

СЕТИ СВЯЗИ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» - СТАРТ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

В настоящем обзоре предлагается обобщенная точка зрения на современный Интернет вещей, типовую модель и архитектуру, цифровые объекты и цифровые сервисные платформы IoT, применяемые технологии узкополосных беспроводных сетей, частотные разрешения и ограничения, рассматриваются особенности сетей LPWAN, в частности для федеральных сетей транспортной телематики, а также приводится описание конкретного проекта их разработки и применения для транспортного комплекса РФ.

Сети Интернета вещей

«Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) – совокупность интеллектуальных цифровых устройств, информационно-коммуникационных технологий и средств для их взаимодействия.

Внедрение «Интернета вещей» позволяет посредством цифровизации процессов и объектов снизить операционные расходы практически для любой отрасли. Благодаря задействованию возможностей идентификации, сбора, обработки и передачи данных, в IoT обеспечивается наиболее эффективное использование устройств-вещей для предоставления качественных услуг и программных приложений.

С момента своего появления (1999г.) в понятие «Интернет вещей» входили только оптически распознаваемые идентификаторы (штрихкоды, QR-коды) и радиометки (RFID). Затем, в процессе развития, в сферу IoT добавлялись бытовые приборы (будильник, чайник), носимые устройства (часы, браслеты), датчики (температуры, освещённости, движения), приборы учёта потребления (интеллектуальные счётчики), домашние системы (охранная система, система освещения, система кондиционирования), и так далее, вплоть до сложных интегрированных систем (беспилотные автомобили, умные дома, умные города). В рамках современной трактовки «интернета вещей» принципиально важным является объединение средств измерения и обработки информации в сети/среды с возможностью построения экосистем *межмашинного взаимодействия (Machine-to-Machine, M2M)*, управляемых с минимальным участием человека.

Устройства IoT могут подключаться к таким сетям самым разнообразным способом. Как правило, используются беспроводные технологии: Wi-Fi, Bluetooth, стандарты спутниковой VSAT и сотовой связи GSM, LTE и т.д. Среди же проводных технологий для «интернета вещей» можно назвать Ethernet, шины локальных контроллеров типа CAN, LON, а также решения PLC – технологии построения сетей передачи данных по линиям электропередачи.

Применение «Интернета вещей» по видам экономической деятельности:

- умные дома и квартиры;
- эксплуатация зданий;
- системы безопасности;
- транспортные средства;
- жилищно-коммунальное хозяйство;

- природопользование;
- здравоохранение;
- логистика;
- ритейл;
- торговые центры;
- бытовая электроника;
- и другое.

С целью передачи телеметрических показаний от различных устройств, сенсоров, датчиков, приборов учета на большие расстояния и работающих продолжительное время от аккумуляторов был разработан новый класс узкополосных беспроводных сетей связи, который получил название *энергоэффективная территориально распределенная сеть (Low-power Wide-area Network, LPWAN)*. Характерными особенностями сетей LPWAN являются: низкоскоростная передача данных короткими пакетами (100 бит/с – 1 Мбит/с), допустимость сравнительно большой задержки (до нескольких секунд); низкое энергопотребление (до 10 лет работы от батареи); высокая проникающая способность радиосигнала; большой радиус действия (до 10 км и более), высокая емкость и масштабируемость (несколько тысяч подключаемых устройств на 1 канал). По прогнозам компании Statistics MRC к 2022 г. объем мирового рынка LPWAN достигнет \$46,3 млрд.

