СМАРТС
КВАНТТЕЛЕКОМ

Технология квантового распределения ключей. Текущий статус и перспективы развития решений.

ООО «СМАРТС-Кванттелеком»

квanttелеком.рф

История развития решений компании

В кооперации с Университетом ИТМО

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

2006

Старт научных исследований в ИТМО

2012

Создание первого лабораторного макета, переход к R&D

2014

Первая квантовая сеть в России между двумя корпусами ИТМО

Создание компании «Квантелеком», резидентство Сколково

2015

Первые продажи лабораторных систем КРК

2016

Запуск четырехузловой квантовой сети в Казани между корпусами КНИТУ-КАИ

2017

Старт проекта по исследованию подходов к созданию программно-конфигурируемых квантовых сетей

2018

Запуск квантовой сети между ЦОД в Самаре при участии АО «СМАРТС»

2019

Старт дорожной карты «Квантовые коммуникации».

2020

Создание промышленных образцов систем КРК в нескольких модификациях

Исследование систем КРК на новых принципах (протоколы, атмосферный канал)

2021

Первый «квантовый» звонок на пилотном участке магистральной квантовой сети Москва - СПб

Завершение гранта Сколково и старт проектов Дорожной карты

2022

Квантовая сеть между городами Самарской области при поддержке РФРИТ

Завершение проекта Минпромторга России на создание системы КРК с отечественной ЭКБ

2023

Испытания квантовой сети Москва - Нижний Новгород

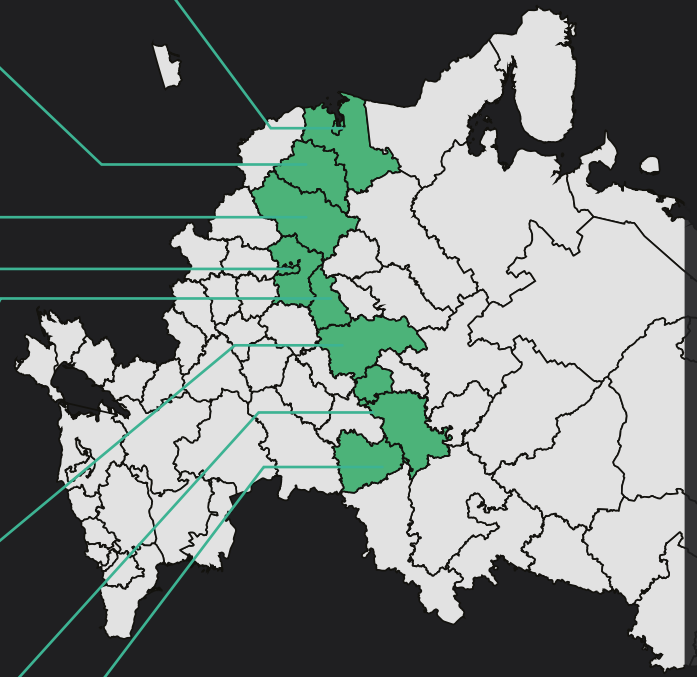
Монтаж квантовой сети Нижний Новгород - Казань

Испытания на инфраструктуре TEA NEXT

Развитие квантовых технологий в стране

Проекты компании в разных регионах Российской Федерации

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ



- Санкт-Петербург
- Великий Новгород
- Тверь
- Москва
- Владимир
- Нижний Новгород
- Казань
- Самара

1800+ км

квантовых сетей

11 субъектов

Российской Федерации

Крупные города

Северо-Западного, Центрального и Поволжского Федеральных округов

Существующие системы шифрования

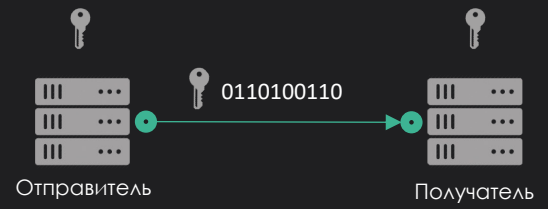
Криптография с симметричным и открытым ключом

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

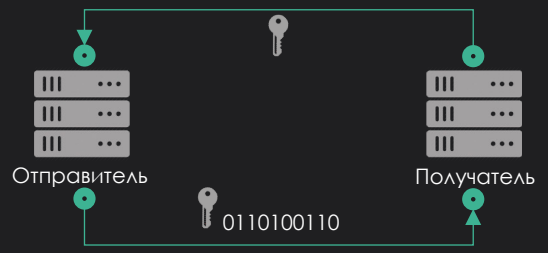
Шифрование является ключевым элементом защиты информации

Существует два основных типа криптосистем:

Криптография с симметричным ключом



Криптография с открытым ключом



	Основные характеристики	*Недостатки*
Криптография с симметричным ключом	✓ Информация шифруется и дешифруется используя единый «ключ»; ✓ Предполагается, что отправитель и получатель знают ключ до начала процесса обмена информаций; ✓ Примеры алгоритмов: ГОСТ 34.12-2015, ГОСТ 28147-89, AES, DES	✓ Необходим защищенный канал передачи секретного ключа; ✓ В особо важных случаях (гос. тайна, банковская информация) передача ключа отправителю и получателю осуществляется в ручном режиме на физическом носителе; ✓ Для обеспечения высокого уровня безопасности передачи данных необходима частая смена ключа, что влечет проблему его передачи.
Криптография с открытым ключом	✓ Получатель генерирует и передает отправителю открытый ключ для шифрования по открытому каналу связи; ✓ Получатель хранит закрытый ключ и функцию расшифровки для декодирования сообщения; ✓ Примеры алгоритмов: ГОСТ Р 34.10-2012, RSA, DSA	✓ Безопасность широко используемых методов основана на том, что нарушитель не успеет расшифровать информацию, пока она актуальна; ✓ Сложность дешифровки сообщений зависит от длины ключа. Увеличение его длины значительно перегружает инфраструктуру и уменьшает скорость обмена сообщениями; ✓ Подобрать ключ ограниченной величины возможно (RSA 768 бит был декодирован в 2010г.).

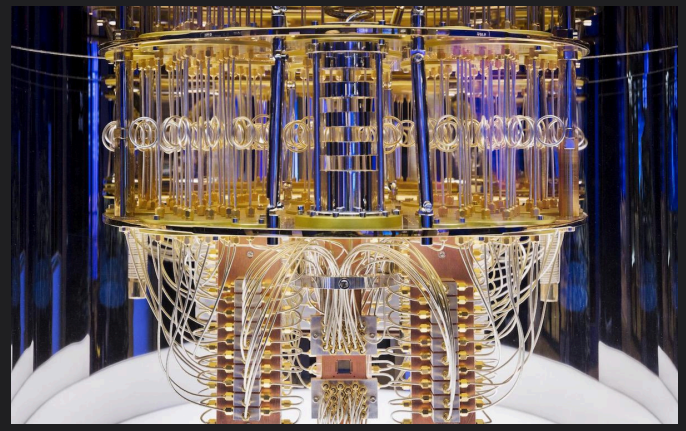
Применение криптосистем сегодня: симметричные криптосистемы используются для шифрования больших потоков данных, но для их работы нужен общий симметричный ключ. Этот ключ может быть сформирован с использованием криптосистем с открытым ключом по любому открытому каналу связи, или физически доставлен на носителе (фельдъегерская служба).

