

Аналитический отчет

Кадровое обеспечение в области
квантовых коммуникаций

ОАО «МАЦ», Москва, 2021



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ТЕРМИНОЛОГИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	8
2. ПРИОРИТЕТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	11
2.1 ВВЕДЕНИЕ	11
2.2 Тренды развития технологий квантовых коммуникаций в мире как основа для определения ключевых направлений подготовки высококвалифицированных кадров	15
2.3 Оценка развития технологий квантовых коммуникаций в Российской Федерации в целях определения объема кадровых потребностей отрасли.....	28
2.4 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»	42
2.5 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	45
3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ СО СМЕЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЛАСТЯМИ, ВКЛЮЧАЯ ОЦЕНКУ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕКРЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ МЕЖДУ ПРЕДМЕТНЫМИ ОБЛАСТЯМИ	48
4. 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	68
4.1 Предпосылки.....	68
4.2 Методика	70
4.3 Оценка кадровой обеспеченности по типам организаций и ролям специалистов.	74
4.4 Обобщенная оценка кадровой обеспеченности по состоянию на 2020-2021 год.....	78
5. 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).....	92
5.1 ОПИСАНИЕ РОЛЕЙ СПЕЦИАЛИСТОВ И ИХ СООТНЕСЕНИЕ С НАИБОЛЕЕ РЕЛЕВАНТНЫМИ БАЗОВЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ПОДГОТОВКИ.....	94
5.2 ПЕРЕЧЕНЬ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ	107
5.2.1. НАУЧНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ	107
5.2.2 РАЗРАБОТЧИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ.....	112
5.2.3 ОПЕРАТОРЫ СВЯЗИ (И ИНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ ВНЕДРЕНИЕМ).....	118
5.2.4 КРУПНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ (И ИНЫЕ ЭКСПЛУАТАНТЫ).....	125
6. ПЕРЕЧЕНЬ РОССИЙСКИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПОДГОТОВКУ КАДРОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	133
7. ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ОБЪЕМА (В 2020 - 2025 ГГ.) ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКИМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ	151
7.1 Предпосылки и источники данных.....	151
7.2 КАРТА ВУЗОВ И СПО.....	152
7.3 ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ОБЪЕМА ВЫПУСКА ПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ВУЗАМИ, ВКЛЮЧАЯ ПРОГНОЗ ДО 2025 ГОДА	154
7.4 ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ОБЪЕМА ВЫПУСКА ПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ СПО ВКЛЮЧАЯ ПРОГНОЗ ДО 2025 ГОДА	159
7.5 ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ РЕАЛИЗУЕМЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПОТРЕБНОСТЯМ УЧАСТНИКОВ РЫНКА	161
8. ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ОБЪЕМА (В 2020 - 2025 ГГ.) ПОТРЕБНОСТЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В КАДРАХ ДЛЯ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ	162
8.1 ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ОБЛАСТИ КВАНТОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ В РАЗРЕЗЕ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	162
8.2 ПРИВЛЕЧЕНИЕ И ПЕРЕОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ	164
8.3 ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ КАДРОВЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ДО 2025 ГОДА	167

9. 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	174
10. Оценка потребности в формировании системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций.....	219
10.1 Существующие информационные ресурсы, содержащие важные для создания системы учета данные или выполняющие аналогичные задачи в других областях.	219
10.2 Ожидания работодателей, соискателей и образовательных организаций от системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций	228
10.3 Барьеры и риски внедрения системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций	229
10.4 Ключевые пути создания и развития системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций	230
11. Проблемы кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций.....	234
11.1 Ключевые проблемы кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций	234
11.2 Сопутствующие проблемы кадрового обеспечения и подготовки специалистов в области квантовых коммуникаций	235
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	237

Введение

Настоящий аналитический отчет включает следующие разделы:

- приоритетные технологические направления в области квантовых коммуникаций;
- терминология, используемая в области квантовых коммуникаций;
- взаимодействие технологий квантовых коммуникаций со смежными технологическими областями, включая оценку возможности перекрестного использования специалистов между предметными областями;
- 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;
- 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 в области квантовых коммуникаций (фундаментальные исследования, разработка прикладных решений, внедрение, эксплуатация);
- перечень российских образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров для работы в области квантовых коммуникаций;
- численная оценка ежегодного объема (в 2020 – 2025 гг.) подготовки кадров для работы в области квантовых коммуникаций российскими образовательными организациями;
- численная оценка ежегодного объема (в 2020 – 2025 гг.) потребностей Российской Федерации в кадрах для работы в области квантовых коммуникаций;
- 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;

- оценка потребности в формировании системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций;
- проблемы кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций.

В рамках анализа приоритетных технологических направлений были проанализированы наиболее вероятные сценарии развития технологий квантовых коммуникаций в мире и в Российской Федерации, а также барьеры и риски, в том числе технологические, внедрения технологий квантовых коммуникаций и их влияние на формирование потребностей в специалистах в области квантовых коммуникаций, на основании чего, с учетом целевых показателей, приоритетных технологий, высокотехнологичных продуктов и сервисов «дорожной карты» развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» на период до 2024 года сформулированы выводы о тенденциях развития технологий квантовых коммуникаций в Российской Федерации и мире и о необходимости подготовки высококвалифицированных кадров.

При подготовке настоящего аналитического отчета также были учтены и (или) использованы:

- результаты проведения стратегической сессии с целью выработки общих подходов к анализу текущей кадровой обеспеченности высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»;
- результаты анкетирования организаций, работающих в области квантовых коммуникаций или являющихся потенциальными пользователями таких технологий;
- результаты проведения интервью с профильными представителями анкетизируемых организаций;
- результаты проведения стратегических сессий с привлечением участников рынка с целью обсуждения и валидации промежуточных результатов анкетирования и интервью;

- результаты проведения стратегических сессий с привлечением участников рынка с целью обсуждения и валидации промежуточных результатов, полученных в ходе формирования аналитического отчета;
- результаты сбора и систематизации информации из открытых источников.

1. Терминология, используемая в области квантовых коммуникаций

В отчете используются термины (понятия) в области «Квантовых коммуникаций», 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 незащищенным каналам. Закрытый ключ применяется для расшифровки данных, зашифрованных открытым ключом.

Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) – это вид системы передачи, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием оптическое волокно.

Информационная безопасность – состояние защищенности 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.

Квантовые вычисления – новый класс вычислительных устройств, использующий для решения задач принципы квантовой механики [50].

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

Квантовые коммуникации – технологии, направленные на устранение угрозы информационной безопасности, в том числе со стороны квантовых компьютеров, включают использование свойств квантовых систем для передачи ключей [50].

Квантовый объем – мера вычислительной мощности квантового компьютера [51].

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

Квантовое распределение ключей (КРК) – процедура распределения ключей, реализуемая с помощью квантовых каналов связи и специальных протоколов (подробный принцип работы описан в разделе 2.1).

Квантовые сенсоры – высокоточные измерительные приборы, основанные на квантовых эффектах [50].

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

Квантовая суперпозиция – фундаментальный принцип квантовой механики, согласно которому, если для некоторой квантовой системы допустимы 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.

Квантовые технологии – технологии управления сложными квантовыми системами на уровне отдельных частиц, например, атомов и фотонов [50].

Квантовая физика – физика происхождения явлений на уровне элементарных частиц.

Кубит – наименьшая единица информации в квантовом компьютере.

Международный рынок квантовых коммуникаций – международные экономические отношения между производителями товаров и услуг и потребителями в области квантовых коммуникаций.

Патент на изобретение, полезную модель или промышленный образец

– удостоверяет приоритет изобретения, полезной модели или промышленного образца, авторство и исключительное право на изобретение, полезную модель или промышленный образец [52].

Постквантовая криптография – новое поколение криптографических алгоритмов с открытым ключом.

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

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.

Метод квантового отжига – нахождение глобального минимума некоей целевой функции посредством квантовых флуктуаций (туннелирования через потенциальные барьеры) [53].

Фотон – элементарная частица, квант света.

TRL (*Technology Readiness Level*) – Уровень готовности технологий (УГТ) – характеристика соответствия конкретной технологии уровню ее зрелости от идеи до серийного производства, выражающаяся в определенном научном, научно-техническом или производственном результате, измеряемая соответствующими показателями результативности и соответствующая определенному диапазону вкладываемых бюджетных средств [54].

2. Приоритетные технологические направления в области квантовых коммуникаций

2.1 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.

Квантовая связь использует законы квантовой физики для защиты данных. Эти законы позволяют частицам (обычно фотонам) принимать состояние суперпозиции, что означает, что они могут представлять несколько комбинаций 1 и 0 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. Это означает, что нарушитель не может вмешиваться в работу кубитов, не оставив после себя явный признак активности.

Некоторые компании воспользовались этим свойством для создания решений шифрования и расшифровки информации. Такие решения основываются на методе передачи ключа, использующего квантовые явления для гарантии безопасной связи, на основе процесса, называемого квантовым распределением ключей (КРК). По крайней мере, теоретически эти сети сверхбезопасны.

В таких системах основной массив данных отправляется и шифруется с помощью классических средств криптографической защиты информации (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 в виде кубитов, состояния поляризации которых представляют отдельные битовые значения ключа.

Кубиты отправляются Бобу по оптоволоконному кабелю или атмосферной линии и после измерений состояний части кубитов Алиса и Боб могут получить одинаковый ключ и удостовериться, что его никто не подслушал.

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 предел, они могут их исправить и получить конечный ключ.

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

Сейчас дальность КРК ограничена, поэтому используется технология доверенных узлов, однако доверенные узлы нужно охранять и было бы еще безопаснее, если бы можно было рассчитывать на квантовые повторители. Квантовые повторители или промежуточные станции позволяли бы ключам шифрования оставаться в квантовой форме, поскольку они усиливаются и отправляются на большие расстояния. Исследователи продемонстрировали принципиальную возможность создания таких повторителей, но пока не смогли создать рабочий прототип.

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.

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, будь то стадия разработки, когда к команде присоединяются специалисты, работающие в области прикладных исследований, или же специалисты, работающие непосредственно с готовыми продуктами и решениями, отвечающими за эксплуатацию оборудования. Кроме эксплуатации оборудования, необходимо учитывать также кадровую потребность в руководителях направлений разработок, в специалистах в области маркетинга и продаж решений, основанных на квантовых коммуникациях. 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».

Задачи, поставленные для достижения текущей цели:

- Анализ приоритетных технологических направлений в области квантовых коммуникаций для определения ключевых направлений подготовки квалифицированных кадров;
- Анализ взаимодействия технологий квантовых коммуникаций со смежными областями в целях выявления возможности перекрёстного использования специалистов;
- Обобщенный 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;
- Численная оценка ежегодного объема подготовки кадров и потребностей Российской Федерации в кадрах для работы в области квантовых коммуникаций;
- Определение требований к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций;
- Оценка потребности в формировании системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций;
- Исследование проблем кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций.

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;
- 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.

2.2 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 58048-201, 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, дальнейшего 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 ее теоретическое и/или экспериментальное обоснование.

TRL 2. Концепция технологии и/или ее 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 расчетных исследований и моделирования.

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

Даны аналитические и экспериментальные подтверждения по важнейшим функциональным возможностям и/или характеристикам выбранной концепции. Проведено расчетное 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 расчетных 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 расчетных 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 путем 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.

- **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 [2]. Линия использует 32 доверенных узла в качестве повторителей [3]. Квантовая телекоммуникационная сеть также была введена в эксплуатацию в Ухане, столице провинции Хубэй в центральном Китае, которая будет подключена к магистрали. Согласно национальному плану планируется создание других подобных городских квантовых сетей вдоль реки Янцзы [4].

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 [5].

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

- **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, берет 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 [5].

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 [6]. 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 [7], 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 [8]. 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 [9], 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 [10]. Toshiba в партнерстве с BT 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 [11].

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 [5].

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 ненадежных промежуточных узлов с устойчивостью к отключенной топологии сети» [12], которые можно назвать граничными с началом появления лабораторных образцов, в связи с чем уровень развития данной технологии можно оценить как соответствующий TRL3-4.

- **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 [13].

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 2х6 мм, что позволяет одновременно производить несколько сотен чипов на пластине [14].

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. [15].

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 измененном 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 [5].

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 сертифицированных решений ограничивает уровень развитости 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 2.2.1.

Таблица 2.2.1 – Протоколы, использовавшиеся в существовавших квантовых оптических сетях [5], [16], [17], [18].

Квантовая сеть	Год запуска сети	Используемые протоколы				
		BB84	B92	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

Информация, о степени развития каждой из приоритетных технологий в мире, обобщена в таблице 2.2.2.

Таблица 2.2.2 – 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

Технология	Уровень TRL
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.

В качестве публикационной активности в соответствии с мировым сообществом принимались сведения полученные в [19].

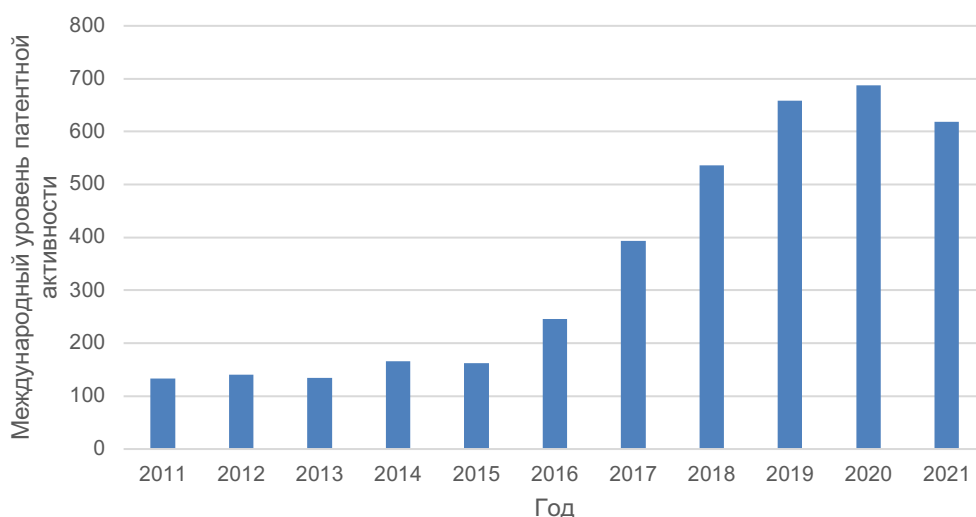


Рисунок 2.2.1 - График международной патентной активности в области «квантовые коммуникации»

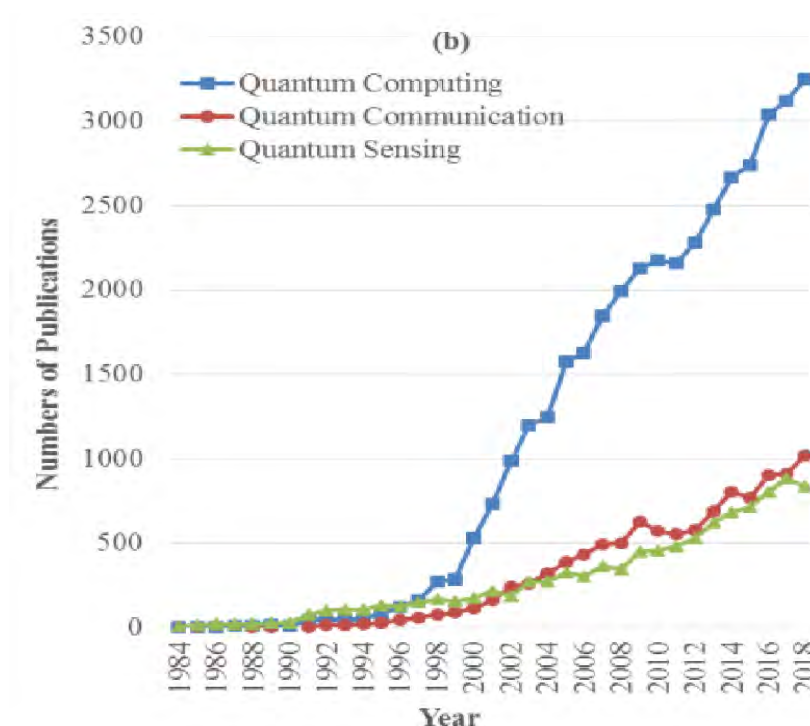


Рисунок 2.2.2 - График роста публикационной активности основных областей квантовых технологий

Следует отметить, что информация за последние 2 года, т.е. за 2020 и 2021 гг. не является полной в связи с обязательным временным интервалом, проходящим между возникновением технологии, получением патента и публикации соответствующей информации патентными ведомствами. Таким образом, на некоторых графиках, иллюстрирующих временную динамику появления патентных документов, можно наблюдать спад в интервале 2020-2021гг., 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 свойственно тому, 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 все большим интересом к области квантовых технологий и области квантовых коммуникаций, в частности.