Модель, типовая архитектура и стандартизация беспроводных сетей IoT

В соответствии с рекомендациями МСЭ-Т, для сетей IoT предлагается использовать *четырёхуровневую модель*, в которой телекоммуникационные составляющие сосредоточены на уровне сети и уровне устройства (например, опорная сеть и сеть радиодоступа), а верхние уровни представляют собой различные интегрированные ИТ-комплексы и программное обеспечение (см. рис 1):

Уровень приложения
Уровень поддержки услуг и приложений
Уровень сети (Уровень опорной сети)
Уровень устройства (Уровень сети радиодоступа)

Рис. 1. Четырёхуровневая модель беспроводных сетей IoT

Уровень устройства состоит из конечных устройств (датчиков, сенсоров и пр.) и шлюзов (точек доступа), обеспечивающих соединение с устройствами, а также подключению к сетевому уровню с использованием различных технологий, например, Ethernet, DSL, 3G/4G/5G. На уровне сети выполняются задачи организации сетевого взаимодействия (управление доступом, аутентификация, контроль целостности данных), транспортировки данных (установка соединений и передача информации, подтверждение доставки). Уровень поддержки услуг и поддержки приложений предоставляет общие возможности, которые используются приложениями (например, общая обработка данных и управление БД), а также специализированные возможности, которые используются конкретными приложениями для

IoT. Уровень приложений состоит из всех приложений, взаимодействующих с IoT-устройствами.

Для беспроводных сетей LPWAN Интернета вещей типовая архитектура может иметь следующий вид (см. рис. 2). Для крупных сетей LPWAN, в том числе федерального значения, имеет смысл разбиение на отдельные зоны или сегменты (например, по региональному принципу). Каждый сегмент имеет локальный центр обработки данных и управления сетью, а сеть агрегации обеспечивает подключение и управление техническими средствами в пределах своего сегмента.

