

ПРИЛОЖЕНИЕ  
к протоколу заседания президиума  
Правительственной комиссии по цифровому  
развитию, использованию информационных  
технологий для улучшения качества жизни и  
условий ведения предпринимательской  
деятельности от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ  
«СКВОЗНОЙ» ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
«КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Москва 2019 г.

## **1. Преамбула, введение, общее описание направления развития СЦТ**

Дорожная карта (ДК) по развитию в РФ сквозной цифровой технологии (СЦТ) «квантовые технологии» (КТ) разработана с целью получения в среднесрочной и долгосрочной перспективе практически значимых научно-технических и практических результатов мирового уровня по следующим субтехнологиям: квантовые вычисления, квантовые коммуникации и квантовые сенсоры. Параллельно с работой над дорожной картой ведется работа по исследованию патентного ландшафта квантовых технологий.

Необходимым условием для прорыва в области КТ является не только поддержка исследований и запуск инфраструктурных проектов национального масштаба, но и реализация организационных мероприятий по преодолению барьеров. Общий бюджет программы, предлагаемой настоящей ДК, составляет 51,1 млрд руб., включая внебюджетное финансирование в размере 8,7 млрд руб. Инвестиции для развития квантовых технологий в России нужны уже сегодня.

К работе над дорожной картой были привлечены более 120 экспертов из ведущих научных организаций РФ и представителей индустрии. Ключевыми предложениями данной дорожной карты являются:

1. Всесторонняя поддержка прорывных научно-технологических проектов, направленных на развитие КТ.
2. Консолидация научного и технологического сообщества в рамках создания проектов национального и глобального масштаба.
3. Создание в России инновационной экосистемы и формирование условий для перехода квантовых разработок из лабораторий в индустрию, а также формирование бизнес-сообщества.
4. Организация сотрудничества между научно-исследовательскими подразделениями и потенциальными потребителями квантовых технологий из ключевых сфер промышленности.
5. Развитие кадрового потенциала в области квантовых технологий путем внедрения новых типов образовательных программ всех уровней.
6. Проведение комплекса организационных мероприятий, направленных на снижение бюрократического трения.

Развитие КТ полностью соответствует Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (СНТР), Стратегии развития информационного общества Российской Федерации (СРИО) и 204 Указу Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

- Описание «сквозной» цифровой технологии

«Первая квантовая революция», ознаменовавшая развитие физики в первой половине XX века, привела к появлению лазеров, транзисторов, ядерного оружия, а впоследствии – мобильной телефонной связи и интернета. Технологии «первой квантовой революции» сегодня применяются практически повсеместно: в компьютерах, мобильных телефонах, планшетах, цифровых камерах, системах связи, светодиодных лампах, МРТ-сканнерах, сканирующих туннельных микроскопах и многих других приборах. По различным экспертным оценкам оценка индустрии «первой квантовой революции» в денежном выражении составляет 3 трлн долл. США в год. При этом закон Мура, описывающий рост производительности современных компьютеров больше не работает.

С конца XX-го века мир находится на пороге «второй квантовой революции», которая может оказать на мир еще большее влияние. Её ключевое отличие от «первой квантовой революции», в которой технологии и приборы строились на управлении коллективными квантовыми явлениями, заключается в способности управлять сложными квантовыми системами на уровне отдельных частиц, например, атомов и фотонов. Технологии, основанные именно на таком высоком уровне контроля над индивидуальными квантовыми объектами, принято объединять термином «квантовые технологии».

Сегодня КТ начинают играть все более важную роль в вопросах национальной безопасности, а также в таких стратегически важных отраслях, как информационные технологии и медицина. Квантовые технологии востребованы для дальнейшего прогресса во всех стратегических направлениях цифровой экономики, например для развития искусственного интеллекта в долгосрочной перспективе. Несмотря на то, что квантовые технологии обладают большой научной составляющей, этот факт не является препятствием для их быстрого развития и внедрения в индустрию. КТ делятся на три основных субтехнологии.

Квантовые вычисления – новый класс вычислительных устройств, использующий для решения задач принципы квантовой механики. Прогнозируется, что в целом ряде задач квантовый компьютер будет способен дать многократное ускорение по сравнению с существующими суперкомпьютерными технологиями. Примерами являются сферы кибербезопасности, искусственного интеллекта и создание новых материалов.

Квантовые коммуникации – технология криптографической защиты информации, использующая для передачи ключей индивидуальные квантовые частицы. Главное преимущество квантовых коммуникаций – защищенность информации, гарантированная законами физики.

Квантовые сенсоры и метрология – совокупность высокоточных измерительных приборов, основанных на квантовых эффектах. Высокая степень контроля над состоянием

отдельных микроскопических систем позволяет создавать сверхточные квантовые сенсоры с пространственной разрешающей способностью, сравнимой с размером одиночных атомов, а также высокоточные атомные часы.

Наиболее близкой к коммерческим применениям является технология квантовых коммуникаций, которая уже понятна рынку.

В технологически развитых странах исследования и разработки в области КТ находятся под бдительным вниманием государства. Крупные государственные инвестиции в эту научно-технологическую область объясняются стратегической важностью квантовых технологий для обеспечения защищенности интересов государства, в частности, в информационной сфере. Геополитические лидеры создают целевые программы развития КТ. В США Конгрессом утвержден проект развития КТ объемом 20 млрд долларов, в Европе действует программа «Quantum Flagship» с бюджетом более 3 млрд евро (после завершения предыдущей программы 2013-2016 гг.), в Китае создается Национальная квантовая лаборатория с бюджетом до 12 млрд долларов.

Кроме государственных программ, значительное ускорение развитию КТ придали инвестиции со стороны крупнейших мировых корпораций, таких как Google, Microsoft, Intel и IBM. Другие компании, такие как Airbus и Volkswagen, уже решают с помощью КТ конкретные технологические задачи. Суммарные инвестиции частных компаний в КТ приближаются к миллиарду долларов в год. Частные инвестиции в квантовые проекты стремительно растут, особенно в Китае, Японии и Сингапуре.

КТ в значительной мере основываются на достижениях фундаментальной науки в тех направлениях, в которых российские ученые традиционно сильны. Советско-российская школа квантовой физики является одной из сильнейших в мире. Все Нобелевские премии по физике советских и российских ученых связаны с достижениями в области квантовой физики. Научная школа значительно пострадала из-за массового отъезда ученых за границу в 90-х и 2000-х годах, что, однако, сформировало в области квантовой физики сильнейшую русскоговорящую международную научную диаспору. При этом в России остались десятки научных групп, проводящих исследования мирового уровня. Появившаяся в последнее десятилетие тенденция к возвращению состоявшихся за границей российских учёных и к привлечению зарубежных учёных без российского опыта позволит обеспечить для России потенциал для прорыва и захвата лидирующих позиций в отдельных направлениях КТ.

Усиливает эту позицию тот факт, что индустрия квантовых технологий в мире находится только на стадии формирования. Поэтому в данный момент имеется возможность при резком старте присоединиться к квантовой технологической гонке, несмотря на имеющееся на сегодня отставание. Целевая поддержка развития КТ позволит сократить

разрыв в таких направлениях как квантовые вычисления, а по ряду направлений, например, в области квантовых коммуникаций, создать конкурентные продукты с экспортным потенциалом и выйти на международные рынки.