2.3 Оценка развития технологий квантовых коммуникаций в Российской Федерации в целях определения объема 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, НИТУ МИСиС.

- **Магистральные оптоволоконные квантовые сети**

В июне 2021 запущена первая в РФ линия связи по магистральному квантовому защищенному каналу между Москвой и Санкт-Петербургом. Он имеет

протяженность 700 км, что делает его самым крупным в Европе и вторым по величине в мире.

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 [20].

7 декабря 2021 года в своём пресс-релизе компания «ИнфоТекС» сообщила о получении разрешения от ФСБ России на опытную эксплуатацию квантовой криптографической системы ViPNet Quandor [21].

Существующая магистральная сеть продемонстрирована в реальных условиях эксплуатации, тем не менее, отсутствие до 7 декабря 2021 года одобрения регулятора применения технологии в реальных условиях с реальными данными не позволяло оценить уровень TRL технологии на уровне 8 баллов. Однако, учитывая информацию из пресс-релиза компании «ИнфоТеКС» можно считать, что первый глобальный шаг на пути к сертификации продуктов связанных с квантовыми коммуникациям сделан и велика вероятность получения подтверждения работы технологии с реальными данными в самое ближайшее время, в связи с чем целесообразно принимать уровень развития технологии магистральных оптических квантовых сетей, как TRL8.

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

В конце 2020 года компания «ИнфоТеКС» сообщила об успешном завершении испытаний квантовой системы ViPNet Quandor, проведенных на базе Санкт-Петербургского информационно-аналитического центра (СПб ИАЦ) в конце 2020 года [22].

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

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

Центр Квантовых технологий МГУ и компания АО «ИнфоТеКС» при поддержке ПАО «Ростелеком» совместно реализуют проект «Университетская Квантовая Сеть». 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 защищенного 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 смогут обмениваться секретными сообщениями в текстовом, аудио- или видео-форматах. Сеть будет базироваться на оптоволоконных линиях – как имеющихся, так и проложенных специально в рамках проекта. Впоследствии к оптоволоконным линиям добавятся участки на основе атмосферных каналов связи длиной порядка нескольких сотен метров.

Важной особенностью проекта является его открытость. В настоящее время ведется 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 [23].

Базовый сценарий – 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 [24].

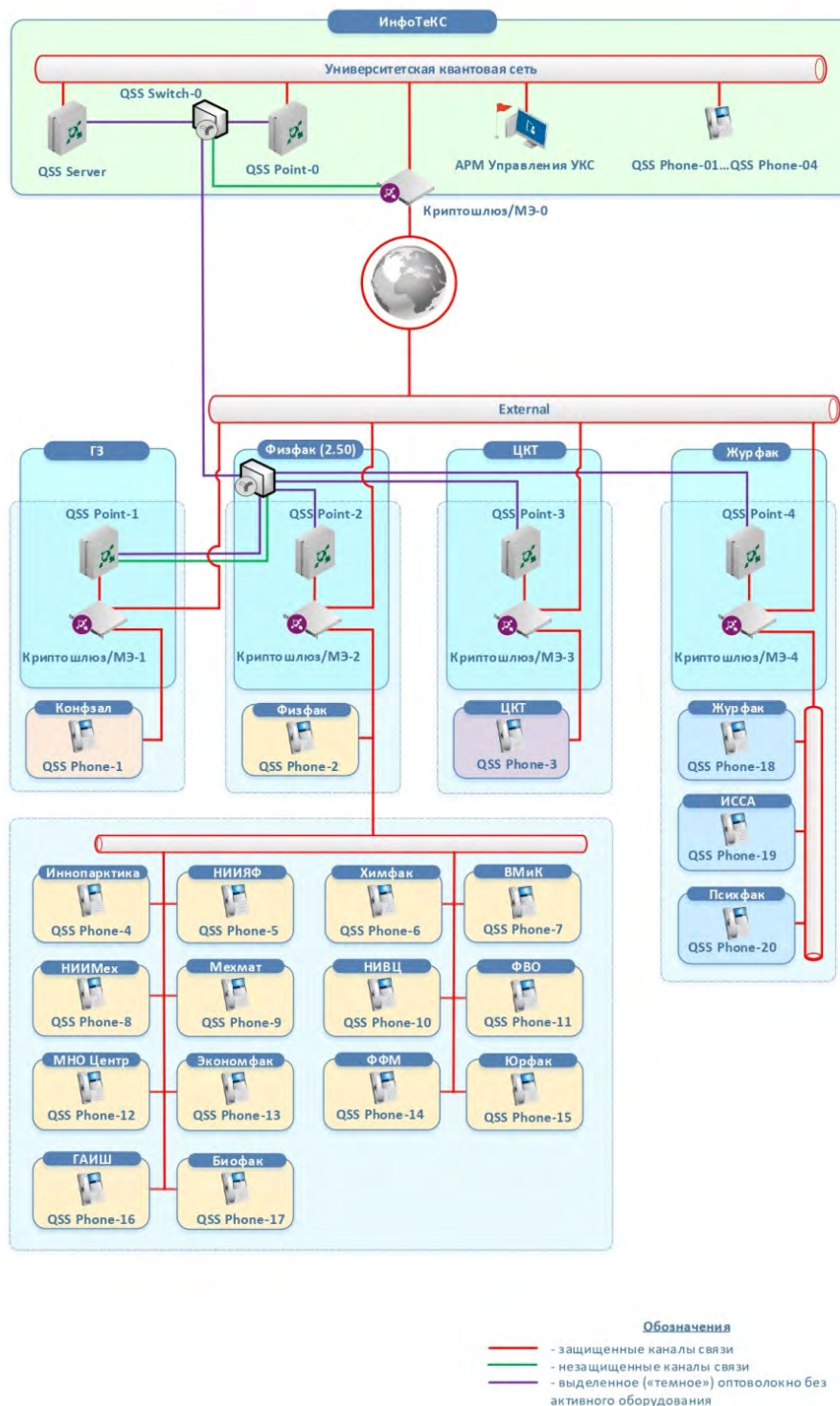


Рисунок 2.3.1 - Схема ViPNet QSS между МГУ и ИнфоТеКС

Уровень развития технологии доверенных промежуточных узлов в сетях КРК можно оценить как TRL8, наиболее близки к подтверждению окончательной

работоспособности образца, т.к. информация о решениях компании «ИнфоТекС» широко представлена в различных источниках [21].

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

В большинстве магистральных оптоволоконных сетей применяется мультиплексирование по длине волны. Наличие классического сигнала в одной жиле оптоволокна 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 [25].

В 2019 году проводился тендер: НИР «Исследования проблем обеспечения и контроля совместимости технологий квантового распределения ключей с технологиями оптических транспортных сетей (OTN, DWDM)» [26].

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

Системы КРК на боковых частотах, перспективные с точки зрения мультиплексирования в ВОЛС, разрабатываются в Университете ИТМО [27]. 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» [28].

Российские ученые осуществили квантовую генерацию ключей — передали однофотонные состояния — в одном оптическом волокне с мощным классическим излучением. Для реализации этого эксперимента был использован метод спектрального мультиплексирования, сообщается в пресс-релизе, поступившем в редакцию научно-популярного интернет-издания «N + 1». При дальнейшем развитии опробованная технология позволит обойтись без использования дефицитного «темного» (свободного от передачи классических данных) волокна.

Команда физиков из компании «КуРэйт» провела успешный эксперимент по одновременной передаче классического и квантового сигналов по единому оптоволокну с использованием спектрального мультиплексирования. Им удалось эффективно сгенерировать секретный ключ в «светлом» волокне.

Приблизить эксперимент к реальным условиям ученым позволило использование промышленного телекоммуникационного оборудования российского разработчика и производителя «Т8». Квантовое распределение ключей команда «КуРэйт» осуществляла с помощью собственного оборудования, работающего по протоколу BB84-Decoy State на поляризационных состояниях [29].

Масштаб изученности данной технологии, условия проведения экспериментов соответствуют уровню развития технологии 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 [30].

Компания «Инфотекс» и Центр квантовых технологий МГУ представили первый в России телефон с квантовой защитой связи ViPNet QSS Phone. Устройство представляет собой стационарный IP-телефон, подключенный к клиенту квантового распределения ключей и серверу. За счет протокола квантового шифрования он шифрует голосовой трафик между собеседниками так, что получить к нему доступ невозможно.

Серийное производство первых партий квантового телефона должно было начаться к концу 2019 г. «Инфотекс» собирается продавать его в первую очередь крупным корпорациям, поскольку утечки данных чаще всего связаны с разглашением информации сотрудниками [31].

С 15 июля 2020 г. по 1 марта 2021 г. проводился пилотный проект по использованию российских криптографических алгоритмов и средств шифрования в государственных информационных системах [32].

В квантовой оптоволоконной сети «Москва - Санкт-Петербург» используется маршрутизация L2/L3 [33]. 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 [34].

Таблица 2.3.1 - Уровни модели OSI ISO

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

Так как в сети «Москва - Санкт-Петербург» еще не проводились окончательные приёмочные испытания, можно принимать уровень развития данной технологии 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 не выходят за рамки 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. [35].

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) [36], [37] 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. Тем не менее готового решения на данный момент ни у кого нет, поэтому принято считать TRL равным 5-6. В этом направлении имеется ряд работ, например, «О противодействии атаке с яркими состояниями в двухпроходной системе квантовой криптографии» и др. [38], [39], [40].

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 октябре 2021 года проводился 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» [41]. Одной из

организаций, которая ведет активные исследования в области исследования фотонных интегральных схем, является Сколковский институт науки и технологий.

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

- **Атмосферные оптические квантовые каналы связи**

В Центре квантовых технологий (ЦКТ) им. М.В. Ломоносова активно создается фундаментальный научный задел и образцы аппаратуры в области защищенных квантовых коммуникаций, и новое поколение аппаратуры с гарантированной криптографической стойкостью - через волоконные линии связи, атмосферные каналы, вплоть до низкоорбитальных спутников [42].

В Университете ИТМО разработки в области атмосферных оптических квантовых каналов связи ведутся в лаборатории атмосферных оптических квантовых каналов связи. Примером исследования, посвященного этой теме, является работа «Квантовые сети на боковых частотах для связи в свободном космосе» [43].

В пресс релизе АО «СМАРТС» от 13 декабря 2019 г. упоминается, что во время приемных 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 [44].

В августе 2021 года подведены итоги успешного испытания по передаче квантово-защищённых ключей через беспроводную оптическую линию связи. 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». Работы проведены на площадке НТИ «Квантовые коммуникации» НИТУ МИСиС.

Следующим этапом испытаний станет эксперимент в реальных условиях с воздействием внешних факторов для выявления потребительских свойств создаваемого решения. Будет увеличено расстояние между точками и

оптимизирован алгоритм синхронизации для работы в условиях динамических потерь в атмосферном канале. Также планируется цикл совместных экспериментов с участием АО «Мостком», ООО «КуРЭйт» и НТИ «Квантовые коммуникации» НИТУ МИСиС. Целью проекта является разработка доступных решений для рынка информационной безопасности по организации распределения квантово-защищённых ключей без применения ВОЛС [45].

На данный момент информации о проведении эксперимента в реальных условиях в открытых источниках не опубликовано, таким образом, уровень развития атмосферных оптических квантовых каналов связи в России равен TRL6.

- **Космические оптические квантовые линии связи**

АО «Газпромбанк» предоставил финансирование проекту квантовой спутниковой связи компании ООО «КуРЭйт» в размере 6 миллионов рублей. Кроме того, компания КуРЭйт выиграла грант Фонда содействия инновациям в размере 20 миллионов рублей по конкурсу «Развитие-ЦТ». Все полученные средства компания планирует вложить в создание наземного оборудования для приема квантового сигнала из космоса и высокоскоростной оптической связи «спутник-Земля» [46].

По словам Сергея Кулика, 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», 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 толщину земной атмосферы и космического вакуума [47].

Пока комплексная система из всех частей, включая спутник, есть только у Китая. В российской разработке запуск спутника планируется на низкой околоземной солнечно-синхронной орбите, высотой 440-600 км. Предполагается, что спутник будет сначала один, как демонстратор технологии. Спутник, как часть спутниковой системы, заложен в дорожной карте по квантовым коммуникациям, рассчитанной в разных частях до 2024 г. и 2030 г., производитель не конкретизируется. Приемный модуль сам по себе является универсальным

устройством. То есть его можно использовать и в атмосферных системах квантового распределения ключей, которые работают без спутников и используются, например, для беспилотного транспорта [48].

Если принимать во внимание приемный модуль, то уровень развития технологии космических оптических квантовых линий связи в России можно было бы обозначить как TRL4, тем не менее, спутник, как и безопасное соединение двух точек – спутника и станции на Земле, является приоритетной частью технологии. 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, как и во всём мире на данный момент сертифицированных решений нет, возможность установить уровень выше, чем TRL8 отсутствует. Стоит также учесть, что, как и в случае с анализом использования различных протоколов в мире, различные российские компании представители области квантовые коммуникации используют различные протоколы.

Таблица 2.3.2 - 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

Технология	Уровень TRL
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. Поиск патентной активности осуществляется с помощью сервисов ФИПС (Федеральный институт промышленной собственности). Поисковая система ФИПС позволяет осуществлять поиск патентной активности 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 трех последних бюллетеней – патентные документы, опубликованные в трех 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 трех последних бюллетеней - формулы полезных моделей с графическим изображением (если оно есть) из трех 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 [49].

Основной областью поискового запроса являются «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. Все результаты были обобщены и представлены в виде количества патентной активности в зависимости от времени на рисунке 2.3.2.

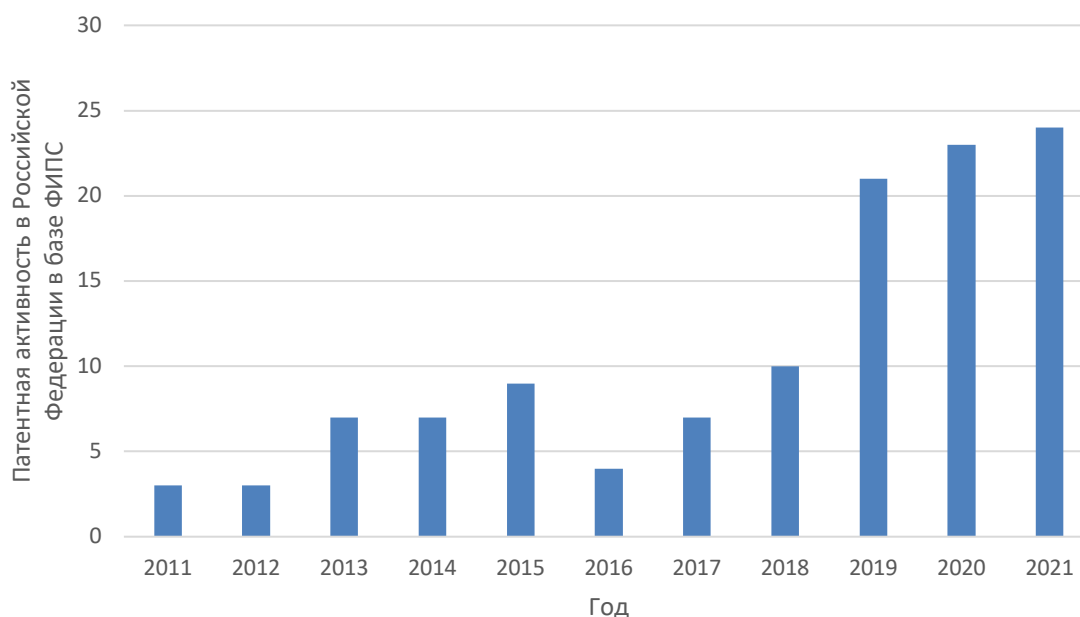


Рисунок 2.3.2 - График патентования в области «квантовые коммуникации» согласно патентным базам поисковой системы ФИПС

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, как в мире. 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.