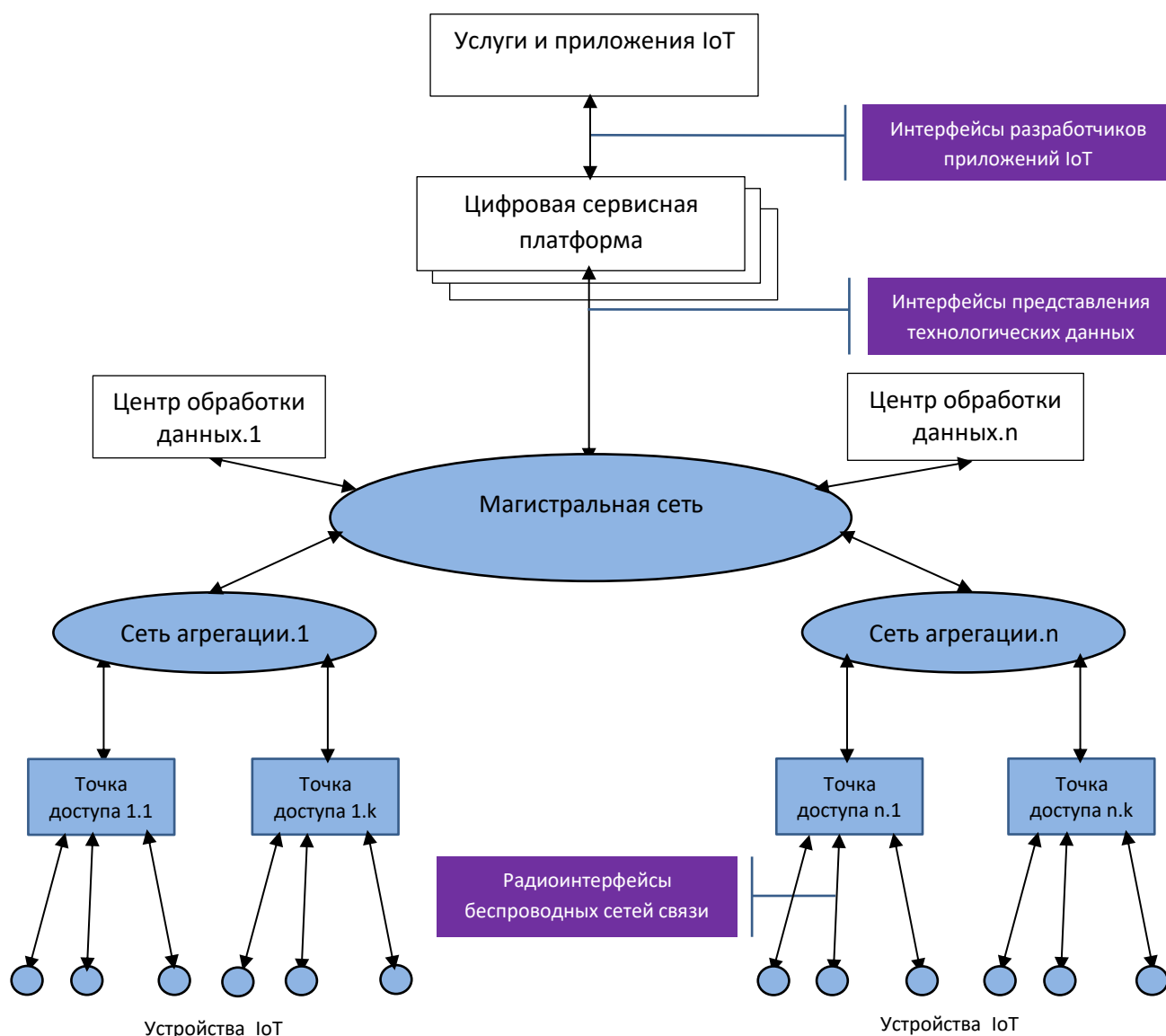


Рис. 2. Типовая архитектура беспроводных сетей LPWAN IoT

В соответствии с разработанной в Минсвязи РФ Концепцией построения и развития беспроводных сетей Интернета вещей, для эффективного регулирования и создания открытой экосистемы IoT целесообразно определить только ключевые международные стандарты общих протоколов и интерфейсов. При этом, в предлагаемой типовой архитектуре

реализация отдельных уровней может быть предоставлена различным организациям. Более того, может существовать большое количество различных технических реализаций стека протоколов от оконечных устройств IoT до пользователя услуги IoT. А отсутствие открытых и доступных для всех стандартов создает ситуацию жесткой привязки клиентов IoT-услуг к поставщикам платформ и сервисов, что может создавать серьезные риски в будущем.

Важную роль в согласованном и взаимоувязанном развитии экосистемы IoT будут играть цифровые сервисные платформы, обеспечивающие взаимодействие приложений пользователя с цифровыми данными и объектами Интернета вещей. *Цифровой объект* – общепринятая структура данных, состоящая из одного или нескольких элементов (название, уникальный идентификатор и атрибуты, описывающие его свойства), благодаря которой обеспечивается функциональная совместимость между гетерогенными информационными системами в интернете. Согласно Концепции *архитектуры цифровых объектов (Digital Object Architecture, DOA)* предусматривается, что каждый объект обладает набором признаков, определяющих его сущность и, благодаря этому, выделяющих его из множества других. Это позволяет выполнять распознавание объекта по его свойствам; группирование объектов и т.д. С другой стороны, цифровой объект представляет собой данные, которые не зависят от платформы. Например, использование идентификации на базе DOA позволит учитывать все существующие уникальные идентификаторы (например, MAC, IMEI, ID, IPv4/IPv6 и др.), обеспечив универсальную идентификацию устройств и приложений Интернета вещей.

Страны Евросоюза, США, Китай, другие развитые страны, а также технологические компании и международные организации (MCЭ-T, OneM2M, ETSI, CEN/ISO, IEEE и IETF) ведут работу по созданию международных стандартов для IoT для обеспечения совместимости между различными уровнями типовой архитектуры, а также между различными сервисными платформами для исключения фрагментации всей экосистемы IoT.

Технологии и основные характеристики беспроводных сетей IoT

Доля узкополосных беспроводных сетей связи IoT ориентировочно составляет 20% рынка беспроводных технологий Интернета вещей. Тем не менее, данный тип сетей предполагается использовать для подключения устройств IoT во многих отраслях экономики для широкого ряда применений, которые будет затруднительно или невозможно реализовать с использованием других типов беспроводной связи.

Технологии LPWAN можно условно разделить на категории – а) интегрированные в существующие стандарты сотовой связи; б) на базе специализированных операторских сетей.

- EC-GSM;
- LTE-eMTC;
- NB-IoT;
- LoRaWAN;
- сверхузкополосные сети (UNB) – Sigfox, Weightless, Ingenu, XNB/Глонасс-ТМ, NB-Fi, GoodWan.

