потребуется переподготовка части технического персонала.

6. Проблемы кадрового обеспечения высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» в Российской Федерации

Проведённое исследование позволило определить две группы проблем в области кадрового обеспечения области квантовых коммуникаций:

- Ключевые проблемы кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций, стоящие перед областью и в основном связанные с характерными для новых высокотехнологичных областей стадиями развития технологий. Ожидается что такие проблемы будут решены или трансформируются по мере развития рынка и повышения уровня TRL технологий квантовых коммуникаций;
- Сопутствующие проблемы, которые в основном являются следствием наличия проблем первой группы и требующие предметных решений.

6.1 Ключевые проблемы кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций

1. Отсутствие на рынке свободных специалистов высшего уровня квалификации, имеющих опыт работы в квантовых коммуникациях, в результате чего наблюдается перегруженность проектами специалистов, занятых в исследованиях и разработках.
2. Отсутствие профессиональных и федеральных государственных образовательных стандартов, вследствие чего наблюдается фрагментированность учебных программ.
3. Отсутствие сформированного рынка и новизна технологии при высоком уровне зарплатных ожиданий профильных высококвалифицированных специалистов.
4. Нарастающий дефицит специалистов, работающих на стыке технических и гуманитарных специальностей, имеющих опыт работы в области

квантовых коммуникаций (руководители проектов, маркетологи, специалисты по развитию бизнеса, менеджеры по работе с ключевыми клиентами).

5. Развитие высокотехнологичной области приведет к изменению пропорций между уровнями подготовки востребованных специалистов в сторону более низкой квалификации.

6.2 Сопутствующие проблемы кадрового обеспечения и подготовки специалистов в области квантовых коммуникаций

1. Образовательные организации высшего и среднего профессионального образования отмечают крайне слабую подготовку школьников по базовым дисциплинам, которые лежат в основе технологий в области квантовых коммуникаций и практически полное отсутствие знаний о квантовых коммуникациях.

2. Образовательные организации высшего и среднего профессионального образования испытывают дефицит в преподавателях, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций.

3. В большинстве ВУЗов (за исключением нескольких ведущих) наблюдается острая нехватка материальной (лабораторной) базы для подготовки специалистов в области квантовых коммуникаций.

4. Требуются специализированные учебные пособия для подготовки по направлению «Квантовые коммуникации», особенно на уровне СПО.

5. Необходимо повышение уровня координации работы между профильными ВУЗами (в особенности теми, которые только начинают работать в области квантовых коммуникаций) и потенциальными работодателями.

6. Наиболее высокая потребность у организаций-разработчиков решений наблюдается в специалистах, уже имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций, при этом на рынке таких специалистов фактически нет, вследствие чего значительно увеличивается срок адаптации и обучения новых сотрудников и возрастают соответствующие затраты работодателей.

7. Специфика работы организаций – потенциальных эксплуатантов решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций, осложняет

привлечение новых (профильных) специалистов на линейные должности, вследствие чего такие организации в большинстве своём будут организовывать переподготовку уже имеющихся сотрудников через корпоративные средства обучения или с привлечением вендоров соответствующего оборудования.

8. Прогнозируемое смещение фокуса разработки на подтехнологии атмосферной и спутниковой связи приведёт к необходимости переподготовки части имеющихся специалистов и привлечению новых специалистов из смежных областей (метеорология, космические технологии, промышленный дизайн и т. д.) и их подготовке в области квантовых коммуникаций.

6.3 Специфика различных категорий организаций

Различные категории организаций отмечают в качестве приоритетных разные проблемы, связанные с кадровым обеспечением.

Потребители решений в области квантовых коммуникаций

- Высокие зарплатные ожидания высококвалифицированных специалистов;
- Отсутствие на рынке свободных высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций;
- Дефицит специалистов, работающих на стыке технических и гуманитарных специальностей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций;
- Необходимость взаимодействия с образовательными организациями для подготовки необходимых организации специалистов на протяжении всего периода обучения.

Операторы связи

- Дефицит специалистов, работающих на стыке технических и гуманитарных специальностей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций.

Разработчики и производители

- Отсутствие на рынке свободных высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций;
- Высокий уровень зарплатных ожиданий профильных специалистов на фоне отсутствия сформированного рынка;
- Дефицит специалистов, работающих на стыке технических и гуманитарных специальностей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций;
- Снижение привлекательности профессии для молодёжи в связи с возможным оформлением допуска к сведениям, составляющим государственную тайну;
- Необходимость взаимодействия с образовательными организациями для подготовки необходимых организации специалистов на протяжении всего периода обучения.

Научные организации

- Отсутствие на рынке свободных высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций;
- Высокий уровень зарплатных ожиданий профильных специалистов на фоне отсутствия сформированного рынка;
- Снижение привлекательности профессии для молодёжи в связи с возможным оформлением допуска к сведениям, составляющим государственную тайну.

Образовательные организации

- Отсутствие сформированного спроса на квалифицированных специалистов в области квантовых коммуникаций;
- Недостаток квалифицированных преподавателей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций;
- Высокий уровень зарплатных ожиданий профессорско-преподавательского состава.

7. Пути решения проблем кадрового обеспечения высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» в Российской Федерации

Основными причинами возникновения сопутствующих проблем кадрового обеспечения квантовых коммуникаций являются отсутствие сформированного рынка квантовых коммуникаций, малое число работодателей и смещение фокуса внимания в предыдущие периоды в сторону исследований и разработок. Такие проблемы будут решаться напрямую при открытии рынка квантовых коммуникаций, увеличении числа заинтересованных в профильных специалистах работодателей и, как следствие, увеличения объемов финансирования профильных образовательных программ.

На ключевых проблемах целесообразно остановиться отдельно, рассмотрев возможные пути их решения в привязке к категориям организаций.

7.1 Потребители решений в области квантовых коммуникаций

7.1.1 Высокие зарплатные ожидания высококвалифицированных специалистов

Проведённое исследование показывает, что большинство потребителей планируют использовать квантовые коммуникации в рамках сервисной модели, при этом организации, обозначающие данную проблему зачастую при дальнейшем интервьюировании транслируют модель использования, не предполагающую задействование специалистов с уровнем подготовки магистратура и выше, востребованы в первую очередь линейные специалисты, также требуется дополнительная подготовка для руководящего персонала (как правило 1-3 человека) в объёме от 14 до 72 академических часов. Проблема высоких зарплатных ожиданий в основном присутствует у профильных высококвалифицированных специалистов. По мере развития рынка и прохождения

подготовки новыми специалистами произойдёт насыщение рынка и уровень зарплатных ожиданий синхронизируется с возможностями работодателей.

Пути решения:

- Организация переподготовки имеющихся на стороне потребителя специалистов с привлечением вендоров и системных интеграторов;
- Сохранение или увеличение объёма подготовки новых специалистов на уровне магистратуры и выше;
- Совершенствование оборудования квантовых коммуникаций в части автономности его работы и увеличения межсервисных интервалов;
- Привлечение сторонних консультантов и вендоров к эксплуатации оборудования.

7.1.2 Отсутствие на рынке свободных высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций

Природа данной проблемы аналогична проблеме, описанной в п. 7.1.1. настоящего раздела. Значительная часть выявленной потребности, по экспертной оценке, избыточна и по мере донесения до потребителей принципов работы с технологией квантовых коммуникаций будет сниматься. Пути решения также во многом аналогичны п 7.1.1.

Пути решения:

- Организация переподготовки имеющихся на стороне потребителя специалистов с привлечением вендоров и системных интеграторов;
- Сохранение или увеличение объёма подготовки новых специалистов на уровне магистратуры и выше;
- Привлечение сторонних консультантов и вендоров к эксплуатации оборудования.

7.1.3 Дефицит специалистов, работающих на стыке технических и гуманитарных специальностей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций

Для потребителей такая проблема актуальна в первую очередь с точки зрения донесения принципов работы технологии квантовых коммуникаций до конечных пользователей и ограниченности ресурса служб, обеспечивающих информационную безопасность. В результате задача может ложиться на специалистов непрофильных подразделений. Проблема актуальна в основном для больших организаций со сложной корпоративной структурой. Для решения указанной проблемы наиболее эффективным представляется разработка и проведение соответствующих курсов в рамках корпоративного обучения.

Пути решения:

- Разработка вендорами комплектов методических материалов для обучения основным принципам использования технологии с учётом специфики конкретных продуктовых решений;
- Проведение онлайн семинаров для ответственных сотрудников потребителей (4-8 академических часов);
- Распространение методических материалов среди пользователей с возможностью получения пользователями поддержки от прошедших обучение сотрудников и представителей вендора.

7.1.4 Необходимость взаимодействия с образовательными организациями для подготовки необходимых организации специалистов на протяжении всего периода обучения

Данная проблема была отмечена сравнительно небольшим количеством потенциальных потребителей и по экспертной оценке связана с неполным пониманием потребителями возможных сценариев использования технологии квантовых коммуникаций. При этом в отдельных случаях, например для крупных банковских структур, проблема действительно может быть актуальной.

Пути решения:

- Разработка профессиональных и образовательных стандартов;

- Формирование и публикация оператором дорожной карты перечня ВУЗов, ведущих подготовку профильных специалистов или ведущих спец. курсы в области квантовых коммуникаций;
- Индивидуальная работа с такими работодателями со стороны ВУЗов, оператора дорожной карты, проведение профильных мероприятий для выстраивания кооперации.

7.2 Операторы связи

Операторы связи, вовлеченные в развитие квантовых коммуникаций (ПАО «Ростелеком», АО «Транстелеком»), уже сформировали подход к решению кадровых вопросов, заключающийся в формировании компактных центров компетенции и организации корпоративного обучения для линейных сотрудников и руководящего персонала с привлечением вендоров к разработке таких курсов. Локальные игроки планируют работать по аналогичной схеме с большим вовлечением вендоров в процесс обучения специалистов. При этом главным вопросом остаётся развитие продаж услуг, использующих квантовые коммуникации (в горизонте 2023-2027 годы).

7.2.1 Дефицит специалистов, работающих на стыке технических и гуманитарных специальностей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций

При продаже услуг, связанных с информационной безопасностью, актуальны три основных направления компетенций сотрудников продающих подразделений:

- Знание технологии и способность доносить её преимущества до технических специалистов заказчика;
- Способность обосновать экономическую эффективность применения технологии с учётом специфики конкретного заказчика;
- Знание правовых основ использования технологии квантовых коммуникаций.

При этом важно понимать, что основным направлением продаж услуг, связанных с использованием квантовых коммуникаций, станет работа с уже существующей клиентской базой, что в значительной степени ограничивает возможность привлечения новых сотрудников к такой работе.

Пути решения:

- Разработка унифицированных методических материалов по тематике квантовых коммуникаций для непрофильных специалистов по направлениям: технология, практика внедрения и оценка экономической эффективности, правовые основы использования технологии КРК.
- Разработка вендорами и системными интеграторами информационных материалов для работы с конечными потребителями;
- Проведение вендорами и системными интеграторами обучения для продающих специалистов по номенклатуре продвигаемых ими решений. Продолжительность такого курса от 15 до 25 часов.

7.3 Разработчики и производители

7.3.1 Отсутствие на рынке свободных высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций

Данная проблема наиболее остро стоит именно перед разработчиками и производителями решений в области квантовых коммуникаций. Основной причиной её возникновения является новизна технологии и отсутствие выпускников, имеющих профильную специальную подготовку. Следует отметить, что уровень востребованности специалистов с высшим уровнем квалификации сильно зависит от стадии готовности продукта и прогнозируется разнонаправленное изменение кадровой потребности по отдельным подтехнологиям квантовых коммуникаций в горизонте 3-5 лет, что не позволит провести подготовку специалистов с нуля для решения текущих задач. При этом по итогам первого этапа исследования был сделан вывод о возможности переобучения специалистов, прошедших подготовку по смежным дисциплинам, для их привлечения к работе в области квантовых

коммуникаций. Такой подход представляется единственно возможным для удовлетворения кадровых потребностей разработчиков и производителей в высококвалифицированных специалистах. Кроме того, значительное влияние на кадровую обеспеченность в 2022 году оказали проводимые мобилизационные мероприятия.

Пути решения:

- Выстраивание взаимодействия с профильными высшими учебными заведениями в части переподготовки обучающихся на последних курсах с последующим трудоустройством;
- Организация переподготовки специалистов из смежных областей в первые 3-6 месяцев работы;
- Планирование программ обучения в профильных ВУЗах и внедрение специальных курсов с учётом изменения прогноза кадровой потребности по подтехнологиям квантовых коммуникаций в горизонте 5-7 лет;
- Обеспечение предоставления отсрочек от прохождения военной службы для специалистов, работающих в области квантовых коммуникаций, по аналогии со IT специалистами.

7.3.2 Высокий уровень зарплатных ожиданий профильных специалистов на фоне отсутствия сформированного рынка

Динамика полученных в ходе исследования данных позволяет сделать вывод о снижении значимости данной проблемы в 2022 году по сравнению с 2021, что позволяет сделать вывод о том, что при сохранении тренда данная проблема будет нивелирована в горизонте 2-3 года. Ключевым фактором является увеличение числа профильных специалистов на фоне снижения роста потребности.

Пути решения:

- Продолжение работы с ВУЗами – партнёрами;
- Продолжение работы по переподготовке специалистов в смежных областях для работы в области квантовых коммуникаций.

7.3.3 Дефицит специалистов, работающих на стыке технических и гуманитарных специальностей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций

Проблема аналогична описанной в п. 7.2.1 настоящего раздела. Ключевым отличием является потребность в более высоком уровне подготовки специалистов по продажам на стороне вендора, чем на стороне оператора связи.

Пути решения:

- Разработка методических материалов по профилю деятельности организации для продающих специалистов по направлениям: ключевые принципы технологии КК, продукты компании, лучшие практики внедрения и оценка экономической эффективности, правовые основы использования технологии. Продолжительность такого курса от 40 до 80 часов.
- Проведение ведущими специалистами компании (с привлечением при необходимости партнёров и профильных участников экосистемы квантовых коммуникаций) обучения в соответствии с разработанной программой;
- Проведение профильных отраслевых курсов и мероприятий для сотрудников компаний – разработчиков.

7.3.4 Снижение привлекательности профессии для молодёжи в связи с возможным оформлением допуска к сведениям, составляющим государственную тайну

Действительно, было отмечено влияние данного фактора на принятие решения о поступлении на работу, при этом по совокупности причин не более 1/3 специалистов, прошедших профильную подготовку, работают по профессии в первые годы после окончания высших учебных заведений. Также следует отметить, что работа со сведениями, составляющими государственную тайну, предусматривается для ограниченной группы специалистов и в основной массе не распространяется на специалистов, имеющих уровень подготовки бакалавриат и ниже. По информации, полученной от высших и средних специальных учебных

заведений, интерес со стороны абитуриентов к курсам, включающим изучение квантовых технологий остаётся более высоким чем у смежных курсов.

Пути решения:

- Реализация совместно с ВУЗами – партнёрами программ целевого обучения специалистов;
- Внедрение профессиональных и образовательных стандартов;
- Проведение разъяснительной работы в части работы со сведениями, составляющими государственную тайну, с абитуриентами и студентами профильных специальностей;
- Создание дополнительных учебных бюджетных мест по направлениям подготовки квантовых коммуникаций (в соответствии с разрабатываемыми федеральными государственными образовательными стандартами).

7.3.5 Необходимость взаимодействия с образовательными организациями для подготовки необходимых организации специалистов на протяжении всего периода обучения

Ведущие организации – разработчики уже выстроили такое взаимодействие, наиболее подготовленные сотрудники организаций – разработчиков вовлечены в подготовку специалистов в рамках специальных курсов. Кроме того, для отдельных компаний ВУЗы являются значимым рынком сбыта продукции (лабораторные стенды, построение университетских квантовых сетей). Тем не менее, встает вопрос расширения взаимодействия со средой высшего образования.

Пути решения:

- Проведение отраслевых мероприятий;
- Более плотное вовлечение ВУЗов в экосистему квантовых коммуникаций.

7.4 Научные организации

7.4.1 Отсутствие на рынке свободных высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций

Проблема аналогична описанной в п. 7.3.1. При этом число задействованных в научных организациях специалистов на данный момент является непропорционально высоким и по текущей оценке будет или оставаться на стабильном уровне или снижаться.

Пути решения:

- Выстраивание взаимодействия с профильными высшими учебными заведениями в части привлечения на работу наиболее перспективных выпускников;
- Вовлечение студентов последних курсов и аспирантов в научную работу;
- Организация переподготовки специалистов из смежных областей в первые 3-6 месяцев работы;
- Планирование программ обучения в профильных ВУЗах и внедрение специальных курсов с учётом изменения прогноза кадровой потребности по подтехнологиям квантовых коммуникаций в горизонте 5-7 лет;
- Обеспечение предоставления отсрочек от прохождения военной службы для специалистов, работающих в области квантовых коммуникаций, по аналогии со IT специалистами.

7.4.2 Высокий уровень зарплатных ожиданий профильных специалистов на фоне отсутствия сформированного рынка

Для научных организаций данная проблема выражается в сложности привлечения специалистов к научной работе и обусловлена недостаточным по мнению таких организаций уровнем финансирования исследований. Очевидно, что при большом количестве научных организаций, ведущих исследования в области квантовых коммуникаций, возникают вопросы дублирования исследований, выбора

наиболее перспективных научных гипотез и исследовательских команд, а также комплексирования результатов исследований для достижения практического результата. В процессе решения таких вопросов происходит распределение финансирования, что может приводить к недофинансированию отдельных направлений.