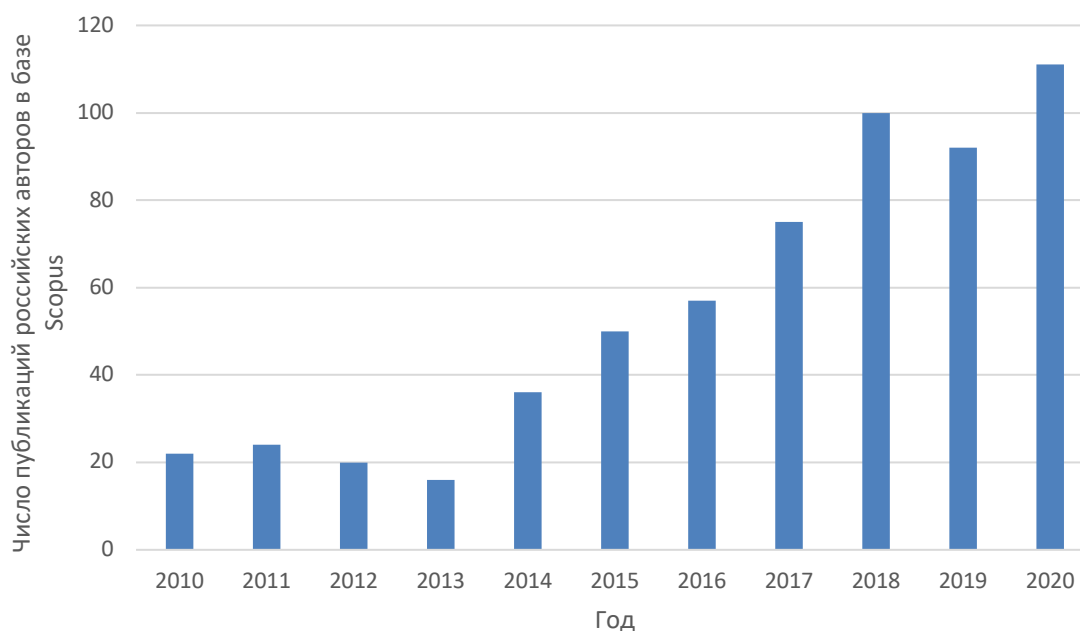


Рисунок 2.3.3 – Публикационная активность в области «квантовых коммуникаций», индексируемых в Scopus, в Российской Федерации

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.

2.4 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 2.4.1.

Таблица 2.4.1 – 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	6
Мультиплексирование квантовых и классических (информационных) каналов	6	4-5
Технологии управления квантовыми сетями и предоставления сервисов на их основе	8	7
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

Технология	TRL в мире	TRL в России
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 серьезное 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 2021 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 отсутствие сертифицированных решений регулятора. При этом, как было указано ранее, зафиксирован значительный прогресс по данному вопросу.
4. Серьезное 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. В Российской Федерации на данный момент отсутствуют готовые сертифицированные решения, по этой причине уровень развития большинства технологий составляет не больше TRL7. При этом прогнозируется появление в 2022 году таких решений и начало их коммерческой эксплуатации, что в свою очередь создает необходимость подготовки специалистов, способных продавать продукты и решения, связанные с квантовыми коммуникациями, причем таким специалистам необходимо понимание принципов их работы.

7. 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.
8. Требования к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций должны быть дифференцированы по типам организаций и ролям специалистов.
9. 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.
10. Необходимо обратить особое внимание на изучение требований к компетенциям специалистов исследователей, разработчиков в области квантовых коммуникаций.
11. Бурное развитие области в последние годы может привести к острой востребованности высококвалифицированных кадров, отслеживанию которых, в свою очередь, возможно, поможет система унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций.
12. Проведение анализа кадровых потребностей в высокотехнологичной области «Квантовых коммуникации» является необходимой задачей для обеспечения ее успешного и своевременного развития.

2.5 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

Как и в любой высокотехнологичной области, в квантовых коммуникациях существует достаточно много барьеров и рисков внедрения технологий при выходе на рынок. Основываясь на полученных результатах анкетирования и интервьюирования, было определено 17 основных барьеров и 3 риска.

Ниже приведен обобщенный перечень барьеров и рисков.

- **Барьеры для потребителей**

1. Отсутствие сертифицированных решений;
2. Новизна технологии;
3. Отсутствие единого протокола;
4. Необходимость дорогостоящей модернизации инфраструктуры;
5. Дороговизна предлагаемых решений;
6. Отсутствие данных об отказоустойчивости систем на базе квантовых коммуникаций.

- **Барьеры для производителей и разработчиков**

1. Отсутствие практики сертификации на стороне регулятора;
2. Дефицит специалистов, способных работать на стыке технологий и рынка;
3. Отсутствие сформировавшегося рынка и узкий спектр потенциальных потребителей;
4. Дефицит высококвалифицированных узкопрофильных специалистов;
5. Высокие зарплатные ожидания высококвалифицированных специалистов;
6. Капиталоемкость;
7. Недостаточная интеграция проектов дорожной карты;
8. Сложность перехода от фундаментальных исследований к прикладным;
9. Ограничение на импорт комплектующих;
10. Ограниченный экспортный потенциал;

11. Противоречия между научными и коммерческими целями исследований.

• Риски внедрения технологии квантовых коммуникаций

1. Выявление уязвимостей в технологии квантовых коммуникаций;
2. Регуляторные риски;
3. Разработка замещающих технологий (например, пост-квантовой криптографии).

Таблица 2.5.1 - Матрица барьеров в зависимости от частоты их упоминания. От 0 до 10. 0 - наименьшая частота упоминания риска, 10 - максимальная частота упоминания риска.

Наименование барьера	Частота упоминания риска
Отсутствие сертифицированных решений	10
Новизна технологии	7
Отсутствие единого протокола	6
Необходимость дорогостоящей модернизации инфраструктуры	6
Дороговизна предлагаемых решений	4
Отсутствие данных об отказоустойчивости систем	4
Отсутствие практики сертификации на стороне регулятора	10
Дефицит специалистов, способных работать на стыке технологий и рынка	8
Отсутствие сформировавшегося рынка и узкий спектр потенциальных потребителей	8
Дефицит высококвалифицированных узкопрофильных специалистов	5
Высокие зарплатные ожидания высококвалифицированных специалистов	4
Капиталоемкость	4
Недостаточная интеграция проектов дорожной карты	2

Сложность перехода от фундаментальных исследований к прикладным	2
Ограничение на импорт комплектующих	1
Ограниченный экспортный потенциал	1
Противоречия между научными и коммерческими целями исследований	1

3. Взаимодействие технологий квантовых коммуникаций со смежными технологическими областями, включая оценку возможности перекрестного использования специалистов между предметными областями

Ранее в отчете 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 2021 год) уровень технологической готовности по смежным технологическим областям, формирование гипотезы о

перекрестном 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 2021 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 2021 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			

Уровень готовности	Допустимое значение индекса* готовности, характеристика QTRL/TRL	KB (QTRL)	КС (TRL)	КК (TRL)
7	(6,7] Создан прототип квантового компьютера (отжигателя), решающий небольшие, но важные для 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 КВ 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 объеме реализованы практически значимые алгоритмы.

В части технологий КС по состоянию на 2021 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 гребенки», «магнитоплазменные сенсоры». Менее развиты направления (решения) это «спинтронные сенсоры», «гравиметры, акселометры 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 3 – 8. Наибольший TRL, равный 8, имеют технологии магистральных оптоволоконных квантовых сетей и технологии доверенных промежуточных узлов в сетях КПК. Наименьший TRL, равный 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 направления подготовки «универсальные». Специалисты с образованием по таким направлениям будут востребованы во всех (трех) смежных областях. Существуют также направления подготовки, имеющие частичные связи в смежных областях – специалисты будут востребованы в двух

смежных областях из трех, а также узкоспециализированные направления подготовки.

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

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 [55]. 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 объеме». Под «качеством» в данном случае подразумевается количество ошибок в результате операции над кубитами.

В упрощенном виде эти 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 [56].

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 твердого 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 определенного типа.

Анализ открытых источников на предмет применения квантовых симуляторов показывает, что одним из основных направлений является решение задач точного расчета 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 констатировать направления исследований и разработок в области КВ, динамично развивающихся в РФ [70] и, как следствие, 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 трем 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 ее 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 ее жизнедеятельности и затем использоваться для измерения микроскопических полей внутри этой клетки [56]. 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, самолетов, 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;
- источники и приемники 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 [57].

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 [57].

Квантовые коммуникации (КК)

Квантовые коммуникации – технологии, направленные на устранение угрозы информационной безопасности, в том числе со стороны квантовых компьютеров, включают использование свойств квантовых систем для передачи ключей. Создание самого ключа не является сложной задачей, однако расшифровка сообщения, которое с его помощью зашифровано, является задачей, на которую с существующими мощностями требуется много времени. 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, поскольку чем точнее измеряется одна характеристика, тем менее точно можно измерить вторую). Таким образом, невозможно нелегитимно воспользоваться информацией, передаваемой по квантовому каналу, оставаясь незамеченным, что, соответственно, является основой обеспечения информационной безопасности.

Технологию квантовой криптографии также называют технологией квантового распределения (или рассылки) ключей (КРК). КРК на текущий момент представляет собой наиболее развитый класс устройств квантовой передачи информации.

Специалистам (разработчикам) таких устройств приходится решать ряд проблем. Одной из них является необходимость создания прямого соединения между абонентами, ведь только такой способ взаимодействия позволяет организовать защищённое распределение ключей шифрования.

Другая проблема – это ограничения, связанные с дистанцией связи и низкой скоростью. Ограничения на дистанцию связаны с тем, что фотоны «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.

Дальнейшее развитие технологии КРК предполагает ее 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.

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 учетом результатов интервью с экспертами по обозначенным направлениям.

Оценка возможности перекрестного 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» [58] с учетом данных, полученных при анкетировании профильных организаций, интервьюировании и проведении стратегических сессий, иных открытых источников.

Таблица 3.2 – Оценка перекрестного использования специалистов между предметными областями и востребованные организациями, осуществляющих деятельность в области квантовых технологий

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

№ п/п	Наименование направления подготовки (специальности)	КВ	КС	КК
18.	Радиоэлектронные системы и комплексы	+	+	+
19.	Прикладная математика		+	+
20.	Информатика и вычислительная техника			+
21.	Информационные системы и технологии		+	+
22.	Прикладная информатика	+	+	
23.	Программная инженерия		+	+
24.	Приборостроение	+	+	
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	+	+	
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			+

№ п/п	Наименование направления подготовки (специальности)	КВ	КС	КК
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 1-18), например «математика», «механика и математическое моделирование», «фундаментальная информатика и информационные технологии», «прикладные математика и физика» и так далее.

Другие направления подготовки специалистов имеют частичную связь (таблица 3.2, пункты 19-32). Здесь имеется в виду связь направлений подготовки между двумя смежными квантовыми технологиями. Например, направления «компьютерная безопасность». 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 перекрестного 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 квантовые технологии

№ 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	+	+	+

№ п/п	Наименование направления подготовки (специальности)	КВ	КС	КК
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. Результаты опроса показали некоторое различие в мнениях экспертов, однако выявленные расхождения подтверждают выдвинутую гипотезу и полученные в ходе работы результаты.

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

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

займет 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 твердого 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 твердого 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 твердого тела, программировании, 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.

Организации 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, системные интеграторы (разработчики).

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.

Например, специалисту по квантовым вычислениям будет интересно позаниматься способами приготовления передачи запутанных состояний в квантовых коммуникациях. 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 свое подтверждение. По ряду направлений существует частичная связь в смежных областях, то есть сохраняется возможность перекрестного использования специалистов в двух смежных областях из трех, 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. 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 проведена оценка текущей кадровой обеспеченности организаций, работающих в высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» и составлен прогноз изменения кадровых потребностей в перспективе до 2025 года. Полученные результаты сопоставлены с планами подготовки профильных специалистов.

4.1 Предпосылки

В ходе исследования 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 представлены сертифицированные регулятором решения, использующие технологии квантовых коммуникаций.

По консолидированному мнению участников исследования, такие решения могут появиться в 2022-2023 году. 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 не сформирована у потребителей таких решений и компаниях, занимающихся дистрибуцией и

поддержкой СКЗИ. Такие организации были исключены из оценки текущей кадровой обеспеченности, однако учитывались при прогнозировании кадровой потребности.

На данный момент в отдельных организациях-разработчиках существует только опытное производство. Серийное производство на данный момент не осуществляется ни одной организацией. По прогнозам ключевых игроков, в перспективе до 2025 года, с учетом сроков прохождения сертификации и ожидаемых сроков принятия решений о корректировке требований к частоте смены ключа для ключевых потребителей, масштабирование производства на серийных производственных площадках не потребуются. Таким образом, серийные производители также были исключены из оценки текущей кадровой потребности. При этом учитывается 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 защищенных 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, вовлеченных в процесс разработки, производства и эксплуатации решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций. В разделе 8 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.

4.2 Методика

Для проведения оценки кадровой обеспеченности была разработана и верифицирована в рамках трех 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. В рамках верификации подходов проведен ряд встреч с представителями Федеральных органов государственной власти и государственных военизированных организаций.

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 используются:

- 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;
- учтены 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.

Роли специалистов, имеющих компетенции в области квантовых коммуникаций, в государственных военизированных организациях:

- Консультант организаций эксплуатантов (эксперт).
- Специалист преподаватель.
- Рабочий персонал.

Роли специалистов в Федеральных органах государственной власти:

- Системный администратор.
- Рабочий персонал.

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 отчета приведены приоритетные направления подготовки. Кроме того, на основе данных, полученных в ходе исследования были определены пропорции между направлениями подготовки таких специалистов.

4.3 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 приведенных 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 № 4.3.1. (полные данные с учетом масштабирования приведены в Таблице № 4.3.3.):

Таблица 4.3.1. Результаты предварительной оценки кадровой обеспеченности организаций специалистами в области квантовых коммуникаций (до масштабирования).

	Специалист в области исследований в 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)			8	6	31	0	0	0	0	0	0		20 (+400)	20 (+400)				
Финансовые организации				1			0	0	0	0	0		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	0	0	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

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

Таблица 4.3.2. 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 – Ростелеком и 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 учетом опытного производства была получена по результатам анализа интервью с компаниями данного типа и исходя из численности подобных организаций в экосистеме РЖД. Доля научных организаций была оценена как 90%, исходя из патентного ландшафта.

На основании оценки долей, приведенных в Таблице № 4.3.2., было произведено масштабирование оценки задействования кадров. Результаты

масштабирования приведены в таблице № 4.3.3. Точность данной оценки составляет (-5%; +15%).

Таблица 4.3.3. 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	0	0	0	0	0	0		25-35 (+400) ¹	25-35 (+400)				
Финансовые организации				10-12			0	0	0	0	0		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	0	0	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							

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

4.4 Обобщенная оценка кадровой обеспеченности по состоянию на 2020-2021 год.

Обобщенная оценка кадровой обеспеченности (Результаты приведены в Таблица 4.4.1) проводилась после распределения количества задействованных специалистов по ролям, указанным в п. 4.2.

Таблица 4.4.1 Численная оценка текущей кадровой обеспеченности организаций

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 опытно-производстве)
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 4.4.2.).

Таблица 4.4.2. 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									

В ходе исследования был выявлен ряд особенностей деятельности отдельных категорий организаций, влияющих на структуру и объем 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 также формируются исследовательские команды. Принципиальные отличия от НИР в рамках ВУЗов и НИИ заключаются в более прикладном, узком характере исследований, более коротких сроках проведения исследований и параллельной вовлеченности участников таких команд в выполнения ОКР.

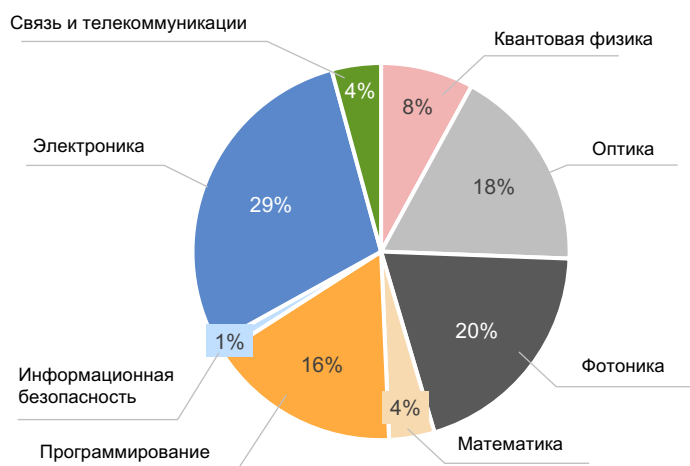


Рисунок 4.4.1. Долевое распределение специалистов в области исследований и разработок в научных организациях.