Предложения по радиочастотному обеспечению узкополосных беспроводных сетей связи IoT следует различать для полос радиочастот, используемых *в общем и упрощенном порядке*, т.е. лицензируемых или не лицензируемых.

Узкополосные беспроводные сети связи IoT в полосах радиочастот, используемых в общем порядке, представлены тремя стандартами: EC-GSM, LTE-eMTC и NB-IoT. Фактически, эти три технологии представляют собой развитие существующих стандартов сотовой подвижной связи, эволюционирующих для удовлетворения потребностей в подключении маломощных устройств и имеющих ограниченные потребности в пропускной способности. Но если LTE-M и EC-GSM-IoT предусматривают максимальную совместимость с инфраструктурой, уже имеющейся у операторов сотовой связи, и могут быть развернуты путем обновления ПО на существующих сетях LTE и GSM, то NB-IoT – это относительно новое направление развития решений для IoT в рамках консорциума 3GPP, хотя оно и предусматривает тесное взаимодействие и интеграцию с LTE. Переработка протоколов канального уровня в NB-IoT позволила существенно снизить стоимость соответствующих устройств NB-IoT по сравнению с устройствами LTE. Многие известные производители, включая Ericsson, Huawei, Nokia, Intel и Qualcomm, уже заявили о поддержке технологии NB-IoT в своих продуктах. Особенностью узкополосных беспроводных сетей связи IoT в полосах радиочастот, используемых в общем порядке, является возможность работы в предсказуемой помеховой ситуации, гарантия предсказуемой задержки и обеспечение более надежного покрытия.

Технология LoRa была представлена в начале 2015 года компанией Semtech и исследовательским центром IBM Research. Она опирается на метод модуляции LoRa, обеспечивающий высокую устойчивость связи на больших расстояниях, а также на открытый сетевой протокол LoRaWAN. LoRa определяет физический уровень сети радиодоступа, которая может иметь различную топологию: ячеистую (mesh), звезда, «точка — точка» и др. Зона охвата одного узла в сети LoRaWAN составляет около 20 км. Развитием технологии LoRaWAN занимается некоммерческая организация LoRa Alliance (с участием компаний IBM, Semtech, Cisco, Actility и др.). Альянс представил программу сертификации для обеспечения гарантированной совместимости оборудования LoRa разных производителей, что является конкурентным преимуществом.

Сверхузкополосные сети UNB на территории РФ реализуются большей частью с использованием отечественного оборудования с применением протокола XNB, разработанного российскими специалистами. Данный протокол позволяет более эффективно использовать частотный ресурс, обеспечить масштабируемость на определенной территории без потери надежности доставки сообщений и может успешно использоваться в системах мониторинга. Протокол XNB имеет высокую проникающую способность. Технология гораздо лучше подходит для построения ведомственной технологической сети, учитывая возможность реализации независимой защищенной от внешних кибернетических атак сети. Другие технологии UNB в России широко не представлены: Sigfox – французская компания, LPWAN-оператор, занимается развертыванием LPWAN-сети в Европе; Ingenu – американская компания, использующая свой собственный LPWAN-протокол RPMA (Random Phase Multiple Access); Weightless и т.д. Обобщенные параметры технологий LPWAN представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры узкополосных беспроводных сетей связи LPWAN IoT

Характеристики	EC-GSM	LTE-eMTC	NB-IoT	LoRaWAN	UNB
Востребованные диапазоны радиочастот	900, 1800 МГц	Диапазоны LTE	Диапазоны LTE, в том числе 450, 800, 900, 1800, 2100, 2600 (FDD)	433, 863-870 МГц	863-865 МГц 874-876 МГц
Количество диапазонов в устройстве	1 или 2	Несколько	Многодиапазонные чипы	Несколько	Несколько
Ширина радиочастотного канала	200 кГц	Задействуется 6 ресурсных блоков (1,08 МГц) в канале 5 МГц и шире	180 кГц	Ширина спектра 125 кГц ширина канала 200 кГц	Ширина спектра 100-1000 Гц, большое число каналов, ширина канала до 10кГц
Скорость передачи данных	70 или 240 кбит/с (GMSK или 8PSK)	1000 кбит/с	144 кбит/с - 200 кбит/с	300 бит/с - 50 кбит/с	100 бит/с - 10 кбит/с
Бюджет радиолинии	До 154-164 дБ	До 159 дБ	До 164 дБ	До 168 дБ	До 178 дБ
Задержка	Секунды	Миллисекунды	Секунды	Секунды	Секунды