Пути решения:

- Привлечение наиболее перспективных выпускников к переходу в аспирантуру и вовлечение их в научную работу;
- Выстраивание комплексного подхода к поддержке исследований с ориентацией на получение наиболее актуальных для практического применения результатов.

7.4.3 Снижение привлекательности профессии для молодёжи в связи с возможным оформлением допуска к сведениям, составляющим государственную тайну

Проблема в целом аналогична описанной в п. 7.3.4 настоящего раздела, при этом предлагаемые пути решения несколько отличаются, с учетом специфики деятельности научных организаций.

Пути решения:

- Целевая работа со студентами старших курсов по разъяснению особенностей по работе со сведениями, составляющими государственную тайну, в научных организациях;
- Работа с ВУЗами в процессе обучения, в которых студенты получают допуск к сведениям, составляющим государственную тайну.

7.5 Образовательные организации

7.5.1 Отсутствие сформированного спроса на квалифицированных специалистов в области квантовых коммуникаций

Отсутствие рынка квантовых коммуникаций приводит к отсутствию сформированного масштабного запроса на специалистов и отсутствию описания необходимых таким специалистам знаний и навыков.

Пути решения:

- Принятие федеральных государственных образовательных стандартов;
- Проблема будет нивелироваться по мере развития рынка квантовых коммуникаций.

7.5.2 Недостаток квалифицированных преподавателей, имеющих опыт работы в области квантовых коммуникаций

Новизна высокотехнологической области обуславливает малое количество специалистов, имеющих практический опыт работы с технологиями квантовых коммуникаций. Фактически безальтернативным методом решения данной проблемы является привлечение сотрудников организаций – разработчиков решений в области квантовых коммуникаций к преподавательской работе.

Пути решения:

- Выстраивание взаимодействия с организациями – разработчиками решений в области квантовых коммуникаций и привлечение ведущих специалистов к преподаванию;
- Выстраивание межвузовского взаимодействия с привлечением к чтению спецкурсов преподавателей ведущих ВУЗов, имеющих практический опыт;
- Проблема будет нивелироваться по мере развития рынка и увеличения количества специалистов, имеющих опыт работы с оборудованием, использующим технологии квантовых коммуникаций.

7.5.3 Высокий уровень зарплатных ожиданий профессорско-преподавательского состава

Основная масса дисциплин для специалистов в области квантовых коммуникаций является классическими и не связана непосредственно с квантовыми коммуникациями. Таким образом, речь идёт о привлечении преподавателей для чтения не более 10% материала от общего объёма учебных курсов. При этом очевидно, что проблема с завышенными зарплатными ожиданиями будет нивелироваться только по мере развития рынка и увеличения числа таких специалистов.

Пути решения:

- Привлечение профильных высокооплачиваемых специалистов только для чтения узкоспециализированных курсов;
- Прохождение имеющимися в ВУЗах преподавателями подготовки в области квантовых коммуникаций с целью дальнейшей адаптации их курсов с учётом тематики квантовых коммуникаций.

8. Оценка перспектив трудоустройства специалистов, обучающихся по специальностям, ориентированным на квантовые коммуникации в смежных областях

8.1 Требования к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций, предъявляемые организациями, занятыми проектированием и эксплуатацией сетей связи, основанных на принципах квантовых коммуникаций, организациями, внедряющими решения с использованием технологий квантовых коммуникаций, организациями – разработчиками аппаратных и программных решений, предназначенных для построения сетей связи с использованием технологий квантовых коммуникаций

Все организации, в том числе и организации, связанные с деятельностью в области квантовых коммуникаций, заинтересованы в компетентных сотрудниках, поскольку от этого во многом зависит эффективность деятельности организации.

Каждая организация имеет свои особенности организационной структуры, самостоятельно (в соответствии с трудовым законодательством) определяет требования к персоналу, права работника, функциональные обязанности и ответственность.

Анализ и систематизация требований к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций проводились с учётом типового разделения организаций, которые, в свою очередь, были отнесены к определенным (в рамках «Методологии оценки кадровой обеспеченности специалистами с профильным высшим и средним профессиональным образованием организаций, работающих в области квантовых коммуникаций») категориям (таблица 8.1).

В конкретном случае под категорией понимается некоторая деятельность (функция) организации, которую она осуществляет (или может осуществлять) в области квантовых коммуникаций.

Таблица 8.1 – Категории и типы организаций

Типы организаций	Категории организаций
Операторы связи	Эксплуатация решений в области квантовых коммуникаций
- Финансовые организации - Федеральные органы государственной власти - Частные организации, работающие со сведениями, составляющими государственную тайну (лицензиаты ФСБ) - Государственные корпорации и организации, находящиеся под их управлением, компании с государственным участием	Потребители решений в области квантовых коммуникаций
Предприятия-производители ПАК или элементной базы, применяемой в области квантовых коммуникаций	Производство решений в области квантовых коммуникаций
Образовательные организации высшего и среднего профессионального образования	Обучение специалистов в области квантовых коммуникаций
- Научные организации - Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы)	Разработка решений в области квантовых коммуникаций

В рамках исследований основными источниками информации являлись представленные в адрес ОАО «МАЦ» анкеты (адаптированные по представленным выше типам) от организаций, информация, полученная в ходе интервью, и информация, полученная в ходе проведения стратегических сессий от участников (экспертов).

В ходе проведения исследований предметная область была разделена по следующим направлениям:

1. Готовность организаций к приёму на работу кандидатов, обладающих различным уровнем образования.
2. Наиболее релевантные и востребованные (по категориям) направления подготовки специалистов.
3. Потребность организаций (по категориям) в компетенциях специалистов для их дальнейшей деятельности в области квантовых коммуникаций.

Готовность организаций к приему на работу кандидатов, обладающих различным уровнем образования

Анализ представленной организациями (в анкетах) информации в части готовности к рассмотрению кандидатов для приёма на работу проводился по категориям специалистов, обладающих различным уровнем образования, а именно:

- с высшим образованием;
- прошедших дополнительную подготовку (повысивших квалификацию);
- со средним специальным образованием;
- с учёной степенью (кандидат, доктор наук).

Также по каждому из указанных уровней выполнялся анализ потребности организаций в специалистах с опытом работы (или без него) в области квантовых коммуникаций.

По указанному направлению рассматривались ответы определённых категорий организаций, а именно:

- Организаций в области эксплуатации решений (далее – эксплуатанты) в области квантовых коммуникаций;
- Организаций, осуществляющих производство решений в области квантовых коммуникаций (далее – производители);
- Организаций, являющихся разработчиками решений в области квантовых коммуникаций (далее – разработчики).

В анкетах для образовательных организаций высшего образования вопрос, связанный с компетенциями специалистов, востребованных организациями, не

включался по двум причинам. Первая – для таких организаций актуальным является прием на работу специалистов-преподавателей. Требования к преподавателям включают в первую очередь наличие высшего образования, а также наличие учёной степени и (или) опыта работы по направлению. Вторая причина связана с количеством образовательных организаций высшего образования, в которых осуществляется подготовка специалистов в области квантовых коммуникаций. Предварительный анализ показал, что сейчас количество таких организаций относительно небольшое, поэтому было принято решение о проведении интервью с такими организациями.

В части разработчиков и производителей решений в области квантовых коммуникаций необходимо отметить следующее:

- технологии квантовых коммуникаций в настоящий момент достигли той стадии зрелости, когда стало возможным создавать первые промышленные образцы коммерческих продуктов, интересующих конечных пользователей;
- в настоящее время у разработчиков и производителей в области квантовых коммуникаций есть ряд решений, которые они готовы передавать в опытную эксплуатацию, и они уже это делают. На базе не менее двух организаций развернуто опытное производство решений в области квантовых коммуникаций. Серийное производство таких решений пока отсутствует.

Поскольку количество организаций – производителей решений в области квантовых коммуникаций на российском рынке относительно невелико, и производители, как правило, одновременно являются разработчиками решений в области квантовых коммуникаций, было принято решение о группировке представленной в рамках анкетирования информации от организаций производителей и разработчиков решений в области квантовых коммуникаций.

На рисунке 8.1 представлены результаты анализа информации по направлению «готовность организаций к рассмотрению кандидатов для приема на работу, обладающих различным уровнем образования».

Анализ показал, что 100% организаций разработчиков и производителей решений в области квантовых коммуникаций готовы рассматривать возможность

приёма на работу специалистов с высшим образованием. Из них 67% организаций готовы рассматривать возможность приёма специалистов, не имеющих опыта в области квантовых коммуникаций.

Данное обстоятельство свидетельствует о том, что рынок труда в этой области только формируется и, таким образом, наблюдается некоторый дефицит в специалистах с опытом работы в области квантовых коммуникаций.

Потребность организаций в специалистах, прошедших дополнительную подготовку (повысивших квалификацию), находится на уровне 89%. При этом 56% организаций готовы рассматривать возможность приёма специалистов, не имеющих опыта в области квантовых коммуникаций.

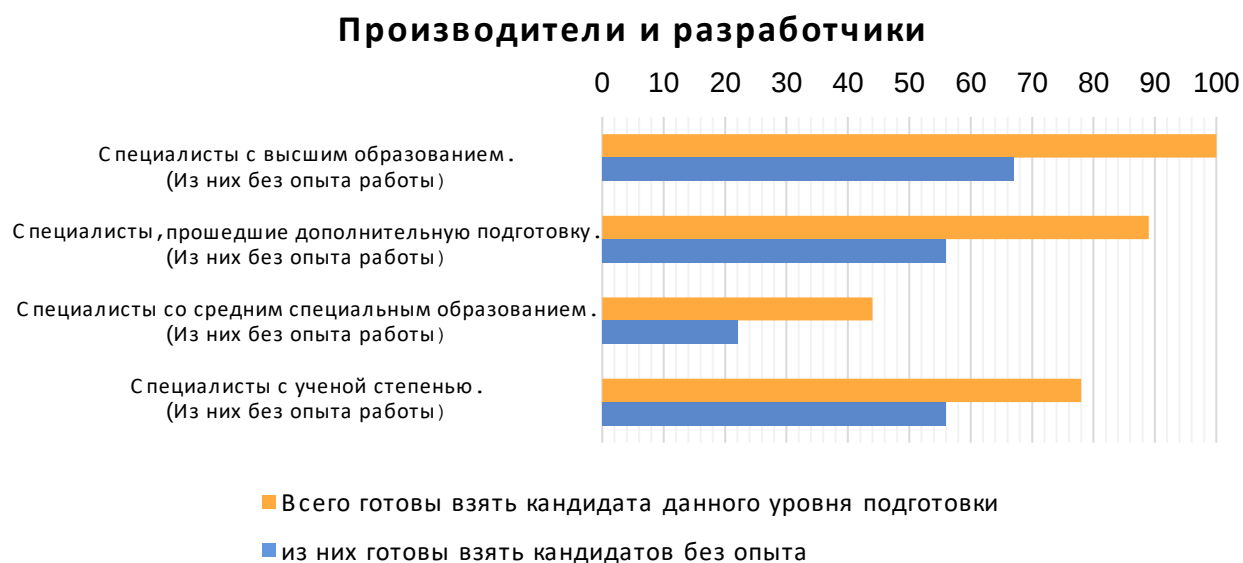


Рисунок 8.1 – Готовность организаций-производителей и разработчиков к рассмотрению кандидатов для приёма на работу, обладающих различным уровнем образования

Потребность производителей и разработчиков в специалистах, имеющих учёную степень (кандидатов, докторов наук), находится на уровне 78%.

Доля востребованных специалистов с учёной степенью без опыта работы находится на одном уровне с долей специалистов, прошедших дополнительную подготовку (без опыта работы) – 56%, это связано с тем, что в большинстве организаций штат таких специалистов уже укомплектован. Однако в ходе интервью

представителями (экспертами) организаций была подтверждена готовность к рассмотрению таких кандидатов для приёма на работу в случае появления вакансий.

Среди производителей и разработчиков значительно меньшее количество организаций, готовых рассматривать возможность приёма специалистов со средним специальным образованием (44%). Только 22% организаций готовы рассматривать возможность приёма специалистов без опыта работы. Как правило, выпускники образовательных организаций среднего профессионального образования приглашаются в такие организации для выполнения технических функций, не связанных с разработкой решений в области квантовых коммуникаций. В ходе проведения интервью с представителями организаций – разработчиков и производителей эксперты подтвердили, что специалисты со средним специальным образованием могут рассматриваться для приёма на работу, однако не являются приоритетом для таких организаций.

Под организациями-эксплуатантами понимаются организации, которые выступают в качестве владельцев (операторов) оборудования для работы с технологиями квантового шифрования информации, предназначенного для безопасной передачи информации по оптоволоконным линиям связи.

По результатам проведения анкетирования и интервью отмечается заинтересованность таких организаций, в специалистах с высшим образованием (70%). При этом только 20% организаций готовы рассматривать возможность приёма специалистов, не имеющих опыта в области квантовых коммуникаций (рисунок 8.2).

Эксплуатанты

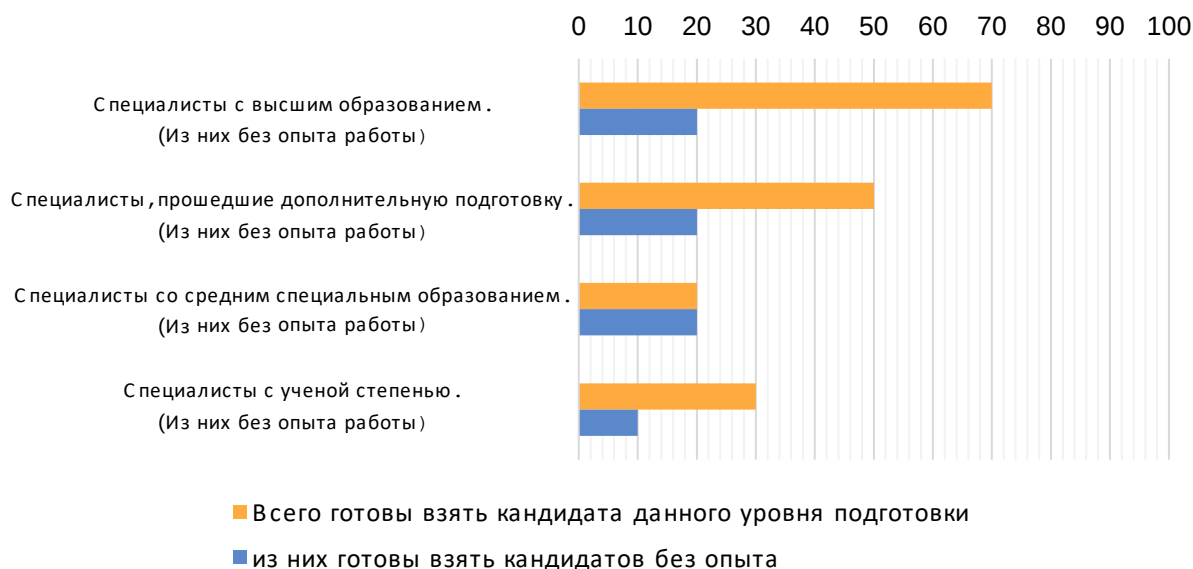


Рисунок 8.2 – Готовность организаций-эксплуатантов к рассмотрению кандидатов для приёма на работу, обладающих различным уровнем образования

Потребность организаций в специалистах, прошедших дополнительную подготовку (повысивших квалификацию), находится на уровне 50%, при этом только 20% организаций готовы рассматривать возможность приёма специалистов, прошедших дополнительную подготовку или повысивших квалификацию, без опыта работы в этой области.

В ходе проведения интервью с представителями организаций, эксплуатирующих решения в области квантовых коммуникаций, эксперты подтвердили, что организации-эксплуатанты в большинстве случаев нацелены осуществлять переподготовку (повышать квалификацию) собственных специалистов, в том числе через создаваемые в настоящее время центры компетенций по направлению «Квантовые коммуникации».

Организациям-эксплуатантам необходимы специалисты, которые обладают профильными компетенциями в области квантовых коммуникаций и могли бы передать опыт работы подчиненным специалистам (выступать в роли администраторов обучения), но при этом организации не готовы к значительным расходам на оплату труда таких специалистов.

Что касается потребности организаций-эксплуатантов в специалистах со средним специальным образованием и специалистов с учёной степенью, то такая потребность была оценена как незначительная: 20% и 30% соответственно. При этом большее количество организаций-эксплуатантов подтвердили готовность рассматривать для приёма на работу специалистов (без опыта работы) со средним образованием (20%) и меньшее (10%) специалистов с учёной степенью.

Образовательные организации высшего образования также отмечают потребность в специалистах-преподавателях. Однако следует отметить, что существует две категории профессорско-преподавательского состава, и потребность по каждой категории различная.

Первая – это специалисты-преподаватели с компетенциями в области фундаментальных дисциплин. Для таких специалистов опыт работы в области квантовых коммуникаций приветствуется, однако не является обязательным условием для обучения будущих специалистов в рамках читаемых дисциплин. В настоящее время образовательные организации высшего образования не отмечают острой нехватки в специалистах данной категории.