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.

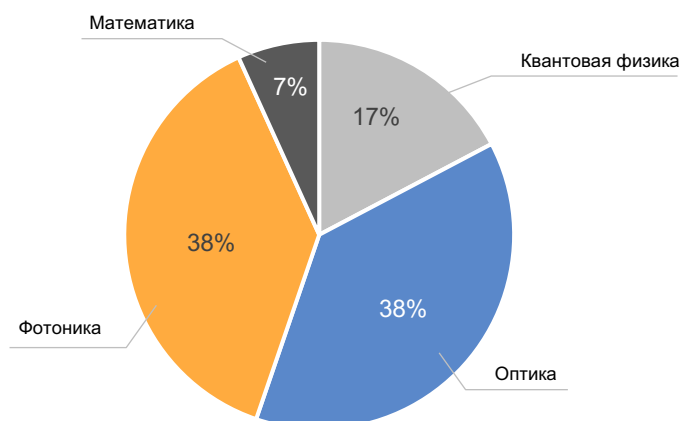


Рисунок 4.4.2. Долевое распределение специалистов в области фундаментальных исследований в научных организациях.

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 путем 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. 4.4.3).

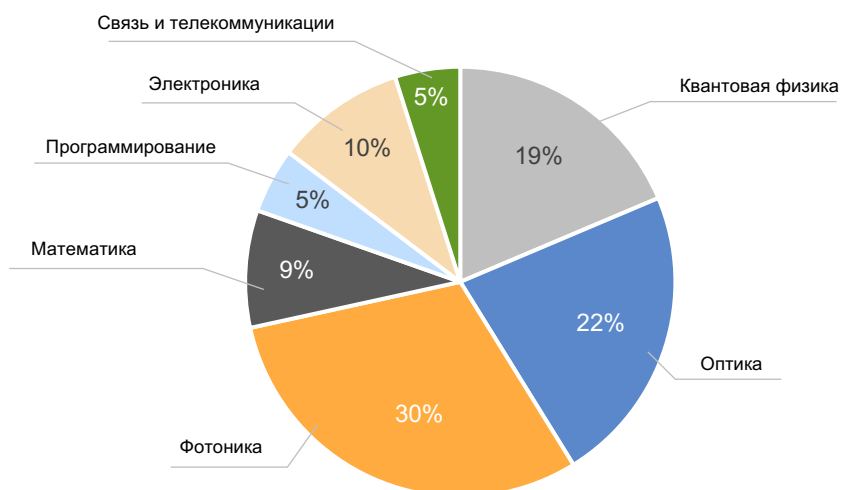


Рисунок 4.4.3 – Структура дефицита специалистов в научных организациях по областям подготовки

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. Опытное производство также развернуто на базе таких организаций, 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.

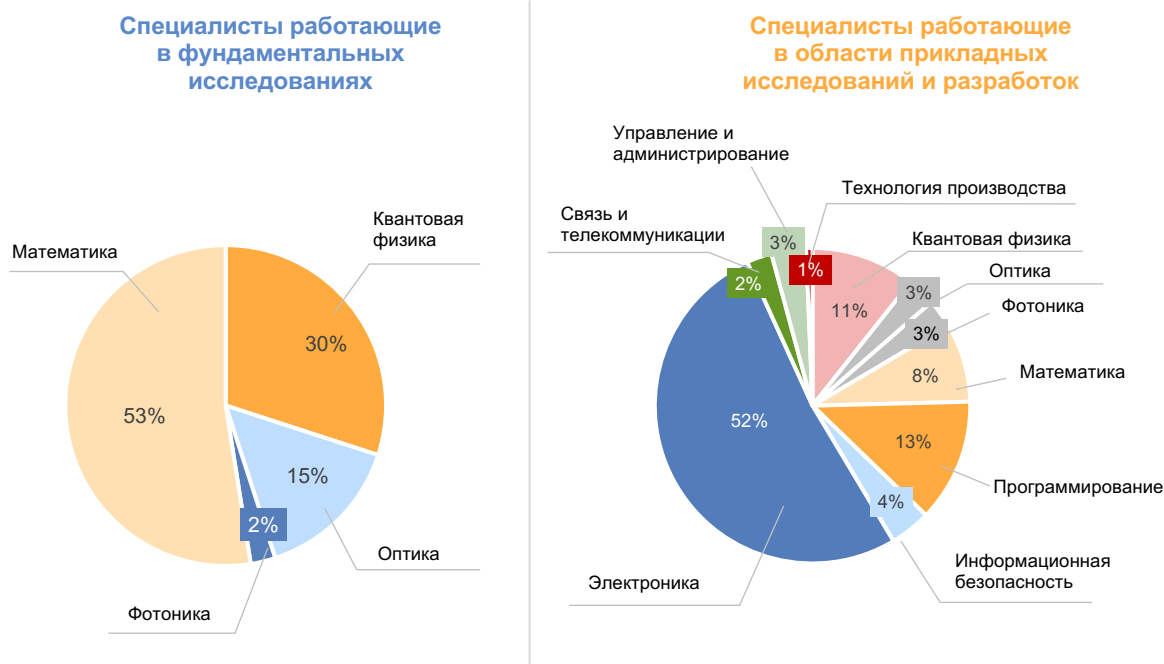


Рисунок 4.4.4. Долевое распределение специалистов в области исследований и разработок в организациях-разработчиках.

Наиболее проблемной позицией является выбор руководителя проекта, требования к таким специалистам, также как и в научных организациях, наиболее высокие и включают наличия 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 в рамках представленных сценариев, 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. 4.4.5).

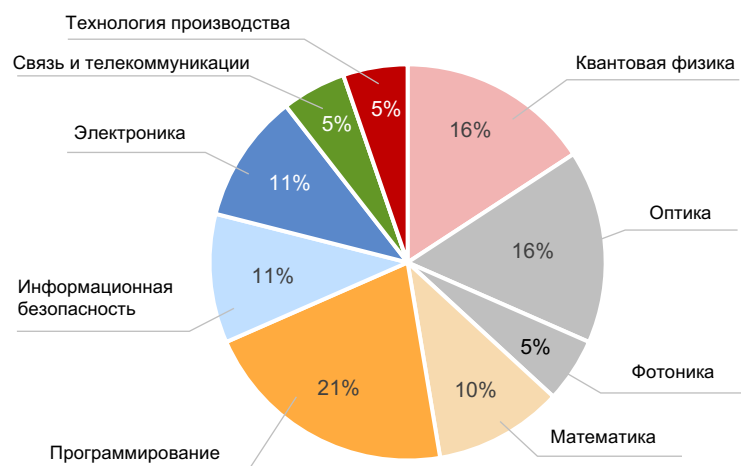


Рисунок 4.4.5 – Структура дефицита специалистов в организациях-разработчиках по областям подготовки

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 не целесообразно (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, вовлеченных в работу по тематике квантовых коммуникаций, в целом соответствует этапу развития рынка, привлечение значительного числа сотрудников с рынка не требуется. С учетом 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 потребуются некоторое количество профильных специалистов и переобучение линейных сотрудников с участием вендоров и интеграторов решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций. При этом, с учетом 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 потребуются 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.

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.

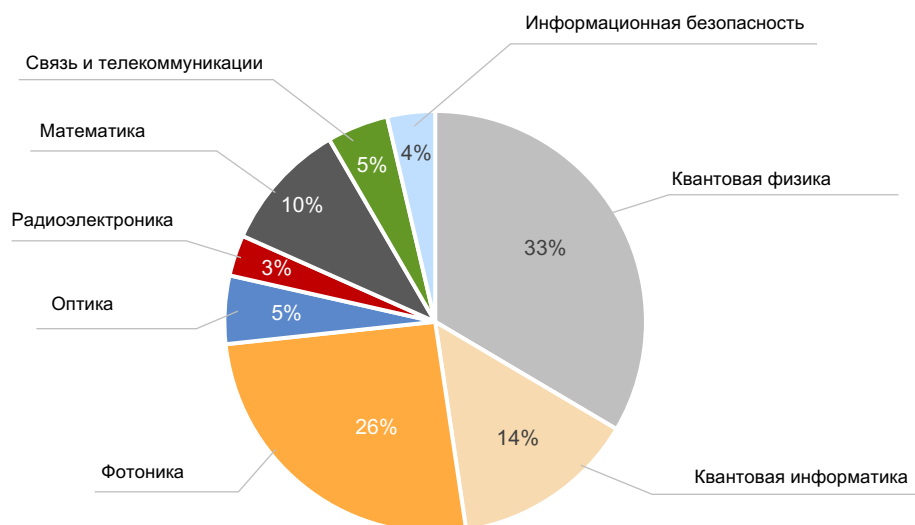


Рисунок 4.4.6. - Долевое распределение преподавателей дисциплин в области квантовых коммуникаций в образовательных организациях

В ходе исследования была выявлена заинтересованность в подготовке студентов в области квантовых коммуникаций у ряда ВУЗов, не ведущих собственные научные работы в этой области. 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.

Перечисленные особенности были учтены при сопоставлении объемов 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 дешевое 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, причем на уровне выше базового.

Государственные военизированные организации

В ходе исследования были проведены рабочие встречи с уполномоченными представителями ряда ведомств (ГВО), которые рассматриваются как наиболее вероятные пользователи технологий квантовых коммуникаций, одна из стратегических сессий была проведена в рамках Форума «Армия - 2021» на площадке Министерства обороны с участием представителей нескольких «силовых» ведомств. На момент проведения исследования зафиксирован ряд общих для таких ведомств позиций:

- Существует интерес к технологиям квантовых коммуникаций, ведется мониторинг развития таких технологий;
- Практическое применение существующих решений невозможно без адаптации к ведомственным требованиям. Необходимо проведение ряда дополнительных исследований и по результатам проведения таких исследований выработка решений об использовании технологий квантовых коммуникаций на практике;

- До момента принятия решения о практическом применении технологий квантовых коммуникаций потребность в кадрах в данной области не будет сформирована;
- Возникающие кадровые потребности таких ведомств планируется удовлетворять путем подготовки специалистов в ведомственных учебных заведениях (собственных или смежных ведомств);
- Для подготовки специалистов ведомственных учебных заведений потребуется поддержка со стороны гражданских ВУЗов и производителей оборудования в области квантовых коммуникаций.

Остальные органы государственной власти

Работа по линии непрофильных ФОИВ показало отсутствие проработки вопроса использования технологий квантовых коммуникаций с их стороны по причине отсутствия сертифицированных регулятором решений и невозможности использования таких решений при работе со сведениями, составляющими государственную тайну до их сертификации.

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 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 учетом прогноза развития области квантовых коммуникаций, до 2025 года 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 требования к сертификации не финализированы, вследствие чего не представляется возможным определить требования к квалификации и направлениям подготовки специалистов таких лабораторий. Потребность в таких услугах у участников будущего рынка сформирована.

Начало работы по данному направлению ожидается в 2022-2023 году после формирования требований регулятора. 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.

5. 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 определен 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 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
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.

5.1 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 расчеты 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

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)

- 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 наноэлектроника
- 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 наноэлектроника

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
- 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
- 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 расчет 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)

Прикладные математика и физика (03.04.00)

Радиотехника (11.04.00)

- Электроника и наноэлектроника

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 наноэлектроника
- Программная инженерия
- Радиотехника
- Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- Конструирование и технология электронных средств
- Приборостроение
- Оптотехника
- Фотоника и оптоинформатика
- Лазерная техника и лазерные технологии
- Ядерная 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 партнерские отношения и продвижение продуктов и технологий, продажи, ведет клиентскую базу.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Все 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 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 распределенные центры обработки данных, экстерриториальных центров компетенций, включающих высококвалифицированных специалистов в области квантовых коммуникаций (консультантов) и инженеров.

Направления подготовки специалистов:

ОП магистратуры и специалитета

Все 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 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.

5.2 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 9. При этом объем потребностей распределяется неравномерно. Распределение потребностей по типам организаций приведено в разделе 4.4.

5.2.1. Научные организации

5.2.1.1. 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 нанoeлектроника

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

- 12.03.01 Приборостроение
- 12.03.02 Опотехника
- 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

5.2.1.2. 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 нанoeлектроника

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

12.04.01 Приборостроение

12.04.02 Оптотехника

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)

5.2.1.2. 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

18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

27.05.01 Специальные организационно-технические системы

5.2.1.4. 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

5.2.2 Разработчики и производители

5.2.2.1 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 нанoeлектроника

12.03.01 Приборостроение

12.03.02 Опотехника

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 Ядерная 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

5.2.2.3. 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 нанoeлектроника
- 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

5.2.2.4. Специальности высшего образования – специалитета

Математические и естественные науки

- 01.05.01 Фундаментальные 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

5.2.2.4. 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

5.2.3 Операторы связи (и иные организации, занимающиеся внедрением)

5.2.3.1 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 наноэлектроника
- 12.03.01 Приборостроение

- 12.03.02 Оптотехника
- 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 Ядерные 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

5.2.3.2. 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 нанoeлектроника
- 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 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
- 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.

5.2.3.3. 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

5.2.3.4. 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

5.2.4 Крупные потребители (и иные эксплуатанты)

Как правило, на уровне эксплуатации, когда уже все 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 ученой степени. Физики, химики, материаловеды на данной стадии, как правило, не нужны.

5.2.4.1 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 Радиоп физика

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 Оптотехника
- 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 Ядерные 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

5.2.4.2. 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 Радиоп физика

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 нанoeлектроника
- 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
- 16.04.01 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

5.2.4.3. 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

5.2.4.4. Специальности среднего профессионального образования

Самым сложным будет являться поиск специалистов, которые будут заниматься сервисом и обслуживанием оборудования, монтажом, на уровне технического и вспомогательного персонала. Когда произойдет сертификация продуктов в области квантовой коммуникации, то продукты могут с большой вероятностью быстро выйти на рынок для таких клиентов как операторы связи, банки, государственные агентства, ведомства и т.д. И тогда остро встанет вопрос переобучения персонала и поиска новых сотрудников.

В рамках интервью большинство представителей компании сообщили что планируют переобучение действующего персонала в небольшом объеме 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.

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

С учетом текущей на сегодняшний день ситуации на рынке труда в отрасли связи, а также с учетом существующих тенденций развития технологий в области квантовых коммуникаций, подготовка кадров (специалистов) в этой высокотехнологичной области становится все более актуальной.

В рамках исследования был проведен сбор данных и анализ информации от российских образовательных организаций высшего и среднего профессионального образования, в части наличия у этих организаций компетенций и осуществляющих подготовку 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 области квантовые коммуникации.

В таблице 6.1 представлен перечень образовательных организаций высшего образования, которые подтвердили, что ведут обучение по специальностям в области квантовые коммуникации.

Таблица 6.1 – Перечень российских образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров по специальностям в области квантовые коммуникации

№	Образовательная организация	1	2	3	4	5
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	+	+	+	+	+
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»	+	+	+	+	+

В таблице 6.2 представлены другие 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 6.2 перечень организаций не является исчерпывающим.

Таблица 6.2 – 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»

№	Образовательная организация
10.	ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
11.	НИУ «Московский институт электронной техники»
12.	ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»
13.	ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
14.	ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет»
15.	ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В. И. Ленина «ЛЭТИ»
16.	ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
17.	ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
18.	ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»
19.	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
20.	ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
21.	ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»
22.	ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»
23.	ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»
24.	ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Минобороны России
25.	ФГКОУ ВО «Академия Федеральной службы безопасности Российской Федерации»

№	Образовательная организация
26.	ФГКВОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»

В части образовательных организаций среднего профессионального образования, необходимо отметить, что на текущий момент 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 квантовые коммуникации.