Угрозы криптосистем с открытым ключом

Мотивация к поиску новых решений для распределения ключей

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Существующие криптосистемы с открытым ключом могут быть полностью взломаны квантовым компьютером!

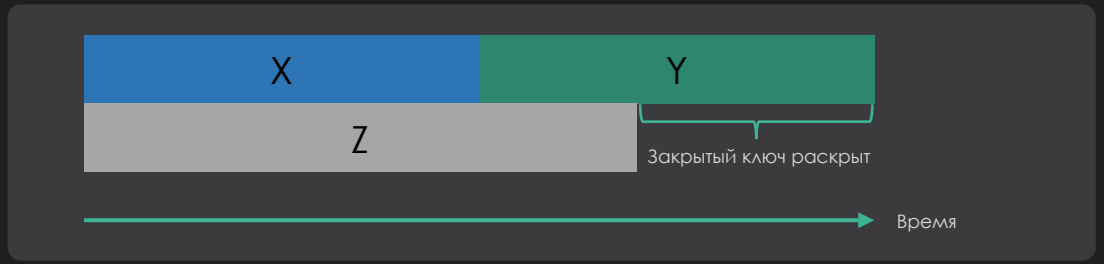


Крупные компании, занимающиеся созданием собственного квантового компьютера:

D-Wave, IBM, Google, Alibaba.com, Baidu 百度

*В 2021 году компания **Google** впервые объявила о достижении **квантового превосходства:** квантовый компьютер за короткое время решил задачу, на решение которой самым мощным классическим компьютерам понадобилось бы более 1000 лет*

Когда задуматься о смене криптосистем с открытым ключом?



X – время на внедрение новых криптоалгоритмов на замену (с учетом сертификации, развития инфраструктуры и т.п.)
Y – время, в течение которого защищаемая информация остается актуальной
Z – время до появления универсального квантового компьютера

Если **X** + **Y** > **Z**, то защищаемая информация **будет скомпрометирована**

Обладатель информации не успеет перейти на квантовостойкие методы защиты информации, и при перехвате информации ее можно будет расшифровать с использованием квантового компьютера в тот момент, пока она еще будет актуальна

Вывод: переходить на квантовостойкие решения нужно до появления квантового компьютера

В последние годы экспертным сообществом во всем мире квантовая угроза признается актуальной в перспективе 3-5 лет.

Технология квантового распределения ключей

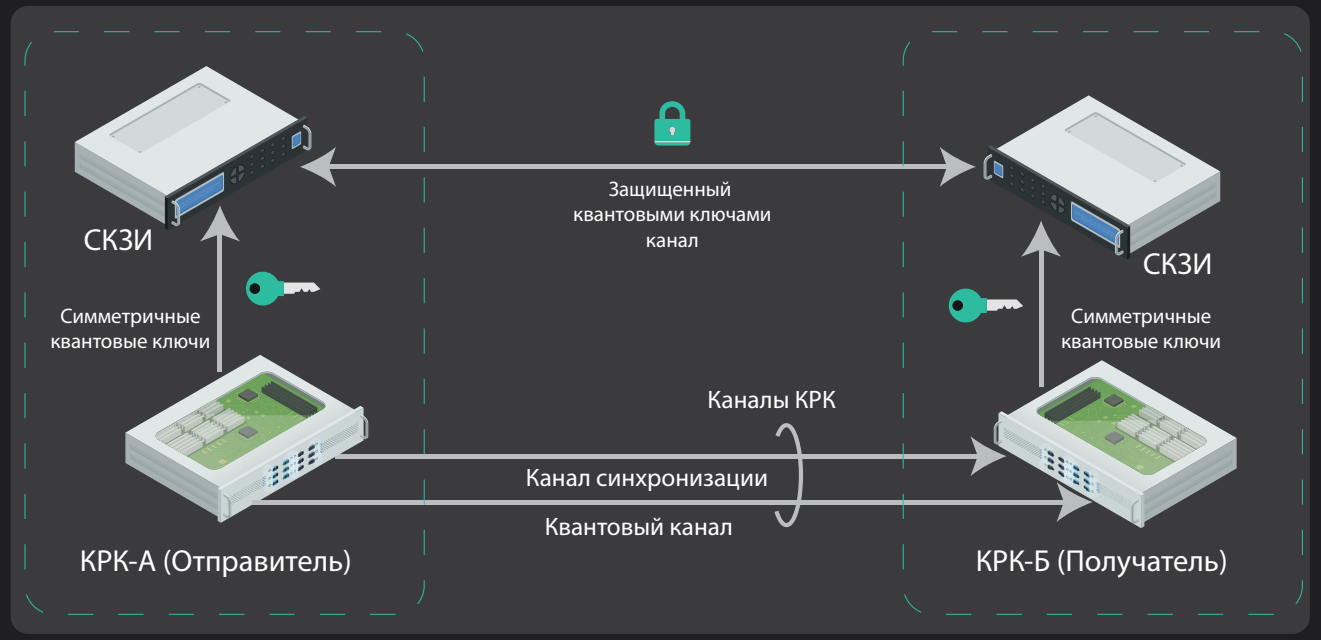
Квантовые ключи для средств криптографической защиты информации

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

- ✓ *Квантовое распределение ключей (КРК)* позволяет безопасно генерировать и передавать симметричные ключи на основе использования законов квантовой физики.
- ✓ Для создания ключа используются кванты света – фотоны, передаваемые по оптическому волокну или атмосферному каналу
- ✓ В силу физических свойств фотонов (разрушаются при измерении, невозможно разделить и скопировать состояние, не разрушив его) – отправитель и получатель всегда будут знать, есть ли в системе «нарушитель»
- ✓ Стойкость протоколов КРК не зависит от вычислительных способностей нарушителя и не меняется со временем
- ✓ Производительность работы систем зависит от оптических потерь в квантовом канале. При стандартных оптических потерях 0,2 дБ/км коммерческие системы работают на расстоянии до 100 км.
- ✓ Построение протяженных квантовых сетей любой дальности реализуется по принципу доверенных промежуточных узлов (см. далее)

Интегрируемость с существующими решениями:

- ✓ Системы КРК вырабатывают квантовые ключи для существующих средств криптографической защиты информации (СКЗИ), реализующих алгоритмы симметричного шифрования
- ✓ Потенциально системы КРК могут быть совмещены со всеми используемыми СКЗИ, при доработке интерфейса взаимодействия и оценке совместного взаимодействия в соответствии со специализированными регламентами