Вторая – это специалисты-преподаватели (преподаватели) в области прикладных дисциплин, связанных с областью квантовых коммуникаций. Одним из требований к компетенциям таких преподавателей является опыт работы в предметной области (опыт разработки прикладных решений, проведения исследований в области квантовых коммуникаций). В настоящее время таких преподавателей ограниченное количество, поэтому потребность в таких специалистах со стороны образовательных организаций высшего образования высокая. По итогам проведённой ОАО «МАЦ» стратегической сессии эксперты от образовательных организаций подтвердили, что учебное заведение, в котором есть такие преподаватели, является «компетентным» в данной области.

Таким образом, в настоящий момент существует незначительный дефицит в профессорско-преподавательском составе с компетенциями в области фундаментальных дисциплин. Вместе с тем, в настоящее время образовательные организации больше ориентированы на преподавателей, которые вместе с образовательной деятельностью ведут научные разработки, имеют возможность практической демонстрации технических устройств и оборудования в предметной области. Организации отмечают дефицит именно в таких преподавателях.

Со стороны образовательных организаций среднего профессионального образования была также подтверждена потребность в преподавателях с опытом работы. В частности, преподаватель в области квантовых коммуникаций – это специалист с высшим техническим (в области физики, ядерной физики и т.д.) образованием. Опыт работы важен, поскольку позволяет преподавателю объяснять теорию с приведением (представлением) конкретных примеров, объяснять физику процессов, проводить опыты.

Пополнение количества (штата) преподавателей в области квантовых коммуникаций может проводиться за счёт специалистов-преподавателей, читающих дисциплины, связанные с телекоммуникационными сетями связи, с учётом дополнительной подготовки таких специалистов в предметной области.

Наиболее релевантные и востребованные организациями (по категориям) направления подготовки специалистов (выпускников образовательных организаций) в области квантовых коммуникаций

В ходе работ по обработке информации, представленной в анкетах, и систематизации данных, полученных из интервью, был выделен ряд ролей специалистов, определяемых экспертами организаций (по категориям организаций) как востребованные, значимые в области квантовых коммуникаций, и по которым необходима специальная (дополнительная) подготовка в предметной области, а именно:

- Разработчики решений в области квантовых коммуникаций (организации, которые реализуют научно-исследовательские работы в предметной области):

Роль 1 – Руководитель различного уровня (Team leader).

Роль 2 – Исследователь-теоретик.

Роль 3 – Экспериментатор.

Роль 4 – Лаборант.

- Другие организации – разработчики решений и производители (реализуют опытно-конструкторские работы):

Роль 1 – Руководитель (Team leader).

Роль 2 – «Архитектор» решений.

Роль 3 – Инженер, технолог, экспериментатор.

Роль 4 – Специалист по развитию бизнеса, маркетингу.

Роль 5 – Специалист по информационной безопасности.

- Организации, эксплуатирующие решения, использующие технологии в области квантовых коммуникаций (операторы связи, эксплуатанты):

Роль 1 – Консультант организаций эксплуатантов (эксперт).

Роль 2 – Системный администратор.

Роль 3 – Специалист по продажам (sales manager).

Роль 4 – Рабочий персонал.

- Образовательные организации высшего и среднего профессионального образования:

Роль 1 – Преподаватель.

Роль 2 – Лаборант.

Указанные выше роли не являются фиксированными в рамках одной категории организации. Например, если организация (разработчик) осуществляет только исследовательскую деятельность в области квантовых коммуникаций, то такой организации актуальными будут роли, представленные выше по первому направлению. Однако итоги проведенных стратегических сессий показывают, что разработчики, как правило, имеют в штате специалистов с широким спектром функциональных компетенций. Специалисты могут проводить исследования в предметной области, осуществлять опытно-конструкторскую деятельность, координировать деятельность соисполнителей, участвующих в выполнении работ с другими организациями, обрабатывать и анализировать научно-техническую информацию и результаты исследований, и многие другие трудовые функции.

В таблице 8.2 представлено соотнесение некоторых ролей специалистов в области квантовых коммуникаций с трудовыми функциями, определенными в существующих профессиональных стандартах.

По другим ролям (не представленным выше), для которых не нужна подготовка в области квантовых коммуникаций, принято, что таких специалистов на рынке достаточное количество, и образовательные организации высшего образования удовлетворяют потребность рынка. К таким ролям относятся, например, для организаций, эксплуатирующих решения в области квантовых

коммуникаций: персонал, не задействованный непосредственно в работе с оборудованием в области квантовых коммуникаций; для организаций разработчиков и производителей решений – программисты, специалисты, работающие в смежных подразделениях (бухгалтерия, финансы, логистика и т. д.).

Таблица 8.2 – Соотнесение некоторых ролей специалистов в области квантовых коммуникаций с трудовыми функциями, определенными в существующих профессиональных стандартах

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
Организации проводящие исследования			
Роль 1 – Руководитель различного уровня (Team leader).	«Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» (Утвержден Приказом Минтруда России от 12.12.2016 № 727н) (далее Специалист по НИОКР)	Осуществление научного руководства в соответствующей области знаний (7)	- Формирование новых направлений научных исследований и опытно-конструкторских разработок - Подготовка и осуществление повышения квалификации кадров высшей квалификации в соответствующей области знаний - Координация деятельности соисполнителей, участвующих в выполнении работ с другими организациями
Роль 2 – Исследователь - теоретик научной организации.	Специалист по НИОКР	Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по тематике организации (6)	- Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам - Управление результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ
Роль 3 – Экспериментатор научной организации.	Специалист по НИОКР	Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при исследовании самостоятельных тем (6)	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований
Роль 4 – Лаборант	-	Минимально допустимый уровень квалификации (5)	-

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
<i>Организации разработчики решений и производители</i>			
Роль 1 – Руководитель (Team leader).	Специалист по НИОКР	Осуществление научного руководства в соответствующей области знаний (7)	- Формирование новых направлений научных исследований и опытно-конструкторских разработок - Подготовка и осуществление повышения квалификации кадров высшей квалификации в соответствующей области знаний - Координация деятельности соисполнителей, участвующих в выполнении работ с другими организациями - Определение сферы применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ
Роль 2 – «Архитектор» решений.	Специалист по проектному управлению в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий (Утвержден Приказом Минтруда России от 25.09.2014 № 658н)	Администрирование стадий управления проектами в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий (6) Руководство управлением проектами в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий на всех стадиях проекта (7)	- Проработка и планирование проекта разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий - Организация и контроль выполнения проекта в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий - Мониторинг выполнения проекта в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			• Ведение документооборота проекта в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий • Инициирование проекта в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий • Планирование стадий и составляющих проекта разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий • Руководство управлением реализации в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий • Анализ и регулирование выполнения проекта в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий • Закрытие проекта в области разработки и постановки производства полупроводниковых

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			приборов и систем с использованием нанотехнологий
Роль 3 – Инженер, технолог, экспериментатор	Специалист по НИОКР	Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при исследовании самостоятельных тем (6)	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований
Роль 4 – Специалист по развитию бизнеса, маркетингу.	-	Минимально допустимый уровень квалификации (6)	-
Роль 5 – Специалист по информационной безопасности.	Специалист по защите информации в телекоммуникационных системах и сетях (Утвержден Приказом Минтруда России от 03.11.2016 № 608н)	Обеспечение функционирования средств связи сетей связи специального назначения (6) Обеспечение защиты средств связи сетей связи специального назначения от НСД (7)	- Установка средств связи сетей связи специального назначения, включая средства криптографической защиты информации (СКЗИ) - Обеспечение бесперебойной работы средств связи сетей связи специального назначения, включая СКЗИ - Ведение специального делопроизводства и технических документов в процессе эксплуатации средств связи сетей связи специального назначения, включая СКЗИ - Организация функционирования сетей связи специального назначения и их средств связи - Проведение НИОКР в сфере разработки сетей связи специального назначения и их средств связи, включая СКЗИ - Контроль защищенности от НСД и

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			функциональности сетей связи специального назначения - Управление рисками систем защиты сетей электросвязи от НСД - Управление отношениями с поставщиками и потребителями программных, программно-аппаратных (в том числе криптографических) и технических средств и систем защиты СССЭ от НСД - Управление отношениями с регуляторами в сфере защиты информации
Роль 6 – Технический персонал / вспомогательный персонал (лаборант)	-	Сборка моделей новых схмотехнических решений для систем квантовых коммуникаций, сборка, испытания и настройка опытных образцов оборудования и приборов систем квантовых коммуникаций (5) / Материально-техническое обеспечение процессов и входной контроль качества элементной базы и конструктивных изделий для сборки оборудования и приборов систем квантовых коммуникаций (5)	- Осуществление сборки моделей новых схмотехнических решений для систем квантовых коммуникаций - Осуществление сборки опытных образцов оборудования, приборов и систем квантовых коммуникаций - Проведение испытаний и настройки моделей новых схмотехнических решений и опытных образцов оборудования, приборов и систем квантовых коммуникаций - Документирование результатов сборки, испытаний и настройки оборудования систем квантовых коммуникаций - Определение соответствия предложений предложений элементной базы и

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			конструктивных изделий, предназначенных для сборки опытных образцов оборудования, требованиям технической документации - Оформление заявок на материалы, комплектующие и оборудование, необходимые для проведения разработки оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций, сборки новых схмотехнических решений для систем квантовых коммуникаций, сборки, испытаний и настройки опытных образцов оборудования и приборов систем квантовых коммуникаций - Входной контроль элементной базы и конструктивных изделий, предназначенных для сборки опытных образцов оборудования на предмет соответствия требованиям технической документации - Документирование результатов входного контроля и претензионная работа по вопросам качества элементной базы и конструктивных изделий
Организации эксплуатирующие решения			
Роль 1 – Консультант организаций эксплуатантов.	-	Минимально допустимый уровень квалификации (6)	-

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
Роль 2 – Системный администратор.	Системный администратор информационно-коммуникационных систем (Утвержден Приказом Минтруда России от 29.09.2020 № 680н)	Обслуживание сетевых устройств информационно-коммуникационной системы (6)	- Выполнение работ по выявлению и устранению сложных инцидентов, возникающих на сетевых устройствах информационно-коммуникационных систем - Проведение анализа и выявление основных причин сложных проблем, возникающих на сетевых устройствах информационно-коммуникационных систем - Разработка планов резервного копирования, архивирования и восстановления конфигураций сетевых устройств информационно-коммуникационных систем - Планирование изменений сетевых устройств информационно-коммуникационных систем предметными специалистами из других областей - Выполнение обновления программного обеспечения сетевых устройств информационно-коммуникационных систем - Прогнозирование влияния внешних и внутренних воздействий на поведение сетевых устройств информационно-коммуникационной системы - Прогнозирование потребности в

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			изменении объемов ресурсов, необходимых для обеспечения бесперебойной работы сетевых устройств информационно-коммуникационных систем - Планирование и проведение работ по распределению нагрузки между имеющимися ресурсами, снятию нагрузки на сетевые устройства информационно-коммуникационных систем перед проведением регламентных работ, восстановлению штатной схемы работы в случае сбоев - Определение потребностей в приобретении специализированных средств контроля и тестирования сетевых устройств информационно-коммуникационных систем
Роль 3 – Специалист по продажам (sales manager).	-	Минимально допустимый уровень квалификации (6)	
Роль 4 – Рабочий персонал.	Специалист по монтажу телекоммуникационного оборудования (Утвержден Приказом Минтруда России от 17.11.2020 № 791н)	Выполнение подготовительных работ по монтажу телекоммуникационного оборудования (3) Выполнение работ по монтажу телекоммуникационного оборудования (4) Комплексная проверка монтажа телекоммуникационной системы (5)	- Приемка телекоммуникационного оборудования на монтажной площадке с проверкой его соответствия документам - Подготовка оборудования, узлов и деталей телекоммуникационного оборудования к монтажу в соответствии с рабочей документацией и/или

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			схемой организации связи • Монтаж телекоммуникационных кабелей • Монтаж телекоммуникационной арматуры (установочных изделий) • Монтаж телекоммуникационного оборудования в несущие системы • Монтаж оборудования систем передачи • Проверка смонтированного телекоммуникационного кабеля • Проведение электрических испытаний смонтированного телекоммуникационного оборудования, преднастройка телекоммуникационного оборудования для обеспечения удаленного управления оборудованием • Контроль монтажа оборудования систем передачи
Образовательные организации высшего и среднего профессионального образования			
Роль 1 – Преподаватель	Приказ Минтруда России от 08.08.2015 № 608н (в настоящее время документ утратил силу)	Минимально допустимый уровень квалификации (7)	-
Роль 2 – Лаборант	-	Минимально допустимый уровень квалификации (5)	-

В таблице 8.2 также представлено экспертное мнение по минимально допустимым уровням квалификации по ролям специалистов. Показатели уровней квалификации представлены далее в рамках настоящего раздела, в таблице 8.4.

Представленная в таблице 8.2 информация в части ролей специалистов, обобщенных трудовых функций, была представлена широкому экспертному сообществу в рамках проведенных стратегических сессий. Данные предложения были одобрены экспертами Совета по профессиональным квалификациям в области телекоммуникаций, почтовой связи и радиотехники (СПК связи). Общие позиции экспертов СПК связи следующие:

- текущее представление трудовых функций может быть принято в качестве общего ориентира для разработки новых профессиональных стандартов;
- прослеживается тесная взаимосвязь ролей специалистов в области квантовых коммуникаций, с трудовыми функциями в разрабатываемых проектах новых профессиональных стандартов;
- проекты разрабатываемых новых профессиональных стандартов в области квантовых коммуникаций не закрывают части ролей ряда организаций по исследуемым категориям. Данное обстоятельство обуславливает необходимость продолжения работы над профессиональными стандартами, с учетом выполненных исследований в предметной области.

Некоторые, наиболее подходящие для работы в области квантовых коммуникаций направления подготовки специалистов (выпускников образовательных организаций) в привязке к ролям и категориям организаций представлены в таблице 8.3.

Направления подготовки специалистов учитывают:

- ✓ Данные, указанные в статистической отчетности Министерства науки и высшего образования (по форме №1-ПК, раздел 2) «Сведения о приеме, численности студентов и выпускнике бакалавров, специалистов, магистров»;
- ✓ Информацию, которая была представлена на стратегической сессии №5, от 11 ноября 2021 г. (в рамках направления «Верификация перечня специальностей, востребованных в области квантовых коммуникаций»).

Направления подготовки специалистов являются релевантными данным, указанным в таблице «Оценка перекрестного использования специалистов между

предметными областями и востребованные организациями осуществляющих деятельность в области квантовых технологий» (раздел 3 отчета, таблица 3.2) и учитывают наименования специальностей в рамках, реализуемых образовательными организациями высшего образования образовательных программ (далее – ОП) специалитета, магистратуры и аспирантуры, а также информацию, полученную в ходе интервью с представителями организаций среднего профессионального образования. Также в таблице систематизирована полученная от организаций информация по функциональным обязанностям специалистов и опыту работы.

Таблица 8.3 – Наиболее подходящие направления подготовки специалистов (выпускников образовательных организаций)

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
Роль1 Руководитель (Team leader) организации, проводящей исследования		
Планирование, определение приоритетных направлений работы, оперативное управление, первичная оценка полученных результатов, внешние коммуникации, ответственность за результат исследований (разработок).	- Наличие степени кандидата или доктора наук, или высшего профильного для области исследования образования. - Наличие опыта научной и исследовательской работы в области квантовых коммуникаций, наличие управленческого опыта.	ОП магистратуры и специалитета Математика (01.04.00) - Прикладная математика и информатика - Механика и математическое моделирование Математика и компьютерные науки (02.04.00) - Фундаментальная информатика и информационные технологии Прикладные математика и физика (03.04.00) - Физика Информатика и вычислительная техника (09.04.01) - Прикладная информатика - Программная инженерия Информационная безопасность (10.04.01) Радиотехника (11.04.00) - Инфокоммуникационные технологии и системы связи ОП аспирантуры Математика и механика (01.06.00) Физика и астрономия (03.06.00) Химия (04.06.00) Технические науки - Электроника, радиотехника и системы связи - Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии - Физико-технические науки и технологии - Технологии материалов - Управление в технических системах - Нанотехнологии и наноматериалы

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
Роль 2 Исследователь - теоретик		
Непосредственная работа над предметом исследования, выработка и проверка гипотез, производство расчетов, постановка задач на проведение экспериментов, анализ и обобщение полученных результатов, поиск информации и работа с ней.	- Наличие степени кандидата или доктора наук, профильного для области исследования высшего образования. - Наличие опыта научной и исследовательской работы в области квантовых коммуникаций или смежных областях.	ОП магистратуры и специалитета <i>Математика (01.04.00)</i> - Механика и математическое моделирование - Прикладная математика <i>Прикладные математика и физика (03.04.00)</i> - Физика <i>Математика и компьютерные науки (02.04.00)</i> - Фундаментальная информатика и информационные технологии <i>Информатика и вычислительная техника (09.04.00)</i> - Информационные системы и технологии <i>Радиотехника (11.04.00)</i> - Конструирование и технология электронных средств <i>Фундаментальная и прикладная физика (03.05.02)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.00.00)</i> - Прикладная математика и информатика - Математика - Механика и математическое моделирование - Прикладная математика - Статистика <i>Физика и астрономия (03.00.00)</i> - Прикладные математика и физика - Физика - Радиофизика <i>Химия (04.00.00)</i> <i>Компьютерные и информационные науки (02.00.00)</i> - Математика и компьютерные науки - Фундаментальная информатика и информационные технологии - Математическое обеспечение и администрирование информационных систем Инженерные и технические науки - Информационная безопасность - Техническая физика - Технологии материалов - Электроника и нанoeлектроника - Конструирование и технология электронных средств - Фотоника и оптоинформатика - Ядерные физика и технологии - Нанотехнологии и микросистемная техника - Наноинженерия - Наносистемы и наноматериалы

