

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ
НАУК

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

**ВНЕДРЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ УМНОГО ГОРОДА НА БАЗЕ
ТЕХНОЛОГИИ LoRaWAN В Г. АШХАБАД**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 11.03.02
Инфокоммуникационные технологии и системы связи
очной формы обучения группы 07001410
Таджиметова Арсланбека Пушкиновича

Научный руководитель:
кандидат техн.наук,
доцент кафедры
Информационно-
телекоммуникационных
систем и технологий
НИУ «БелГУ» Заливин А.Н.

Рецензент
начальник отдела
фиксированной сети филиала
ПАО "МТС" в Белгородской
области Дорошенко Ю. А.

БЕЛГОРОД 2018

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
(НИУ «БелГУ»)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
Направление 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Профиль Сети связи и системы коммутации

Утверждаю
Зав. кафедрой

« ____ » _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Таджиметова Арсланбека Пушкиновича
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема ВКР «Внедрение концепции умного города на базе технологии LoRaWAN в г. Ашхабаде»

Утверждена приказом по университету от « ____ » _____ 2018 г. № ____

2. Срок сдачи студентом законченной работы ____.

3. Исходные данные:

объект проектирования – город Ашхабад, Туркменистан;

тип сети связи – беспроводная широкополосная сеть;

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1. Анализ городской инфраструктуры города Ашхабада и разработка концепции ее развития;

4.2. Разработка сетевой инфраструктуры для концепции;

4.3. Анализ рыночных перспектив внедрения;

4.4. Ёмкость сети LoRa;

4.5. Технико-экономическое обоснование проекта;

4.6. Меры безопасности организации сети LoRaWAN;

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

5.1. Структурная схема сети (лист 1, А1);

5.2. Схема расположения оборудования LoRa (лист 1, А1);

5.3. Технико-экономические показатели (лист 1, А1);

6. Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
4.1. – 4.4, 4.6.	<i>канд. техн. наук, доцент каф. ИТСиТ Заливин А.Н.</i>		
4.5	<i>канд. техн. наук доцент каф. ИТСиТ Болдышев А.В.</i>		

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель

*канд. техн. наук, доцент
кафедры Информационно-телекоммуникационных
систем и технологий», доцент
НИУ «БелГУ» _____ А.Н.Заливин*
(подпись)

Задание принял к исполнению _____
(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АНАЛИЗ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА АШХАБАДА.....	5
1.1. Проблемы развития городской инфраструктуры города Ашхабада.....	5
1.2. Перспективная модель городской среды.....	6
2. РАЗРАБОТКА СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ КОНЦЕПЦИИ.....	8
2.1. Технология LoRaWAN, ее преимущества, основные понятия и классы оконечных устройств.....	8
2.2. Схема внедрения сети LoRa.....	19
2.3. Схема расположения базовых станций, конечных устройств сети LoRa.....	20
3. АНАЛИЗ РЫНОЧНЫХ ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ.....	23
3.1. Сравнительная характеристика технологии LoRaWAN с аналогичными технологиями.....	25
3.2. Оборудование сети LoRa.....	31
4.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ СЕТИ LORA	33
4.1. Время передачи пакетов через радиointерфейс.....	33
4.2. Расчет ёмкости сети.....	38
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	45
5.1. Расчёт капиталовложений.....	45
5.2. Калькуляция эксплуатационных расходов.....	47
6. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ LoRaWAN.....	51
6.1. Организация работы по безопасности жизнедеятельности и труда.....	51
6.2. Экологическая безопасность проекта.....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	55

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Внедрение концепции умного города на базе технологии LoRaWAN в г. Ашхабад.	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Таджиметов А.					2	57
Провер.		Заливин А.Н.				<i>НИУ«БелГУ»</i> гр.07001410		
Рецензент		Дорошенко Ю.А						
Н.Контр.		Заливин А.Н.						
Утвердил		Жиляков Е.Г.						