Роль КТ уже осознана на высшем уровне. Во многом поэтому квантовые технологии относятся к приоритетным направлениям научно-технологического развития и были упомянуты Президентом РФ В.В. Путиным в Ежегодном Послании Федеральному Собранию в 2016 году.

**Ежегодное послание Президента Российской Федерации В.В. Путина Федеральному собранию:** «Нам нужны собственные передовые разработки и научные решения. Цифровые технологии, другие так называемые сквозные технологии, которые сегодня определяют облик всех сфер жизни. Страны, которые смогут их генерировать, будут иметь долгосрочное преимущество. Другие окажутся в зависимом, уязвимом положении. Это цифровые, квантовые технологии, робототехника, нейротехнология и т.д. В цифровых технологиях кроются и риски. Необходимо укреплять киберзащиту. Развитие цифровой экономики, в ее реализации будем опираться именно на российские компании».

- Перечень субтехнологий согласно протоколу НС:
  - Квантовые вычисления.
  - Квантовые коммуникации.
  - Квантовые сенсоры и метрология.
- Качественные критерии, позволяющие определить субтехнологию из выборки большого количества технологических решений (признаки для каждой субтехнологии):
  - Квантовые вычисления: использование квантовых эффектов для решения вычислительных задач.
  - Квантовые коммуникации: технологии, направленные на устранение угрозы информационной безопасности, в т.ч. со стороны квантовых компьютеров, включают использование свойств квантовых систем для передачи ключей. Основная технология – квантовое распределение ключей (КРК). Главное преимущество КРК – защищенность информации, гарантированная законами физики.
  - Квантовые сенсоры: использование свойств квантовых систем для высокоточного измерения физических величин, миниатюризации или энергоэффективности.
- Краткая характеристика субтехнологий.

### **Квантовые вычисления.**

**Определение.** Квантовые компьютеры и симуляторы – это вычислительные системы, использующие для решения задач квантовые явления. Устройства, созданные на основе квантовых вычислений, могут многократно превосходить классические компьютеры при решении задач криптоанализа, моделирования сложных систем, а также машинного обучения и искусственного интеллекта. По мере развития существующих квантовых компьютеров

появления первых прикладных результатов можно ожидать в направлении ускорения задач машинного обучения и моделирования новых перспективных материалов.

**Приоритетные отрасли.** Наиболее перспективным и лидирующими платформами в мире считаются три: сверхпроводящие цепочки, нейтральные атомы и ионы в ловушках.

**Уровни готовности.** Согласно классификации QTRL разработки компаний в мире на данный момент соответствует уровням QTRL 4-5, т.е. в вычислительных системах данных компаний пока не решена задача реализации квантовых кодов коррекции ошибок и, соответственно, на них не могут быть в полном объеме реализованы практически значимые алгоритмы (например, алгоритм Шора). В РФ на сегодняшний день реализованы прототипы квантовых компьютеров с 2 кубитами (по данным ДК ФПИ 2-10 кубитами) и квантовые симуляторы с 10-20 кубитами. Это соответствует уровню QTRL 3-4.

**Ключевые технические характеристики:** количество кубитов, реализованных в квантовом компьютере – размер квантового регистра; степень связности кубитов в регистре; точность инициализации квантового регистра; точность измерения состояний кубитов; время жизни кубитов; набор допустимых логических операций; достоверность (точность) реализации набора логических операций, которые могут быть выполнены над квантовым регистром.

Вычислительные возможности **квантового симулятора** определяются классом систем и явлений, которые с его помощью могут быть промоделированы, а также точностью результатов моделирования. Поэтому при оценке их реализации целесообразно сравнивать не количество в них квантовых частиц, а спектр и востребованность задач, решаемых данным типом симулятора.

**Сопоставление Россия-Мир.** В России создан значительный научный задел в области квантовых вычислений, также развиваются различные элементные базы для построения квантовых компьютеров и квантовых симуляторов. Наиболее перспективным и лидирующими платформами в мире считаются три: сверхпроводящие цепочки, нейтральные атомы и ионы в ловушках (уровень развития QTRL-4–QTRL-5). Эти направления достаточно сильно развиты в России (QTRL-2–QTRL-4). Имеется задел по квантовым вычислениям с использованием фотонов и интегральной оптики, квазичастиц (поляритоны), а также ведутся поисковые исследования по примесным атомам в кремнии.

Ведутся обширные теоретические исследования в следующих областях: томография квантовых состояний и процессов, подавление ошибок в квантовых компьютерах, вариационные квантовые алгоритмы, алгоритмы квантового машинного обучения, эмуляция квантовых вычислений, оптимизация квантовых операций, исследование ресурса существующих квантовых компьютеров.

**Лидирующие организации:** ВНИИА им. Н.Л. Духова; ИАЭ СО РАН; Институт прикладной физики РАН (Нижний Новгород); Институт спектроскопии РАН (ИСАН); ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН; ИФП А.В. Ржанова СО РАН; ИФП им. П.Л. Капицы РАН; ИФТТ РАН; КНИТУ-КАИ; КФТИ; КФУ; Московский государственный педагогический университет (МПГУ); МГТУ им Н.Э. Баумана; МФТИ; НИТУ МИСиС; Новосибирский государственный технический университет (НГТУ, Новосибирск); Российский квантовый центр (РКЦ, ООО «МКЦТ»); Сколковский институт науки и технологий (Сколтех); Университет ИТМО (ИТМО); ФИАН им. П.Н. Лебедева; ФТИ им. А.Ф. Иоффе; ФТИАН им. К.А. Валиева РАН; Центр квантовых технологий МГУ им. М.В. Ломоносова (ЦКТ МГУ им. М.В. Ломоносова).