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		Стандартизация и метрология
Роль 3 Экспериментатор научной организации		
Участие в исследовании, поддержка работы исследователей-теоретиков, разработка и проведение экспериментов, подготовка материально-технической базы	- Наличие профильного для выполняемой в команде роли, высшего образования. - Желательно наличие опыта для выполняемой в команде роли. Могут привлекаться специалисты без профильного опыта работы.	ОП магистратуры и специалитета <i>Радиотехника (11.04.00)</i> - Электроника и нанoeлектроника <i>Приборостроение (12.04.01)</i> - Фотоника и оптоинформатика - Лазерная техника и лазерные технологии <i>Техническая физика (16.04.01)</i> <i>Материаловедение и технологии материалов (22.04.01)</i> <i>Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения (12.05.01)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.00.00)</i> - Прикладная математика и информатика - Механика и математическое моделирование - Прикладная математика - Статистика <i>Физика и астрономия (03.00.00)</i> - Прикладная математика и физика - Физика - Радиофизика <i>Химия (04.00.00)</i> - Химия, физика и механика материалов <i>Компьютерные и информационные науки (02.00.00)</i> - Математика и компьютерные науки - Фундаментальная информатика и информационные технологии - Математическое обеспечение и администрирование информационных систем Инженерные и технические науки - Радиотехника - Инфокоммуникационные технологии и системы связи - Конструирование и технология электронных средств - Электроника и нанoeлектроника - Приборостроение - Оптотехника - Фотоника и оптоинформатика - Лазерная техника и лазерные технологии - Ядерная физика и технологии - Технологические машины и оборудование - Автоматизация технологических процессов и производств - Техническая физика - Химическая технология

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		- Материаловедение и технологии материалов - Нанотехнологии и микросистемная техника - Наноматериалы - Наносистемы и наноматериалы
Роль 1 Руководитель (Team leader) разработчиков и производителей		
Принятие управленческих и продуктовых решений, планирование, формирование ТЗ, определение приоритетных направлений работы, оперативное управление, внешние коммуникации, ответственность за результат исследования/разработки и.	- Обязательно наличие высшего профильного образования (преимущественно в области телекоммуникаций или информационной безопасности), прохождение дополнительной глубокой подготовки в области квантовых коммуникаций. - Наличие опыта работы в области телекоммуникаций, информационной безопасности или R&D в области квантовых технологий, навыки ведения переговоров, понимание рынка и направлений развития в области телекоммуникаций и информационной безопасности.	ОП магистратуры и специалитета Математика (01.04.00) - Механика и математическое моделирование - Прикладная математика Прикладные математика и физика (03.04.00) - Физика Математика и компьютерные науки (02.04.00) - Фундаментальная информатика и информационные технологии Информационные системы и технологии (09.04.02) Фундаментальная и прикладная физика (03.05.02) ОП аспирантуры Математика и механика (01.06.00) - Математика и механика - Статистика Физика и астрономия (03.06.00) - Физика и астрономия Химия (04.06.00) - Химические науки - Информатика и вычислительная техника Технические науки - Информационная безопасность - Электроника, радиотехника и системы связи - Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии - Физико-технические науки и технологии - Технологии материалов - Управление в технических системах - Нанотехнологии и наноматериалы
Роль 2 (Архитектор решений) разработчиков и производителей		
Разработка облика продукта, проектирование, участие в формировании технического задания, расчет параметров, разработка документации, формирование задания	- Желательно наличие степени кандидата наук, обязательно наличие высшего профильного образования. - Наличие опыта разработки в области систем связи, вычислительной	ОП магистратуры и специалитета Прикладные математика и физика (03.04.00) - Физика Математика и компьютерные науки (02.04.00) - Фундаментальная информатика и информационные технологии Информатика и вычислительная техника (09.04.00)

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
на изготовление опытных образцов, участие в опытной эксплуатации.	техники или радиоэлектроники.	- Информационные системы и технологии <i>Радиотехника (11.04.00)</i> - Электроника и нанoeлектроника - Конструирование и технология электронных средств - Инфокоммуникационные технологии и системы связи <i>Информационная и вычислительная техника (09.04.00)</i> - Информационные системы и технологии - Программная инженерия <i>Химия (04.04.01)</i> - Химия, физика и механика материалов <i>Фундаментальная и прикладная физика (03.05.02)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.00.00)</i> - Прикладная математика и информатика - Математика - Механика и математическое моделирование - Прикладная математика - Статистика <i>Физика и астрономия (03.00.00)</i> - Прикладная математика и физика - Физика - Радиофизика <i>Компьютерные и информационные науки (02.00.00)</i> - Математика и компьютерные науки - Фундаментальная информатика и информационные технологии - Математическое обеспечение и администрирование информационных систем Инженерные и технические науки - Радиотехника - Инфокоммуникационные технологии и системы связи - Конструирование и технология электронных средств - Электроника и нанoeлектроника - Приборостроение - Оптотехника - Фотоника и оптоинформатика - Лазерная техника и лазерные технологии - Автоматизация технологических процессов и производств - Техническая физика - Материаловедение и технологии материалов - Управление в технических системах - Стандартизация и метрология

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		- Нанотехнологии и микросистемная техника - Наноинженерия - Наносистемы и наноматериалы
Роль 3 Инженер, технолог, экспериментатор разработчиков и производителей		
Комплектование и сборка опытных образцов, проведение экспериментов и опытной эксплуатации, поддержка работы разработчиков (архитекторов), увязка разрабатываемых образцов со сторонними решениями.	- Обязательно наличие высшего профильного образования (преимущественно инженерного). - Наличие опыта работы в области связи, телекоммуникаций, вычислительной техники или радиоэлектроники.	ОП магистратуры и специалитета Математика (01.04.00) Прикладные математика и физика (03.04.00) Радиотехника (11.04.00) - Электроника и нанoeлектроника Приборостроение (12.04.01) - Фотоника и оптоинформатика - Лазерная техника и лазерные технологии Техническая физика (16.04.01) Материаловедение и технологии материалов (22.04.01) Информационная безопасность телекоммуникационных систем (10.05.02) Информационная безопасность автоматизированных систем (10.05.03) Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения (12.05.01) ОП аспирантуры Математика и механика (01.00.00) - Прикладная математика и информатика Физика и астрономия (03.00.00) - Прикладные математика и физика - Физика - Радиофизика Химия (04.00.00) - Химия, физика и механика материалов Компьютерные и информационные науки (02.00.00) - Математика и компьютерные науки - Фундаментальная информатика и информационные технологии - Математическое обеспечение и администрирование информационных систем Инженерные и технические науки - Информационная безопасность - Техническая физика - Материаловедение и технологии материалов - Электроника и нанoeлектроника - Программная инженерия - Инфокоммуникационные технологии и системы связи - Конструирование и технология электронных средств - Приборостроение - Оптотехника - Фотоника и оптоинформатика

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		- Лазерная техника и лазерные технологии - Прикладная механика - Автоматизация технологических процессов и производств - Техническая физика - Материаловедение и технологии материалов - Организация и управление наукоемкими производствами - Нанотехнологии и микросистемная техника - Наноинженерия - Наносистемы и наноматериалы
Роль 4 Развитие бизнеса, маркетинг разработчиков и производителей		
Внешние коммуникации, выстраивание партнерских отношений, продвижение продуктов и технологии, продажи, ведение клиентов	- Обязательно наличие высшего профильного образования (преимущественно инженерного), прохождение курса подготовки в рамках компании по, включая получение базовых знаний в области квантовых коммуникаций. - Наличие опыта продаж, продвижения высокотехнологичных продуктов, ведения переговоров, понимание рынка телекоммуникаций и информационной безопасности.	ОП магистратуры и специалитета Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также: <i>Информационная безопасность (10.04.01)</i> <i>Компьютерная безопасность (10.05.01)</i> - Информационная безопасность телекоммуникационных систем <i>Радиоэлектронные системы и комплексы (11.05.01)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.00.00)</i> - Прикладная математика и информатика - Механика и математическое моделирование - Прикладная математика - Статистика <i>Физика и астрономия (03.00.00)</i> - Прикладные математика и физика - Физика - Радиофизика <i>Химия (04.00.00)</i> - Химия, физика и механика материалов <i>Компьютерные и информационные науки (02.00.00)</i> - Математика и компьютерные науки - Фундаментальная информатика и информационные технологии - Математическое обеспечение и администрирование информационных систем <i>Экономика (38.06.00)</i> Инженерные и технические науки - Все инженерные специальности
Роль 5 Информационная безопасность разработчиков и производителей		
Участие в разработке решений, сертификация	Обязательно наличие высшего образования в информационной безопасности, прохождение	ОП магистратуры и специалитета Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также: <i>Информационная безопасность (10.04.01)</i> <i>Компьютерная безопасность (10.05.01)</i>

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
	дополнительной подготовки в области квантовых коммуникаций Наличие опыта взаимодействия с регулятором, работы в области телекоммуникаций, информационной безопасности, понимание рынка и направлений развития в области телекоммуникаций и информационной безопасности.	<i>Радиоэлектронные системы и комплексы (11.05.01)</i> <i>Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи (11.05.04)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.00.00)</i> - Прикладная математика и информатика - Математика - Механика и математическое моделирование - Прикладная математика - Статистика <i>Физика и астрономия (03.00.00)</i> - Прикладная математика и физика - Физика - Радиофизика <i>Компьютерные и информационные науки (02.00.00)</i> - Математика и компьютерные науки - Фундаментальная информатика и информационные технологии - Математическое обеспечение и администрирование информационных систем Инженерные и технические науки - Информационная безопасность - Информатика и вычислительная техника - Информационные системы и технологии - Программная инженерия - Техническая физика - Инфокоммуникационные технологии и системы связи - Радиотехника
Роль 1 Консультант организации, эксплуатирующей решения в области квантовых коммуникаций (эксплуатанты)		
Для развития и поддержки сетей квантовых коммуникаций рассматривается возможность создание операторами связи и крупными потребителями, имеющими свои территориально распределенные ЦОДы, экстерриториальных центров компетенций, включающих высококвалифицированных специалистов в области квантовых	- профильного образования (преимущественно в области телекоммуникаций или информационной безопасности), прохождение дополнительной глубокой подготовки в области квантовых коммуникаций. - Наличие опыта работы в области телекоммуникаций, информационной безопасности или R&D в области квантовых	ОП магистратуры и специалитета Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также: <i>Математика (01.04.00)</i> - Прикладная математика и информатика <i>Радиотехника (11.04.00)</i> <i>Информационная безопасность (10.04.01)</i> <i>Компьютерная безопасность (10.05.01)</i> <i>Радиоэлектронные системы и комплексы (11.05.01)</i> <i>Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи (11.05.04)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.00.00)</i> <i>Физика и астрономия (03.00.00)</i> <i>Компьютерные и информационные науки (02.00.00)</i>

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
коммуникаций и инженеров. (Численностью от 3 до 10 человек)	технологий, навыки ведения переговоров, понимание рынка и направлений развития в области телекоммуникаций и информационной безопасности.	Инженерные и технические науки (согласно роли 2 разработчиков и производителей)
Роль 2 Системный администратор организации, эксплуатирующей решения в области квантовых коммуникаций (эксплуатанты)		
Специалисты, отвечающие за работу ЦОД или внутренних сетей операторов связи или крупных потребителей. Требуется наличие профильного высшего образования и переподготовки в области квантовых коммуникаций.	- Обязательно наличие высшего образования в информационной безопасности, прохождение дополнительной подготовки в области квантовых коммуникаций - Наличие опыта взаимодействия с регулятором, работы в области телекоммуникаций	ОП магистратуры и специалитета Все указанные ниже ОП аспирантуры, а также: <i>Информатика и вычислительная техника (09.04.00)</i> <i>Радиотехника (11.04.00)</i> <i>Информационная безопасность (10.04.01)</i> <i>Компьютерная безопасность (10.05.01)</i> <i>Радиоэлектронные системы и комплексы (11.05.01)</i> <i>Инфокоммуникационные технологии системы специальной связи (11.05.04)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.00.00)</i> <i>Физика и астрономия (03.00.00)</i> <i>Комп. и информационные науки (02.00.00)</i> Инженерные и технические науки (согласно роли 3 разработчиков и производителей)
Роль 3 Специалист по продажам организации, эксплуатирующей решения в области квантовых коммуникаций (эксплуатанты)		
Сотрудники операторов связи, принимающие участие в построении и эксплуатации сетей. Планируется переподготовка таких специалистов без отрыва от исполнения основной трудовой функции через корпоративные программы обучения или с привлечением производителей оборудования.	- Внешние коммуникации, выстраивание партнерских отношений, продвижение продуктов и технологии, продажи, ведение клиентов. - Обязательно наличие высшего профильного образования, прохождение курса подготовки в рамках компании по, включая получение базовых знаний в области квантовых коммуникаций.	Может иметь компетенции и быть подготовленным по любой образовательной программе бакалавриата, специалитета, магистратуры, аспирантуры.

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
Роль 4 Рабочий персонал организации, эксплуатирующей решения в области квантовых коммуникаций (эксплуатанты)		
Сотрудники операторов связи, которые (как планируется) будут задействованы в продаже услуг сетей КК по сервисной модели. Требуется базовое техническое образование, опыт продаж и базовая переподготовка в области квантовых коммуникаций.	Наличие опыта работы в области связи, телекоммуникаций.	Может иметь компетенции и быть подготовленным в рамках среднего профессионального образования в области связи, телекоммуникаций или по другим смежным образовательным программам.

Таким образом, можно сделать ряд выводов:

- Роль руководителя различного уровня в научных организациях и роли руководителей других организаций разработчиков решений и производителей в целом схожи, однако обладают рядом различий. В частности, руководитель в научной организации выполняет следующие трудовые функции (например):
 - разрабатывает стратегию решения задач исследовательского и проектного характера;
 - принимает участие в формировании повестки проводимых научной организацией исследований;
 - ставит задачи развития технологий производства оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций, пути и средства их реализации (и другие функции). Поэтому, такому специалисту требуются направления подготовки, которые бы включали фундаментальные науки.
- Руководитель в другой организации разработчиков решений и производителей, которая вместе с исследованиями и разработками выполняет функцию реализации и продвижения продуктов (товаров, услуг), выполняет функции (например):
 - формирует и распределяет ресурсы для осуществления исследовательской деятельности;
 - формирует график финансирования проектных и экспериментальных работ в области квантовых коммуникаций;

- координирует работы по оптимизации технологических процессов производства оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций, путей и средств их реализации с учетом требований систем менеджмента;
- оценивает возможность запуска производства оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций, путей и средств их реализации на основе разработанной технологии и технологической базы;
- определяет сроки и порядок модернизации средств производства и подготовки выпуска новых решений (и другие функции). Таким специалистам требуются направления подготовки, которые бы включали прикладные науки.
- Специалист по продажам организации, эксплуатирующей решения в области квантовых коммуникаций, а именно организации-оператора связи, может иметь компетенции и быть подготовленным по любой образовательной программе бакалавриата, специалитета, магистратуры, аспирантуры. Опыт работы таких специалистов также востребован, преимущественно в части выстраивания партнерских отношений, продвижения продуктов и технологий, продажи и «ведения» клиентов.
- Специалисты со средним специальным образованием (рабочий персонал организации) с опытом работы в области связи, телекоммуникаций будут востребованы организациями, эксплуатирующими решения в области квантовых коммуникаций. Однако специалистам без опыта работы в области квантовых коммуникаций (со средним специальным образованием), необходима дополнительная подготовка (повышение квалификации).

Одним из результатов анализа анкет организаций разработчиков и производителей является распределение потребности в специалистах, которые могут работать в области фундаментальных исследований, прикладных исследований, а также в области производства (рисунок 8.3).



Рисунок 8.3 – Долевое распределение потребностей в специалистах по компетенциям

Представленное на рисунке 8.3 распределение потребностей в специалистах показывает, что основными направлениями подготовки в области квантовых коммуникаций являются математика, квантовая физика, оптика и фотоника (для организаций разработчиков решений в области квантовых коммуникаций, которые также проводят фундаментальные исследования).

Далее представлена востребованность организаций разработчиков в специалистах, работающих в области прикладных исследований и разработок. Здесь спектр необходимых для организаций компетенций специалистов значительно шире. Это электроника, связь и телекоммуникации, программирование, математика, оптика и фотоника, квантовая физика, информационная безопасность, управление и администрирование и другие направления, которые отмечались организациями, однако имеют меньшую частотность упоминаний могли не быть указаны на рисунке 8.3.

Далее указано долевое распределение востребованных специалистов в области производства. Это специалисты в области электроники, связь и телекоммуникации, оптика, фотоника, программирование, информационная безопасность, управление и администрирование. Количество направлений подготовки также велико, и на рисунке указаны направления, наиболее часто отмечавшиеся экспертами.

Потребность (организаций по категориям) в компетенциях специалистов для их дальнейшей деятельности в области квантовых коммуникаций

Ранее (в таблице 8.1) отмечались категории организаций, в рамках которых выполнялся анализ анкет и интервью экспертов представителей этих организаций. В частности, были выделены категории, по которым были сформирована информация, характеризующая потребность организаций в компетенциях специалистов.