Общий принцип работы системы КРК:

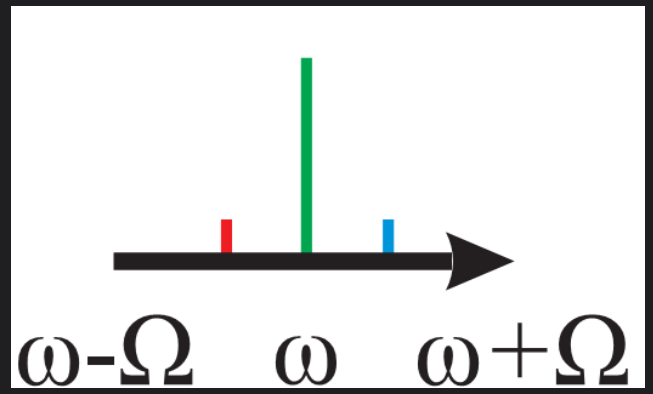
- ✓ По квантовому каналу передаются оптические квантовые состояния, которые модулируются по фазе или поляризации в модуле Отправителя и Получателя.
- ✓ Состояние при модуляции выбирается случайно из заранее определенного набора состояний, формирующих базисы, и независимо друг от друга.
- ✓ Канал синхронизации используется для синхронизации тактов в модуле отправителя и получателя, для совмещения окон модуляции квантовых состояний.
- ✓ После измерений и оглашения базисов по классическому служебному каналу, Отправитель и Получатель формируют общий квантовый ключ.
- ✓ Доступ к служебному каналу не дает нарушителю информации о ключе

Принцип КРК на боковых частотах

Отечественный протокол квантового распределения ключей

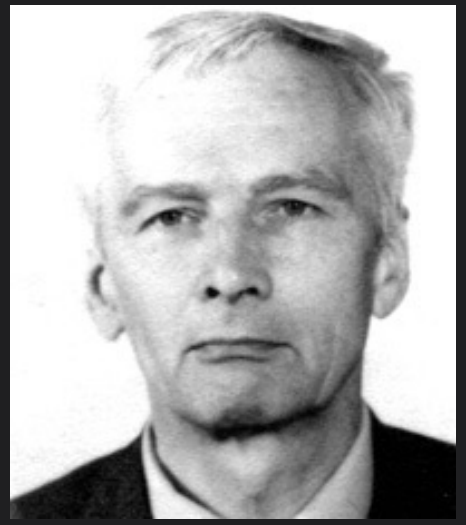
СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Концепция системы КРК на боковых частотах была предложена сотрудником ИТМО **Юрием Тарасовичем Мазуренко** в 1995 году.



- ✓ Квантовые состояния образуются на боковых частотах при фазовой модуляции оптической несущей
- ✓ Оптические свойства излучения на боковых задаются параметрами модуляции Отправителя и Получателя

Базис отправителя	[0;π]								[π/2;3π/2]							
Фаза отправителя	0				π				π/2				3π/2			
Базис получателя	[0;π]		[π/2;3π/2]		[0;π]		[π/2;3π/2]		[0;π]		[π/2;3π/2]		[0;π]		[π/2;3π/2]	
Фаза получателя	0	π	π/2	3π/2	0	π	π/2	3π/2	0	π	π/2	3π/2	0	π	π/2	3π/2
Детектор получателя	+	-	+/-	+/-	-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+	-	+/-	+/-	-	+
Просеивание	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓
Сгенерированный бит	0					1					1					0



Ю.Т. Мазуренко

Sun, Y. Mazurenko, & Y. Fainman, "Long-distance frequency-division interferometer for communication and quantum cryptography", *Opt. Lett.* **20**, 1062-1063 (1995).

Функционирование системы КРК

Этапы протокола, реализуемые системой КРК

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

ККП ВРК состоит из:

- ✓ **Протокол квантовой передачи:** Протокол физического уровня, обеспечивающий подготовку, передачу, прием и измерение квантовых сигналов между частями ККС ВРК по квантовому каналу связи.
- ✓ **Квантовый криптографический протокол обработки:** Протокол обработки результатов ПКП, в результате выполнения которого формируется квантовый ключ.

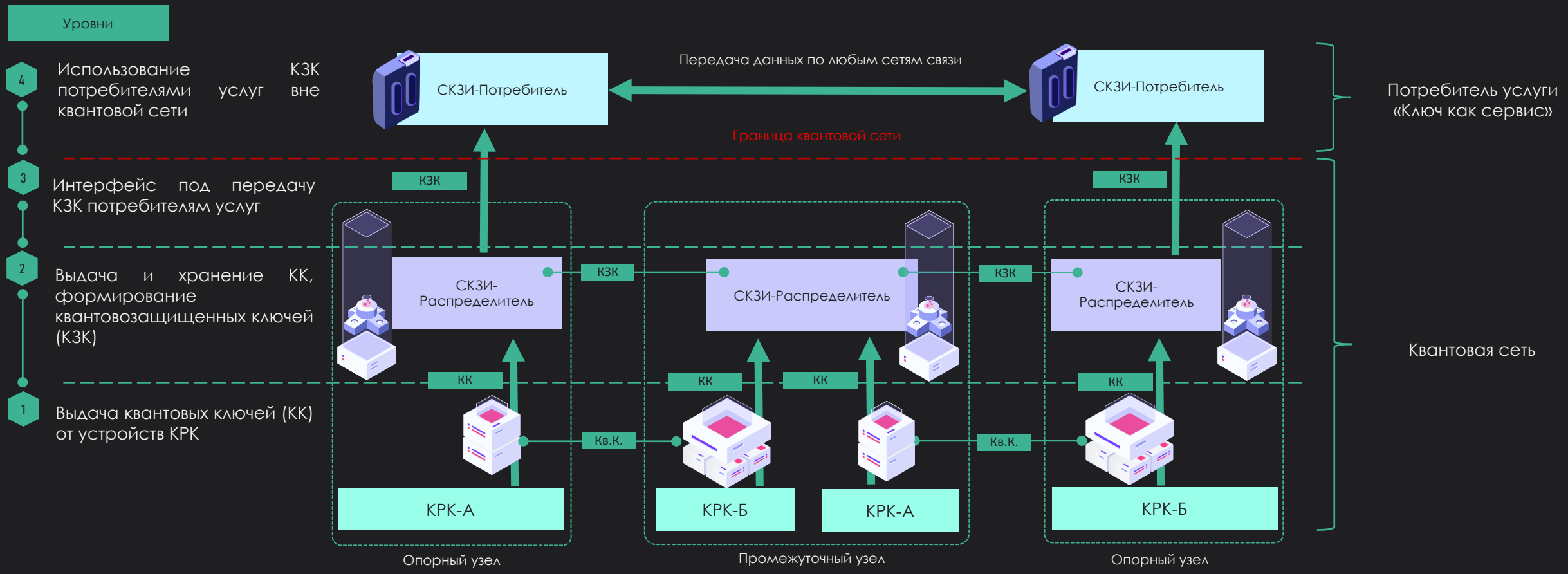
Квантовый криптографический протокол выработки и распределения ключей (ККП ВРК)