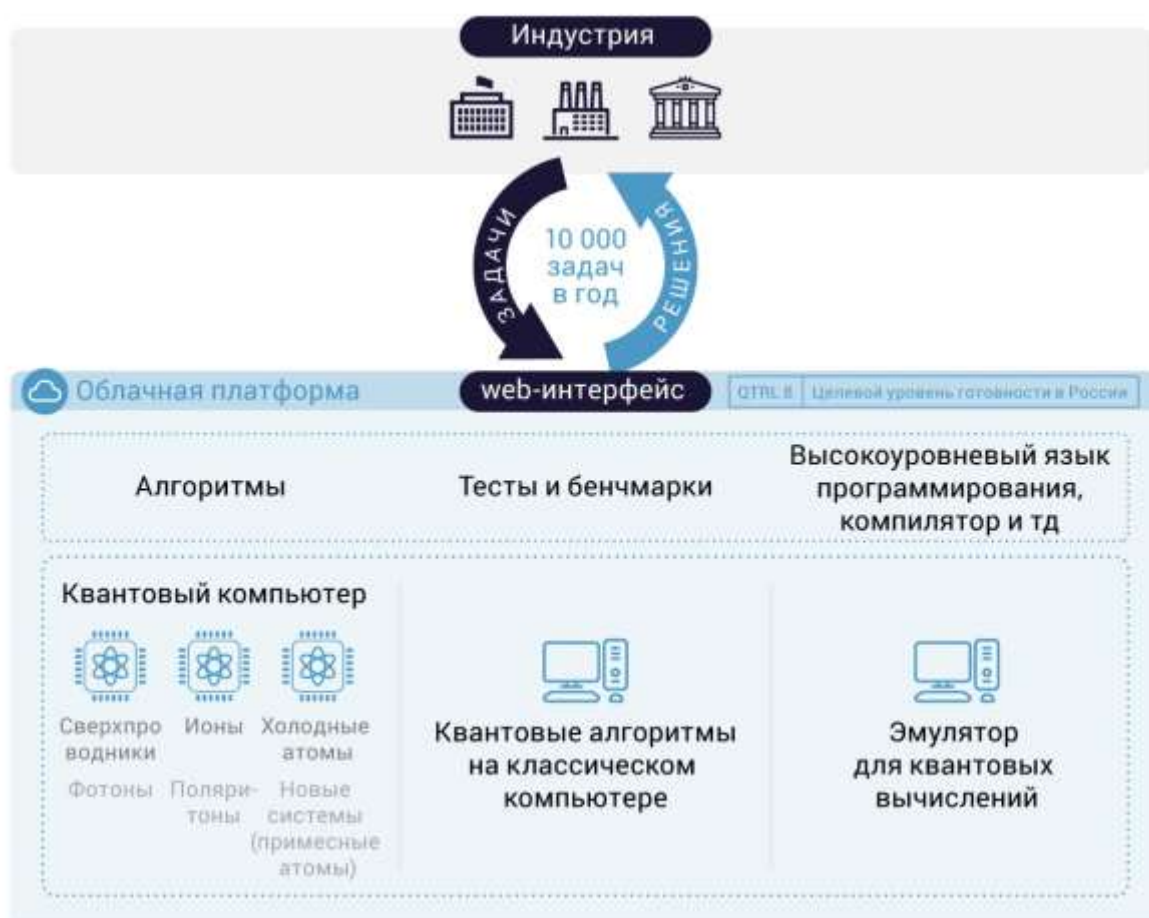


Рис. 1. Квантовые вычисления для решения задач индустрии к 2024 г.

### **Квантовые коммуникации.**

**Определение.** Технологии, направленные на устранение угрозы информационной безопасности, в т.ч. со стороны квантовых компьютеров, включают использование свойств квантовых систем для передачи ключей. Основная технология – КРК. Главное преимущество КРК – защищенность информации, гарантированная законами физики.

**Приоритетные отрасли.** Защита национальных информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечение защиты информации для финансового сектора, государственных органов, крупных технологических компаний и держателей критической информационной инфраструктуры.

**Уровни готовности.** Уровень готовности в мире составляет TRL-9 как в решениях точка-точка, так и в сетях с доверенным узлом. Оборудование КРК для сетей с недоверенными узлами находится на уровне лабораторного тестирования. Сегодня уровень готовности отечественных решений точка-точка можно оценить как TRL-8. В то время, как в части квантовых сетей на основе доверенных узлов отечественные разработки квантовых сетей сильно отстают от уровня Китая и ЕС: TRL-6 против TRL-9.

**Ключевые характеристики:** предельная дальность распределения секретных ключей, скорость распределения секретных ключей, степень секретности ключей, цена, требование к инфраструктуре. Параметры могут быть в дальнейшем дополнены по итогам обсуждения с Регулятором.

**Сопоставление Россия-Мир.** Исторически динамика движения российских команд очень позитивная. В результате позднего старта только в 2016м году были представлены полевые испытания прототипов, что соответствует отставанию в 12-14 лет. За 3 года отставание по решениям точка-точка сократилось до 3-х лет. За следующие 3-4 года необходимо за время действия программы ликвидировать отставание полностью. В данной области в России имеются существенные научно-технические и технологические заделы. Функционирует несколько команд, которые демонстрируют прототипы новых решений (в том числе прототипы сетей КРК) и проводят испытания в реальных условиях. За период функционирования программы, предлагаемой в настоящей ДК, предполагается создать ряд рыночных решений для систем КРК, сертифицированных регулятором.

Актуализация угрозы квантового компьютера увеличит скорость развития рынка квантовых коммуникаций как в России, так и за рубежом. Поддержка строительства квантовых сетей сформирует сильных игроков рынка, которые создадут как магистральные сети, так и разветвленные городские.

Новые решения должны позволить перейти от решений «точка-точка» к архитектуре «звезда» со снижением стоимости подключения и к решениям без требования к доверию промежуточному узлу. Ускоренное развитие отечественных игроков позволит захватить 8% мирового рынка, что в свою очередь должно обеспечить развитие отрасли за горизонтом программы ЦЭ.

**Лидирующие организации:** ЗАО «Сверхпроводниковые нанотехнологии» (Сконтел); ИФП А.В. Ржанова СО РАН; МПГУ; ПАО «Ростелеком»; РКЦ (совместно с компаниями



КуРЭйт, С-Терра, КриптоПро, Амикон, Код Безопасности, МИАН им. В.А. Стеклова); Университет ИТМО (совместно с компаниями Квантовые коммуникации, Смартс, Кванттелеком и Квантовым Центром КНИТУ-КАИ); ЦКТ МГУ им. М.В. Ломоносова (совместно с компаниями ИнфоТеКС и Криптософт).

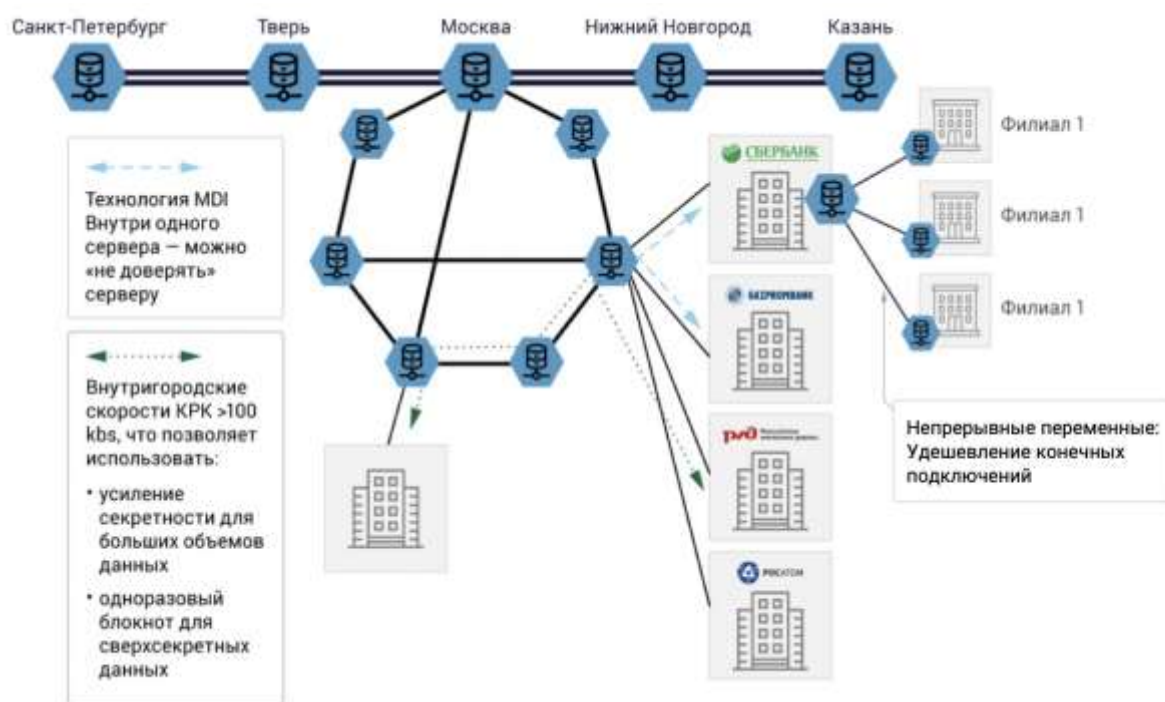


Рис. 2. Пример инфраструктуры квантовых сетей в РФ к 2024 г.