В рамках подраздела систематизированы результаты анализа 40 анкет, а также результаты интервьюирования представителей более 10 организаций. Указаны предполагаемые (с учетом выполненных исследований) уровни квалификации востребованных специалистов в области квантовых коммуникаций. Показатели уровней квалификации представлены в таблице 8.4 [81] и соответствуют показателям, утвержденным Приказом Минтруда России от 12.04.2013 № 148н «Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов».

Таблица 8.4 – Показатели уровней квалификации

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
1.	Деятельность под руководством. Индивидуальная ответственность	Выполнение стандартных заданий (обычно физический труд)	Применение элементарных фактических знаний и (или) ограниченного круга специальных знаний	Краткосрочное обучение или инструктаж Практический опыт
2.	Деятельность под руководством с элементами самостоятельности при выполнении знакомых заданий Индивидуальная ответственность	Выполнение стандартных заданий Выбор способа действия по инструкции Корректировка действий с учетом условий их выполнения	Применение специальных знаний	Основные программы профессионального обучения программы профессиональной подготовки по профессиям рабочих, должностям служащих, программы переподготовки рабочих, служащих (как правило, не менее 2 месяцев) Практический опыт
3.	Деятельность под руководством с	Решение типовых	Понимание технологических	Основные программы профессионального

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
	проявлением самостоятельности при решении типовых практических задач Планирование собственной деятельности, исходя из поставленной руководителем задачи Индивидуальная ответственность	практических задач Выбор способа действия на основе знаний и практического опыта Корректировка действий с учетом условий их выполнения	или методических основ решения типовых практических задач Применение специальных знаний	обучения – программы профессиональной подготовки по профессиям рабочих, должностям служащих, программы переподготовки рабочих, служащих, программы повышения квалификации рабочих, служащих (до одного года) Практический опыт
4.	Деятельность под руководством с проявлением самостоятельности при решении практических задач, требующих анализа ситуации и ее изменений Планирование собственной деятельности и/или деятельности группы работников, исходя из поставленных задач Ответственность за решение поставленных задач или результат деятельности группы работников	Решение различных типов практических задач Выбор способа действия из известных на основе знаний и практического опыта Текущий и итоговый контроль, оценка и коррекция деятельности	Понимание научно-технических или методических основ решения практических задач Применение специальных знаний Самостоятельная работа с информацией	Образовательные программы среднего профессионального образования - программы подготовки квалифицированных рабочих (служащих) Основные программы профессионального обучения - программы профессиональной подготовки по профессиям рабочих, должностям служащих, программы переподготовки рабочих, служащих, программы повышения квалификации рабочих, служащих Практический опыт
5.	Самостоятельная деятельность по решению практических задач, требующих самостоятельного анализа ситуации и ее изменений Участие в управлении решением поставленных задач в рамках подразделения Ответственность за решение поставленных задач или результат деятельности группы	Решение различных типов практических задач с элементами проектирования Выбор способов решения в изменяющихся (различных) условиях рабочей ситуации Текущий и итоговый контроль, оценка и коррекция деятельности	Применение профессиональных знаний технологического или методического характера Самостоятельный поиск информации, необходимой для решения поставленных профессиональных задач	Образовательные программы среднего профессионального образования - программы подготовки специалистов среднего звена, программы подготовки квалифицированных рабочих (служащих). Основные программы профессионального обучения – программы профессиональной подготовки по профессиям рабочих, должностям служащих, программы переподготовки рабочих, служащих, программы

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
	работников или подразделения			повышения квалификации рабочих, служащих Дополнительные профессиональные программы Практический опыт
6.	Самостоятельная деятельность, предполагающая определение задач определенной работы и/или подчиненных по достижению цели Обеспечение взаимодействия сотрудников и смежных подразделений Ответственность за результат выполнения работ на уровне подразделения или организации	Разработка, внедрение, контроль, оценка и корректировка направлений профессиональной деятельности, технологических или методических решений	Применение профессиональных знаний технологического или методического характера, в том числе, инновационных Самостоятельный поиск, анализ и оценка профессиональной информации	Образовательные программы высшего образования - программы бакалавриата Образовательные программы среднего профессионального образования - программы подготовки специалистов среднего звена Дополнительные профессиональные программы Практический опыт
7.	Определение стратегии, управление процессами и деятельностью, в том числе, инновационной, с принятием решения на уровне крупных организаций или подразделений Ответственность за результаты деятельности крупных организаций или подразделений	Решение задач развития области профессиональной деятельности и (или) организации с использованием разнообразных методов и технологий, в том числе, инновационных Разработка новых методов, технологий	Понимание методологических основ профессиональной деятельности Создание новых знаний прикладного характера в определенной области Определение источников и поиск информации, необходимой для развития области профессиональной деятельности и /или организации	Образовательные программы высшего образования – программы магистратуры или специалитета Дополнительные профессиональные программы Практический опыт
8.	Определение стратегии, управление процессами и деятельностью (в том числе, инновационной) с принятием решения	Решение задач исследовательского и проектного характера, связанных с повышением эффективности процессов	Создание новых знаний междисциплинарного и межатраслевого характера Оценка и отбор информации, необходимой для	Программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), программы ординатуры, программы ассистентуры-стажировки Образовательные программы высшего образования – программы

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
	на уровне крупных организаций Ответственность за результаты деятельности крупных организаций и (или) отрасли		развития области деятельности	магистратуры или специалитета Дополнительные профессиональные программы Практический опыт
9.	Определение стратегии, управление большими техническими системами, социальными и экономическими процессами Значительный вклад в определенную область деятельности Ответственность за результаты деятельности на национальном или международном уровнях	Решение задач методологического, исследовательского и проектного характера, связанных с развитием и повышением эффективности процессов	Создание новых фундаментальных знаний междисциплинарного и межатраслевого характера	Программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), программы ординатуры, программы ассистентуры-стажировки Дополнительные профессиональные программы Практический опыт

1. Организации, эксплуатирующие решения в области квантовых коммуникаций (операторы связи, телекоммуникационные компании). Уровни квалификации от 3 до 5 включительно.

Представители (эксперты) организаций, эксплуатирующих решения в области квантовых коммуникаций (операторы связи, телекоммуникационные компании), имеют различие во мнениях. Часть из них считает, что наиболее подходящим инструментом на этапе «становления» технологий квантовых коммуникаций является дополнительная подготовка (переподготовка) уже работающих в их организациях специалистов. Другая часть считает, что для приема на работу необходимо рассматривать специалистов с профильной подготовкой, которые будут работать над внедрением и эксплуатацией квантовых сетей. При этом отмечается, что такие специалисты имеют завышенные финансовые ожидания от работодателя.

По результатам проведенных интервью с представителями (экспертами) организаций-эксплуатантов было установлено, что в сфере деятельности таких организаций большую роль играют менеджеры по продукту («продуктологи»), которые создают и развивают продукты на базе квантовых технологий, а также таким организациям необходимы специалисты по развитию, которые будут создавать инженерно-технические решения под каждого клиента.

Кроме того, таким организациям необходимы специалисты по продажам, причем по данному направлению указываются две категории специалистов, а именно: менеджеры по продажам (sales manager) и менеджеры по работе с ключевыми клиентами. Организациями также были названы специалисты поддержки продаж (пресейл), специалисты по документообороту, закупкам, рекламе и продвижению.

В техническом блоке, необходимы специалисты – инженеры и специалисты по эксплуатации сетей. У ряда операторов связи работают группы специалистов, которые следят, что происходит в области квантовых коммуникаций, и выполняют функции по разворачиванию и тестированию систем (экспериментальных сетей, которые на данный момент создаются).

Планируется создание центров компетенций, в которых должны сосредотачиваться наиболее квалифицированные специалисты как по инженерным направлениям, так и узкоспециализированным в области квантовых коммуникаций. Основная роль таких специалистов будет заключаться в организации работы системы, участии в обучении персонала и в проведении переговоров с техническими специалистами ключевых заказчиков (клиентов) по соответствующим направлениям.

Анализ анкет на предмет представления в них данных по вопросу «Компетенции специалистов в области «Квантовые коммуникации» востребованные Вашей организацией» дополнительных результатов не показал, поскольку все телекоммуникационные компании (операторы связи, эксплуатанты), осуществляющие деятельность в области квантовых коммуникаций на российском рынке, имеют особое видение компетенций таких специалистов, которые обобщены выше.

2. Потребители решений в области квантовых коммуникаций (финансовые организации, федеральные органы государственной власти, частные организации, работающие со сведениями, составляющими государственную тайну (лицензиаты ФСБ), государственные корпорации и организации, находящиеся под их управлением, компании с государственным участием). Уровни квалификации от 3 до 8 включительно.

Анализ анкет на предмет представления в них данных по вопросу «Компетенции специалистов в области «Квантовые коммуникации» востребованные Вашей организацией» показал разделение мнений. Поскольку организации, представляющие потребителей, имеют различные сферы деятельности, результат вполне ожидаемый.

Так, представители финансовых организаций указали на необходимость знаний специалистом принципов работы оборудования и архитектур его построения, наличие навыков эксплуатации компонентной базы и устройств сетей квантовых коммуникаций. Такими специалистами предполагается выполнение следующих функций:

- сборка, настройка схемотехнических решений для систем (сетей), оборудования, приборов квантовых коммуникаций;
- входной контроль элементной базы и конструктивных изделий, предназначенных для сборки оборудования на предмет соответствия требованиям технической документации;
- оформление заявок на материалы, комплектующие необходимые для проведения сборки (настройки) оборудования (сетей), приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций (и другие функции).

Для выполнения специалистом указанных функциональных обязанностей достаточно обучить его по образовательным программам среднего профессионального образования (программам подготовки квалифицированных рабочих) в области квантовых коммуникаций (уровни 3-5).

Мнения государственных корпораций и организаций, находящихся под их управлением, компаний с государственным участием с одной стороны имеют схожую с финансовыми организациями позицию в части модели эксплуатации оборудования (устройств). С другой стороны, такие организации реализуют

собственные исследования и разработки по темам, которые утверждены в плановых документах организаций (стратегии развития компаний с государственным участием, долгосрочные программы, программы инновационного развития). В программах инновационного развития компаний, как правило, обосновывается целесообразность разработки, приобретения и внедрения в компании «сквозных» цифровых технологий, включая технологии квантовых коммуникаций. В случае обоснования необходимости таких разработок компании формируют штат специалистов с необходимыми компетенциями (до 9 уровня включительно).

3. Производители и разработчики в области квантовых коммуникаций. Уровни квалификации от 6 до 8 включительно.

Две категории организаций (производство и разработка) были сгруппированы по причине относительного небольшого, на текущем этапе развития технологии, количества организаций. Организации одновременно являются разработчиками решений в области квантовых коммуникаций и производителями. В целом организации отмечают некоторый дефицит на рынке специалистов в области исследований и разработок. Это специалисты исследователи-теоретики, экспериментаторы, руководители различного уровня в области квантовых коммуникаций. С ростом рынка квантовых коммуникаций будет наблюдаться рост потребности в таких специалистах.

Большинство таких организаций (представители которых приняли участие в интервью) указали на необходимость подготовки специалистов в области продаж (sales manager). Отмечается, что на текущем этапе развития квантовых технологий это одна из самых проблемных позиций, поскольку такие специалисты должны обладать компетенциями в области квантовых коммуникаций, иметь профильное высшее образование в области квантовых коммуникаций или смежных областях, знать принципы работы оборудования. Большинство организаций намерены осуществлять дополнительную подготовку (повышать квалификацию) существующих сотрудников.

Также организациями разработчиками решений в области квантовых коммуникаций (научными организациями) обозначена потребность в подготовке руководителей различного уровня.

Руководитель должен (функции):

- обладать базовыми знаниями в предметной области своей деятельности;
- формировать повестку исследований, разрабатывать стратегию решения задач исследовательского и проектного характера;
- определять цели и ставить задачи развития технологий производства оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций, пути и средства их реализации;
- оценивать экономическую эффективность, необходимость и возможность инвестирования средств в создание технологической базы с целью оснащения производства технологическими процессами, необходимыми для выпуска оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций;
- распределять ресурсы для ведения проектных и экспериментальных работ по созданию технологии, необходимых для подготовки производства оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций;
- формировать график финансирования проектных и экспериментальных работ в области квантовых коммуникаций;
- координировать работы по оптимизации технологических процессов производства оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций, путей и средств их реализации с учетом требований систем менеджмента;
- оценивать возможность запуска производства оборудования, приборов и комплексов для систем квантовых коммуникаций, путей и средств их реализации на основе разработанной технологии и технологической базы; определение сроков и порядка модернизации средств производства и подготовки выпуска новых решений.

Анализ анкет на предмет представления в них данных по вопросу «Компетенции специалистов в области «Квантовые коммуникации», востребованные Вашей организацией», показал востребованность такими организациями специалистов, обладающих, прежде всего, следующими компетенциями:

В частности, были указаны следующие компетенции специалистов:

- владение методами квантовой физики;
- владение методами квантовой электроники;
- владение методами квантовых вычислений;
- владение методами квантовой криптографии;
- знание принципов работы, навыки создания и эксплуатации компонентной базы и устройств сетей квантовых коммуникаций;
- знание архитектур построения, навыки создания сетей квантовых коммуникаций и управления ими.

В части других (дополнительных) компетенций, были указаны:

- умение использовать специалистом информационных, компьютерных и сетевых технологий применительно к научной и инженерной деятельности в области фотоники и оптоинформатики;
- умение создавать и эксплуатировать оптические устройства и системы передачи, обработки и записи информации;
- умение создавать и эксплуатировать оптоволоконные сети квантовых коммуникаций;
- умение разрабатывать программное обеспечение для систем фотоники и оптоинформатики;
- умение анализировать оптические свойства оптоэлектронных устройств и систем, использовать методы нелинейной оптики для описания фотонных явлений и устройств.

4. Образовательные организации (обучение специалистов в области квантовых коммуникаций). Уровни квалификации от 3 до 8 включительно.

По данной категории большая часть информации была предоставлена от образовательных организаций высшего образования и незначительная часть, от организаций среднего профессионального образования.

По вопросу «Наиболее востребованные на рынке, на Ваш взгляд, компетенции выпускаемых Вашей организацией специалистов в области «Квантовые коммуникации» и «смежных» областях» специалистами были выделены следующие компетенции:

- осуществление анализа, применения и развития современных технологий квантовых коммуникаций на базе волоконно-оптических линий связи, включая формирование, передачу, обработку и регистрацию квантовых сигналов в волоконно-оптических каналах передачи данных, протоколы квантового распределения ключей (КРК), принципы построения и компонентную базу распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК.
- осуществление обоснованного выбора и анализа материалов, компонентов и устройств для систем телекоммуникаций, основанных на принципах фотоники и оптоинформатики, включая устройства для квантовых коммуникаций;
- осуществление математического моделирования и экспериментальных исследований инфокоммуникационных устройств, систем и процессов, основанных на принципах фотоники и оптоинформатики, включая устройства для квантовых коммуникаций
- разработка концепции производства приборов квантовой электроники и фотоники;
- проведение научных исследований в области телекоммуникационных устройств и систем оптического диапазона;
- освоение нового оборудования, обеспечивающего выполнение операций контроля, измерения свойств устройств и систем оптического диапазона, осуществление контроля и мониторинга этих устройств и систем;
- фундаментальное образование в области квантовых технологий: квантовые вычисления, квантовая криптография, квантовая оптика и фотоника;
- самостоятельная постановка конкретных задач научных исследований в области физики и их решение с помощью современной аппаратуры и информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;
- планирование и осуществление комплексных экспериментальных и теоретических исследований в области квантового материаловедения;
- опыт работы с оборудованием в области квантовых коммуникаций;
- знание алгоритмов квантовых вычислений;

- выполнение работ по установке, настройке, обеспечению бесперебойной работы и техническому обслуживанию программных, программно-аппаратных (в том числе криптографических) и технических средств и систем защиты информации;
- организация и проведение работ по технической защите информации;
- осуществление монтажа, настройки, регулировки, тестирования оборудования, отработки режимов работы, контроля проектных параметров работы и испытаний оборудования связи, обеспечение соответствия технических параметров инфокоммуникационных систем и (или) их составляющих по установленным эксплуатационно-техническим нормам;
- навыки сбора и анализа статистических данных о работе сети и ее отдельных элементов, качестве предоставляемых услуг, разработка предложений по оптимизации использования ресурсов оборудования, принятию решений о модернизации и расширении оборудования, сервисов и услуг сетей передачи данных;
- математические знания в сфере квантовых технологий;
- понимание физических процессы на микро и нано уровнях;
- умение использовать информационные, компьютерные и сетевые технологии применительно к научной и инженерной деятельности в области фотоники и оптоинформатики;
- создание (разработка) и эксплуатация оптических устройств и систем передачи, обработки и записи информации;
- разработка и эксплуатация волоконно-квантовых коммуникаций и сетей;
- разработка программного обеспечения для систем фотоники и оптоинформатики;
- анализ оптических свойств оптоэлектронных устройств и систем, использование методов нелинейной оптики для описания фотонных явлений и устройств;
- разработка и применение голографических технологий.

Таким образом, можно констатировать отсутствие консолидированного мнения образовательных организаций к компетенциям специалистов в области

квантовых коммуникаций. Ряд организаций для подготовки специалистов в области квантовых коммуникаций разработали и реализуют свои образовательные программы, однако такие программы разработаны без учета стандартов (которые в настоящий момент не утверждены).