Метод на боковых частотах модулированного излучения

Квантовые сети на основе промежуточных узлов

Принципы построения существующих магистральных квантовых сетей

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ



Принцип – квантовозащищенный ключ (КЗК) передается по цепочке промежуточных узлов с защитой на квантовых ключах (КК) смежных сегментов (т.е. в каждом промежуточном узле КЗК расшифровывается и зашифровывается разными КК). Этот функционал выполняется внутренними СКЗИ квантовых сетей (СКЗИ-Распределитель). Впоследствии КЗК поступает в потребительский сегмент (СКЗИ-Потребители), где с использованием КЗК защищается информация. При этом защищаемая информация может передаваться по любым видам сетей (не повторяя маршрут квантовой сети).

С промежуточными узлами можно реализовывать квантовые сети произвольной топологии и любой протяженности

Основные продукты компании

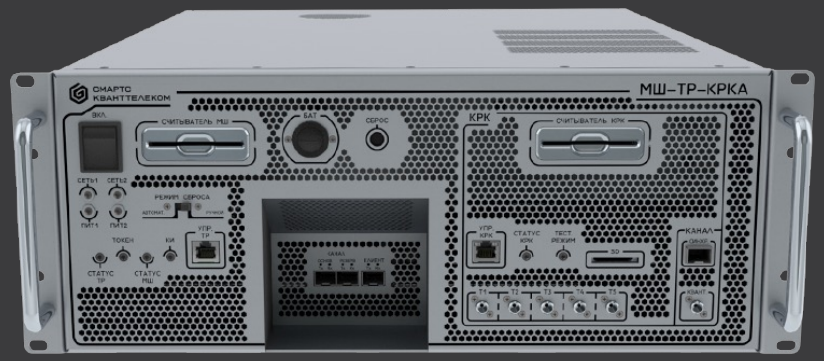
Решение для построения квантовых сетей произвольной топологии

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Коммерческие решения

- Для **магистральных квантовых сетей**

- *Для защиты* ***выделенных каналов связи***



Текущие разработки

- **Многопользовательская система КРК** (топология «звезда») с **удешевленной стоимостью** клиентского модуля КРК (ОКР в рамках ДК «Квантовые коммуникации»)
  - Поддержка до **32** клиентов
  - Интегрировано **в один корпус** с СКЗИ
  - Формирование **КЗК** между любой парой клиентов и центральным узлом
- Система КРК **на основе отечественной компонентной базы** (продолжение импортозамещения узлов и модулей)
- Система КРК для **более высоких классов СКЗИ**
- **Высокоскоростной** квантовый генератор случайных чисел (**КГСЧ**)

Система КРК для построения квантовых сетей

Решение для построения магистральных сетей произвольной топологии

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Основные характеристики

- Скорость выработки квантовых ключей при оптических потерях в квантовом канале **10 дБ** – не менее **700 бит/с**
- Максимальная дальность квантового канала на одном сегменте составляет до **100 км** (оптические потери **20 дБ**)
- Модули в составе системы соединяются двумя стандартными оптическими волокнами стандартов **G.652** или **G.654**
- Размер одного модуля составляет **2U**, глубина **700 мм**, энергопотребление не более **250 Вт**
- Возможно сопряжение с телескопическими модулями для реализации атмосферного канала длинной до **50 м**
- Реализация криптографических протоколов на **ПЛИС**

Сопрягаемые СКЗИ

Семейство криптомаршрутизаторов **«ФПСУ-IP»** производства **ООО «Амикон»** со скоростью шифрования **от 100 Мбит/с до 10 Гбит/с** на базе различных аппаратных платформ.

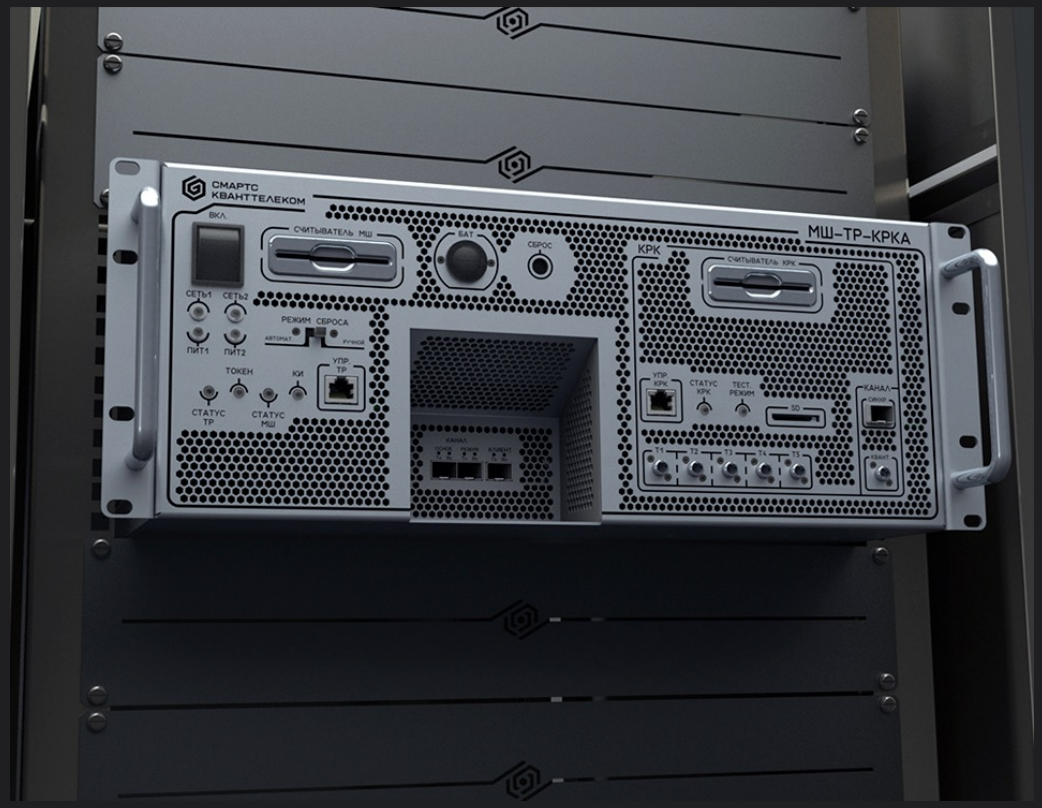
Ключевые особенности

- В основе лежит уникальный отечественный **протокол КРК на боковых частотах**, придуманный сотрудниками ИТМО
- Для построения **магистральных сетей** обеспечивается сопряжения одного СКЗИ с несколькими модулями КРК