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 6.3 представлены другие образовательные организации среднего профессионального образования, которые реализуют образовательные программы по смежным направлениям области квантовых коммуникаций

Таблица 6.3 – 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
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

№	Образовательная организация
15.	Владимирский авиамеханический колледж
16.	Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного
17.	Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского
18.	Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова
19.	Волго-Вятский филиал Московского технического университета связи и информатики
20.	Волгоградский государственный университет
21.	Вологодский колледж связи и информационных технологий
22.	Воронежский государственный промышленно-гуманитарный колледж
23.	Воронежский государственный технический университет
24.	Георгиевский региональный колледж «Интеграл»
25.	Гжельский государственный университет
26.	Гидрометеорологический техникум
27.	Горно-Алтайский государственный политехнический колледж
28.	Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова
29.	Дмитровский институт непрерывного образования Государственного университета «Дубна»
30.	Екатеринбургский техникум «Автоматика»

№	Образовательная организация
31.	Западный комплекс непрерывного образования
32.	Ивановский радиотехнический техникум-интернат
33.	Ижевский машиностроительный техникум им. С.Н. Борина
34.	Ингушский государственный университет
35.	Институт профессионального образования Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева
36.	Институт среднего профессионального образования Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
37.	Кабардино-Балкарский колледж «Строитель»
38.	Камчатский государственный технический университет
39.	Ковылкинский филиал Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева
40.	Колледж «Коломна»
41.	Колледж «Синергия»
42.	Колледж автоматизации и информационных технологий № 20
43.	Колледж Алтайского государственного университета
44.	Колледж банковского дела и информационных систем
45.	Колледж Государственного университета «Дубна»
46.	Колледж индустрии гостеприимства и менеджмента № 23

№	Образовательная организация
47.	Колледж инновационных технологий и предпринимательства Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
48.	Колледж информатики и программирования Финансового университета при Правительстве Российской Федерации
49.	Колледж информационных технологий и экономики Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х. М. Бербекова
50.	Колледж инфраструктурных технологий Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова
51.	Колледж Кисловодского гуманитарно-технического института
52.	Колледж космического машиностроения и технологий Технологического университета
53.	Колледж приборостроения и информационных технологий МИРЭА — Российского технологического университета
54.	Колледж Псковского государственного университета
55.	Колледж радиоэлектроники имени П.Н. Яблочкова Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского
56.	Колледж связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики
57.	Колледж сервиса и дизайна Владивостокского государственного университета экономики и сервиса
58.	Колледж телекоммуникаций и информатики Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики
59.	Колледж телекоммуникаций Московского технического университета связи и информатики
60.	Колледж экономики и информатики им А.Н. Афанасьева Ульяновского государственного технического университета
61.	Колледж электроники и приборостроения

№	Образовательная организация
62.	Красногорский колледж
63.	Краснодарский колледж электронного приборостроения
64.	Краснокаменский промышленно-технологический техникум
65.	Красноярский колледж радиоэлектроники и информационных технологий
66.	Красноярский монтажный колледж
67.	Кузнецкий колледж электронных технологий
68.	Курганский промышленный техникум
69.	Курганский технологический колледж имени Героя Советского Союза Н.Я. Анфиногенова
70.	Курский техникум связи
71.	Кыштымский филиал Южно-Уральского государственного колледжа
72.	Магнитогорский технологический колледж
73.	Майкопский государственный гуманитарно-технический колледж Адыгейского государственного университета
74.	Марийский радиомеханический техникум
75.	Международный центр компетенций - Казанский техникум информационных технологий и связи
76.	Миасский машиностроительный колледж
77.	Многопрофильная академия непрерывного образования

№	Образовательная организация
78.	Многопрофильный колледж Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова
79.	Многопрофильный колледж Профессионал
80.	Многопрофильный колледж Тюменского индустриального университета
81.	Московский городской открытый колледж
82.	Московский государственный образовательный комплекс
83.	Московский индустриальный колледж
84.	Московский колледж архитектуры и градостроительства
85.	Московский колледж управления, гостиничного бизнеса и информационных технологий «Царицыно»
86.	Московский областной колледж информации и технологий
87.	Московский приборостроительный техникум Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова
88.	Московский радиотехнический колледж имени академика А. А. Расплетина
89.	Московский техникум космического приборостроения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана
90.	МПК НовГУ. Политехнический колледж
91.	Муромский институт (филиал) имени В.К. Зворыкина Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
92.	Муромский техникум радиоэлектронного приборостроения

№	Образовательная организация
93.	Невинномысский энергетический техникум
94.	Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (Княгининский университет)
95.	Нижегородский радиотехнический колледж
96.	Новороссийский колледж радиоэлектронного приборостроения
97.	Новосибирский авиационный технический колледж имени Б.С. Галуцака
98.	Новосибирский колледж электроники и вычислительной техники
99.	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
100.	Новосибирский радиотехнический колледж
101.	Новочеркасский промышленно-гуманитарный колледж
102.	Ноябрьский институт нефти и газа (филиал) Тюменского индустриального университета
103.	Образовательный комплекс «Юго-Запад»
104.	Омский авиационный колледж имени Н.Е. Жуковского
105.	Омский государственный колледж управления и профессиональных технологий
106.	Омский юридический колледж
107.	Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
108.	Орский индустриальный колледж

№	Образовательная организация
109.	Пашковский сельскохозяйственный колледж
110.	Пензенский колледж информационных и промышленных технологий (ИТ-колледж)
111.	Первый московский образовательный комплекс
112.	Пермский авиационный техникум им. А. Д. Швецова
113.	Пермский радиотехнический колледж им. А.С. Попова
114.	Петровский колледж
115.	Поволжский государственный колледж
116.	Поволжский государственный технологический университет
117.	Подмосковный колледж «Энергия»
118.	Подольский колледж имени А.В. Никулина
119.	Политехнический колледж им. Н.Н. Годовикова
120.	Политехнический колледж имени П.А. Овчинникова
121.	Политехнический колледж № 8 имени дважды Героя Советского Союза И.Ф. Павлова
122.	Политехнический техникум № 2
123.	Приборостроительный колледж, г. Тамбов
124.	Промышленный колледж энергетики и связи

№	Образовательная организация
125.	Пятигорский государственный университет
126.	Раменский колледж
127.	Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации
128.	Российский государственный университет туризма и сервиса
129.	Ростовский-на-Дону государственный колледж связи и информатики
130.	Ростовский-на-Дону колледж радиоэлектроники, информационных и промышленных технологий
131.	Рязанский колледж электроники
132.	Рязанский станкостроительный колледж Рязанского государственного радиотехнического университета
133.	Рязанский технологический колледж
134.	Самарский государственный колледж
135.	Санкт-Петербургский колледж информационных технологий
136.	Санкт-Петербургский колледж телекоммуникаций им. Э.Т. Кренкеля Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича
137.	Санкт-Петербургский политехнический колледж городского хозяйства
138.	Санкт-Петербургский технический колледж управления и коммерции
139.	Саранский электромеханический колледж

№	Образовательная организация
140.	Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
141.	Серпуховский колледж
142.	Серпуховский филиал Военной академии ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого Министерства обороны Российской Федерации
143.	Сибирский государственный индустриальный университет
144.	Смоленская академия профессионального образования
145.	Смоленский колледж телекоммуникаций (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
146.	Смоленский политехнический техникум
147.	Ставропольский колледж связи имени Героя Советского Союза В.А. Петрова
148.	Ставропольский филиал Голицынского пограничного института ФСБ России
149.	Сызранский медико-гуманитарный колледж
150.	Таганрогский колледж морского приборостроения
151.	Тверской промышленно-экономический колледж
152.	Тверской химико-технологический колледж
153.	Технический колледж (Махачкала)
154.	Технический колледж Тамбовского государственного технического университета

№	Образовательная организация
155.	Технический пожарно-спасательный колледж имени Героя Российской Федерации В.М. Максимчука
156.	Технологический колледж Императора Петра I Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова
157.	Технологический колледж № 21
158.	Технологический колледж № 24
159.	Технологический колледж № 34
160.	Тольяттинский электротехнический техникум
161.	Томский индустриальный техникум
162.	Трехгорный технологический институт (филиал) Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
163.	Тульский технико-экономический колледж им. А.Г. Рогова
164.	Университетский колледж Оренбургского государственного университета
165.	Университетский колледж информационных технологий Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)
166.	Университетский колледж Ярославского государственного университета имени П. Г. Демидова
167.	Университетский профессиональный колледж Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского
168.	Уральский политехнический колледж - Межрегиональный центр компетенций
169.	Уральский радиотехнический колледж им. А. С. Попова

№	Образовательная организация
170.	Уральский технический институт связи и информатики - филиал Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики
171.	Уфимский авиационный техникум Уфимского государственного авиационного технического университета
172.	Уфимский колледж радиоэлектроники, телекоммуникаций и безопасности
173.	Факультет среднего профессионального образования Академии маркетинга и социально-информационных технологий
174.	Хабаровский институт инфокоммуникаций - филиал Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики
175.	Центр среднего профессионального образования Елецкого государственного университета имени И.А. Бунина
176.	Чебоксарский техникум связи и информатики
177.	Чебоксарский электромеханический колледж
178.	Челябинский радиотехнический техникум
179.	Челябинский юридический колледж
180.	Шатурский энергетический техникум
181.	Щелковский колледж
182.	Энгельсский промышленно-экономический техникум
183.	Южно-Уральский государственный технический колледж
184.	Ярославский техникум радиоэлектроники и телекоммуникаций

Представленный в таблице 6.3 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.

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

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

7.1 Предпосылки и источники данных

Для исследования динамики ежегодного объема подготовки специалистов в области квантовых коммуникаций использовались результаты проведенного 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»;
- 11.02.16 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств»;
- 10.02.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем»;
- 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 6) 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.

7.2 Карта ВУЗов и СПО

В ходе исследования было выявлено несколько категорий ВУЗов и организаций СПО (рис. 7.2.1).

Среди них можно выделить ВУЗы, ведущие собственные исследования непосредственно в области квантовых коммуникаций и имеющие посвященные 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 сейчас начинают формироваться, 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 на текущий момент 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 коммуникациям	Колледж связи № им. П. М. Вострухина	Материально-техническая база, профильные программы по квантовым коммуникациям, собственные научные центры	ИТМО	ВУЗы
			МИЭМ НИУ ВШЭ	
			МФТИ	
			КНИТУ-КАИ	
	Калужский техникум электронных приборов		МГУ им. М. Н. Ломоносова	
			СПбГУТ	
Программы подготовки по смежным направлениям	По направлениям сетей и телекоммуникаций: 30 колледжей	Программы подготовки по смежным направлениям, заинтересованность в развитии программ по квантовым коммуникациям	НИЯУ МИФИ	Профильные НИИ
			Сколтех	
			КФУ	
	По направлениям ИБ: 33 колледжа		ТГУ	
			МПГУ	
	По направлениям электроники: 36 колледжей		БФУ им. Канта	
	По прочим смежным направлениям: 85 колледжей		БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова	

Рисунок 7.2.1. – «Карта» ВУЗов и СПО

Часть организаций среднего профессионального образования включила в специальности подготовки, смежные с областью квантовых коммуникаций, дополнительные курсы по квантовым коммуникациям. В настоящее время таких учебных заведений два (рис. 7.2.1). Другие образовательные организации СПО выпускают студентов по смежным направлениям, в том числе перечисленным в п. 7.1., в которых отдельных модулей, связанных с тематикой квантовых коммуникаций, на данный момент нет.

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

В настоящее время не сформирован 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. Приведенные 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. 7.3.1 и 7.3.2, 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.

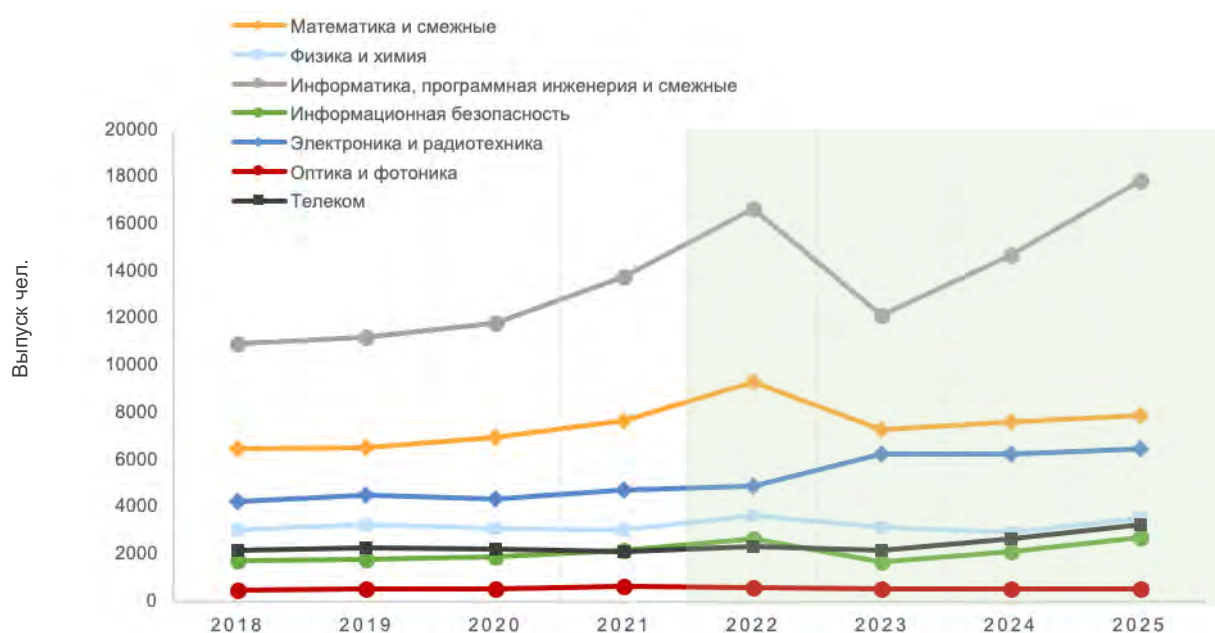


Рисунок 7.3.1. – Численная оценка выпуска по программам бакалавриата и специалитета по смежным специальностям

Наибольшее количество выпускников бакалавриата в прогнозном периоде ожидается по программам в области информатики и программной инженерии (16690 человека в 2022 году, 17870 в 2025 году), и телекоммуникаций (2363 человека в 2022 году, 3184 человека в 2025 году). Средние темпы роста выпуска по этим группам направлений составят 4% в год, однако в 2022 году ожидается значительное увеличение объема выпуска (на 20%) по сравнению с предыдущим периодом.

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.

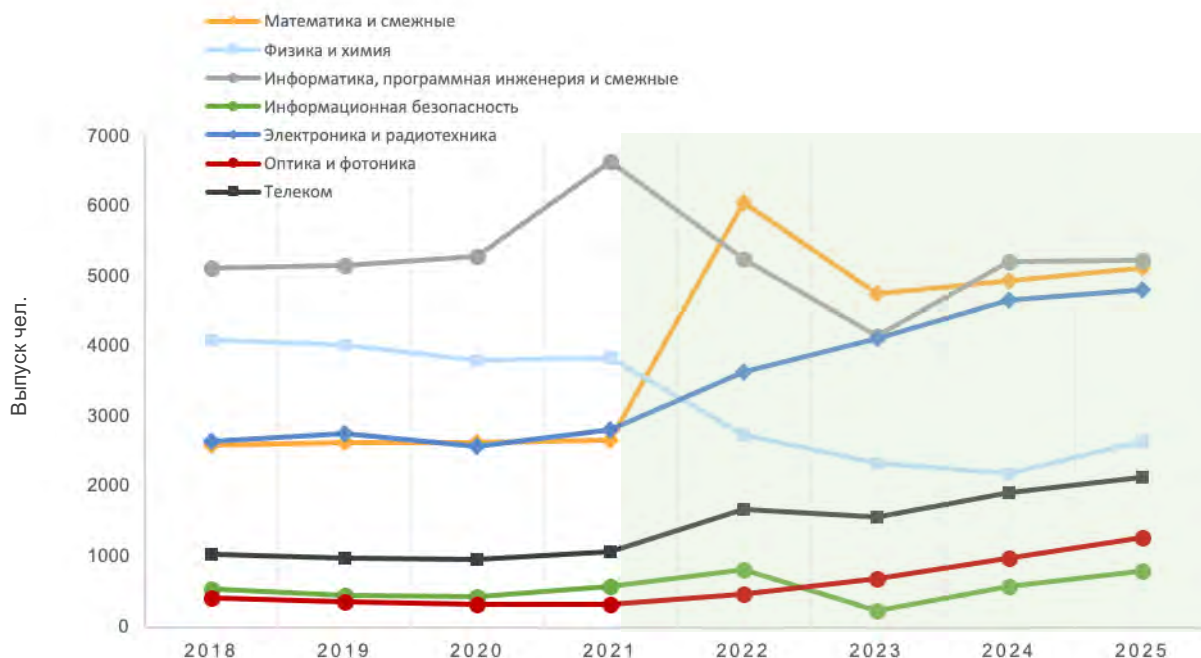


Рисунок 7.3.2. – Численная оценка выпуска по программам магистратуры по смежным специальностям

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 анкетирования и интервьюирования можно составить представление о минимальном выпуске специалистов, которые будут

иметь углубленную подготовку в области квантовых коммуникаций (рис. 7.3.3 и 7.3.4).



Рисунок 7.3.3. – 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.