9. Оценка подхода к формированию системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

В соответствии с результатами анализа, проведенного в 2021 году, автоматизированная система унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций может быть эффективна только при наличии в ней критической массы потенциальных сотрудников и работодателей, при этом необходим фактически открытый обмен данными между этими двумя категориями пользователей. Существует ряд барьеров и рисков, которые существенно затрудняют создание данной системы, вплоть до того, что данная система унифицированного учета будет приносить больше вреда, чем пользы.

Исходя из потребностей участников рынка и имеющихся ограничений целесообразно рассмотреть создание системы унифицированного учета на базе нейтральной стороны, имеющей необходимый уровень доверия и коммуникации со всеми участниками рынка (например, на стороне оператора «дорожной карты» или регулятора). Под участниками рынка в данном случае понимаются три основных группы: образовательные организации, соискатели и работодатели.

9.1 Существующие информационные ресурсы, содержащие важные для создания системы учёта данные или выполняющие аналогичные задачи в других областях

9.1.1 Федеральный реестр сведений документов об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении (ФИС ФРДО)

На основании частей 9 и 10 статьи 98, пункта 2 части 15 статьи 107 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в

Российской Федерации», и постановления Правительства Российской Федерации от 26 августа 2013 г. № 729 «О федеральной информационной системе «Федеральный реестр сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении», Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки осуществляет формирование и ведение Федерального реестра сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении.

Целями Федерального реестра являются:

- Ликвидация оборота поддельных документов государственного образца об образовании;
- Обеспечение ведомств и работодателей достоверной информацией о квалификации претендентов на трудоустройство;
- Сокращение числа нарушений и коррупции в образовательных учреждениях;
- Повышение качества образования за счёт обеспечения общественности достоверной информацией о выпускниках.

Информационная система «Федеральный реестр сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении (ФИС ФРДО)» обеспечивает сбор сведений о выданных документах со всех образовательных организаций (школы, ВУЗы, ССУЗы и центры ДПО), накопление этих сведений в единой базе данных [82].

На данный момент в реестре ФРДО содержится информация об аттестатах, дипломах об СПО и ВПО, сертификатах специалистов, удостоверений и дипломов о ДПО.

В Постановлении Правительства РФ от 26.06.2013 № 729 указан перечень сведений, которые обязана вносить каждая образовательная организация:

- название документа;
- серия и номер бланка;
- регистрационный номер и дата выдачи;
- Ф.И.О. человека, которому выдан диплом;
- информация об утрате или порче документа;
- название организации, которая выдала диплом или удостоверение;

- наименование программы подготовки, профессии, специальности и направления, квалификация, даты начала и завершения подготовки.

Несмотря на то, что ФИС ФРДО содержит наиболее полную и достоверную информацию об образовании соискателей, данная система обладает рядом недостатков.

Одним из недостатков является трудность предоставления информации. Для предоставления информации в ФИС ФРДО необходимо пройти процесс регистрации в данной системе, который подразумевает под собой получение электронной подписи в аккредитующем органе, подготовку комплекта документов, согласование схемы подключения, получение и установка парольной и справочно-ключевой информации, и заключение договора. Данный подход к ведению системы также накладывает ограничения на регистрацию и аккредитацию пользователей системы.

Еще одним существенным недостатком системы является отсутствие возможности свободного поиска специалистов. Для получения информации из системы необходимо знать серию, номер, дату выдачи бланка, фамилию специалиста, название организации, выдавшей документ.

В качестве недостатка также можно выделить отсутствие в системе информации о трудовой деятельности специалиста.

9.1.2 Электронная трудовая книжка

Федеральные законы от 16.12.2019 № 436-ФЗ и № 439-ФЗ вводят обязательное формирование сведений о трудовой деятельности в электронном виде (далее также – электронная трудовая книжка), которые являются заменой классической трудовой книжки. Изменения вступили в силу с 1 января 2020 года и затрагивают как работодателей, так и работников.

Согласно внесённой в Трудовой кодекс РФ статье 66.1, работодатель формирует в электронном виде основную информацию о трудовой деятельности и трудовом стаже каждого работника и представляет её для хранения в информационных ресурсах Пенсионного фонда РФ.

В сведения о трудовой деятельности включается, в числе прочего, информация о работнике, месте его работы, его трудовой функции, переводах на

другую постоянную работу, об увольнении работника с указанием основания и причины прекращения трудового договора.

Устанавливаются способы получения работником сведений о трудовой деятельности на бумажном носителе или в электронной форме: у работодателя по последнему месту работы, в многофункциональном центре предоставления государственных и муниципальных услуг, в Пенсионном фонде РФ, а также с использованием единого портала государственных и муниципальных услуг [83].

Электронная книжка обеспечивает постоянный и удобный доступ работников к информации о своей трудовой деятельности, а работодателям открывает новые возможности кадрового учёта.

Электронная трудовая книжка сохраняет практически весь перечень сведений, которые учитываются в бумажной трудовой книжке:

- Информация о работнике;
- Даты приёма, увольнения, перевода на другую работу;
- Место работы;
- Вид мероприятия (прием, перевод, увольнение);
- Должность, профессия, специальность, квалификация, структурное подразделение;
- Вид поручаемой работы;
- Код выполняемой функции;
- Основание кадрового мероприятия (дата, номер и вид документа);
- Причины прекращения трудового договора [84].

Электронную трудовую книжку можно назвать системой учёта специалистов, при этом она не содержит информации об образовании специалиста, что является существенным барьером в использовании её в качестве унифицированной системы учёта кадров в области квантовых коммуникаций.

Также недостатком является отсутствие возможности поиска специалистов, т.е. данные запросить может только сам специалист, с последующим предоставлением этих данных работодателю.

9.1.3 Системы учёта, реализованные образовательными организациями

Многие образовательные организации имеют среди своих структур отдел содействия трудоустройству, который совместно с другими структурами проводит ряд мероприятий, частично выполняющих роль системы унифицированного учёта. Например, в ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» данная служба проводит следующие мероприятия:

- Формирование единой базы данных выпускников и студентов с целью оптимизации работы по трудоустройству и отслеживания жизненного пути выпускников;
- Сбор и анализ статистических данных по направлению трудоустройства;
- Временная занятость студентов без ущерба для учебной программы;
- Ориентация студентов и выпускников на рынке труда;
- Организация интернет-портала;
- Формирование имиджа ВУЗа в глазах работодателей путем проведения мероприятий в МГТУ им. Н.Э. Баумана:
 - Выставки работодателей «Начало Карьеры» и «Ярмарка вакансий» – 3 раза в год;
 - Презентации компаний для студентов – 3-4 мероприятия в месяц;
 - Дни карьеры – совместно с компаниями-партнерами;
 - Мастер-классы, проведение обучающих семинаров и кейсов для студентов;
 - Обучающие интерактивные игры, тренинги;
 - Максимально эффективное трудоустройство выпускников;
 - Информирование студентов о текущих открытых вакансиях;
 - Поиск компаний-работодателей, готовых принимать на работу выпускников МГТУ им. Н.Э. Баумана;
 - Консультации студентов и выпускников по вопросам трудоустройства (составление резюме, правильного поведения на собеседовании, предоставление общей информации по компаниям и т. д.);

- Сопровождение соискателя на этапе трудоустройства [85].

На стратегической сессии, проведенной ОАО «МАЦ», экспертами различных образовательных организаций, в том числе государственных университетов, было отмечено, что университеты также ведут свои системы учета выпускников. Кроме этого, согласно ФЗ «О Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова и Санкт-Петербургском государственном университете» от 10.11.2009 №259-ФЗ (последняя редакция) СПбГУ и МГУ имеют особый статус и обладают правом выдавать дипломы собственного образца. Это отчасти является системой персонифицированного учета выпускников. Преимуществом данного подхода является то, что содержание приложения к диплому значительно расширено и включает в себя:

- Перечень изученных предметов с указанием количества часов и оценок;
- Перечень семинаров и дополнительных занятий с оценками;
- Название итоговой квалификационной работы, перечень экзаменов и полученных за них оценки [86].

Согласно содержанию данных систем, а также принципу работы университетов с ними, можно было бы рассматривать их как системы унифицированного учёта кадров в области квантовых коммуникаций. Помимо отмеченных ранее преимуществ, можно также выделить отсутствие жестких требований и/или законов к ведению данных систем, они подчиняются политике образовательных организаций.

С другой стороны, существенной проблемой является фрагментированность таких систем, так как каждая образовательная организация ведет её по-своему. Следующим недостатком систем на стороне образовательных организаций являются ограничения, связанные с обработкой персональных данных. Большинство студентов даёт согласие на обработку персональных данных при поступлении, и оно действует до его выпуска из университета, что затрудняет отслеживание его трудового пути после получения диплома. Этот недостаток, в свою очередь, является причиной следующего недостатка: не все системы учета, реализованные образовательными организациями, содержат информацию о трудовой деятельности выпускников.

9.1.4 Системы учёта, реализованные работодателями

На стратегической сессии № 6 по теме «Оценка потребности в формировании системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций» одним из экспертов был приведён пример реализации системы учёта кадров Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом». Эксперт рассказал о том, что крупные корпорации начинают отслеживание выпускников на ранних курсах, предлагая студентам возможные траектории карьерного развития.

Согласно годовому отчёту Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2020 год, утвержденному 29.06.2021 года, одна из стратегических целей Госкорпорации «Росатом» – стать лучшими в раскрытии потенциала сотрудников. Именно поэтому развитие компетенций и обучение персонала является одной из важнейших задач кадровой политики Госкорпорации «Росатом».

Главной отраслевой площадкой обучения специалистов и руководителей является Корпоративная Академия Росатома. Она выполняет задачи, напрямую связанные с приоритетными направлениями развития бизнеса: обучение участников глобальных проектов Росатома, развитие управленческого кадрового резерва, программы подготовки лидеров-предпринимателей, отвечающих за создание новых продуктов, цифровых лидеров и лидеров ПСР.

В целях обеспечения кадровой преемственности и подготовки руководителей к назначению на управленческие должности в Госкорпорации «Росатом» осуществляется централизованное формирование и развитие управленческого кадрового резерва (УКР). Участники зачисляются в кадровый резерв по результатам процесса планирования карьеры и преемственности.

В рамках программы «Цифровые компетенции и культура» проведены мероприятия, направленные на поддержку реализации единой цифровой стратегии, создания условий для эффективной работы и развития сотрудников в цифровой среде. Одним из ключевых результатов является охват 19 000 школьников и студентов мероприятиями по направлению цифровизации в рамках федеральных и отраслевых проектов.

В области подготовки кадров Госкорпорация «Росатом» активно сотрудничает с ВУЗами-партнерами: ТПУ, СПбГУ, СПбПУ, РХТУ, МЭИ, ДВФУ,

УрФУ, МФТИ, МГСУ и МГТУ им. Н.Э. Баумана, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, МИСиС [87].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что крупные корпорации имеют возможность и средства для создания собственных экосистем, включающих в себя системы унифицированного учета выпускников. Как и в случае с образовательными организациями, одним из недостатков данных систем является их фрагментированность. Другой проблемой является обработка персональных данных, так как в этом случае корпорации без сложностей учитывают выпускников своих опорных ВУЗов и ВУЗов-партнеров, но информацией от других, возможно, перспективных университетов, не обладают.

9.1.5 Сервисы рекрутмента

Одним из наиболее ярких примеров сервисов рекрутмента является HeadHunter. Данный сервис содержит в своей базе данных более 1155 тыс. вакансий, 61 млн резюме, 1824 тыс. компаний [88].

По данным SimilarWeb, HeadHunter занимает третье место в мире по популярности среди порталов по поиску работы и сотрудников [89].

Главным преимуществом сервисов рекрутмента является общедоступность данных систем. Также преимуществом является то, что они содержат информацию как об образовании специалистов, так и о их трудовой деятельности.

С другой стороны, сервисы рекрутмента имеют серьезные недостатки при рассмотрении их в качестве систем унифицированного учета. Одним из наиболее значимых является добровольность внесения данных, что не дает возможности проанализировать процент наполненности данных систем выпускниками и специалистами в соответствии с действительностью. Другим существенным недостатком является то, что вся информация вносится самостоятельно кандидатом, в связи с чем работодатель вынужден повторно верифицировать информацию о соискателе.

9.1.6 Национальная система квалификаций

Национальная система квалификаций – совокупность механизмов правового и институционального регулирования квалификаций работников со стороны рынка труда и предложения квалификаций со стороны системы образования и обучения [90].

На стратегической сессии №6 по теме «Оценка потребности в формировании системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций» эксперт привел в пример схожую систему, которая входит в национальную систему квалификаций, реестр сведений о проведении независимой оценки квалификаций.

Ведение Реестра осуществляется на основании приказа Минтруда России от 15 ноября 2016 года №649н. «Об утверждении Порядка формирования и ведения реестра сведений о проведении независимой оценки квалификации и доступа к ним, а также перечня сведений, содержащихся в указанном реестре» и наполняется следующей информацией:

- сведениями об СПК;
- сведениями о профессиональных квалификациях;
- сведениями о результатах профессионального экзамена (выданные свидетельства и заключения);
- сведениями о новых местах, где можно пройти независимую оценку квалификации (ЦОК (ЭП));
- сведениями об оценочных средствах и др.

На данный момент Реестр содержит 40 СПК, 482 ЦОК, 104917 свидетельств, 1422 экзаменационных площадок, 2563 квалификации и охватывает 92 региона [91].

В качестве недостатков данного Реестра можно выделить труднодоступность получения информации, находящейся в нём. Работодатель, как и в случае с электронной трудовой книжкой, может увидеть только свидетельство о независимой оценке квалификации, но не может увидеть полный список специалистов по данному профилю. Кроме этого, реестр содержит неполный список квалификаций, в том числе в списке отсутствуют квалификации, связанные с областью квантовых коммуникаций. Отсутствие информации о трудовой

деятельности специалиста также является недостатком Реестра при рассмотрении его в качестве унифицированной системы учета кадров в области квантовых коммуникаций.

9.2 Ожидания работодателей, соискателей и образовательных организаций от системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

В рамках проведённого исследования выделено 3 типа участников унифицированной системы учёта кадров в области квантовых коммуникаций: соискатели, работодатели, образовательные организации. Соответственно, при оценке потребности формирования такой системы, а также её эффективности и отличия от существующих решений, необходимо учитывать интересы всех её участников.

Для этого в рамках исследования были проанализированы ожидания от системы всех трёх вышеупомянутых групп.

Ожидания специалистов:

- Минимальное количество затрачиваемых усилий при заполнении и актуализации анкет;
- Сохранность персональных данных;
- Получение входящих запросов от работодателя;
- Удобная обратная связь от работодателя;
- Верифицированная информация о работодателе.

Ожидания образовательных организаций:

- Возможность обеспечить своего выпускника трудоустройством по профилю;
- Возможность отслеживания карьерного пути выпускника;
- Автоматическая синхронизация с ФИС ФРДО.

Ожидания работодателей:

- Полный список выпускников по интересующему направлению с верифицированными данными об образовании и опыте работы;

- Скорость поиска кандидатов.

9.3 Барьеры и риски внедрения системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

Создание систем, включающих в себя информацию, связанную с персональными данными, собранными в масштабах страны, всегда связано с рядом барьеров и рисков, которые могут существенно ограничить возможности их создания.

В результате анализа были выявлены следующие барьеры, перечисленные ниже в порядке уменьшения степени их влияния на возможность формирования системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций:

1. Позиция регулятора (ФСБ РФ). Утечка данных из единой базы, объединяющей всех специалистов узкоспециализированной высокотехнологичной области, может представлять серьезную угрозу государственной безопасности.
2. Помимо этого, Приказом ФСБ РФ №379 от 28 сентября 2021 года накладывается ряд ограничений на сбор информации, связанной с высокотехнологичной областью «Квантовые коммуникации».
3. Обработка персональных данных. Отслеживание карьерного пути выпускника после окончания университета невозможно без его согласия (регулируется ФЗ «О персональных данных» от 27.07.2006 №152-ФЗ).
4. Необходимость формализации данных о достижениях и профессиональном опыте выпускников. Данная проблема связана с разрозненностью информации в имеющихся базах данных университетов: например, в различных университетах одна и та же квалификация выпускника может иметь различное название.

В результате анализа были выявлены следующие риски, перечисленные в порядке уменьшения степени их влияния на возможность формирования системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций:

1. Ёмкость рынка. В связи с тем, что область является относительно новой, на данный момент рынок ограничен по объёму. Почти все работодатели в области квантовых коммуникаций имеют прямые договоренности с ВУЗами по подготовке кадров, что делает создание системы унифицированного учета неэффективным.
2. Актуальность данных. Получение актуальных данных возможно от специалиста, либо от организации, где он в данный момент находится, либо из существующих ГИС, имеющих ограничения на выгрузку данных.
3. Конкуренция. На данный момент существует недостаток высококвалифицированных специалистов в области квантовых коммуникаций. В связи с чем при появлении открытого списка специалистов, может возникнуть риск недобросовестного поведения участников рынка, в виде переманивания сотрудников друг у друга.
4. Наличие альтернативных систем. В связи с тем, что содержание системы унифицированного учета во многом аналогично существующим системам рекрутмента, при существенных пересечениях в части размещенных вакансий и резюме, будет отсутствовать потребность в её создании.
5. Недостоверность данных. В отдельном случае, когда данные будет предоставлять не образовательная организация, а непосредственно выпускник, существует вероятность заполнения системы недостоверными данными.