Согласно Решению ГКРЧ от 30 ноября 2018 года, сети LPWAN для *Федеральной системы транспортной телематики (ФСТТ)* должны функционировать на основе *радиочастотного диапазона 863-865/874-876 МГц*, а также могут использовать: на локальных объектах радиочастотный ресурс в полосах, выделенных для применения неспециализированных устройств малого радиуса действия: 433,92 МГц и 149,975-150,05 МГц, 866-868 МГц, 868,7 - 869,2 МГц и др.; выделенный для целей построения сети сбора, обработки и передачи телематической информации по технологии NB-IoT радиочастотный ресурс в диапазонах 1800 МГц.

Важно также отметить, что в соответствии с п.22 приложения к Перечню радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств, подлежащих регистрации, утверждённому постановлением Правительства Российской Федерации от 12.10.2004 г. № 539 (в ред. Постановления Правительства Российской Федерации от 22.12.2018 № 1633), неспециализированные (любого назначения) устройства в полосах радиочастот 864-865 МГц и 868,7- 869,2 МГц с максимальной эффективной излучаемой мощностью 25 мВт относятся к категориям радиоэлектронных средств, регистрация которых не требуется.

Пилотные проекты сетей LPWAN для транспортной инфраструктуры РФ

В нашей стране в ближайшее время ожидается интенсивное развитие сетей LPWAN, в частности для объектов транспортной инфраструктуры. Это утверждение подтверждается рядом опубликованных официальных документов:

- Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 313 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Информационное общество».
- «Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16).
- Протокол заседания Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 25.12.2018 №1.

По имеющимся данным, с 2019г. Минтранс РФ курируются работы по *развертыванию сетей сбора телеметрической информации на приоритетных объектах транспортной инфраструктуры* в соответствии с утвержденной дорожной картой. Пилотный проект охватывает участок транспортного коридора «Запад–Восток» Красное–Карталы на территории Российской Федерации. Железнодорожная трасса общей протяженностью более 2,5 тыс. км проходит по Смоленской, Московской, Рязанской, Ульяновская, Самарской, Оренбургской, Челябинской областям, республикам Мордовия и Башкортостан.

Под *объектами транспортной инфраструктуры (ТИ)* понимается технологический комплекс, включающий в себя: железнодорожные, автомобильные вокзалы и станции, метрополитены, тоннели, эстакады, мосты, морские терминалы, акватории морских портов, порты во внутренних водах, аэродромы, аэропорты, объекты систем связи, навигации и управления движением транспортных средств, участки автомобильных дорог, железнодорожных и внутренних водных путей (Федеральный закон "О транспортной безопасности" от 09.02.2007 № 16-ФЗ).

Телеметрическая информация собирается специализированными цифровыми датчиками, измеряющими требуемый параметр. Основная задача – сбор, обработка и анализ телеметрических данных по всем отраслям и предприятиям железнодорожного транспорта, обеспечение мониторинга таких параметров, как состояние транспортной сети, состояние транспортных средств, состояние персонала, состояние перевозимых грузов.

В соответствии с утвержденной в Минкомсвязи РФ Концепцией развития сетей узкополосной связи по технологии LPWAN для сбора телеметрической информации на транспортной инфраструктуре проектируемая Федеральная сеть на участке транспортного коридора «Запад-Восток» является составной *частью единой информационной телекоммуникационной среды (ЕИТС) транспортного комплекса Российской Федерации*. В ЕИТС должны включаться и все цифровые платформы (АО «РЖД», региональные и объектовые) с целью эффективной реализации мультимодальных пассажирских и грузовых перевозок, работы транспортно-логистических узлов, повышение эффективности и безопасности транспортной системы в целом, обеспечение взаимодействия информационных систем.