Квантовая защита выделенных каналов связи

Магистральный шифратор-транспондер с поддержкой КРК

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ



Интегрированный СКЗИ

Комплекс **«Квазар»** из линейки средств защиты информации для оптических каналов связи в OTN сетях с производительностью **10 Гбит/с** производства **ООО «Системы практической безопасности»**

Основные характеристики

- Скорость выработки квантовых ключей при оптических потерях в квантовом канале **10 дБ** – не менее **700 бит/с**
- Максимальная дальность квантового канала на одном сегменте составляет до **100 км** (оптические потери **20 дБ**)
- Модули в составе системы соединяются двумя стандартными оптическими волокнами стандартов **G.652** или **G.654**
- Размер одного модуля составляет **2U**, глубина **700 мм**, энергопотребление не более **250 Вт**
- Возможно сопряжение с телескопическими модулями для реализации атмосферного канала длинной до **50 м**
- Реализация криптографических протоколов на **ПЛИС**

Ключевые особенности

- В основе лежит уникальный отечественный **протокол КРК на боковых частотах**, придуманный сотрудниками ИТМО
- Имеет **низкую сетевую задержку** (латенсию), подходит для применения между **ЦОД** и приложений реального времени

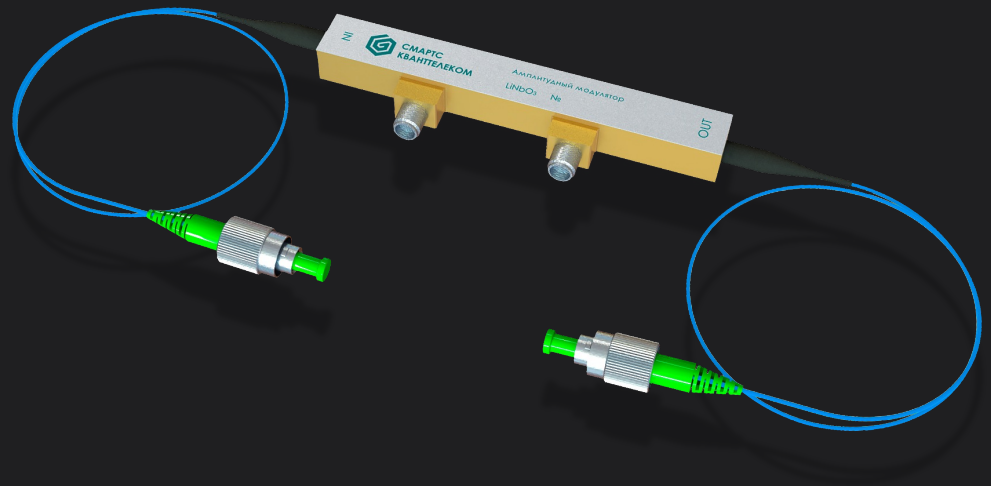
Фазовые и амплитудные модуляторы

Собственная разработка ООО «СМАРТС-Квантителеком»

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Фазовый модулятор

Амплитудный модулятор



Основные характеристики

- Стабильность работы модуляторов обеспечивается при частоте модуляции в диапазоне **до 10 ГГц** при рабочем диапазоне длин волн **1530-1550 нм**
- Общие оптические потери, вносимые **амплитудным модулятором**, не превышают **5 дБ**
- Общие оптические потери, вносимые **фазовым модулятором**, не превышают **3,5 дБ**

Область применения

- Системы **квантового распределения ключей**, в том числе на **боковых частотах**
- **Оптические и квантовые сенсоры**, фундаментальные и прикладные **исследования** в классической и квантовой оптике
- Высокоскоростные **телекоммуникационные системы**, реализация техники **фазовой манипуляции**

Используется в эксплуатируемых на реальной инфраструктуре системах квантового распределения ключей

Детектор одиночных фотонов

Собственная разработка ООО «СМАРТС-Кванттелеком»

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Ключевые особенности

- Низкий уровень **темновых отсчетов**
- **Компактный** размер и наличие **системы охлаждения**

Основные характеристики

- Номинальная тактовая частота **100 МГц**
- Настраиваемое значение квантовой эффективности детектора от **10%** до **30%**
- Настраиваемое значение времени релаксации детектора от **500 нс** до **100 мкс**
- Вероятность темновых отсчетов **$4x10^{-8}$** при квантовой эффективности детектора 10%
- Оптический интерфейс в виде **FC коннектора**

Область применения

- Системы **квантового распределения ключей** (фазовые и поляризационные протоколы)
- **Квантовая сенсорика** (однофотонные LiDAR системы, гироскопы и т.д.)
- **Квантовые вычисления**, фундаментальные и прикладные исследования в области **квантовой оптики**

Используется в эксплуатируемых на реальной инфраструктуре системах квантового распределения ключей

Импортозамещение в системах КРК

Применение отечественных разработок для создания систем КРК

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

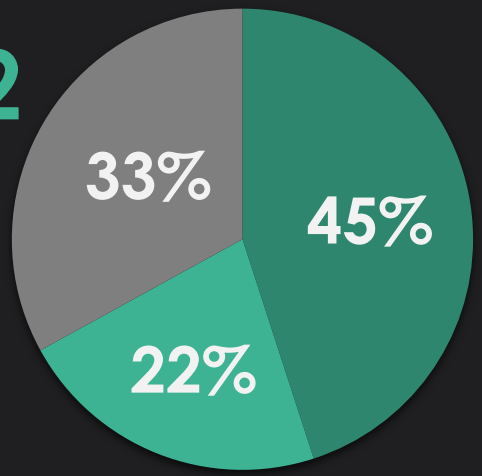
Цель работы

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

2019 ГОД

Импортные компоненты

2022 ГОД



Компоненты российских поставщиков
Компоненты СМАРТС-Квантттелеком
Импортные компоненты