В ходе исследования была составлена карта барьеров и рисков создания системы унифицированного учёта и определена значимость каждого из них – рисунок 9.3.1. Наиболее значимыми являются позиции, связанные с обеспечением безопасности данных, передаваемых в систему и необходимостью постоянной актуализации большого объема данных.

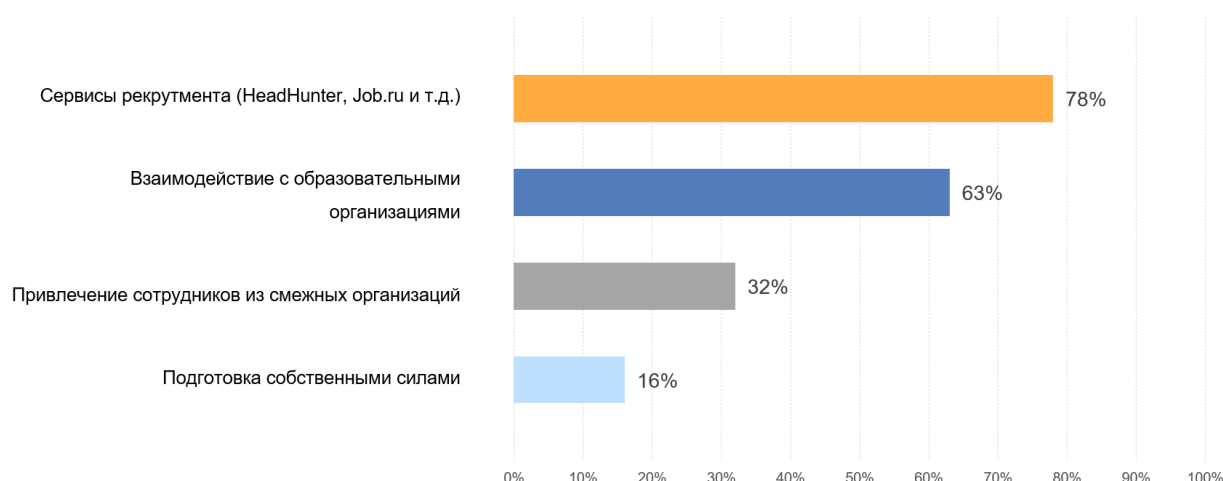
Барьеры	Позиция регулятора	Утечка данных из единой базы, объединяющей всех специалистов узкоспециализированной высокотехнологичной области, может представлять угрозу; Приказ №379 от 28 сентября 2021 года.	
	Обработка персональных данных	Отслеживание карьерного пути выпускника после окончания университета невозможно без его согласия (ФЗ «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ).	
	Формализация данных	Разрозненность информации в имеющихся базах данных, существенно затруднит объединение их в единую систему.	
	Емкость рынка	В настоящий момент рынок ограничен по объему, имеющиеся работодатели часто имеют прямые договоренности с университетами по подготовке кадров. При малом количестве работодателей система не будет эффективна.	
Риски	Актуальность данных	Получение актуальных данных возможно только от специалиста или из существующих ГИС, имеющих ограничения на выгрузку данных.	
	Конкуренция	Риск недобросовестного поведения участников рынка, переманивание сотрудников.	
	Альтернативные системы	Высока вероятность пересечения с существующими системами рекрутмента (содержание системы во многом аналогично существующим решениям).	
	Недостоверность данных	В отдельных случаях, когда данные предоставляются не образовательной организацией, существует вероятность заполнения системы недостоверной информацией.	

Рисунок 9.3.1 – Барьеры и риски внедрения системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

9.4 Результаты исследования потребности участников рынка в формировании системы унифицированного учёта

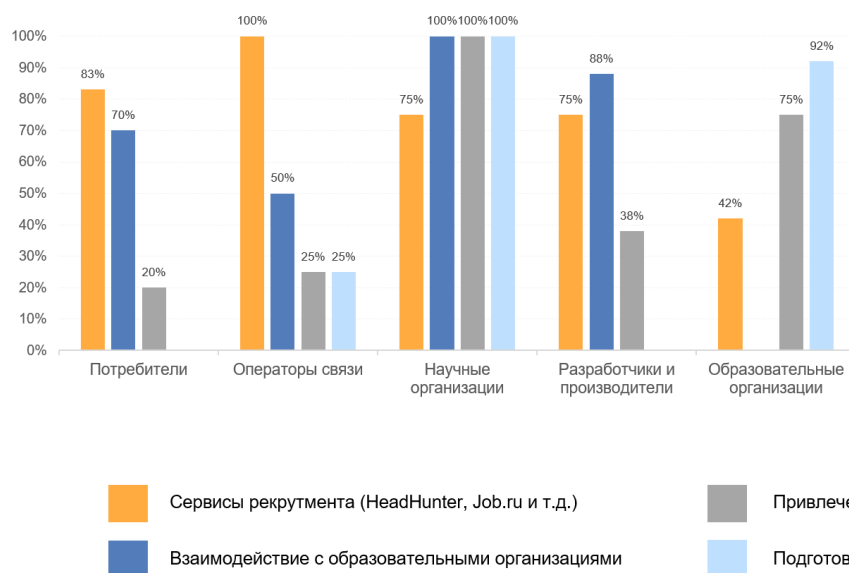
В рамках исследования, проводимого в 2022 году, были изучены подходы к поиску сотрудников участниками рынка, относящимися к различным категориям организаций, а также их потребность в создании системы унифицированного учёта.

Анализ подходов к поиску новых сотрудников показал, что подавляющее большинство организаций, вне зависимости от категорий таких организаций, пользуются публичными площадками для поиска новых сотрудников. Исключением являются только высшие учебные заведения, ведущие подготовку специалистов собственными силами. При этом для подбора профильных высококвалифицированных сотрудников также активно используется ресурс образовательных организаций и ведётся работа с выпускниками. На рисунках 9.4.1 и 9.4.2 представлены способы поиска организациями новых сотрудников.



В среднем, по результатам анкетирования организаций, **сервисы рекрутмента** – наиболее часто встречающийся способ поиска новых сотрудников

Рисунок 9.4.1 – Способы поиска новых сотрудников работодателями



Организации, использующие конечный технологический продукт, чаще используют для поиска новых сотрудников **сервисы рекрутмента**.

Организации, занимающиеся разработкой или производством компонентной базы, предпочитают привлекать новые кадры **напрямую из образовательных учреждений**.

Рисунок 9.4.2 – Способы поиска новых сотрудников работодателями (по типам работодателей)

Необходимым условием для работы автоматизированной системы является полнота данных о вакансиях и специалистах. В целом готовность участников рынка делиться данными для публичного использования оценивается на умеренно низком уровне. Ключевыми сдерживающими факторами являются юридические и коммерческие риски. Кроме того, для отдельных категорий организаций публичное

размещение такой информации может быть неприемлемо по причинам, связанным с обеспечением безопасности информации, составляющей государственную тайну. Соответствующая инфографика представлена на рис. 9.4.3, рис. 9.4.4 и рис. 9.4.5.

Решением данной проблемы может стать создание непубличной системы на стороне доверенного партнёра.

При этом большинство организаций заинтересованы в использовании данных, размещаемых в таких системах.



Рисунок 9.4.3 – Степень заинтересованности потенциальных пользователей Базы данных унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций



Рисунок 9.4.4 – Степень заинтересованности потенциальных пользователей Базы данных унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций (по типам потенциальных пользователей)



Рисунок 9.4.5 – Степень заинтересованности потенциальных пользователей Базы данных унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций (по типам потенциальных пользователей)

Для образовательных организаций картина несколько отличается, большинство таких организаций готовы предоставлять данные и заинтересованы в использовании системы учёта, при этом готовность предоставлять информацию

остаётся на более низком уровне, чем заинтересованность в их использовании. Следует отметить, что сценарий использования такой системы учебными заведениями принципиально отличается от классической для работодателей схемы. Для образовательных организаций в первую очередь интересна возможность мониторинга трудоустройства их выпускников и получение актуальной информации о кадровых потребностях потенциальных работодателей для их выпускников.

Информация о заинтересованности в использовании и готовности предоставления информации образовательными организациями представлена на рисунке 9.4.6.

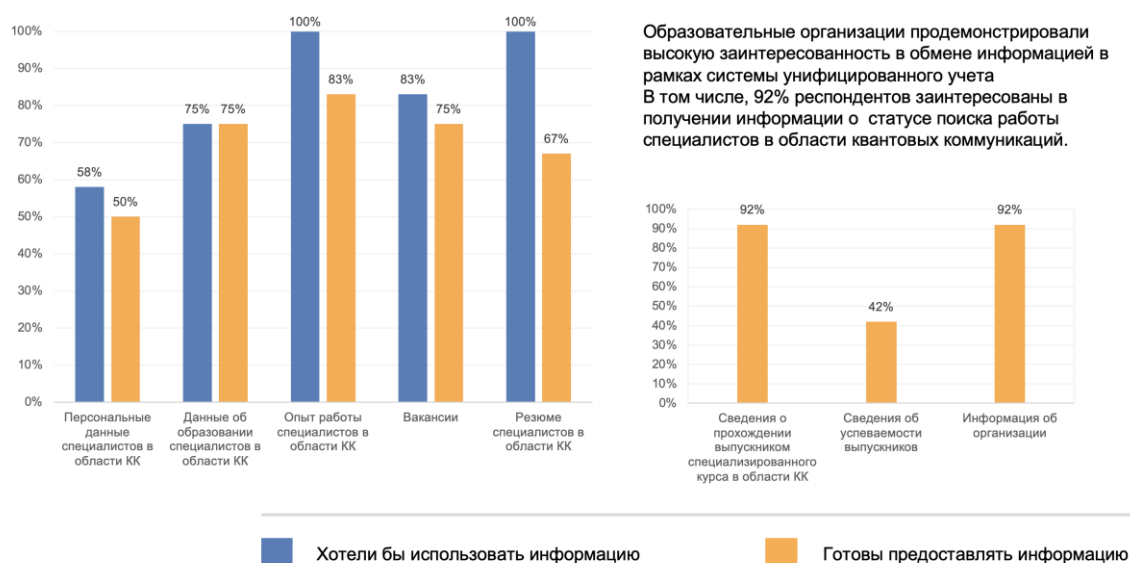


Рисунок 9.4.6 – База данных унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций. Образовательные организации

9.5 Ключевые пути создания и развития системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

Обобщая полученную информацию, специалисты ОАО «МАЦ» видят перед собой следующую концепцию структуры системы унифицированного учета

выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций. Головной частью системы является оператор, который имеет полный доступ к информации, находящейся в базе данных. Оператор по запросу передает ограниченные данные из системы её участникам: образовательные организации и выпускники смогут получить рекомендуемый перечень работодателей, работодатель же в свою очередь получает доступ к специалистам, заинтересованным в профильных вакансиях. При этом участники системы передают минимально необходимый объём информации, а оператор системы на базе имеющихся у него данных выстраивает взаимодействие между работодателем и потенциальными сотрудниками через проведение профильных мероприятий и обработку запросов от работодателей. Схематично структура системы представлена на рисунке 9.5.1.

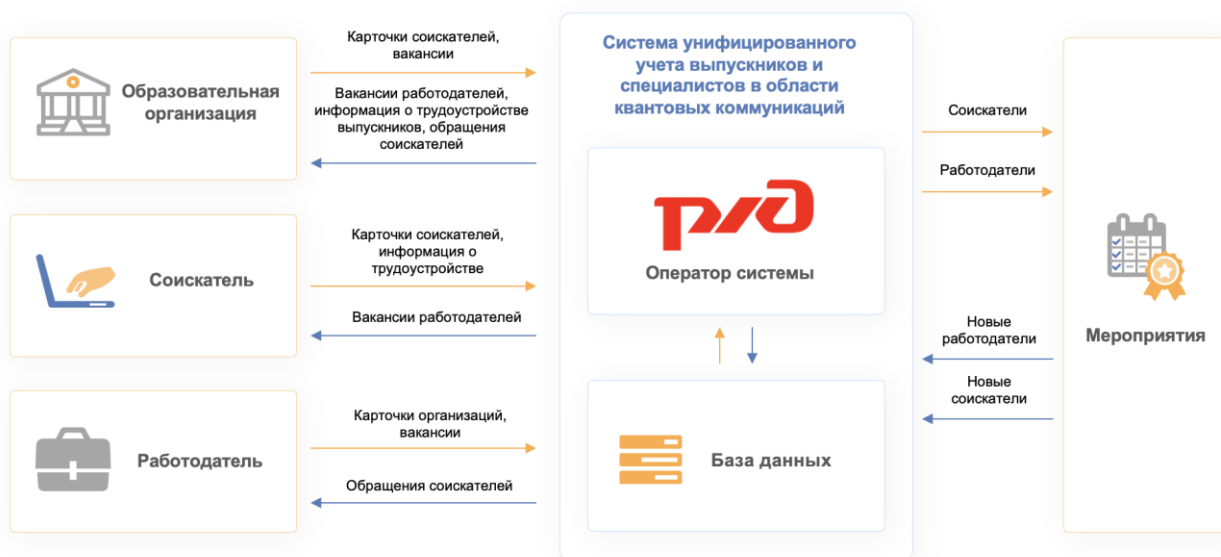


Рисунок 9.5.1 – Концепция структуры системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

При развитии системы унифицированного учёта согласно данной схеме ключевой задачей будет являться выбор оператора системы, т.к. он будет осуществлять контроль и обработку всей информации. В таблице 9.5.1 представлены преимущества и недостатки при различных операторах информационной системы.

Таблица 9.5.1 – Преимущества и недостатки различных операторов системы

Оператор ИС	Преимущества для рынка	Преимущества для оператора	Недостатки
Регулятор (ФСБ РФ)	- Большинство участников рынка являются лицензиатами ФСБ; - Защищенность информации о специалистах.	Упрощение контрольной функции.	- Сложность взаимодействия; - Ограниченный доступ к данным для работодателей.
Оператор «дорожной карты» (ОАО «РЖД»)	- Вовлечение всех основных участников рынка; - Возможность учета интересов работодателей и специалистов.	- Выполнение целей дорожной карты; - Мониторинг состояния области квантовые коммуникации в режиме реального времени.	- Сохранение рисков утечки информации; - Сложность сбора данных.
Образовательная организация	- Наличие массива исходных данных; - Возможность создания ГИС.	- Выполнение функций, возложенных Министерством науки и высшего образования РФ; - Удовлетворение запросов от образовательных и научных организаций.	- Сохранение рисков утечки информации; - Сложность регулирования ГИС, в случае её создания.

Принимая во внимание необходимость наличия на стороне оператора системы широкого круга контактов с профильными ВУЗами, работодателями и специалистами, а также возможность работы по предлагаемой модели проведения мероприятий, наиболее оптимальным оператором такой системы мог бы стать оператор «дорожной карты» в области квантовых коммуникаций. Такое решение позволило бы преодолеть наибольшую часть барьеров и исключить часть рисков. Например, вероятность передачи в базу данных недостоверной информации также сводится к минимуму.

В ходе анализа потребности в формировании системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций можно сделать вывод о том, что рынок в данной области еще недостаточно развит, чтобы говорить о необходимости формирования систем данного рода. Количество барьеров и рисков превышает потенциальную пользу системы на данный момент. Текущие решения, хоть и не являются унифицированными, тем не менее, удовлетворяют потребности, возникающие в текущих масштабах рынка. Для

создания действительно уникальной системы унифицированного учёта необходимо учесть все пожелания участников рынка, обеспечить достоверность всей информации, хранящейся в базе данных, а что самое главное – обеспечить активную обратную связь между всеми участниками системы. В текущих реалиях это труднодостижимая задача, затраты энергии и усилий на которую вряд ли перекроют практическую пользу от системы.

Список литературных источников

1. ГОСТ Р 58048-2017 «ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГИЙ. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий» : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2017 г. N 2128-ст.
2. Accepted Papers // QCrypt 2022. – URL: <https://2022.qcrypt.net/accepted-papers/> (дата обращения: 08.12.2022).
3. Zhihao Z. Beijing-shanghai quantum link a «new era» // China Daily. – 2017. – Vol. 9.
4. Courtland R. China's 2,000-km quantum link is almost complete // IEEE Spectrum. – 2016. – Vol. 53, № 11. – P. 11–12.
5. Xinhua. Quantum communication networks put in service in central China // Xinhuanet. – 2017. – URL: https://www.chinadaily.com.cn/china/2017-10/31/content_33942704.htm (дата обращения: 08.12.2022).
6. Chen, YA., Zhang, Q., Chen, TY. et al. An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres // Nature. – 2021. – Vol. 589. – P. 214–219.
7. Connecting three countries through an inter-European quantum network // QCrypt 2022. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EK0-dXfZzx4> (дата обращения: 08.12.2022).
8. Townsend, P. D. Simultaneous Quantum Cryptographic Key Distribution and Conventional Data Transmission Over Installed Fibre using Wavelength-Division Multiplexing // Electronics Letters. – 1997. – Vol. 33, № 3. – P. 188–190.
9. Tanaka, A., Fujiwara, M., Nambu, Y. et al. Ultra Fast Quantum Key Distribution over a 97 km Installed Telecom Fiber with Wavelength Division Multiplexing Clock Synchronization // Optics Express. – 2008. – Vol. 16, № 15. – P. 11354–11360.
10. Qi, B., Zhu, W., Qian, Li and Lo H.-K. Feasibility of Quantum Key Distribution Through a Dense Wavelength Division Multiplexing Network // New Journal of Physics. – 2010. – Vol. 12, № 10. – P. 103042.