Проектируемая Федеральная сеть транспортной телематики ж.д. позволит осуществлять:

- контроль целостности подвижного состава;
- мониторинг физического состояния машиниста;

- отслеживание состояния и параметров устройств автоматики;
- контроль состояния искусственных сооружений (путей, мостов, дорог, зданий и др.);
- мониторинг движения участков поверхности земли в сейсмически опасных районах;
- выявление предаварийных и аварийных ситуаций, предотвращение катастроф;
- проведение экологического и метеорологического мониторинга;
- мониторинг доступа к технологическому оборудованию, кабельной канализации и т.д.;
- контроль за расходом материальных ресурсов (тепла, электричества, топлива и пр.);
- дополнительную автоматизацию управления движением ТС;
- контроль состояния и перемещения грузов с помощью использования электронных пломб (ЭП).

В системном решении, разработанном в соответствии с представленной выше типовой архитектурой (см. рис. 2), можно выделить следующие моменты:

1. Сеть доступа базируется на применении протокола XNB (полностью соответствует решению ГКРЧ РФ от 30.11.2018г.) и обеспечивает радиопокрытие заданной территории осуществления сбора информации от беспроводных датчиков.
2. Опорная сеть подразделяется на трехсегментную сеть агрегации и магистральную сеть. Основная функция сети агрегации – сбор трафика от сетей доступа сегмента сети и передача его в магистральную сеть. Так же сеть агрегации осуществляет передачу команд от локального центра управления. Основная функция магистральной сети – сбор и передача трафика от региональных сетей агрегации.
3. Единые интерфейсы опорной сети позволяют подключать сегменты иных сетей радио доступа, региональных и объектовых. На всех уровнях сети сбора телеметрической информации допускается взаимодействие с внешними системами IoT.
4. Основным элементом структуры сети LPWAN является точка доступа – *базовая станция (БС)*. В соответствии с проведенным частотным планированием количество БС – менее 200, пропускная способность канала связи базовой станции LPWAN – 300 кбит/с. В состав базовой станции входит приёмо-передающее оборудование с антенно-фидерным трактом (применяются две панельные антенны), коммутационное оборудование, оборудование сети агрегации и оборудование инженерно-технического обеспечения. Подключение БС к сети возможно двумя способами: с использованием существующей СПД РЖД и резервный, с использованием сетей сотовых операторов (радиоблок БС содержит встроенный 3G/4G модем). В зависимости от удаленности опоры с БС от помещения связевой, применяются способы организации связи либо по медным, либо (при длине трассы > 80-90м) по оптическим кабельным линиям.
5. *Центр обработки данных (ЦОД)* обеспечивает централизованное хранение и обработку информации поступающей с базовых станций сети LPWAN для передачи их через цифровые платформы пользовательским приложениям IoT. В состав ЦОД входит три региональных серверных комплекса, включая серверы обработки данных, серверы управления и мониторинга и телекоммуникационное оборудование.
6. Электроснабжение базовых станций и центров обработки данных выполняются по существующей категории надёжности, с применением источников бесперебойного питания с аккумуляторными батареями расчетной емкости. В каждом региональном ЦОД предусматривается горячее резервирование всего комплекта оборудования.

7. Для обеспечения информационной безопасности при взаимодействии устройств в сетях LPWAN осуществляется аутентификация устройств и создается защищенный канал с использованием криптографических средств.
8. Система мониторинга и управления выполняет функции удаленного управления и конфигурирования сетевого оборудования; анализа и визуализации статистики работы сети с возможностью хранения в базе данных; администрирования пользователей с возможностью установки различных прав доступа.

Фаза проектирования была успешно завершена в конце 2019г. В 2020-21 гг. планируется поэтапная реализация данного проекта LPWAN на отдельных участках ж.д.

28.04.2020 Кононенко А.А. aak@k-consulting.ru