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время набирает популярность концепция Интернета Вещей (ИВ) (Internet of Things), вместе с ней также развивается концепция «умный город», которая является концепцией интеграции информационных и коммуникационных технологий для управления городским имуществом. Они призваны сделать жизнь людей лучше и удобнее, тем самым, способствуют повышению уровня комфорта, качества и эффективности обслуживания, снижению расходов и потребления ресурсов. В общем, концепция «умный город» подразумевает оптимизацию всей городской жизни. А «Интернет Вещей» в свою очередь – это сеть, в которой все устройства, окружающие людей, могут подключиться к сети Интернет и непосредственно взаимодействовать друг с другом без участия человека. Следовательно, приходится искать решения проблем взаимодействия устройств в сети Интернета Вещей. Существуют такие технологии беспроводных сетей, как Bluetooth, WiFi, 3G, 4G (LTE). И тут может возникнуть вопрос, для чего же нужно создавать другие технологии, когда прекрасно работают существующие, какие могут быть проблемы со взаимодействием устройств в сети? Использование данных технологий характеризуется большими материальными и энергозатратами, малой зоной охвата и низкой помехоустойчивость. В связи с этим, было решено создать такую технологию, которая бы смогла устранить все вышперечисленные проблемы. Такой технологией является LoRaWAN (long range wide area network).

В данном проекте предлагается внедрение концепции «умного города» на основе технологии LoRaWAN в городе Ашхабаде. Решением проблем взаимодействия устройств в сети Интернета вещей является технология LoRa, которая имеет достаточное количество преимуществ по сравнению с технологиями Bluetooth, WiFi, 3G, 4G (LTE) и т.д. Актуальностью внедрения концепции на базе технологии LoRaWAN является существенная экономия электроэнергии, в финансовых составляющих коммуникации между устройствами в сети IoT, длительное время работы датчиков и радиомодулей

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		3

LoRa без дополнительной подзарядки, большая зона охвата и использование нелицензированного диапазона частот. И целесообразно внедрение концепции тем, что канал связи, соединяющий оконечные устройства с узлом доступа оператора связи, построенную по технологии LoRaWAN, можно охарактеризовать тремя чертами: «далеко – автономно в течение долгого срока – экономично», то есть иметь большую зону охвата, длительное время работы оконечных устройств и малое энергопотребление.

Разработка протокола сети LoRaWAN и создание альянса LoRa, занимающегося его поддержкой и развитием, оказали существенное влияние на решение ряда проблем, которые ограничивают широкое распространение «Интернета вещей». Наиболее важными характеристиками для оконечных устройств сети Интернета Вещей являются: автономность работы без дополнительной подзарядки и обслуживания, размер устройства, его цена и стоимость услуг операторов по передаче данных и технология LoRaWAN обеспечивает качественное выполнение всех этих условий.

Целью проекта является внедрение IoT сети в г. Ашхабаде, при реализации концепции «Умный город», для снижения эксплуатационных расходов муниципалитета на городские нужды и улучшение социальной инфраструктуры.

Задачи проекта:

1. Анализ муниципального хозяйства г. Ашхабад.
2. Разработка концепции умного города.
3. Использование технологии LoRaWAN для реализации концепции умного города.
4. Исследование благоприятных факторов от внедрения концепции.
5. Технико-экономическое обоснование предложенных решений.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		4

1 АНАЛИЗ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА АШХАБАДА И РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЕЁ РАЗВИТИЯ

Ашхабад располагается на юге Туркменистана – столица и центральная точка государства. В городе живет более одного миллиона человек. Тратится невероятное количество электроэнергии, газа, воды. Ашхабад является зоной большого скопления туристов с разных стран мира. В связи с этим предлагается внедрить концепцию умного города для оптимизации системы городского ЖКХ, транспорта, городского освещения для удобства не только местных жителей, но и туристов, посещающих этот город.

1.1 Проблемы развития городской инфраструктуры города Ашхабада

Понятие «инфраструктура» является достаточно обширным. Инфраструктура, по сути – это своего рода комплекс отраслей, который направлен на удовлетворение потребности людей, населяющий тот или иной город. В городе Ашхабаде актуальной проблемой является развитие социально-культурной, транспортной, информационной инфраструктур.