Заказчик

Департамент радиоэлектронной промышленности **Минпромторга России**

Исполнители

ИТМО и **СМАРТС-Квантттелеком**

Совершенствование технологии КРК

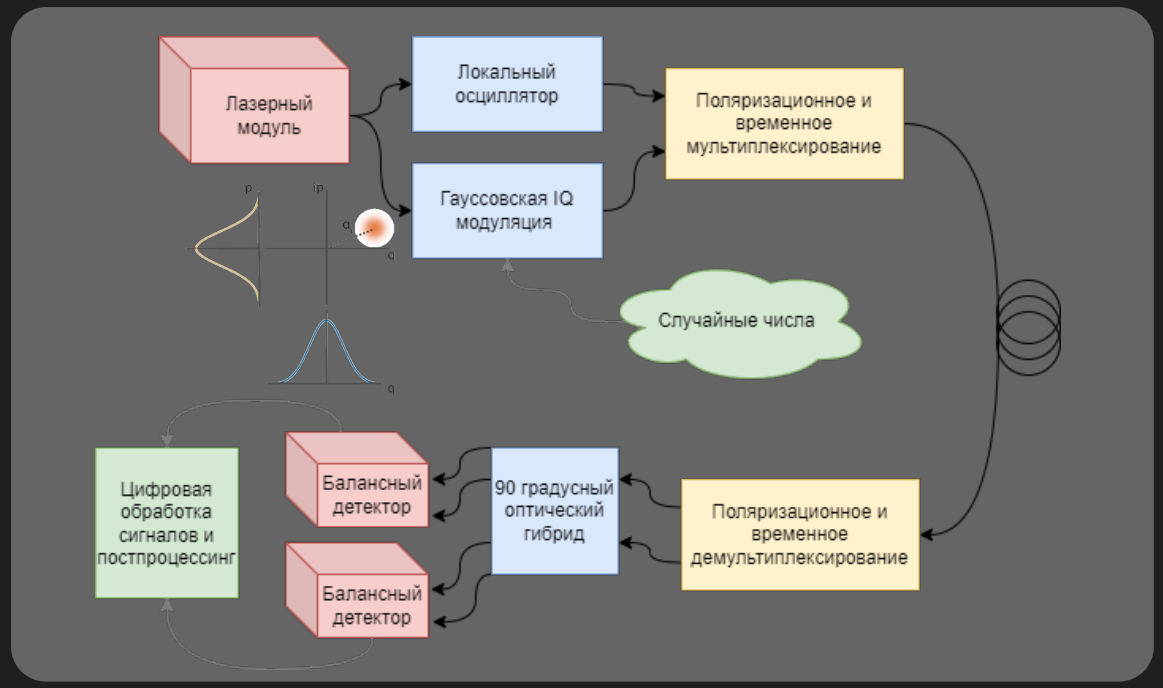
Протокол на непрерывных переменных с когерентным методом приема

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Мотивация

Отход от концепции регистрации одиночных фотонов и использование когерентных методов приема для **удешевления и миниатюризации** устройств **квантового интернета вещей**

Балансный детектор



Результаты и особенности

- Проведен **НИР** и создан **экспериментальный образец**, сформирован задел для проведения ОКР
- Разработан **новый протокол КРК** на непрерывных переменных

Исполнители

ИТМО и **СМАРТС-Квanttелеком** в рамках дорожной карты «Квантовые коммуникации»

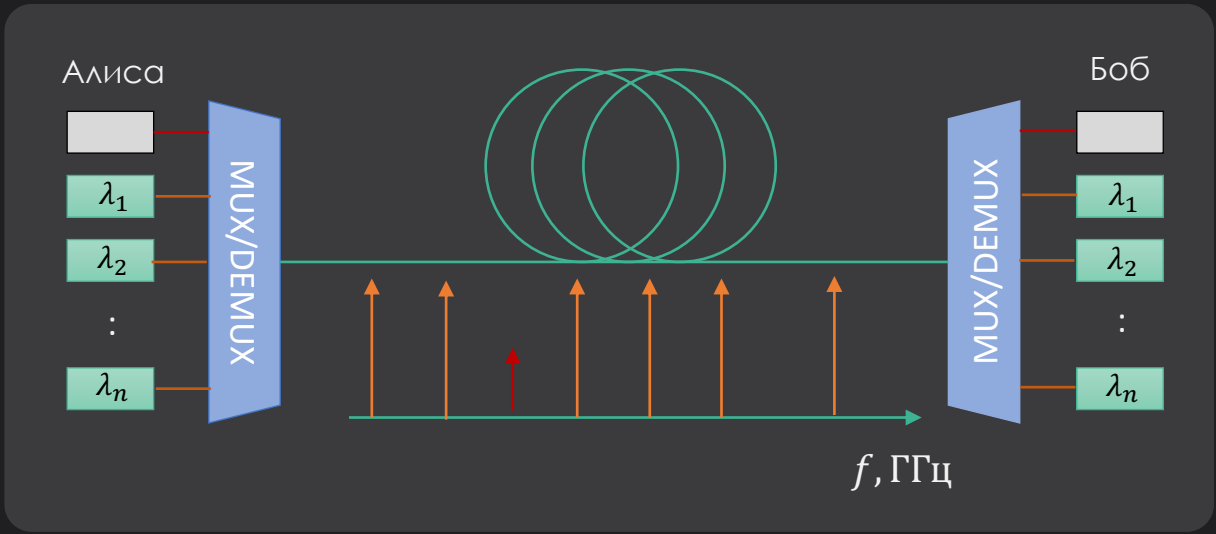
Совершенствование технологии КРК

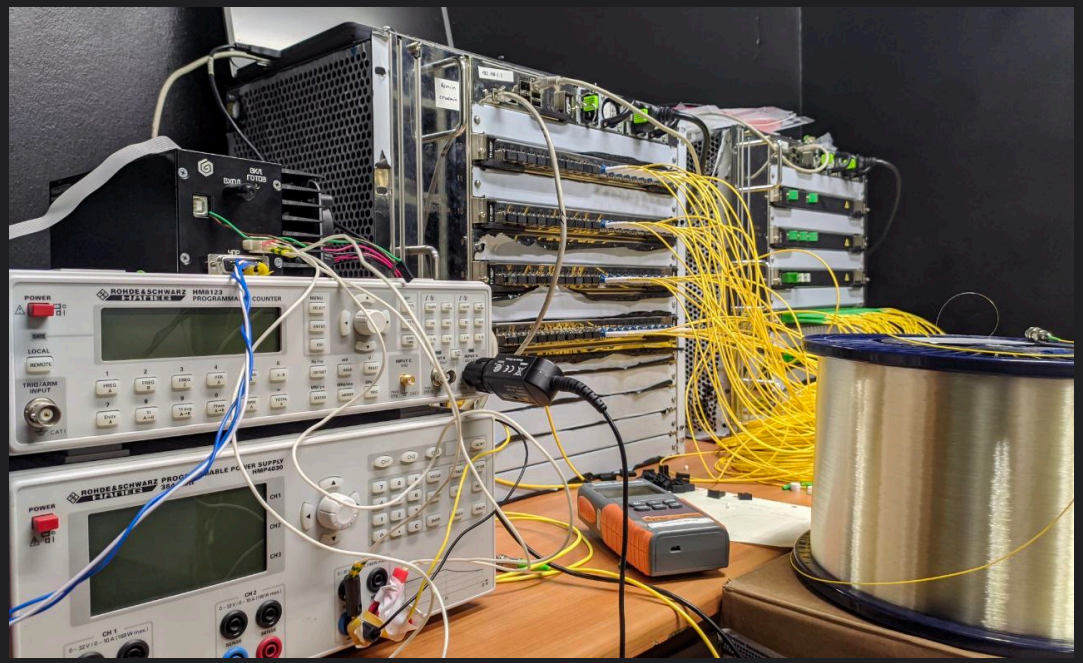
Квантовые и классические каналы в одном волокне