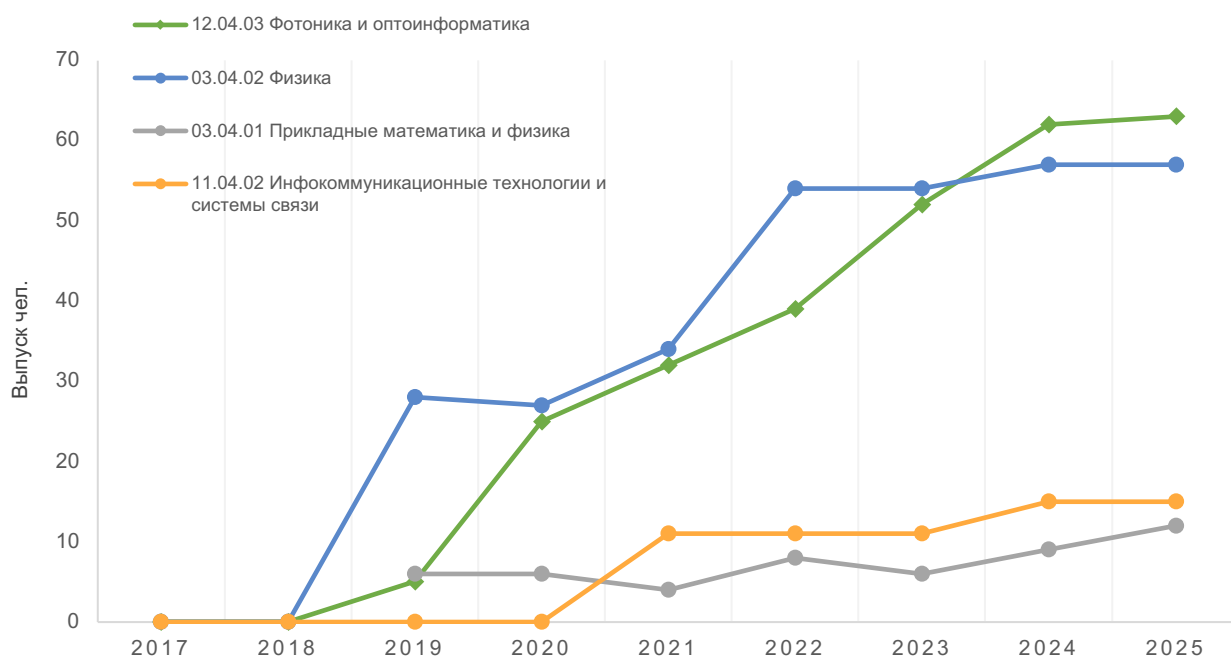


Рисунок 7.3.4. – Численная оценка ежегодного объема выпуска профильных специалистов в области квантовых коммуникаций по программам магистратуры.

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 выпуск в год составит 50-55 человек, 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.

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

По результатам исследования было выявлено, что в настоящее время 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 7.4.1.

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 7.4.1.

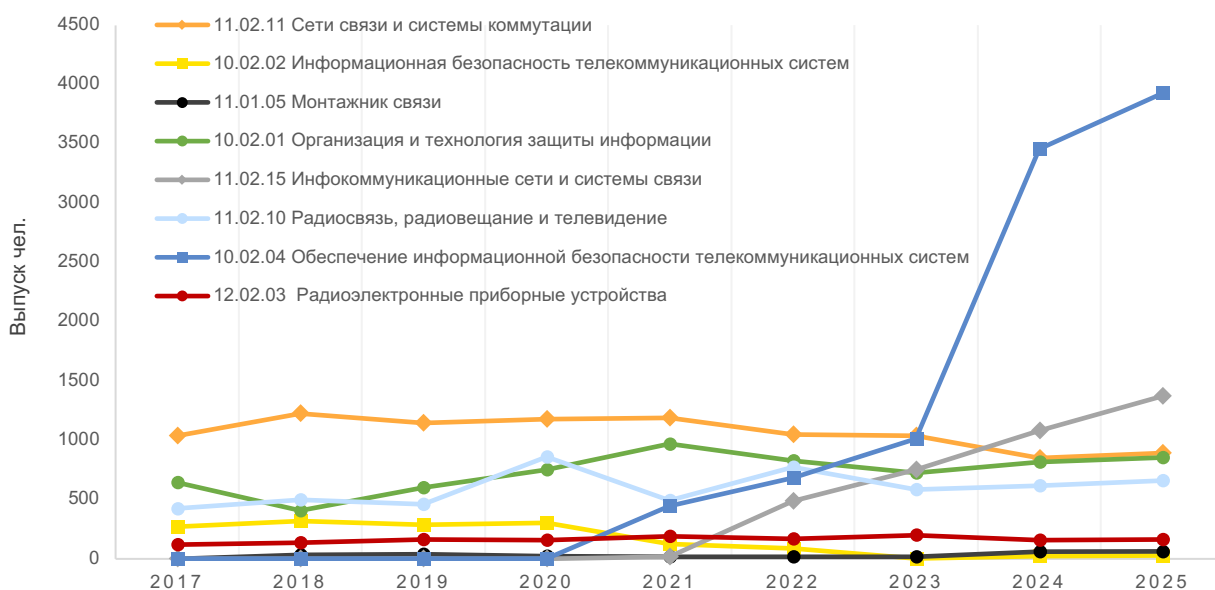


Рисунок 7.4.1. – Ожидаемый выпуск учреждениями СПО специалистов в смежных с квантовыми коммуникациями областях

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 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 ведется 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.

7.5 Оценка соответствия реализуемых образовательных программ потребностям участников рынка

Согласно результатам проведенного исследования, распределение дефицита специалистов в организациях-разработчиках в целом соответствует распределению выпускников по смежным направлениям, указанному в разделе 7.3. 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, на текущий момент 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 счет выпуска по уже имеющимся программам.

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

8. Численная оценка ежегодного объема (в 2020 - 2025 гг.) потребностей Российской Федерации в кадрах для работы в области квантовых коммуникаций

8.1 Ориентировочный прогноз динамики развития высокотехнологичной области Квантовые коммуникации в разрезе кадрового обеспечения

Прогноз кадровых потребностей базируется на оценке динамики развития рынка и прогнозе разрешения стоящих перед высокотехнологичной областью «Квантовые коммуникации» проблем и задач (рис. 8.1.1).



Рисунок 8.1.1. – Таймлайн развития высокотехнологичной области квантовых коммуникаций до 2025 года

Основой для построения такого прогноза стали обозначенные в Дорожной карте развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» на период до 2024 года целевые показатели (рис. 8.1.2), обобщенная информация от участников исследования и анализ экспертных мнений, полученных в рамках проведенных стратегических сессий.

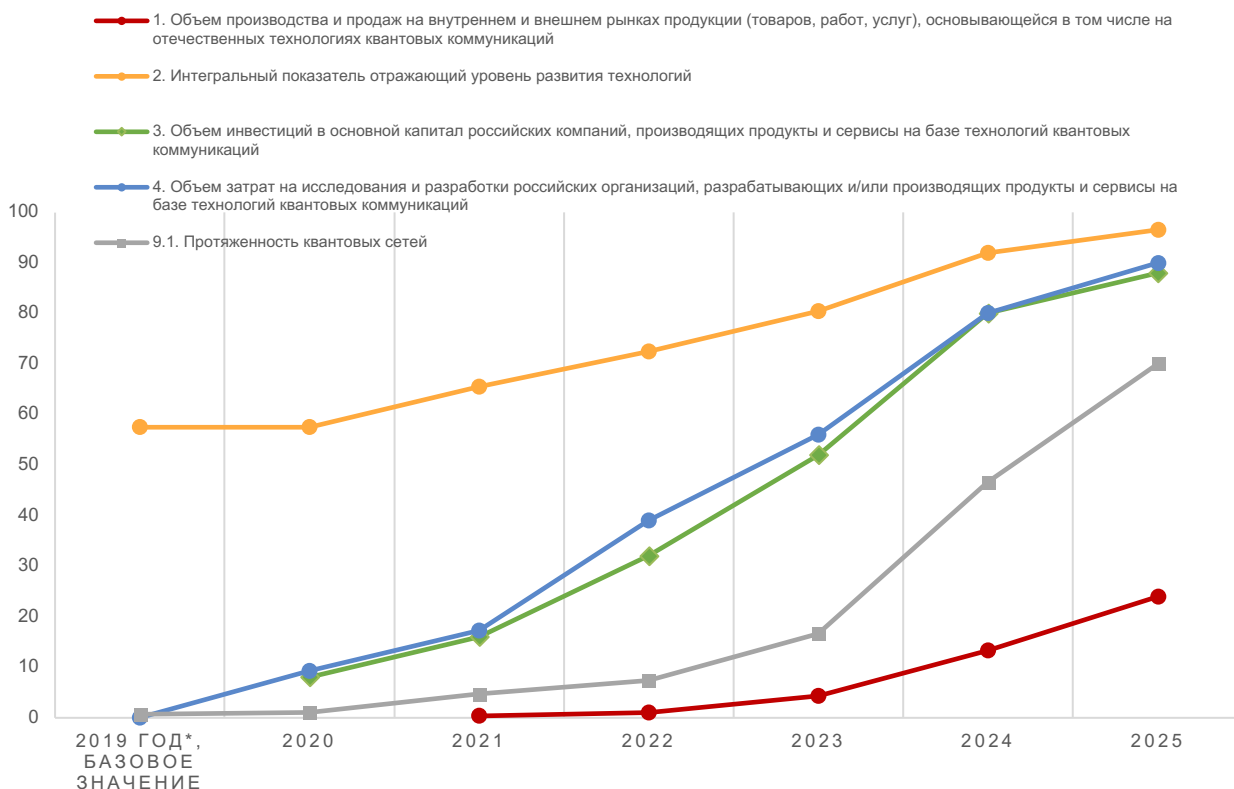


Рисунок 8.1.2. – Динамика изменения целевых показателей Дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»

Для формирования базового сценария были приняты следующие допущения, которые были оценены экспертами как наиболее вероятные:

- Формирование позиции регулятора по требованиям к сертификации решений в области квантовых коммуникаций произойдет не ранее 2 квартала 2022 года;
- Первое сертифицированное решение, основанное на технологии квантовых коммуникаций, ожидается не ранее 3 квартала 2022 года, после чего ожидается расширение производства решений, основанных на технологиях квантовых коммуникаций и увеличение кадровой потребности в области разработки и производства;
- Изменение требований регулятора относительно частоты смены ключа для отдельных категорий информации, способное стать драйвером роста рынка решений, основанных на технологии квантовых коммуникаций

ождается не ранее 2023 года, что повлияет на увеличение спроса на соответствующих специалистов со стороны ФОИВ и организаций-лицензиатов ФСБ, а также частично банков;

- Изменение требований Центрального банка, способное стать драйвером роста банковского сегмента рынка решений, основанных на технологии квантовых коммуникаций, не ожидается ранее 2024 года, что повлияет на изменение кадровой потребности в банковской сфере;
- В горизонте планирования не будут выявлены критические уязвимости или недостатки технологии квантовых коммуникаций, блокирующие их использование по прямому назначению;
- В горизонте оценки не предполагается появление на рынке готовых к эксплуатации решений в области квантовых коммуникаций, использующих спутниковые каналы связи;
- Появление на рынке готовых к эксплуатации решений в области квантовых коммуникаций, использующих атмосферные каналы связи, не предполагается ранее 3-го квартала 2025 года.
- Не рассматривается вероятность выхода на российский рынок иностранных компаний – производителей решений в области квантовых коммуникаций;
- Масштабное вовлечение интеграторов и региональных партнерских сетей вендоров, работающих с технологиями квантовых коммуникаций не ожидается ранее 2024 года.

8.2 Привлечение и переобучение 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 отличаются. 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 организации области в другие в рамках нормальной кадровой ротации.

Производство

Планов по созданию новых производственных площадок для выпуска оборудования, основанного на технологиях квантовых коммуникаций в рамках исследования выявлено не было. 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 и телеком

Ряд ведущих операторов связи в настоящее время уже ведет 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 таких 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 специалистов в области решений, основанных на квантовых коммуникациях, а также 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 трудоемкости 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 4 квартала 2022 года и будет возрастать по мере развития рынка на всем горизонте исследования (до 2025 года).

8.3 Прогноз изменения кадровых потребностей до 2025 года

В данном разделе описано ежегодное ожидаемое количество специалистов, занятых в различных типах организаций для каждого года на период 2022 – 2025 гг. В 2022 году ожидается изменение требований к сертификации решений в области квантовых коммуникаций, а также появление первого сертифицированного решения. В данный период, согласно прогнозу, будет происходить активное формирование рынка.

Результаты оценки количества задействованных в этом периоде специалистов представлены в таблице 8.5.1.

Таблица 8.5.1. Прогноз кадровых потребностей в 2022 году.

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									15-17	33-37	45-52		57-66

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Финансовые организации									10-12	26-30			41-61
Разработки решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	26-31				91-105	216-248	8-9	18-21					38-44
Организации высшего и среднего профессионального образования												242-278	
Научные организации	49-57	219-251	291-335	374-430									

В 2022 году, согласно прогнозу, ожидается возрастание потребностей примерно в соответствии с текущим дефицитом кадров. Наибольшая потребность возникнет в высококвалифицированных инженерах и технологах в связи с некоторым увеличением объемов решений на основе технологий квантовых коммуникаций. Также увеличение численности исследователей, экспериментаторов и лаборантов на 15-20% ожидается в научных организациях в связи с прогнозируемым возрастанием объема проводимых исследований.

В связи с возможным увеличением количества профильных магистерских программ, количество преподавателей прикладных дисциплин в ВУЗах и организациях СПО, согласно прогнозу, будет увеличиваться в пределах 10-15% (таблица 8.5.2).

Таблица 8.5.2. Прогноз изменения кадровых потребностей в 2022 году.

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									5-7	6-8	4-6		12-15
Финансовые организации									0				12-15

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 опытном производстве)
Типы организаций													
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	7-10				8-10	45-50	2-3	5-7					5-7
Организации высшего и среднего профессионального образования												25-27	
Научные организации	12-15	30-35	30-35	55-58									

В 2023 году ожидается расширение производства, что повлияет на кадровую потребность организаций-разработчиков и производителей. Также в связи с этим ожидается активизация деятельности системных интеграторов.

Таблица 8.5.3. Прогноз кадровых потребностей в 2023 году.

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 опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									20-22	42-49	59-67		171-197
Финансовые организации									13-15	36-42			122-140
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28-32				105-121	292-335	9-11	21-24					49-57
Организации высшего и среднего профессионального образования												266-306	
Научные организации	49-57	219-251	291-335	374-430									
Системные интеграторы	5-7						5-7		5-7		20-25		

В 2023 году предполагается значительное увеличение потребностей в рабочем персонале (в том числе, задействованном в опытном производстве), что

будет связано с расширением производства после появления первого сертифицированного решения (таблица 8.5.2).

Также предполагается, что исследовательские коллективы научных организаций будут полностью сформированы, и значительного дефицита в этих организациях не ожидается.

Таблица 8.5.4. Прогноз изменения кадровых потребностей в 2023 году.

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									5-7	10-12	12-15		110-115
Финансовые организации									3-4	0			80-85
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	3-5				12-15	75-80	1-3	2-4					12-15
Организации высшего и среднего профессионального образования												25-30	
Научные организации	0	0	0	0									
Системные интеграторы	5-7						5-7		5-7		20-25	0	0

В 2024 году, исходя из принятого сценария развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации», ожидается изменение требований Центрального банка, связанных с информационной безопасностью, которое повлияет на увеличение численности в банках специалистов, занятых в области квантовых коммуникаций.

Таблица 8.5.5. Прогноз кадровых потребностей в 2024 году.

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									27-31	59-68	88-101		376-433
Финансовые организации									17-19	62-71			267-321
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28-32				105-121	292-335	9-11	21-24					79-91
Организации высшего и среднего профессионального образования												279-321	
Научные организации	49-57	219-251	291-335	374-430									
Системные интеграторы	10-12						10-12		10-12		35-40		

Также можно отметить, что рост потребности в специалистах у системных интеграторов продолжится и будет составлять 5-7 человек в год для руководителей и различных экспертов, и примерно в 3 раза больше - для специалистов по продажам.

Таблица 8.5.6. Прогноз изменения кадровых потребностей в 2024 году.