11. Eraerds, P., Walenta, N., Legre, M. et al. Quantum Key Distribution and 1 Gbps Data Encryption over a Single Fibre // New Journal of Physics. – 2010. – Vol. 12, № 6. – P. 063027.
12. Kumar, R., Qin, H. and Alleaume, R. Coexistence of Continuous Variable QKD with Intense DWDM Classical Channels // New Journal of Physics. – 2015. – Vol. 17, № 4. – P. 043027.
13. Achieving secure transfer of sensitive data between remote industrial production facilities // Toshiba Digital Solutions Corporation. Quantum Key Distribution. – 2021. – URL: <https://www.toshiba.co.jp/qkd/en/case3.htm> (дата обращения: 29.11.2021).
14. Bacco, D., Da Lio, B., Cozzolino, D. et al. Boosting the secret key rate in a shared quantum and classical fibre communication system // Commun Phys. – 2019. – Vol. 2, № 140.
15. System and method to communicate sensitive information via one or more untrusted intermediate nodes with resilience to disconnected network topology [Текст]: пат. W0/2016/022717. US: PCT/US2015/043854 05.08.2015.
16. Gündoğan, M., Sidhu, J.S., Henderson, V. et al. Proposal for space-borne quantum memories for global quantum networking // npj Quantum Inf. – 2021. – Vol. 7, № 128.
17. Consumer Quantum Key Distribution // Quantum Communications Hub. – 2020. – URL: <https://www.quantumcommshub.net/industry-government-media/our-technologies/consumer-qkd/> (дата обращения: 08.12.2022).
18. Paraïso, T.K., Roger, T., Marangon, D.G. et al. A photonic integrated quantum secure communication system // Nature Photonics. – 2021. – Vol. 15, № 11. – P. 850–856.
19. Toshiba shrinks quantum key distribution technology to a semiconductor chip // Toshiba Digital Solutions Corporation. – 2021. – URL: <https://www.toshiba.eu/pages/eu/Cambridge-Research-Laboratory/toshiba-shrinks-quantum-key-distribution-technology-to-a-semiconductor-chip> (дата обращения: 08.12.2022).
20. High-speed integrated QKD system // QCrypt 2022. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=RvtqO3ydg4w> (дата обращения: 08.12.2022).

21. Elliott C., Yeh H. DARPA quantum network testbed. – BBN TECHNOLOGIES CAMBRIDGE MA. – 2007. – P. 156.
22. Peev, M., Pacher, C., Bouda, J. et al. The SECOQC quantum key distribution network in Vienna // New Journal of Physics. – 2009. – Vol. 11, № 7. – P. 075001.
23. Quantum network // Wikipedia (The Free Encyclopedia). – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_network (дата обращения: 08.12.2022).
24. Zhang, J., Tian, Q., Tang, C. et al. Study on Worldwide Development and Trends of Quantum Technologies Based on Patent Data // International Journal of Information and Education Technology. – 2020. – Vol. 10, № 3. – P. 239–244.
25. В России планируется создание национальной квантовой сети // Научная Россия. – 2022. – URL: <https://scientificrussia.ru/articles/v-rossii-planiruetsa-sozdanie-nacionalnoj-kvantovoj-seti> (дата обращения: 08.12.2022).
26. В России заработала первая линия квантовой связи // С-news. – 2021. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-06-09_rossiya_perehodit_na_kvantovye (дата обращения: 08.12.2022).
27. Компания «ИнфоТеКС» получила разрешение ФСБ России на опытную эксплуатацию квантовой системы ViPNet Quandor // АО «ИнфоТеКС». – 2021. – URL: <https://infotecs.ru/about/press-centr/press-relizy/kompaniya-infoteks-poluchila-razreshenie-fsb-rossii-na-opytnuyu-ekspluatatsiyu-kvantovoy-kriptografi.html> (дата обращения: 08.12.2022).
28. ViPNet QSS (Quantum Security System) // TAdviser. – 2022. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:ViPNet_QSS_\(Quantum_Security_System\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:ViPNet_QSS_(Quantum_Security_System)) (дата обращения: 08.12.2022).
29. Шифрование, мгновенные вычисления и защита от взломов: самые перспективные квантовые проекты // Хайтек. – 2022. – URL: <https://hightech.fm/2022/07/06/top-quantum-tech> (дата обращения: 08.12.2022).
30. Университетская квантовая сеть. Совместный проект Центра Квантовых технологий МГУ и компании «ИнфоТеКС» при поддержке ПАО «Ростелеком» // ЦНТИ Квантум. – 2021. – URL: http://www.quantum-cnti.ru/projects_and_product/proekty-univeritetskaya-kvantovaya-set (дата обращения: 16.11.2021).

31. В России запущена первая экосистемная межвузовская квантовая сеть // НИТУ «МИСиС». – 2021. – URL: <https://misis.ru/university/news/misc/2021-10/7620/> (дата обращения: 08.12.2022).
32. «ИнфоТеКС» представила первую в России квантово-криптографическую систему, сертифицированную по требованиям ФСБ России // C-news. – 2022. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2022-11-21_infoteks_predstavila_pervuyu (дата обращения: 08.12.2022).
33. Компания «ИнфоТеКС» представила первую в России квантово-криптографическую систему, сертифицированную по требованиям ФСБ России // АО «ИнфоТеКС». – 2022. – URL: <https://infotecs.ru/about/press-centr/press-relizy/kompaniya-infoteks-predstavila-pervuyu-v-rossii-kvantovo-kriptograficheskuyu-sistemu.html> (дата обращения: 08.12.2022).
34. Компания «ИнфоТеКС» представила проект строительства собственного производства на мероприятии ОЭЗ «Томск» // АО «ИнфоТеКС». – 2022. – URL: <https://infotecs.ru/about/press-centr/press-relizy/kompaniya-infotecs-predstavila-proekt-stroitelstva-sobstvennogo-proizvodstva-na-meropriyatii-oez-tom.html> (дата обращения: 08.12.2022).
35. Поздняков А. Н. VipNet Quandor. Обзор продукта и планы развития // АО «ИнфоТеКС». – 2021. – URL: <https://infotecs.ru/upload/iblock/19a/24.12.20-Quandor.pdf> (дата обращения: 08.12.2022).
36. Как Россия потратит 11,2 млрд рублей на развитие квантовых коммуникаций // C-News. – 2020. – URL: https://www.cnews.ru/articles/2020-02-27_kak_rossiya_potratit_112_mlrdrublej (дата обращения: 08.12.2022).
37. Борзенкова О. Российские ученые передали квантовый сигнал вместе с классическим по одному оптоволокну // N+1. – 2021. – URL: <https://nplus1.ru/news/2021/11/01/qrate-multiplexing> (дата обращения: 08.12.2022).
38. Козубов А. В., Егоров В. И., Иванова А. Е. и др. Основы квантовой коммуникации: часть 1. – СПб: Университет ИТМО. – 2019. – 85 с.
39. Киселев Ф. Д. Влияние хроматической дисперсии и нелинейных эффектов на квантовое распределение ключа на боковых частотах в оптической транспортной сети. [Текст]: дис. ...канд. физ.-мат. наук: 1.3.6.

40. Открытый конкурс в электронной форме № 970/ОКЭ-ДКСС/21 на право заключения договора выполнения работ по теме «Разработка методов совместной передачи квантовых и информационных каналов в одном оптическом волокне». – URL: <https://zakupki.kontur.ru/32110781962> (дата обращения: 08.12.2022).
41. АКТ о проведении испытаний Комплекса передачи данных с гибридной квантово-классической защитой в телекоммуникационной инфраструктуре. ПАО Сбербанк. – 2018.
42. ViPNet Quantum Security System // АО «ИнфоТеКС». – 2022. – URL: <https://quantum-crypto.ru/projects/vipnet-qss/> (дата обращения: 08.12.2022).
43. Здания МГУ соединит квантовая сеть // АО «ИнфоТеКС». – 2021. – URL: <https://quantum-crypto.ru/news/news/zdaniya-mgu-soedinit-kvantovaya-set.html> (дата обращения: 08.12.2022).
44. Технология и продукты квантовой защиты информации // АО «ИнфоТеКС». – 2020. – URL: <https://infotecs.ru/webinars/archive/tekhnologiya-i-produkty-kvantovoy-zashchity-informatsii.html> (дата обращения: 08.12.2022).
45. Коммутаторы L2, L2+ и L3 – что, когда, куда, откуда, как, зачем и почему? // Блог компании ZYXEL в России. Хабр. – 2020. – URL: <https://habr.com/ru/company/zyxel/blog/531498/> (дата обращения: 08.12.2022).
46. Квантовые коммуникации для защиты линий связи // АО «СМАРТС». – URL: <https://www.smarts.ru/static/metrica/images/pdf/22.pdf> (дата обращения: 08.12.2022).
47. Калачев А. А. Основные публикации // Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского. – URL: http://www.kfti.knc.ru/personal/kalachev/list.php?SECTION_ID=2302 (дата обращения: 08.12.2022).
48. Научный семинар «Квантовые вычисления» прошел в ИФТТ РАН // НИИМЭ. НИИ Молекулярной электроники. – 2019. – URL: <https://www.niime.ru/press-center/news/1072-nauchnyy-seminar-kvantovye-vychisleniya-proshel-v-iftt-ran/> (дата обращения: 08.12.2022).

49. Молотков С. Н. Квантовое распределение ключей через недоверенные узлы // ИФТТ РАН. – 2019. – URL: https://www.niime.ru/upload/doklady/111219/2019-12-11_03.pdf (дата обращения: 08.12.2022).
50. Bannik O. I., Moiseev E. S. Plug&Play subcarrier wave quantum key distribution with deep modulation // Optics Express. – 2021. – Т. 29, № 23. – С. 38858–38869.
51. Балыгин К. А., Кулик С. П., Молотков С. Н. и др. О противодействии атаке с яркими состояниями в двухпроходной системе квантовой криптографии // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2016. – Т. 103, № 12. – С. 883–890.
52. Samsonov, E., Goncharov, R., Fadeev, M. et al. Coherent detection schemes for subcarrier wave continuous variable quantum key distribution // JOSA B. – 2021. – Т. 38, № 7. – С. 2215–2222.
53. Открытый конкурс в электронной форме №832/ОКЭ-ДКСС/21 на право заключения договора выполнения работы по теме «Разработка функциональных устройств для квантовых коммуникаций на основе фотонных интегральных схем». – URL: <https://www.rts-tender.ru/poisk/id/l32110755489-1/> (дата обращения: 08.12.2022).
54. Беспилотные автомобили защитили от взлома квантовым шифрованием // Хайтек. – 2021. – URL: <https://hightech.fm/2021/05/12/quantum-encryption-new> (дата обращения: 08.12.2022).
55. Юрий Курочкин, QRate: мы первыми в мире провели тест квантовой защиты беспилотного авто / беседовал И. Сурвилло // ТАСС. – 2021. – URL: <https://nauka.tass.ru/interviews/13204677> (дата обращения: 08.12.2022).
56. Некоторые исследования в области квантовой коммуникации // Журнал «Information Security / Информационная безопасность» – 2019. – №2.
57. Gleim A. V., Kynev S. M., Egorov V. I. et al. Subcarrier wave quantum networking for free space communications // Proceedings-International Conference Laser Optics 2018, ICLO 2018. – 2018. – С. 281-281.
58. АО «СМАРТС» и университет ИТМО установили мировой рекорд по дальности обмена квантовыми ключами шифрования // Пресс-центр АО «СМАРТС». – 2019. – URL: <https://www.smarts.ru/ru/press-center/ao-smarts-i-universitet-itmo-ustanovili-mirovoi-rekord-po-dalnosti-obmena-kvantovymi-kliuchami-shifrovaniia/> (дата обращения: 08.12.2022).

59. МТУСИ и компании QRate и «Мостком» испытали беспроводную квантовую криптографию // ICT.Moscow. – 2022. – URL: <https://ict.moscow/news/mtusi-i-kompanii-qrate-i-mostkom-ispytali-besprovodnuiu-kvantovuiu-kriptografiyu/> (дата обращения: 08.12.2022).
60. Боев А. А. и др. Возможность построения модульной системы квантового распределения ключей в атмосфере // Письма в Журнал технической физики. – 2022. – Т. 48, № 15. – С. 15-18.
61. Газпромбанк профинансировал разработку системы квантовой спутниковой связи компании QRate // Пресс-центр «Фонд содействия инновациям». – 2021. – URL: <https://fasie.ru/press/fund/gazprombank-profinansiroval-razrabotku-sistemy-kvantovoy-sputnikovoy-svyazi-kompanii-qrate/> (дата обращения: 08.12.2022).
62. Фотонная защита. Россия вышла на второе место по протяженности линий квантовой связи // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – 2021. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/events/41173/> (дата обращения: 08.12.2022).
63. Квантовая связь освоит космос // Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ ComNews. – 2021. – URL: <https://www.comnews.ru/content/214773/2021-06-02/2021-w22/kvantovaya-svyaz-osvoit-kosmos> (дата обращения: 08.12.2022).
64. Информационно-поисковая система ФИПС // Федеральный институт промышленной собственности. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/> (дата обращения 16.11.2021).
65. Методология анализа международного рынка квантовых коммуникаций // Фонд «НИР», Москва. – 2021.
66. Методические рекомендации ТК26 «Информационная технология. Криптографическая защита информации. Ключевая система полносвязной многоарендаторной сети шифрованной связи на базе ККС ВРК с ДПУ».
67. Проект Предварительный национальный стандарт Российской Федерации «Квантовые коммуникации. Термины и определения».
68. Белая книга. Развитие отдельных высокотехнологичных направлений // НИУ «ВШЭ», Москва. – 2022.

69. Проект Предварительный национальный стандарт Российской Федерации «Квантовый интернет вещей. Термины и определения».
70. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии», одобренная Президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности 02.10.2019.
71. Методология анализа рынка квантовых коммуникаций в Российской Федерации // Фонд «НИР», Москва. – 2021.
72. Bishop, L., Bravyi, S., Cross, A. et al. Quantum volume // Quantum Volume. Technical Report. – 2017.
73. Федоров А. К. Квантовые технологии: от научных открытий к новым приложениям // Фотоника. – 2019. – Т. 13, № 6. – С. 574–583.
74. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая, статья 1354) от 18.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 11.06.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.08.2021).
75. Методика определения уровней готовности технологии в рамках проектов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» (утв. Минобрнауки России 11.07.2017 N ГТ-57/14вн).
76. Соловьев В. М. Квантовые компьютеры и квантовые алгоритмы // Информационные технологии в образовании. – 2015. – С. 75–93.
77. Kiktenko E. O., Fedorov A. K., Strakhov A. A., Man'ko V. I. Single qubit realization of the Deutsch algorithm using superconducting many-level quantum circuits // Physics Letters A. – 2015. – Т. 379, № 22-23. – С. 1409–1413.
78. Приказ Минкомсвязи России от 23.04.2020 № 195 «Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».
79. Распоряжение Правительства РФ от 31.12.2020 № 3684-р «Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 - 2030 годы)».

80. Высшее образование // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/> (дата обращения: 16.11.2021).
81. Приказ Минтруда России от 12.04.2013 № 148 н «Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов» (Зарегистрировано в Минюсте России 27.05.2013 № 28534).
82. Формирование и ведение Федерального реестра сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении // Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки. – URL: <http://obrnadzor.gov.ru/gosudarstvennye-uslugi-i-funkczii/7701537808-gosfunction/formirovanie-i-vedenie-federalnogo-reestra-svedenij-o-dokumentah-ob-obrazovanii-i-ili-o-kvalifikaczii-dokumentah-ob-obuchenii> (дата обращения: 22.11.2021).
83. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 28.06.2021, с изм. от 06.10.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2021). – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
84. Перечень сведений электронной трудовой книжки // Пенсионный фонд Российской Федерации. – URL: <https://pfr.gov.ru/grazhdanam/etk> (дата обращения: 22.11.2021).
85. Отдел содействия трудоустройству // Управление образовательных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана. – URL: <http://hoster.bmstu.ru/~det/tryd.html> (дата обращения 08.12.2022).
86. Приказ Министерства образования и науки РФ от 10 марта 2005 г. №65 «Об утверждении Инструкции о порядке выдачи документов государственного образца о высшем профессиональном образовании, заполнении и хранении соответствующих бланков документов» (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 01.04.2008 № 106, от 22.03.2010 № 197). – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
87. Годовой отчет Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2020 год. // Публичная отчетность Госкорпорации «Росатом». – URL: <https://rosatom.ru/upload/iblock/3e6/3e6d09cdb72b1b0ca04170425a2edd50.pdf> (дата обращения: 22.11.2021).

88. О компании // HeadHunter. – URL: <https://hh.ru/article/28> (дата обращения: 08.12.2022).
89. HeadHunter // Интернет-энциклопедия Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/HeadHunter> (дата обращения: 08.12.2022).
90. Реестр сведений о проведении независимой оценки квалификации // Реестр НОК. – URL: <https://nok-nark.ru/> (дата обращения: 23.11.2021).
91. Сведения о данных, внесенных в Реестр // Реестр НОК. – URL: <https://nok-nark.ru/statistics/> (дата обращения 23.11.2021).