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Мотивация

Мультиплексирование квантовых каналов модулей КРК в одном волокне с другими информационными **DWDM** каналами для отказа от использования **темных волокон**





Результаты и особенности

- Проведен **НИР** и создан **экспериментальный образец**, сформирован задел для проведения ОКР
- ***Переход на длину волны*** *излучения* ***1310 нм*** *для квантового канала*

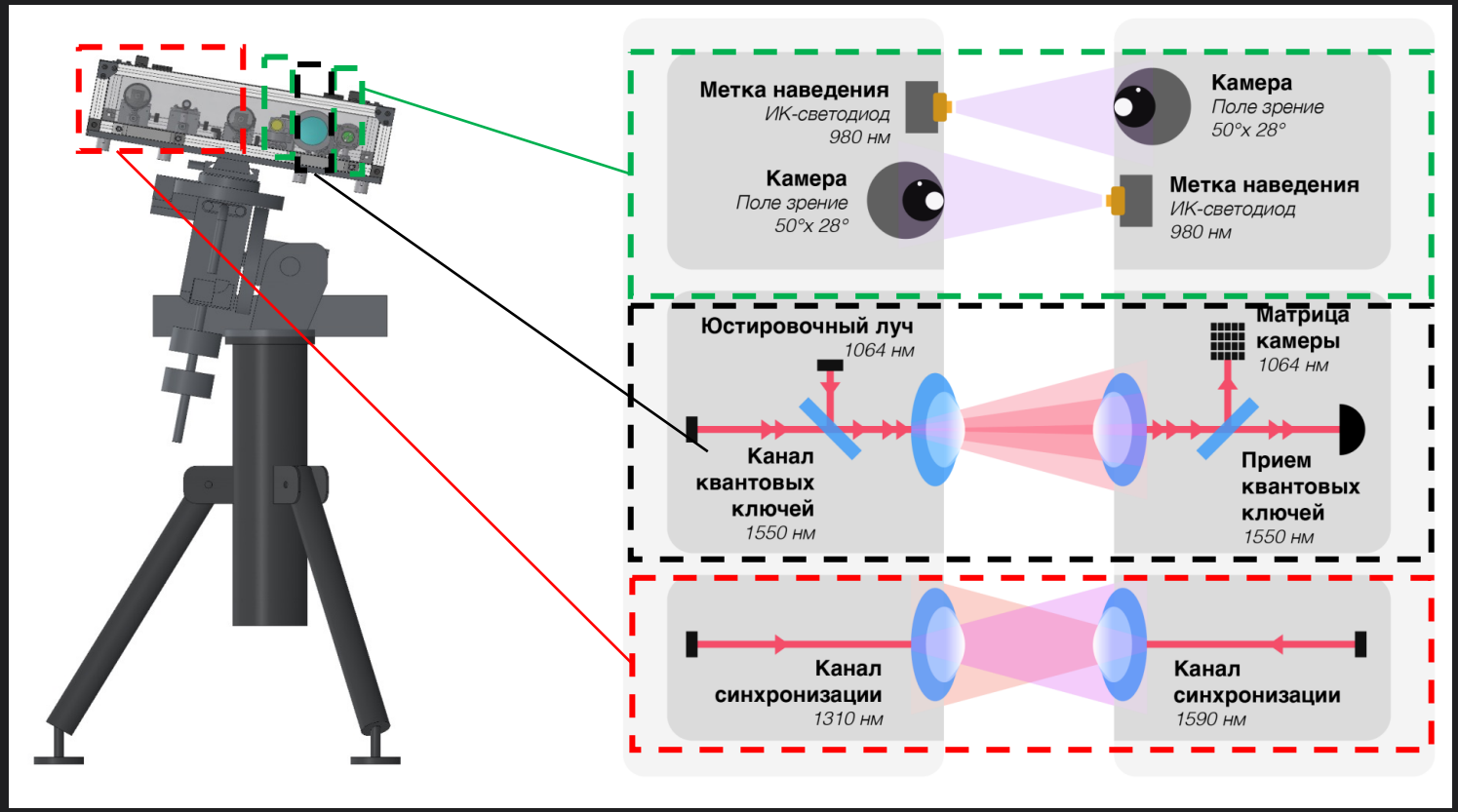
Исполнители

ИТМО и **СМАРТС-Кванттелеком** в рамках дорожной карты «Квантовые коммуникации»

Атмосферный канал связи

КРК для подвижных объектов

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ



Основные параметры

- Оптические потери в квантовом канале не более 20 дБ на 50 метрах
- Размеры приемных площадок – 9 мкм для квантового канала
- Возможны вибрации в зоне работы модуля

Мотивация и разработка

- *Интеграция с **беспилотным подвижным транспортом** (БПЛА, автомобили, ж/д транспорт)*
- *Совместно с лабораторией атмосферных оптических каналов ЛИЦ НЦКИ ИТМО*

Оборудование для квантовых сетей

Пример размещения оборудования на реальной инфраструктуре

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Датчики открытия дверей

CWDM мультиплексор

Модуль КРК

Сетевой коммутатор

СКЗИ

Сетевой коммутатор

Локальный сервер управления

Источник бесперебойного питания

Система поддержания микроклимата (кондиционирования)

Комплексное проектирование

- *Управление и мониторинг инженерных систем и активного оборудования осуществляется централизованно и удаленно*
- *Применяется отдельная сертифицированная система удаленного управления СКЗИ*
- *Защита технических средств от несанкционированного доступа и возможных внешних воздействий*

Особенности эксплуатации

- *Размещение в стандартной телекоммуникационной инфраструктуре*
- *Отсутствие специфичных требований по климатическим условиям*

Ключевые события в жизни компании

Основные достижения по развитию технологии

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

СПб — *Пилотный участок* РЖД — **Москва** — *Первый промышленный сегмент* РЖД — **Н.Новгород** — *Монтаж и запуск 2023 года* РЖД — **Казань** — *Следующие сегменты* РЖД

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

В 2023 году Президент РФ В.В. Путин принимает участие в «квантовой» ВКС, реализованной посредством магистральной квантовой сети Москва-Нижний Новгород на оборудовании ООО «СМАРТС-Квантттелеком»

КВЦ Патриот, **Армия 2023**

Трехузловая квантовая сеть со стендом Главного Управления Связи Минобороны России