### Квантовые сенсоры и метрология.

**Определение.** Квантовые сенсоры – высокоточные измерительные приборы, основанные на квантовых эффектах. Ожидается, что квантовые сенсоры будут иметь высокое пространственное и временное разрешение, что позволит повысить точность измерений в сравнении с существующими классическими сенсорами, а использование свойств суперпозиции, запутанности, сжатия квантовых состояний, в свою очередь, обеспечит в перспективе максимально возможную чувствительность измерения за счет преодоления стандартного квантового предела.

**Приоритетные отрасли.** Высокая степень контроля над состоянием отдельных микроскопических систем, обеспечиваемая квантовыми технологиями, позволяет создавать квантовые сенсоры с высокой чувствительностью. Развитие технологий разнообразных датчиков нового поколения может дать мощный импульс сразу в нескольких областях: оборона и безопасность, навигация (космос, беспилотный транспорт); строительство, нефтедобыча и геологоразведочные работы; медицинская диагностика/терапия; индустрия 4.0.

**Уровни готовности.** Общая оценка уровня готовности технологий квантовой сенсорики в мире TRL 3-9 и в РФ TRL 1-5.

**Ключевые характеристики:** Квантовые сенсоры позволяют измерять различные физические величины. В общем случае ключевыми характеристиками сенсоров являются: прецизионность, чувствительность к изменению величины детектируемого сигнала; специфичность к анализируемому сигналу; пространственное и временное разрешение; динамический диапазон; рабочий диапазон (частотный, температурный, и т.д.); время отклика или анализа; относительная воспроизводимость частоты (стандарты времени / частоты); возможность многократного использования за счет регенерации детектирующей поверхности (например, в биосенсорах); энергопотребление; габариты / мобильность; сложность обслуживания и эксплуатации; срок службы; стоимость (капитальные и эксплуатационные затраты).

**Сопоставление Россия-Мир.** В мире наблюдается устойчивый тренд развития квантовых технологий и, в частности, квантовой сенсорики. Уровень общей готовности (в зависимости от типа сенсора) в мире оценивается TRL 3-9. На рынке решения в области квантовой сенсорики представлены в основном зарубежными компаниями. В России (уровень развития технологии TRL 1-5) основными разработчиками являются университеты и научно-исследовательские институты.

В настоящий момент в РФ существует ряд перспективных решений в области квантовой сенсорики, опирающихся на технологический задел научно-исследовательских организаций и производственных компаний. К числу таких решений, имеющих практические приложения и коммерческие перспективы, можно отнести: оптические атомные часы; гравиметры/акселерометры на атомах рубидия; гироскопы на ансамблях спинов в твердом теле; локальные сенсоры магнитного поля и температуры на основе азото-замещённой вакансии в алмазе и электрического поля - на центрах окраски; датчики электромагнитных полей на основе когерентных состояний спинов в магнитоупорядоченных средах; спинтронные сенсоры; магнитоплазменные сенсоры; твердотельные фотоумножители; спектрограф (электронный нос) с использованием микрорезонаторов; источники и приемники одиночных фотонов. Важной поддерживающей технологий является разработка дешевых лазерных модулей.



Рис. 3. Области использования квантовых сенсоров в РФ к 2024 г.

**Лидирующие организации:** АО ИСС им Решетнева; АО РИРВ; ВНИИФТРИ; Время-Ч; ИЛФ СО РАН; ИПФ РАН; ИСАН; ИФТТ РАН; МГУ им. М.В. Ломоносова; МФТИ; НИТУ МИСиС; МИФИ; Объединенный институт ядерных исследований, ФТИ им. Иоффе; ООО «Детектор Фотонный Аналоговый» (ООО «ДЕФАН»); РКЦ; Университет ИТМО; ФИАН им. П.Н. Лебедева; ЦКТ МГУ им. М.В. Ломоносова; Центр перспективных технологий и аппаратуры.

- Приоритизация субтехнологий.

Поддержка всех трех основных субтехнологий СЦТ является критически важной для развития РФ.

С точки зрения стратегических интересов страны одной из ключевых является технология квантовых вычислений. Как для будущих рынков, так и для государственной безопасности, эффекты от применения данной субтехнологии будут очень велики. Также в данной области существует риск ограничения доступа к продуктам зарубежных производителей.

С точки зрения технологической зрелости наиболее близкой к выходу на рынок является технология квантовых коммуникаций, обеспечивающая, в том числе, национальную безопасность. В данной области стране требуется иметь собственные продукты с максимальной степенью локализации производства (как конечных устройств, так и компонент) для исключения риска наличия закладок в оборудовании и, как следствие, доступа к защищаемой информации.

Продукты на основе квантовой сенсорики и метрологии смогут преобразить многие индустрии, однако для раскрытия их рыночного потенциала требуется взаимодействие с

индустрией. Рассмотрение вопросов приоритизации продуктов данной субтехнологии необходимо проводить отдельно для каждого отдельного продукта.

- Эффекты от развития СЦТ (технологическое лидерство, экономическое развитие, социальный прогресс).

**Национальная безопасность.** Квантовые технологии могут сыграть ключевую роль для создания конкурентоспособной экономики знаний и высоких технологий. Реализация национальных технологических проектов в области КТ будет способствовать обеспечению национальной безопасности и технологической независимости.

**Технологическое лидерство, социально-экономическое развитие.** Квантовые технологии основаны на достижениях фундаментальной науки в традиционно сильных для России научных областях. Их развитие способствует технологическому лидерству РФ, а также экономическому развитию и социальному прогрессу. В случае достижения целевого уровня эффектов настоящая ДК позволит обеспечить к 2024 году внедрение и развитие в РФ основных технологических инновационных направлений, которые позволят укрепить позиции страны на международной арене и обеспечат долгосрочное лидерство в области цифровых технологий и инновационного развития. Целевой показатель по месту в рейтинге GCI индекса (Global Competitiveness Report) – топ 20 (сейчас 43 место).

Всестороннее развитие квантовых технологий не только окажет значимый эффект на темпы развития экономики, но и позволит качественно улучшить её структуру, значимо повысит долю ВВП, приходящуюся на наукоемкую и инновационную продукцию, расширит скорость адаптации инновационных решений отдельными участниками рынка, заложит основу для создания долгосрочного задела технологического развития. Другими словами, повысит не только международный индекс цифровизации, но и иные признанные показатели уровня развития страны и её вовлеченности в мировую экономику.

- **Ключевые рыночные тенденции и драйверы развития СЦТ.**

**Квантовые вычисления.**

- Главным потребителем квантовых технологий является государство. Это объясняется стратегической важностью квантовых технологий для обеспечения национальной безопасности.

- Согласно данным Markets and Markets основными драйверами роста для рынка квантовых вычислений станет борьба с киберпреступностью, использование квантовых вычислений в автомобильной и оборонной промышленности, а также увеличение объема государственных инвестиций. В Европе, США, Китае, Великобритании, Японии, Канаде и Австралии созданы программы по развитию квантовых технологий.