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									8	17	29		205
Финансовые организации									4	25			146
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	0				0	0	0	0					25-30
Организации высшего и среднего профессионального образования												0	
Научные организации	0	0	0	0									

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Системные интеграторы	5-7						5-7		5-7		20-30		

В 2025 году у системных интеграторов потребность в специалистах продолжит возрастать, особенно в специалистах по продажам, в связи с предполагаемым увеличением пользователей решений на основе технологий квантовых коммуникаций. Также в связи с началом подготовки к созданию новых производственных площадок ожидается увеличение численности специалистов и рабочего персонала в организациях-разработчиках.

Таблица 8.5.7. Прогноз кадровых потребностей в 2025 году.

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 опытно-производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									27-31	65-75	105-121		451-519
Финансовые организации									22-25	80-93			695-799
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	28-32				121-139	335-386	12-14	21-24					95-109
Организации высшего и среднего профессионального образования												293-337	
Научные организации	49-57	219-251	291-335	374-430									
Системные интеграторы	15-20						15-20		15-20		60-68		

Таблица 8.5.8. Прогноз изменения кадровых потребностей в 2025 году.

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 опытном производстве)
Типы организаций													
Операторы связи (или эксплуатанты)									0	6-8	15-20		70-80
Финансовые организации									5-7	20-25			200-250
Разработчики решений на основе технологий квантовых коммуникаций (включая МИПы) с учетом опытного производства решений КРК	0				15-20	42-50	3-5	3-5					12-18
Организации высшего и среднего профессионального образования												0	
Научные организации	0	0	0	0									
Системные интеграторы	10-15						10-15		10-15		25-30		

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

9. 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, его функциональные обязанности и ответственность.

Анализ и систематизация требований к компетенциям специалистов в области квантовых коммуникаций проводились с учетом 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 9.1).

В конкретном случае под категорией понимается некоторая деятельность (функция) организации, которую она осуществляет (или может осуществлять) в области квантовых коммуникаций.

Таблица 9.1 – 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 проведения исследования 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 исследования, предметная область была разделена по следующим направлениям:

1. Готовность организаций к приему 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 приема 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 ученой 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 определенных 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);
- Организации, являющиеся 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 ученой степени и (или) опыта работы по направлению. Вторая связана с количеством образовательных организаций высшего образования, в которых осуществляется подготовка специалистов в области квантовых коммуникаций. Предварительный анализ показал, что в настоящее время количество таких организаций относительно небольшое.

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 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 9.1 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 приема на работу специалистов с высшим образованием. 67% организаций готовы рассматривать возможность приема 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 приема специалистов, не имеющих опыта в области квантовых коммуникаций.

Потребность производителей и разработчиков в специалистах, имеющих ученую степень (кандидатов, докторов наук), находится на уровне 78%.

Производители и разработчики

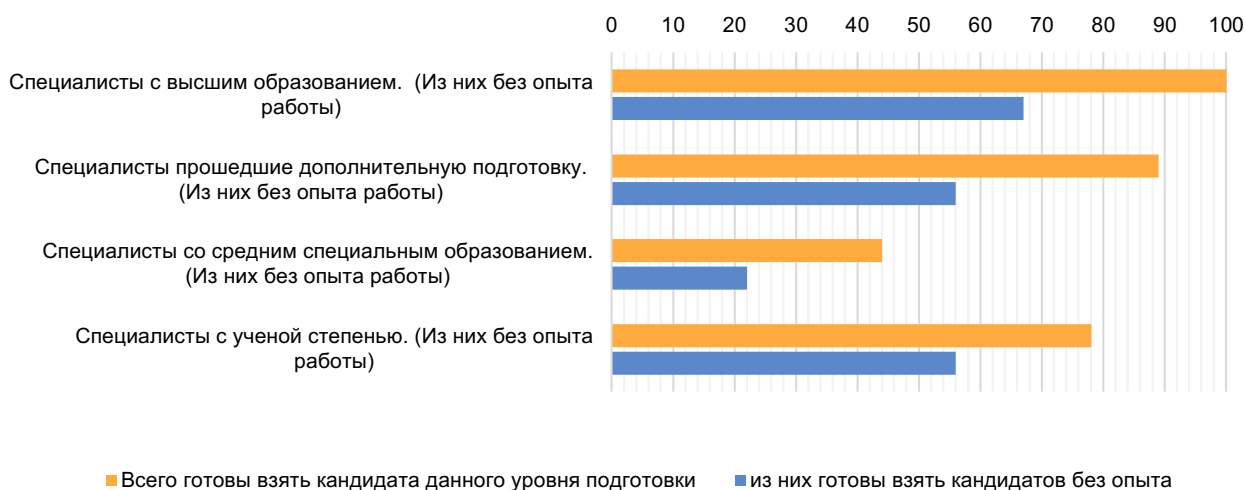


Рисунок 9.1 – Готовность организаций-производителей и разработчиков к рассмотрению кандидатов для приема на работу, обладающих различным уровнем образования

Доля востребованных специалистов с ученой 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 приема на работу, в случае появления вакансий.

Среди производителей и разработчиков значительно меньшее количество организаций, готовых рассматривать возможность приема специалистов со средним специальным образованием (44%). Только 22% организаций готовы рассматривать возможность приема 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 приема 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 приема специалистов, не имеющих опыта в области квантовых коммуникаций (рисунок 9.2).

Эксплуатанты



Рисунок 9.2 – Готовность организаций-эксплуатантов к рассмотрению кандидатов для приема на работу, обладающих различным уровнем образования

Потребность организаций в специалистах, прошедших дополнительную подготовку (повысивших квалификацию) на уровне 50%, при этом только 20% организаций готовы рассматривать возможность приема 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 ученой степенью, то такая потребность была оценена как незначительная: 20% и 30% соответственно. При этом большее количество организаций эксплуатантов подтвердили готовность рассматривать для приема на работу специалистов (без опыта работы) со средним образованием (20%) и меньшее (10%) специалистов с ученой 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 проведенной в ОАО «МАЦ» стратегической сессии эксперты от образовательных организаций подтвердили, что учебное заведение, в котором есть такие преподаватели, является условно-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 счет специалистов-преподавателей, читающих дисциплины, связанные с телекоммуникационными сетями связи, с учетом 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.

- Государственные военизированные организации, федеральные органы государственной власти

Роль 1 – Консультант организаций эксплуатантов (эксперт).

Роль 2 – Преподаватель.

Роль 3 – Рабочий персонал.

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 9.2 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 9.2 – 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 исполнителей, 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-	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
		конструкторских разработок при исследовании самостоятельных тем (6)	
Роль 4 – Лаборант	-	Минимально допустимый уровень квалификации (5)	-
Организации разработчики решений и производители			
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	- 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

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
		приборов и систем с использованием нанотехнологий на всех стадиях проекта (7)	разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий - 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 приборов и систем с

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			использование 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 функциональности сетей связи специального назначения - Управление рисками систем защиты сетей электросвязи от НСД

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			- Управление отношениями с поставщиками и потребителями программных, программно-аппаратных (в том числе криптографических) и технических средств, 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 элементной базы и 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,

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			сборки новых схемотехнических 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 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

Роль	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
			- 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 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	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
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 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	Название профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции (минимально допустимый уровень квалификации)	Трудовые функции
<i>Государственные военизированные организации, Федеральные органы государственной власти</i>			
Роль 1 – Консультант организаций эксплуатантов.	-	Минимально допустимый уровень квалификации (6)	-
Роль 2 – Преподаватель	Приказ Минтруда России от 08.08.2015 № 608н (в настоящее время документ утратил силу)	Минимально допустимый уровень квалификации (7)	-
Роль 3 – Рабочий персонал.	Специалист по монтажу телекоммуникационного оборудования (Утвержден Приказом Минтруда России от 17.11.2020 № 791н). В соответствии с ролью №4 организаций, эксплуатирующих решения в области квантовых коммуникаций		

В таблице 9.2 также представлено экспертное мнение по минимально допустимым уровням квалификации по ролям специалистов. Показатели уровней квалификации представлены далее в рамках настоящего раздела, в таблице 9.4.

Представленная в таблице 9.2 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 9.3.

Направления подготовки специалистов учитывают:

- Данные, указанные в статистической отчетности Министерства науки и высшего образования (Форма № ВПО-1 «Сведения об организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры»);
- Информацию, которая была представлена на стратегической сессии №5, от 11 ноября 2021 г. (в рамках направления «Верификация перечня специальностей, востребованных в области квантовых коммуникаций»).
- Информацию, полученную от федеральных органов государственной власти, государственных военизированных организаций.

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 9.3 – Наиболее подходящие направления подготовки специалистов (выпускников образовательных организаций)

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
Роль 1 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
Роль 2 Исследователь - теоретик		
Непосредственная работа над предметом исследования, выработка и проверка гипотез, производство расчетов, постановка задач на проведение экспериментов, анализ и обобщение получаемых 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 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 Информатика и вычислительная техника (09.04.00) - Информационные системы и технологии

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		<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> - Прикладная 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 - Ядерная физика и технологии - Нанотехнологии и микросистемная техника - Наноинженерия - Наносистемы и наноматериалы - 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>

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		- 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 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 - 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,	Обязательно наличие высшего профильного образования (преимущественно в области телекоммуникаций или информационной безопасности), прохождение дополнительной	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>

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
ответственность за результат исследования/разработки.	глубокой подготовки в области квантовых коммуникаций. • Наличие опыта работы в области телекоммуникаций, информационной безопасности или R&D в области технологий, навыки ведения переговоров, понимание рынка и направлений развития в области телекоммуникаций и информационной безопасности.	- Фундаментальная информатика и информационные технологии <i>Информационные системы и технологии (09.04.02)</i> <i>Фундаментальная и прикладная физика (03.05.02)</i> ОП аспирантуры <i>Математика и механика (01.06.00)</i> - Математика и механика - Статистика <i>Физика и астрономия (03.06.00)</i> - Физика и астрономия <i>Химия (04.06.00)</i> - 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 на изготовление опытных образцов, участие в опытной эксплуатации.	- Желательно наличие степени кандидата наук, обязательно наличие высшего профильного образования. - Наличие опыта разработки в области систем связи, вычислительной техники или радиоэлектроники.	ОП магистратуры и специалитета <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> - Электроника и наноэлектроника - 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>

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		- 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 наноэлектроника - Приборостроение - Опtotехника - 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 - 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 <i>Математика (01.04.00)</i> <i>Прикладная математика и физика (03.04.00)</i> <i>Радиотехника (11.04.00)</i> - Электроника и наноэлектроника <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>Информационная безопасность телекоммуникационных систем (10.05.02)</i>

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		<i>Информационная безопасность автоматизированных систем (10.05.03)</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 <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 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 - 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	Обязательно наличие высшего профильного образования (преимущественно	ОП магистратуры и специалитета Все 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
и технологии, продажи, ведение клиентов	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.	- 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 информационной безопасности, прохождение 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.	ОП магистратуры и специалитета Все ОП аспирантуры, а также: <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> - 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>Компьютерные и информационные науки (02.00.00)</i> - Математика и компьютерные науки - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
		- 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 коммуникаций и инженеров. (Численность от 3 до 10 человек)	- 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 Все 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> 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	Обязательно наличие высшего информационной безопасности, прохождение	ОП магистратуры и специалитета Все ОП аспирантуры, а также: <i>Информатика и вычислительная техника (09.04.00)</i> <i>Радиотехника (11.04.00)</i>

Функциональные обязанности	Уровень образования и опыт работы	Наиболее подходящие направления подготовки
потребителей. Требуется наличие профильного высшего образования и переподготовки в области квантовых коммуникаций.	дополнительной подготовки в области квантовых коммуникаций • Наличие опыта взаимодействия с регулятором, работы в области телекоммуникаций	<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.
Роль 4 Рабочий персонал организации, эксплуатирующей решения в области квантовых коммуникаций (эксплуатанты)		
Сотрудники операторов связи, которые (как планируется) будут задействованы в продаже услуг сетей квантовых коммуникаций 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 9.3).



Рисунок 9.3 – Долевое распределение потребностей в специалистах по компетенциям

Представленное на рисунке 9.3 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.

Далее указано доленое распределение востребованных специалистов в области производства. Это специалисты в области электроники, связи и телекоммуникации, оптика, фотоника, программирование, информационная безопасность, управление и администрирование. Количество направлений подготовки также велико, и на рисунке указаны направления, наиболее часто отмечавшиеся экспертами.

Продолжение исследований в части доленого распределения потребностей в специалистах по компетенциям в целом связано с дальнейшим уточнением (верификацией) и актуализацией представленного доленого распределения, которое может корректироваться в связи с увеличением количества представленной организациями информации в рамках анкет, информации, полученной в рамках интервью и других источников.

Потребность (организаций по категориям) в компетенциях специалистов для их дальнейшей деятельности в области квантовых коммуникаций.

Ранее (в таблице 9.1) отмечались категории организаций, в рамках которых выполнялся анализ анкет и интервью экспертов представителей этих организаций. В частности, были выделены категории, характеризующие потребность организаций в компетенциях специалистов.

В рамках подраздела систематизированы результаты анализа более 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 9.4 и соответствуют показателям, утвержденным Приказом Минтруда России от 12.04.2013 № 148н «Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов» [59].

Таблица 9.4 – 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 проявлением самостоятельности при	Решение типовых практических задач	Понимание технологических или методических основ решения	Основные программы профессионального обучения – программы профессиональной

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
	решении типовых практических задач Планирование собственной деятельности, исходя из поставленной руководителем задачи Индивидуальная ответственность	Выбор способа действия на основе знаний и практического опыта Корректировка действий с учетом условий их выполнения	типовых практических задач Применение специальных знаний	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	Решение различных типов	Применение профессиональны	Образовательные программы среднего

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
	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 работников или подразделения	практических задач с элементами проектирования Выбор способов решения в изменяющихся (различных) условиях рабочей ситуации Текущий и итоговый контроль, оценка и коррекция деятельности	х знаний технологического или методического характера Самостоятельный поиск информации, необходимой для решения поставленных профессиональных задач	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 повышения квалификации рабочих, служащих Дополнительные профессиональные программы Практический опыт
6.	Самостоятельная деятельность, предполагающая определение задач собственной работы и/или подчиненных по достижению цели Обеспечение взаимодействия	Разработка, внедрение, контроль, оценка и корректировка направлений профессиональной деятельности, технологических или	Применение профессиональных знаний технологического или методического характера, в том числе, инновационных	Образовательные программы высшего образования - программы бакалавриата Образовательные программы среднего профессионального образования - программы подготовки

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
	сотрудников и смежных подразделений Ответственность за результат выполнения работ на уровне подразделения или организации	методических решений	Самостоятельный поиск, анализ и оценка профессиональной информации	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 на уровне крупных организаций	Решение задач исследовательского и проектного характера, связанных с повышением	Создание новых знаний междисциплинарного и межотраслевого характера	Программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), программы ординатуры, программы

Уровень	Полномочия и ответственность	Характер умений	Характер знаний	Основные пути достижения уровня квалификации
	Ответственность за результаты деятельности крупных организаций и (или) отрасли	эффективности процессов	Оценка и отбор информации, необходимой для развития области деятельности	ассистентуры-стажировки Образовательные программы высшего образования – программы 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 межотраслевого 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 за тем, 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 интервьюировании) 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 волоконно-квантовые коммуникации и сети;
- 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 квантовые коммуникации разработали и реализуют свои образовательные программы, однако такие программы разработаны без учета стандартов (которые в настоящий момент отсутствуют).

10. Оценка потребности в формировании системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

Система унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций, исходя из потребностей участников рынка, должна представлять собой информационную систему, допускающую обмен информацией о кадрах между ними. Под участниками рынка в данном случае выделяются три основных группы: образовательные организации, соискатели и работодатели. Неотъемлемой частью информационной системы является база данных, содержащая сведения от её участников. Теоретически система унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций будет способна быстро обеспечивать работодателей верифицированной информацией об образовании и трудовой деятельности специалиста, образовательные организации информацией о трудовых и карьерных достижениях выпускников, а специалистам позволять свободно просматривать существующие вакансии от верифицированных работодателей. Однако 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.

10.1 Существующие информационные ресурсы, содержащие важные для создания системы учета данные или выполняющие аналогичные задачи в других областях.

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 счет обеспечения общественности достоверной информацией о выпускниках.

Информационная система «Федеральный реестр сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении (ФИС ФРДО)», обеспечивая сбор сведений о выданных документах со всех образовательных организаций (школы, ВУЗы, ССУЗы и центры ДПО), накопление этих сведений в единой базе данных [60].

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 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.

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 внесенной 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 [61].