Испытания на инфраструктуре **TEA NEXT**

Ростелеком

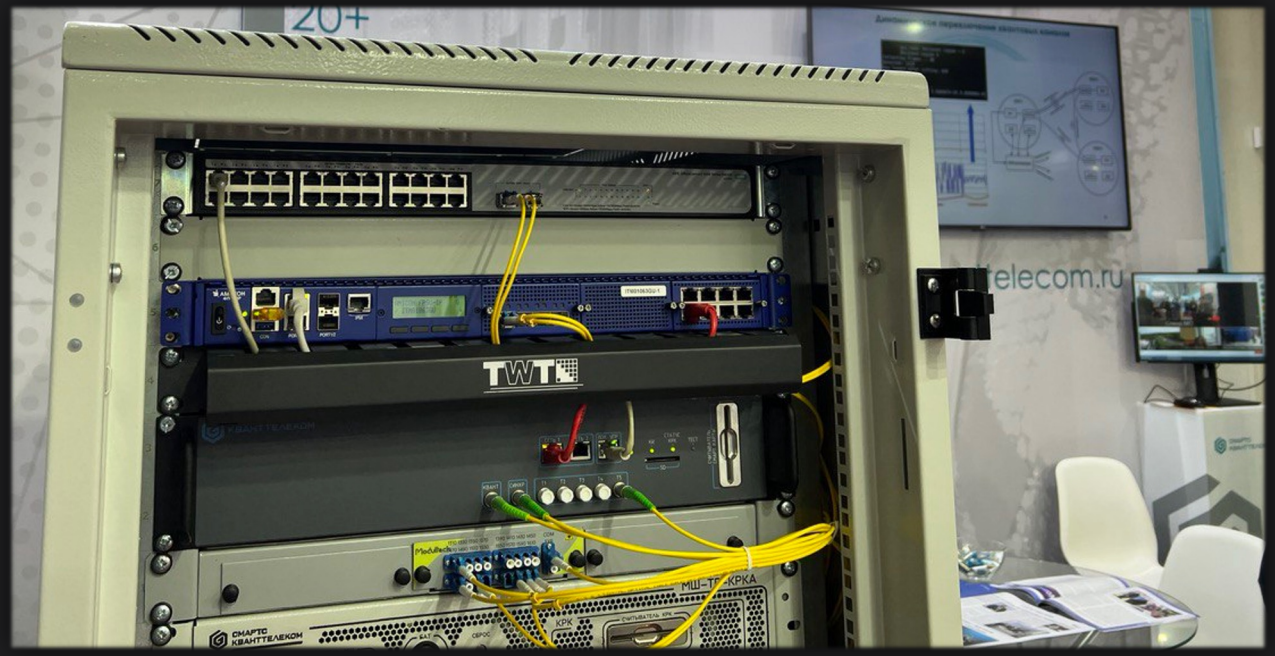
ВОЛС нового поколения, используются волокна со сниженными оптическими потерями

Новые полигоны и локальные сети Заказчиков

Квантовая сеть на форуме «Армия-2023»

Совместно с Главным управлением связи Минобороны России

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ



КВЦ «Патриот»

павильон А, август 2023

Стенд «Главного управления связи Минобороны России»

Стенд ООО «СМАРТС-Кванттелеком»

Стенд ЗАО «Институт сетевых технологий»

Результаты и особенности

- *Безотказная работа оборудования на протяжении всего форума Армия-2023*
- *Защищенная квантовыми ключами видеоконференцсвязь (ВКС)*

http://www.promweekly.ru/archive/army2023/Army_3_2023.pdf (страница 11)

Стандартизация квантовых коммуникаций

Работы в Российской Федерации и на международной арене

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Технический комитет 26 «Криптографическая защита информации»

Рабочая группа по ККС ВРК (квантовые криптографические системы выработки и распределения ключей):

- ✓ Утвержденные методические рекомендации протокола взаимодействия КРК и СКЗИ (ProtoQa), на подходе проект национального стандарта
- ✓ Ожидаются методические рекомендации по схемам формирования квантовозащищенных ключей (IstoQ)
- ✓ Ожидается словарь терминов и определений в области ККС ВРК

ТК 194 | **Кибер-физические системы**

Утверждены 4 предварительных национальных стандарта (ПНСТ):

- ✓ Квантовые коммуникации. Общие положения. ПНСТ 829-2023
- ✓ Квантовые коммуникации. Термины и определения. ПНСТ 830-2023
- ✓ Квантовый интернет вещей. Общие положения. ПНСТ 831-2023
- ✓ Квантовый интернет вещей. Термины и определения. ПНСТ 832-2023

Ожидается появление еще 2-х ПНСТ в ближайшее время

Международная стандартизация КРК

ETSI World Class Standards

ITU

ISO

IEEE Advancing Technology for Humanity

- ✓ *Несколько десятков документов (проектов, стандартов) как по технологии КРК, так и по квантовым сетям*
- ✓ *Рабочие группы, воркшопы, отчеты о статусе развития отрасли*
- ✓ *Представители крупных компаний и смежных отраслей со всего мира*

Основные показатели роста компании

Динамика развития ООО «СМАРТС-Кванттелеком»

СМАРТС КВАНТТЕЛЕКОМ

Среднесписочная численность (человек)

2 → **20+** → **25+** → **30+** → **40+** → **80+** + **40+**

2018 *2019* *2020* *2021* *2022* *2023* *2023*

Команда ИТМО

Более 30 научных сотрудников, из которых:
- ✓ 5 докторов наук
- ✓ 12 кандидатов наук

Более 45 разработчиков, программистов и конструкторов

Более 15 человек в отделах производства и эксплуатации, службы гарантийного и сервисного обслуживания, службе качества

Наличие лицензий

- ✓ **Лицензия ГТ № 0097961 рег. № 10914 от 27.02.2019**, выдана УФСБ РФ по СПБ и ЛО, на проведение работ, связанных с использованием сведений, составляющих ГТ.
- ✓ **Лицензия СК № 0000317 рег. № 1857 от 03.12.2019**,выдана МО РФ на проведение работ, связанных с созданием средств защиты информации (СЗИ).
- ✓ **Лицензия ЛСЗ № 0018001 рег. № 18067Н от 06.01.2020**, выдана ЦЛСЗ ФСБ РФ, на осуществление разработки, производства, распространения шифровальных (криптографических) средств (согласно пост. Правительства РФ от 16.04. 12 г. № 313).
- ✓ **Лицензия ГТ № 0113359 рег. № 12210 от 19.03.2022**, выдана УФСБ РФ по СПБ и ЛО, на проведение работ, связанных с использованием сведений, составляющих ГТ.
- ✓ **Лицензия ГТ № 0145683 рег. № 19413/С от 07.08.2023**, выдана ЦЛСЗ ФСБ РФ, на создание СЗИ, содержащей сведения, составляющие ГТ
- ✓ **Лицензия ГТ № 0145684 рег. № 19414/М от 07.08.2023**, выдана ЦЛСЗ ФСБ РФ, на осуществление мероприятий и (или) оказание услуг в области защиты ГТ

Наличие собственного 1-го отдела для работы с гос. тайной (ГТ)

СМАРТС
КВАНТТЕЛЕКОМ

Контактная информация

199178, Санкт-Петербург, В.О., 6 линия д.59, корп. 1, лит. Б

+7 (812) 244-29-23

info@quanttelecom.ru