- Другим драйвером развития квантовых вычислений является развитие машинного обучения и искусственного интеллекта. По данным Accenture половина роста экономики развитых стран к 2035 г. будет за счет AI – это 2.5 трлн долл. в год. Если предположить, что доля применений квантовых вычислений в AI составит 20%, то соответствующий денежный эквивалент может составить до 500 млрд долл. в год.

- Наряду с государственными программами поддержки, интерес к квантовым технологиям проявляют такие компании как Google, IBM, Microsoft, Intel Alibaba, Hewlett Packard Enterprise, Nokia Bell Labs, и Raytheon. В мире уже появились первые потребители квантовых технологий. К ним относятся Lockheed Martin, Airbus, Volkswagen и др.

- Квантовые компьютеры могут быть применены для моделирования новых материалов. Широко обсуждается вопрос о возможном применении квантовых компьютеров для синтеза материалов со свойствами сверхпроводимости при комнатной температуре, которые позволят нивелировать потери при передаче электроэнергии.

- За счет потребления меньшего количества энергии в будущем квантовые компьютеры будут дешевле в использовании, чем классические суперкомпьютеры. Энергопотребление квантовых компьютеров будет более чем в 100 раз меньше, что позволит в будущем экономить десятки миллиардов долларов в год.

#### **Квантовые коммуникации:**

- Рост общего числа данных. По прогнозам IDC к 2020 г. цифровая вселенная достигнет объема в 40 зеттабайт. Всего с начала 2010 г. объем данных вырос в 50 раз.

- Рост доли данных, нуждающейся в защите. По прогнозам IDC доля информации, нуждающейся в защите, неуклонно растет: с 30% до 40% к 2020 году. В то же время экспертами (Positive Technologies) отмечается, что уровень защиты данных недостаточно высок.

- Рост инвестиций в IT-инфраструктуру (хранение и управление информацией, оборудование, телекоммуникации и персонал) в период с 2012 по 2020 г. на 40%. Инвестиции в хранение и защиту информации, Big Data и Cloud Computing будут расти значительно быстрее.

- Рост числа инцидентов информационной безопасности. Рост обеспокоенности индустрии в отношении сохранности данных. Суммарные потери от киберпреступлений сейчас – более \$ 1 трлн. в год, в том числе 600 млрд. руб. в России. Прогноз на 2020 г. – до \$ 2,1 трлн.

- «Цифровизация» экономики: быстрое внедрение облачных технологий и блокчейнов. По прогнозам IDC к 2020 г. с использованием облачных сервисов будет обрабатываться почти 40% данных.

- Ускорение темпов роста технологии квантовых вычислений за счет увеличения инвестиций со стороны государства (США – 20 млрд. долларов, Китай – 10 млрд. долларов, Европейский союз – 3 млрд. евро и т.д.), со стороны частных компаний (Google, Intel, IBM, Microsoft, Alibaba, Huawei и т.д.), а также со стороны венчурных фондов. По данным The Economist, венчурные инвесторы вложили в проекты в сфере квантовых технологий больше 250 млн долларов за последние годы. Это касается как стартапов, разрабатывающих «железо» для квантовых компьютеров, так и программное обеспечение и другие технологии.

- Крупные международные компании в области консалтинга и аудита (PwC, Accenture, Deloitte и др.) рекомендуют пересмотр долгосрочного плана обеспечения информационной безопасности из-за квантовых компьютеров.

### **Квантовые сенсоры:**

- Одной из главных тенденций рынка станет применение квантовой сенсорики в области медицины. В частности, их использование будет востребовано в цитологии и создании новых медицинских устройств, например, для диагностики и лечения онкологических и других заболеваний.

- Еще одним из главных трендов является растущий спрос на интернет вещей, что в значительной степени стимулирует рост рынка квантовых сенсоров.

- Также рост соответствующего рынка стимулирует развитие глобальных навигационных систем, которые широко используются в аэрокосмической и автомобильной отраслях для навигации.

- Верхнеуровневая оценка наличия синергетических эффектов.

На заседании НС АНО «Цифровая Экономика» принято решение развивать КТ в рамках отдельной СЦТ.

Квантовые технологии востребованы для дальнейшего прогресса во всех стратегических направлениях цифровой экономики:

- Большие данные: использование квантовых алгоритмов для ускорения обработки больших данных.

- Нейротехнологии и искусственный интеллект: использование квантовых алгоритмов для ускорения решения задач машинного обучения и искусственного интеллекта; квантовые сенсоры для нейроинтерфейсов.

- Системы распределённого реестра («блокчейн»): защита распределённых реестров и блокчейнов при помощи квантовой криптографии и постквантовых алгоритмов.

- Новые производственные технологии: квантовая оптимизация производственных процессов при помощи квантовых вычислений; защита критически важных производственных сегментов при помощи квантовой криптографии и постквантовых алгоритмов; интерактивность производства с использованием квантовых сенсоров.
- Промышленный интернет: интеграция квантовых сенсоров в промышленный интернет вещей.
- Компоненты робототехники и сенсорики: квантовые и квантово-вдохновленные алгоритмы для робототехники, в частности, при интеграции машинного обучения в робототехнические системы; развитие сенсорных систем на основе квантовых сенсоров, например, для сбора энергии (energy harvesting).
- Технологии беспроводной связи: защита сетей передачи данных и вычислительных комплексов облачной инфраструктуры при помощи квантового распределения ключей и постквантовых алгоритмов.
- Технологии виртуальной и дополненной реальности: использование квантовых вычислений для ускорения процессов, реализуемых технологиями виртуальной и дополненной реальности.
- Перечень рисков и возможных ограничений развития заделов по СЦТ, создания перспективных российских решений на их базе.

Основным механизмом устранения рисков является запуск в РФ масштабных научно-технологических программ поддержки квантовых технологий и поддерживающих технологий.

Таблица 1. Направления, этапы и мероприятия по решению технологических задач

Риски и ограничения	Мероприятие для решения или преодоления	Ожидаемый результат	Сроки исполнения
Научно-технологические (подробнее см. Табл. 3)	<p>Реализация комплексных научно-технологических проектов по данной тематике.</p> <p>Международное сотрудничество.</p> <p>Организационные формы для обновления и приоритизации дорожной карты.</p> <p>Развитие собственных технологических решений по наиболее важным направлениям.</p> <p>Поддержка в России производства высокотехнологичного оборудования – развитие поддерживающих технологий.</p>	<p>Разработан механизм для управления ДК.</p> <p>Выстроена приоритизация направлений развития.</p> <p>Реализованы проекты по разработке собственных технологических решений по наиболее важным направлениям.</p>	2019-2024
Организационные (подробнее см. Табл. 5)	Создание организационной формы управления ДК.	Создана организационная	2019-2024