Электронная книжка обеспечивает постоянный и удобный доступ работников к информации о своей трудовой деятельности, а работодателям открывает новые возможности кадрового учета.

Электронная трудовая книжка сохраняет практически весь перечень сведений, которые учитываются в бумажной трудовой книжке:

- Информация о работнике;
- Даты приема, 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 [62].

Электронную трудовую книжку можно назвать системой учета специалистов, при этом она не содержит информации об образовании специалиста, что является существенным барьером в использовании её в качестве унифицированной системы учета 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.

3. Системы учета, 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 учета. 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 [63].

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 [64].

Согласно содержанию данных систем, а также принципу работы университетов с ними, можно было бы рассматривать их как системы унифицированного учета 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, т.к. 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.

4. Системы учета, реализованные работодателями

На стратегической сессии №6 по теме «Оценка потребности в формировании системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций» экспертом был приведен пример реализации системы учета 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 кадровые 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 [65].

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, т.к. в этом случае корпорации без сложностей учитывают выпускников своих опорных ВУЗов и ВУЗов-партнеров, но информацией от других, возможно, перспективных университетов, не обладают.

5. Сервисы рекрутмента

Одним из наиболее ярких примеров сервисов рекрутмента является HeadHunter. Данный сервис содержит в своей базе данных более 1148 тыс. вакансий, 54 млн резюме, 1651 тыс. компаний [66].

По данным SimilarWeb, HeadHunter занимает третье место в мире по популярности среди порталов по поиску работы и сотрудников [67].

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.

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 [68].

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 [69].

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.

10.2 Ожидания работодателей, соискателей и образовательных организаций от системы унифицированного учёта выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций

Выделено 3 типа участников унифицированной системы учета кадров в области квантовых коммуникаций: соискатели, работодатели, образовательные организации. При оценке потребности формирования такой системы, а также её эффективности и отличия от существующих решений, надо учитывать интересы всех её участников.

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 работодателя:

- Полный список выпускников по интересующему направлению с верифицированными данными об образовании и опыте работы;
- Скорость поиска кандидатов.

10.3 Барьеры и риски внедрения системы унифицированного учета 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, в порядке уменьшения степени их влияния на возможность формирования системы унифицированного учета 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.

Помимо этого, Приказом ФСБ РФ №379 от 28 сентября 2021 года, накладывается ряд ограничений на сбор информации, связанной с высокотехнологичной областью квантовые коммуникации.

2. 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).
3. 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, в порядке уменьшения степени их влияния на возможность формирования системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций:

1. Емкость рынка. В связи с тем, что область является относительно новой, на данный момент рынок ограничен по объему. 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, 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.

10.4 Ключевые пути создания и развития системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовые коммуникации

Обобщая полученную информацию, специалисты ОАО «МАЦ» видят перед собой следующую концепцию структуры системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовые коммуникации. Головной частью системы является оператор, который имеет полный доступ к информации, находящейся в базе данных. Оператор контролирует передачу данных из системы её участникам: образовательные организации получают от оператора верифицированную информацию о трудоустройстве выпускников; соискатели в

свободном формате видят вакансии и получают своевременную обратную связь от верифицированного работодателя; работодатель же в свою очередь видит верифицированный список специалистов и выпускников, имеющих квалификацию по необходимому им профилю. При этом участники системы обязаны передавать информацию в базу данных системы: образовательные организации передают персональные данные и данные об образовании выпускников; соискатели передают персональные данные, данные об образовании и трудовой деятельности; работодатель загружает в базу данных вакансии, а также верифицированную информацию о своей организации. Схематично структура системы представлена на рисунке 10.4.1.

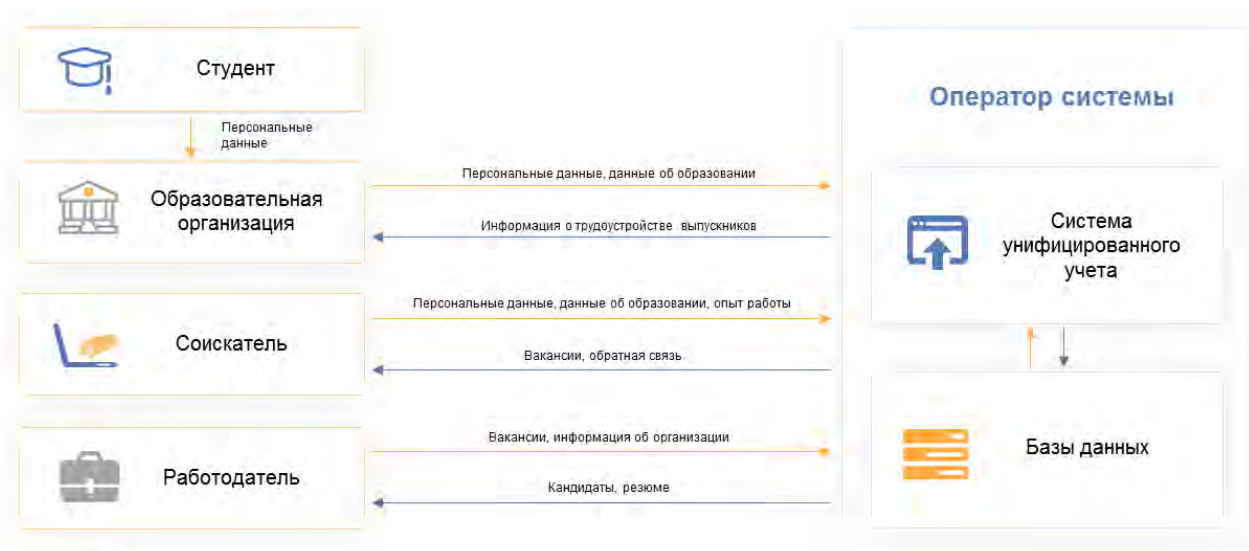


Рисунок 10.4.1 – Концепция структуры системы унифицированного учета выпускников и специалистов в области квантовых коммуникаций.

При развитии системы унифицированного учета согласно данной схеме ключевой задачей будет являться выбор оператора системы, т.к. он будет осуществлять контроль и обработку всей информации. В таблице 10.4.1 представлены преимущества и недостатки при различных операторах информационной системы.

Таблица 10.4.1 - 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 тот факт, что наиболее значимым барьером является отношение регулятора к созданию унифицированных систем по учету выпускников и специалистов в высокотехнологичных областях, например, квантовые коммуникации, можно сделать вывод о том, что назначение регулятора оператором такой информационной системы 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 учета 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 учета

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.

11. Проблемы кадрового обеспечения в области квантовых коммуникаций

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.

11.1 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 стандартов и ФГОС.

3. Высокий уровень зарплатных ожиданий профильных специалистов на фоне отсутствия сформированного рынка.

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, КАТ).

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

11.2 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 практически блокирует возможность привлечения новых (профильных) специалистов на линейные должности, вследствие чего такие организации будут вынуждены организовывать переподготовку уже имеющихся сотрудников через корпоративные средства обучения или с привлечением вендоров соответствующего оборудования.

8. Для военизированных организаций (Министерство обороны, ФСО и т.д.) в случае принятия решения о масштабном использовании технологий квантовых

коммуникаций особенно остро встанет вопрос кадрового обеспечения линейных подразделений из-за сложившейся практики подготовки специалистов в области информационной безопасности в ведомственных ВУЗах, что может замедлить динамику внедрения таких технологий в ведомствах.

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. Zhihao Z. Beijing-shanghai quantum link a «new era» // China Daily. – 2017. – Т. 9.
3. Courtland R. China's 2,000-km quantum link is almost complete [Электронный ресурс] // IEEE Spectrum. – 2016. – Т. 53. – №. 11. – С. 11-12.
4. Xinhua. Quantum communication networks put in service in central China [Электронный ресурс] // Xinhuanet. – 2017. URL: https://www.chinadaily.com.cn/china/2017-10/31/content_33942704.htm (дата обращения: 16.11.2021).
5. Chen, YA., Zhang, Q., Chen, TY. et al. An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres. Nature 589, 214–219 (2021).
6. P. D. Townsend. Simultaneous Quantum Cryptographic Key Distribution and Conventional Data Transmission Over Installed Fibre using Wavelength-Division Multiplexing," Electronics Letters, vol. 33, no. 3, pp. 188 - 190 (1997).
7. A. Tanaka, M. Fujiwara, S. W. Nam, Y. Nambu, S. Takahashi, W. Maeda, K.-I. Yoshino, S. Miki, B. Baek, Z. Wang, A. Tajima, M. Sasaki, and A. Tomita, "Ultra Fast Quantum Key Distribution over a 97 km Installed Telecom Fiber with Wavelength Division Multiplexing Clock Synchronization," Optics Express, vol. 16, no. 15, pp. 11354 - 11360 (2008).
8. B. Qi, W. Zhu, L. Qian, and H.-K. Lo, "Feasibility of Quantum Key Distribution Through a Dense Wavelength Division Multiplexing Network," New Journal of Physics, vol. 10, no.10, pp. 103042 (2010).
9. P. Eraerds, N. Walenta, M. Legre, N. Gisin, and H. Zbinden, "Quantum Key Distribution and 1 Gbps Data Encryption over a Single Fibre," New Journal of Physics, vol. 12, no. 6, pp. 063027 (2010).

10. R. Kumar, H. Qin, and R. Alleaume, "Coexistence of Continuous Variable QKD with Intense DWDM Classical Channels," *New Journal of Physics*, vol. 17, no. 4, pp. 043027 (2015).
11. Achieving secure transfer of sensitive data between remote industrial production facilities [Электронный ресурс] // Toshiba Digital Solutions Corporation. Quantum Key Distribution. – 2021. URL: <https://www.toshiba.co.jp/qkd/en/case3.htm> (Дата обращения: 29.11.2021).
12. 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.
13. Consumer Quantum Key Distribution [Электронный ресурс] // Quantum Communications Hub. – 2020. URL: <https://www.quantumcommshub.net/industry-government-media/our-technologies/consumer-qkd/> (Дата обращения: 16.11.2021).
14. Paraïso, T.K., Roger, T., Marangon, D.G. et al. A photonic integrated quantum secure communication system. *Nat. Photon.* 15, 850–856 (2021).
15. Toshiba shrinks quantum key distribution technology to a semiconductor chip [Электронный ресурс] // 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: 16.11.2021).
16. Elliott C., Yeh H. DARPA quantum network testbed. – BBN TECHNOLOGIES CAMBRIDGE MA, 2007.
17. Peev M. et al. The SECOQC quantum key distribution network in Vienna // *New Journal of Physics*. – 2009. – Т. 11. – №. 7. – С. 075001.
18. Quantum network [Электронный ресурс] // Wikipedia (The Free Encyclopedia). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_network (Дата обращения: 16.11.2021).
19. Zhang J. et al. Study on Worldwide Development and Trends of Quantum Technologies Based on Patent Data // *International Journal of Information and Education Technology*. – 2020. – Т. 10. – №. 3.

20. В России заработала первая линия квантовой связи // C-news. – 2021. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-06-09_rossiya_perehodit_na_kvantovye (Дата обращения: 16.11.2021).
21. Квантовая криптографическая система ViPNet Quandor успешно прошла испытания в СПб ИАЦ // АО «ИнфоТеКС» - 2021. URL: <https://infotecs.ru/about/press-centr/press-relizy/kvantovaya-kriptograficheskaya-sistema-vipnet-quandor-uspeshno-proshla-ispytaniya-v-spb-iats.html> (Дата обращения: 16.11.2021).
22. 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>
23. Университетская квантовая сеть. Совместный проект Центра Квантовых технологий МГУ и компании «ИнфоТеКС» при поддержке ПАО «Ростелеком» // ЦНТИ Квантум – 2021. URL: http://www.quantum-centi.ru/projects_and_product/proekty-univeritetskaya-kvantovaya-set (Дата обращения: 16.11.2021).
24. 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: 16.11.2021).
25. 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_mlrld_rublej (Дата обращения: 16.11.2021).
26. Закрытый конкурс с учетом положений ст. 111 Закона №44-ФЗ. НИР «Исследования проблем обеспечения и контроля совместимости технологий квантового распределения ключей с технологиями оптических транспортных сетей (OTN, DWDM)», шифр «Утро-Транспорт».
27. Козубов А.В., Гайдаш А.А., Кынев С.М., Егоров В.И., Иванова А.Е., Глейм А.В., Мирошниченко Г.П., Основы квантовой коммуникации: часть 1. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 85 с.

28. 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.
29. Борзенкова О. Российские ученые передали квантовый сигнал вместе с классическим по одному оптоволокну // N+1. – 2021. URL: <https://nplus1.ru/news/2021/11/01/grate-multiplexing> (Дата обращения: 16.11.2021).
30. АКТ о проведении испытаний Комплекса передачи данных с гибридной квантово-классической защитой в телекоммуникационной инфраструктуре. ПАО Сбербанк. - 2018.
31. Ястребова С. В России появился телефон с квантовым шифрованием // Ведомости. – 2019. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2019/05/28/802676-poyavilsya-telefon-s-kvantovim-shifrovaniem> (Дата обращения: 16.11.2021).
32. Постановление Правительства РФ от 30.06.2020 № 963 «О реализации пилотного проекта по использованию российских криптографических алгоритмов и средств шифрования в государственных информационных системах» - Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
33. Квантовые коммуникации для защиты линий связи // АО «СМАРТС». URL: <https://www.smarts.ru/static/metrica/images/pdf/22.pdf> (Дата обращения: 16.11.2021).
34. 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: 16.11.2021).
35. 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
36. 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/>

37. 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
38. 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.
39. Балыгин К. А. 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.
40. Samsonov E. et al. Coherent detection schemes for subcarrier wave continuous variable quantum key distribution // JOSA B. – 2021. – Т. 38. – №. 7. – С. 2215-2222.
41. 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/I32110755489-1/>
42. Некоторые исследования в области квантовой коммуникации // Журнал «Information Security / Информационная безопасность» - 2019. - №2.
43. Gleim A. V. et al. Subcarrier wave quantum networking for free space communications // Proceedings-International Conference Laser Optics 2018, ICLO 2018. – 2018. – С. 281-281.
44. 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: 16.11.2021).
45. Атмосферная квантовая линия связи для обеспечения безопасности умных городов // ООО «КуРэйт». - 2021. URL: <https://gograte.com/news/atmosfernaya-kvantovaya-liniya-svyazi-dlya-obespecheniya-bezopasnosti-umnykh-gorodov/> (Дата обращения: 16.11.2021).

46. 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: 16.11.2021).
47. 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: 16.11.2021).
48. 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: 16.11.2021).
49. Информационно-поисковая система ФИПС // Федеральный институт промышленной собственности. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/> (Дата обращения 16.11.2021).
50. 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;
51. Bishop L. S. et al. Quantum volume // Quantum Volume. Technical Report. – 2017.
52. 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).
53. Федоров А. К. Квантовые технологии: от научных открытий к новым приложениям // Фотоника. – 2019. – Т. 13. – №. 6. – С. 574-583.
54. 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)

55. Соловьев В. М. Квантовые компьютеры и квантовые алгоритмы // Информационные технологии в образовании. – 2015. – С. 75-93.
56. Kiktenko E. O. et al. Single qubit realization of the Deutsch algorithm using superconducting many-level quantum circuits // Physics Letters A. – 2015. – Т. 379. – №. 22-23. – С. 1409-1413.
57. Распоряжение Правительства РФ от 31.12.2020 № 3684-р «Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 - 2030 годы)»
58. Высшее образование // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/>
59. 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)
60. 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)
61. 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.
62. Перечень сведений электронной трудовой книжки // Пенсионный фонд Российской Федерации. URL: <https://pfr.gov.ru/grazhdanam/etk> (дата обращения: 22.11.2021)
63. Отдел содействия трудоустройству // Управление образовательных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: <http://hoster.bmstu.ru/~det/tryd.html> (дата обращения 22.11.2021)
64. 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.
65. 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)
66. О компании // HeadHunter. URL: <https://hh.ru/article/28> (дата обращения: 22.11.2021)
67. HeadHunter // Интернет-энциклопедия Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/HeadHunter> (дата обращения: 22.11.2021)
68. Реестр сведений о проведении независимой оценки квалификации // Реестр НОК. URL: <https://nok-nark.ru/> (дата обращения: 23.11.2021)
69. Сведения о данных, внесенных в Реестр // Реестр НОК. URL: <https://nok-nark.ru/statistics/> (дата обращения 23.11.2021)
70. Приказ Минкомсвязи России от 23.04.2020 № 195 «Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»