	Создание коммуникационных площадок для обмена передовым опытом, регулярные научные семинары и профильные конференции.  Снижение бюрократического трения и создание комфортной инфраструктуры для работы	форма управления ДК.	
Кадровые (подробнее см. Табл. 5)	Реализация новых образовательных программ, прежде всего, в профильных университетах, работа с талантливыми школьниками и кружковым движением.  Программы для возвращения из-за рубежа талантливых специалистов (пример, программа «1000 талантов» в Китае).	Реализованы образовательные программы, в т.ч. международное сотрудничество.  Реализована программа по работе с диаспорой.	2019-2024
Рыночные (подробнее см. Табл. 3 и 5)	Участие представителей индустрии в формировании планов комплексных научно-технологических проектов, а также государственная поддержка спроса.  Софинансирование строительства инфраструктуры квантовых коммуникаций.  Введение соответствующих KPI для гос. компаний.	Увеличен спрос на основанные на квантовых технологиях продукты. Проведено софинансирование строительства инфраструктуры квантовых коммуникаций. Проведены мероприятия по стимулированию спроса на услуги в области квантовых коммуникаций.	2019-2024

## 2. Текущее состояние и целевые показатели развития до 2021 и 2024 года (технологические и отдельные экономические)

Таблица 2. Целевые показатели СЦТ

Показатель	2019	2021	2024
Количество публикаций по квантовым технологиям, в год	560	800	1200
в т.ч. количество публикаций в журналах с IF больше 3	190	290	480
Количество РИД, в год	30	50	60
<b>Квантовые вычисления</b>			
Количество кубитов в сверхпроводниковом квантовом компьютере	2	5-10	30-50
Количество кубитов в квантовом компьютере на нейтральных атомах	10	50	100
Количество кубитов в квантовом компьютере на ионах	1	5	55
Количество каналов в квантовом компьютере на фотонах	10	50	100
Количество <u>частиц</u> в квантовом компьютере/симуляторе на поляритонах	50	100	1000
Количество экспериментов на квантовой облачной платформе	0	20	10000
<b>Квантовые коммуникации (с учетом пилотных внедрений)</b>			



Показатель	2019	2021	2024
Общая протяженность сетей, км	100	1000	10000
Поддерживаемое количество портов в сетях точка-многоточка	24	64	128
Предельная дальность вне лаборатории, км	100	200	250
Скорость генерации секретного ключа, кбит/с на 25 км	10	100	5000
Сертификация оборудования	-	+	+
<b><i>Квантовые сенсоры</i></b>			
Разработано количество типов промышленных образцов квантовых сенсоров	2	4	6
Пример: среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение измеренного значения меры частоты за интервал 10 ч	$10^{-16}$	$10^{-17}$	$10^{-18}$
Пример: пространственное разрешение сенсоров на центрах окраски, мкм	10	2	0.5

В связи с тем, что технические характеристики квантовых сенсоров не могут быть универсальным образом определены для всех типов квантовых сенсоров, определение целевых показателей с учетом их взаимосвязи между собой требует обсуждений с потенциальными потребителями. Кроме того, направления развития в рамках субтехнологии квантовых сенсоров будут приоритизированы.

### 3. План действий по развитию «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии»

Таблица 3. Направления, этапы и мероприятия по решению технологических задач (отдельно для каждой субтехнологии)

№ п.п.	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки*	Ответственные операторы мер поддержки
<b>1.</b>	<b>Субтехнология: Квантовые коммуникации</b>				
<b>1.1.</b>	<b>Технологическая задача: реализация проектов, направленных на развитие квантовых коммуникаций</b>				
1.1.1	Пилотные проекты по внедрению квантового распределения ключей в компании	В 5 крупных компаниях сертифицированные продукты на основе КРК используются как элемент системы защиты информации	2019-2020	Поддержка компаний-лидеров, Поддержка региональных проектов	АО «РВК», Российский фонд развития информационных технологий
1.1.2.	Мультиплексирование квантовой и классической связи	Обеспечена совместная работа квантового канала с классическим	2019-2021	Поддержка программ деятельности ЛИЦ, Грантовая поддержка малых предприятий	АО «РВК», Фонд содействия инновациям, Национальный проект «Наука», Минобрнауки России Российский фонд развития информационных технологий
1.1.3.	Реализация спутниковой квантовой криптографии	Успешная реализация КРК в режиме «Земля-Спутник».	2019-2023	Грантовая поддержка малых предприятий, Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Минпромторг России, Национальный проект «Наука» Минобрнауки России
1.1.4.	Реализация экспортного потенциала решений для КРК.	Появление в РФ продуктов для КРК с конкурентными для глобального рынка характеристиками.	2020-2024	Поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту, Поддержка компаний-лидеров	Минкомсвязь России, АО «РВК» Российский фонд развития информационных технологий
<b>2.</b>	<b>Субтехнология: Квантовые вычисления</b>				
<b>2.1.</b>	<b>Технологическая задача: реализация проектов, направленных на развитие квантовых вычислений</b>				
2.1.1	Создание первых прототипов квантовых компьютеров	Реализация квантовых процессоров с 5-10 кубитами  Сформулирована задача о достижении квантового превосходства (решения квантовым компьютером задачи, которая не поддается решению классическими технологиями)	2019-2021	Грантовая поддержка малых предприятий, Поддержка программ деятельности ЛИЦ	Фонд содействия инновациям, АО «РВК», Национальный проект «Наука» Минобрнауки России

№ п.п.	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки*	Ответственные операторы мер поддержки
2.1.2	Запуск облачной платформы для квантовых вычислений (обеспечивающая API и имеющая высокоуровневые языки программирования) и эмулятор квантового процессора; на реальных физических системах протестированы методы подавления и коррекции ошибок	Более 10 компаний используют облачную платформу для квантовых вычислений.  Разработанная облачная платформа использует не менее 3 различных типов квантовых процессоров и имеет не менее 10 000 запусков в год для решения задач. В неё интегрированы методы подавления и коррекции ошибок.	2019-2024	Грантовая поддержка малых предприятий, Поддержка программ деятельности ЛИЦ	Фонд содействия инновациям, АО «РВК», Национальный проект «Наука» Минобрнауки России Российский фонд развития информационных технологий
2.1.3.	Масштабирование квантовых компьютеров	Создано 3 прототипа квантовых процессоров с 30-50 кубитами; решена задача о достижении квантового превосходства; реализованы и протестированы 5 квантовых алгоритмов для решения индустриально востребованных задач	2021-2024	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, Поддержка программ деятельности ЛИЦ	Минпромторг России, АО «РВК», Национальный проект «Наука» Минобрнауки России Российский фонд развития информационных технологий
<b>3.</b>	<b>Субтехнология: Квантовые сенсоры и метрология</b>				
<b>3.1.</b>	<b>Технологическая задача: реализация проектов, направленных на развитие квантовых сенсоров и метрологии</b>				
3.1.1	Демонстрация прототипов сенсоров для индустрии	Демонстрация 2 типов квантовых сенсоров	2019-2020	Грантовая поддержка малых предприятий, Поддержка программ деятельности ЛИЦ	Фонд содействия инновациям, АО «РВК», Национальный проект «Наука» Минобрнауки России
3.1.2.	Тестирование сенсоров в реальных условиях	Тестируются 3 типа квантовых сенсоров	2019-2021	Поддержка отраслевых решений, Грантовая поддержка малых предприятий	Фонд «Сколково», Фонд содействия инновациям
3.1.3.	Внедрение сенсоров в IoT и медицину	Запущено 5 проектов по внедрению квантовых сенсоров	2019-2023	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, Поддержка программ деятельности ЛИЦ, Грантовая поддержка малых предприятий	Минпромторг России, АО «РВК», Фонд содействия инновациям, Национальный проект «Наука» Минобрнауки России

№ п.п.	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки*	Ответственные операторы мер поддержки
3.1.4.	Мелкосерийное производство	Создано 6 типов квантовых сенсоров  В РФ появилось новое поколение продуктов на базе сенсоров	2019-2024	Поддержка компаний-лидеров, Грантовая поддержка малых предприятий	АО «РВК», Фонд содействия инновациям Российский фонд развития информационных технологий

\*-Некоторые направления могут быть частично профинансированы за счет Национального проекта «Наука»

#### 4. Оценка требуемых ресурсов в привязке к инструментам поддержки (до 2024 г.)

Таблица 4. Оценка потребности в финансировании по направлениям развития, млрд руб.

	Полный бюджет ДК										Приоритизация с учетом утвержденного бюджета ЦЭ		
	Грантовая поддержка организаций	Поддержка программ деятельности ЛИЦ	Поддержка отраслевых решений	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Поддержка региональных проектов	Поддержка компаний-лидеров	Предоставление субсидий кредитным организациям	Итого по субСЦТ (бюджет)	Итого по субСЦТ (внебюджет)	Вне инструментов поддержки	Процент финансирования	Итого по субСЦТ (бюджет ЦЭ)	Итого по субСЦТ (внебюджет ЦЭ)
Квантовые вычисления	<b>4,9</b>	<b>2,1</b>	<b>3,2</b>	<b>2,8</b>	<b>0</b>	<b>2,2</b>	<b>0</b>	<b>12,8</b>	<b>2,4</b>	<b>0</b>	<b>81%</b>	<b>9,93</b>	<b>2,4</b>
- в рамках бюджетных средств	3,7	2,1	3	2,3	0	1,7	0	12,8	0	0	78%	9,93	0
- в рамках внебюджетного финансирования	1,2	0	0,2	0,5	0	0,5	0	0	2,4	0	100%	0	2,4
Квантовые коммуникации	<b>0,15</b>	<b>0,81</b>	<b>3,120</b>	<b>1,840</b>	<b>1,17</b>	<b>2,94</b>	<b>0</b>	<b>6,59</b>	<b>3,44</b>	<b>1,25</b>	<b>100%</b>	<b>6,59</b>	<b>3,44</b>
- в рамках бюджетных средств	0,15	0,81	2,180	0,875	0,385	2,19	0	6,59	0	1,25	100%	6,59	0
- в рамках внебюджетного финансирования	0	0	0,94	0,965	0,785	0,75	0	0	3,44	0	100%	0	3,44
Квантовые сенсоры	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>76%</b>	<b>5,189</b>	<b>0,541</b>
- в рамках бюджетных средств	2	1	1,5	1,5	0	1	0	7	0	0	74%	5,189	
- в рамках внебюджетного финансирования	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0,5	0	100%		0,541
Итого бюджетных средств	<b>5,85</b>	<b>3,91</b>	<b>6,680</b>	<b>4,675</b>	<b>0,385</b>	<b>4,89</b>	<b>0</b>	<b>26,39</b>	<b>0</b>	<b>1,25</b>		<b>21,709</b>	
Итого внебюджетных средств	<b>1,2</b>	<b>0</b>	<b>1,14</b>	<b>1,965</b>	<b>0,785</b>	<b>1,25</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6,34</b>	<b>0</b>			<b>6,381</b>
Всего	<b>7,05</b>	<b>3,91</b>	<b>7,820</b>	<b>6,640</b>	<b>1,17</b>	<b>6,14</b>	<b>0</b>	<b>26,39</b>	<b>6,34</b>	<b>1,25</b>		<b>21,709</b>	<b>6,381</b>

В случае дополнительного финансирования по отдельным статьям освобождающиеся средства будут направлены на дофинансирование остальных статей.

Таблица 5. Оценка потребности в финансировании поддерживающих, организационных и отраслевых мероприятий, млрд руб.

Описание проекта	Полный бюджет ДК		Приоритизация с учетом утвержденного бюджета ЦЭ		
	Бюджетное финансирование	Внебюджетное финансирование	Процент финансирования	Итого по субСЦТ (бюджет ЦЭ)	Итого по субСЦТ (внебюджет ЦЭ)
Организация профильных спецкурсов в рамках программы школьного образования, кафедр квантовых технологий на базе вузов, а также центров дополнительного образования	1	0	50%	0,5	0
Формирование стандартов и верифицированных методик для образовательных курсов в школах, колледжах, ВУЗах	0,5	0	70%	0,35	0
Организация долгосрочной информационно-просветительской кампании для привлечения отечественных специалистов в российские исследовательские и коммерческие организации	0,2	0	100%	0,2	0
Продвижение профессионального образования: дальнейшее развитие компетенций в области квантовых технологий на платформе WorldSkills	0,05	0	100%	0,05	0
Формирование инфраструктуры и комплекса мер поддержки для развития профильных стартапов на территориях российских наукоградов и технопарков (Сколково, Иннополис, парк Сириус и др.)	5	0	50%	2,5	0
Организация серии хакатонов (конкурсов разработки) с последующим финансированием лучших проектов	0,3	0	100%	0,3	0
Организация работы межотраслевого центра внедрения КТ в деятельность отечественных корпораций	0,7	0	50%	0,35	0
Организация работы межотраслевого центра управления знаниями в формате web-ресурса	0,4	0	50%	0,2	0
Организация долгосрочной информационно-просветительской кампании для привлечения зарубежных кадров в российские исследовательские и коммерческие организации	0,3	0	100%	0,3	0
Консультативное сопровождение выхода российских профильных предприятий на международный рынок	0,5	0	100%	0,5	0
Разработка и реализация комплексной программы продвижения созданных российскими стартапами продуктов и услуг на внешнем рынке	1	0	100%	1	0
Создание отдельной организационной структуры по управлению ДК	1,2	0	100%	1,2	0

Описание проекта	Полный бюджет ДК		Приоритизация с учетом утвержденного бюджета ЦЭ		
	Бюджетное финансирование	Внебюджетное финансирование	Процент финансирования	Итого по субСЦТ (бюджет ЦЭ)	Итого по субСЦТ (внебюджет ЦЭ)
Формирование отраслевых проектов	3,6	2,4	70%	2,52	1,68
<b>ИТОГО</b>	<b>14,75</b>	<b>2,4</b>		<b>9,97</b>	<b>1,68</b>

В случае дополнительного финансирования по отдельным статьям освобождающиеся средства будут направлены на дофинансирование остальных статей.

Таким образом, все мероприятия ДК предполагают выделение 51,15 млрд руб. (включая 8,74 млрд руб. внебюджетных средств) на реализацию предлагаемых инициатив, в том числе 34,00 млрд руб. на основные проекты развития и 17,15 млрд руб. на организационные, кадровые и отраслевые мероприятия.

- Приоритетность выделения денежных средств по инструментам поддержки в разрезе субтехнологий.

По причине того, что рынки квантовых технологий на данный момент только формируются, а также обладают большой научной-технической составляющей, в первую очередь необходимо поддерживать НИОКРы (R&D стадия), нацеленные на развитие СЦТ и создание в будущем конкретных рыночных продуктов. Также немаловажной является поддержка отраслевых и инфраструктурных проектов по внедрению, особенно по квантовым коммуникациям, как наиболее близкой к рынку технологии.

В рамках утвержденного бюджетного финансирования Национальной программы ЦЭ была проведена приоритизация финансирования в разрезе отдельных проектов (подробнее см. Приложение 1). В итоге, с учетом приоритизации проектов, мероприятия ДК предполагают выделение 40,99 млрд руб. (включая 8,061 млрд руб. внебюджетных средств), в том числе 29,34 млрд руб. на основные проекты развития и 11,65 млрд руб. на организационные, кадровые и отраслевые мероприятия.

- **ВЫВОДЫ**

Для прорыва необходима всесторонняя поддержка КТ. При этом особо хотелось бы отметить роль организационных мероприятий:

- Одним из критических барьеров на пути к реализации программы и плана действий ДК является недостаточная консолидация научно-технологического сообщества и ее связь с индустрией. С целью управления настоящей ДК предлагается **создание отдельной организационной структуры** (по примеру АНО «Цифровая Экономика»).

▪ **Международное сотрудничество и работа с диаспорой.** Важным конкурентным преимуществом России является обширная, высококвалифицированная и пассионарная русскоязычная научная диаспора за рубежом. Привлечение интеллектуальных ресурсов тысяч ученых, оказавшихся за границей после распада Советского Союза, обеспечит резкий рост творческого потенциала страны в ключевой научной области. Аналогичная программа («1000 талантов») уже несколько лет успешно реализуется в КНР.

В итоге комплексная реализация ДК позволит:

1. Сократить отставание по таким критически важным технологическим направлениям, как квантовые вычисления.
2. По направлению квантовых коммуникаций создать конкурентные продукты с экспортным потенциалом и выйти на международные рынки.
3. Реализовать национальные технологические проекты в области КТ, способствующие обеспечению национальной безопасности и технологической независимости.

По итогам рекомендаций Наблюдательного совета ЦЭ в данный момент с экспертами прорабатывается амбициозный план по реализации программы квантовых вычислений.



Приложение 1. Приоритизация финансирования в разрезе отдельных направлений, млрд руб.

	Полный бюджет ДК				Приоритизация с учетом утвержденного бюджета ЦЭ				
	Бюджет	Внебюджет	Бюджет (вне ЦЭ)	Всего	Процент финансирования	Бюджет	Внебюджет	Бюджет (вне ЦЭ)	Всего
<b>Субтехнология</b>									
<b>Квантовые вычисления</b>	<b>12,800</b>	<b>2,400</b>		<b>15,200</b>		<b>9,930</b>	<b>2,400</b>		<b>12,330</b>
Сверхпроводниковые квантовые компьютеры и симуляторы	3,000	1,200		4,200	100%	3,000	1,200		4,200
Квантовые компьютеры и симуляторы на нейтральных атомах	2,250	0,600		2,850	100%	2,250	0,600		2,850
Квантовые компьютеры и симуляторы на основе ионов в ловушках	1,500	0,600		2,100	100%	1,500	0,600		2,100
Квантовые компьютеры и симуляторы на основе фотонов и интегральной оптики	1,000			1,000	30%	0,300			0,300
Симуляторы на основе поляритонных конденсатов	1,100			1,100	30%	0,330			0,330
Квантовые вычисления на примесных атомах и квантовых точках в кремнии	2,000			2,000	30%	0,600			0,600
Квантовые методы подавления ошибок	0,350			0,350	100%	0,350			0,350
Квантовые коды коррекции ошибок	0,400			0,400	100%	0,400			0,400
Квантовые алгоритмы	0,300			0,300	100%	0,300			0,300
Эмулятор квантовых вычислений	0,450			0,450	100%	0,450			0,450
Облачная платформа для квантовых вычислений	0,450			0,450	100%	0,450			0,450
<b>Квантовые коммуникации</b>	<b>6,590</b>	<b>3,440</b>	<b>1,250</b>	<b>11,280</b>		<b>6,590</b>	<b>3,440</b>	<b>1,250</b>	<b>11,280</b>
Квантовое распределение ключей точка-точка	<b>0,662</b>	1,228	0,950	1,890	100%	0,662	1,228	0,950	1,890
Квантовые сети на основе доверенных узлов	3,238	1,477	0,200	4,715	100%	3,238	1,477	0,200	4,715
Квантовые сети на основе недоверенных узлов	1,400	0,250	0,050	1,650	100%	1,400	0,250	0,050	1,650
КРК в открытом пространстве для спутниковых решений и беспилотных средств	1,040	0,335	0,050	1,375	100%	1,040	0,335	0,050	1,375
Постквантовая криптография	0,250	0,150		0,400	100%	0,250	0,150		0,400
<b>Квантовые сенсоры и метрология</b>	<b>6,959</b>	<b>0,541</b>		<b>7,500</b>		<b>5,189</b>	<b>0,541</b>		<b>5,730</b>
<b>Организационные мероприятия</b>	<b>14,750</b>	<b>2,400</b>		<b>17,150</b>		<b>9,970</b>	<b>1,680</b>		<b>11,650</b>
Организация профильных спецкурсов в рамках программы школьного образования, кафедр квантовых технологий на базе вузов, а также центров дополнительного образования	1,000			1,000	50%	0,500			0,500
Формирование стандартов и верифицированных методик для образовательных курсов в школах, колледжах, ВУЗах	0,500			0,500	70%	0,350			0,350

	Полный бюджет ДК				Приоритизация с учетом утвержденного бюджета ЦЭ				
	Бюджет	Внебюджет	Бюджет (вне ЦЭ)	Всего	Процент финансирования	Бюджет	Внебюджет	Бюджет (вне ЦЭ)	Всего
<b>Субтехнология</b>									
Организация долгосрочной информационно-просветительской кампании для привлечения отечественных специалистов в российские исследовательские и коммерческие организации	0,200			0,200	100%	0,200			0,200
Продвижение профессионального образования: дальнейшее развитие компетенций в области квантовых технологий на платформе WorldSkills	0,050			0,050	100%	0,050			0,050
Формирование инфраструктуры и комплекса мер поддержки для развития профильных стартапов на территориях российских наукоградов и технопарков (Сколково, Иннополис, парк Сириус и др.)	5,000			5,000	50%	2,500			2,500
Организация серии хакатонов (конкурсов разработки) с последующим финансированием лучших проектов	0,300			0,300	100%	0,300			0,300
Организация работы межотраслевого центра внедрения КТ в деятельность отечественных корпораций	0,700			0,700	50%	0,350			0,350
Организация работы межотраслевого центра управления знаниями в формате web-ресурса	0,400			0,400	50%	0,200			0,200
Организация долгосрочной информационно-просветительской кампании для привлечения зарубежных кадров в российские исследовательские и коммерческие организации	0,300			0,300	100%	0,300			0,300
Консультативное сопровождение выхода российских профильных предприятий на международный рынок	0,500			0,500	100%	0,500			0,500
Разработка и реализация комплексной программы продвижения созданных российскими стартапами продуктов и услуг на внешнем рынке	1,000			1,000	100%	1,000			1,000
Создание отдельной организационной структуры по управлению ДК	1,200			1,200	100%	1,200			1,200
Формирование отраслевых проектов	3,600	2,400		6,000	70%	2,520	1,680		4,200
<b>ИТОГО</b>	<b>41,099</b>	<b>8,781</b>	<b>1,250</b>	<b>51,130</b>		<b>31,679</b>	<b>8,061</b>	<b>1,250</b>	<b>40,990</b>