Предлагается покрыть сетью LoRaWAN систему ЖКХ в городе, то есть установить датчики LoRa к счетчикам воды, газа, электричества, что поспособствует сбору данных о количестве употребления данных ресурсов, создать централизованное управление городским освещением в целях экономии электроэнергии. Сбор данных со счетчиков будет осуществляться датчиками LoRa, а управление и обработка данными – централизованными серверными управлениями, в целях обеспечения оптимизации работы систем ЖКХ и городского освещения [4]. Также установить на автобусных остановках информационное табло, показывающее, через какое время подойдет необходимый транспорт. Установить централизованное управление освещением, оснастить фонарные столбы датчиками LoRa для сбора информации о расходах электроэнергии. Датчики LoRa предлагается установить в системе городского

транспорта, в целях устранения возникновения пробок, дорожно-транспортных происшествий. Создать централизованное управление «умными» парковками, что поспособствовало бы водителям заранее знать наличие свободных парковочных мест в городе.

1.2 Перспективная модель городской среды

Для того чтобы покрыть город Ашхабад сетью LoRaWAN будет достаточно приобрести и установить 20 базовых станций (радиощлюзов) LoRa.



Рисунок 1 – Перспективная модель городской среды, покрытой сетью LoRaWAN

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		6

Количество датчиков, оснащенных радиомодулями LoRa нужно установить на всех датчиках ЖКХ в городе, на дорожных камерах, парковках, а также на городские фонари и мусорные баки. Для начала внедрение технологии планируется на 20%, то есть, учитывая городское население более одного миллиона жителей, потребуется около одного миллиона счетчиков, оснащенных радиомодулями LoRa. В каждой квартире установлено по три счетчика – счетчика воды, газа и электроэнергии. Внедрение сети на 20% равно 200 тысяч приборов ресурсов ЖКХ, передающих показания по беспроводной технологии LoRaWAN. На рисунке 1 показана модель городской сети покрытой сетью LoRaWAN. Сбор данных с оконечных устройств осуществляется базовыми станциями LoRa, обрабатываются сетевым сервером и с помощью сервера приложений данные расшифровываются и отправляются в интерфейс потребителю, в биллинг или же в другое заданное место. Облачное хранилище данных – это новый виток эволюции. Возможность хранения большого объема данных является одним из важных факторов в наше время. Еще один большой плюс в том, что в облачное хранилище имеет доступ любой пользователь сети LoRaWAN.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

2 РАЗРАБОТКА СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ КОНЦЕПЦИИ

2.1 Технология LoRaWAN, ее преимущества, основные понятия и классы оконечных устройств

LoRa – одна из первых технологий современных сетей LPWAN (low power wide area network), которая предназначена для обслуживания IoT (internet of things) – устройств или устройств ИВ [1]. LoRa – это частотное расширение спектра, которое было запатентовано в 2008 году компанией Cycleo (Франция). Cycleo разрабатывала решения для беспроводной связи и полупроводников, умные счетчики и различные продукты как для потребительского, так и корпоративного рынков. Для продвижения новой технологии требовались немалые средства. Калифорнийский поставщик полупроводников Semtech в 2012 приобрел Cycleo, а вместе с ней – активы и разработки. В дальнейшем Semtech стала развивать решения LoRa, в том числе, заинтересовав такие крупные компании, как IBM и Cisco. Впоследствии эти ИТ-гиганты присоединились к LoRa Alliance.

Задача LoRa Alliance – глобальная поддержка сетей LoRaWAN. В ассоциацию, по данным на июнь 2017 года, входит более 500 компаний. Среди них – разработчики аппаратного и программного обеспечения, операторы LPWAN-связи и т.д.

Услуги связи LoRaWAN оказывают 42 оператора более чем в 250 городах и 34 странах мира, включая Россию [2]. По мнению экспертов, такая популярность сети связана с ее преимуществами: высокой автономностью, широкой зоной охвата сети и низкой энергопотребляемостью, низкой стоимостью датчиков и т.д.

LoRaWAN (Long Range wide-area network), глобальная сеть большого радиуса действия) – наиболее известный аппаратный протокол LoRa, который предназначен для управления связью между LPWAN-шлюзами и конечными устройствами [1]. На рисунке 2 изображена сетевая архитектура LoRaWAN.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		8

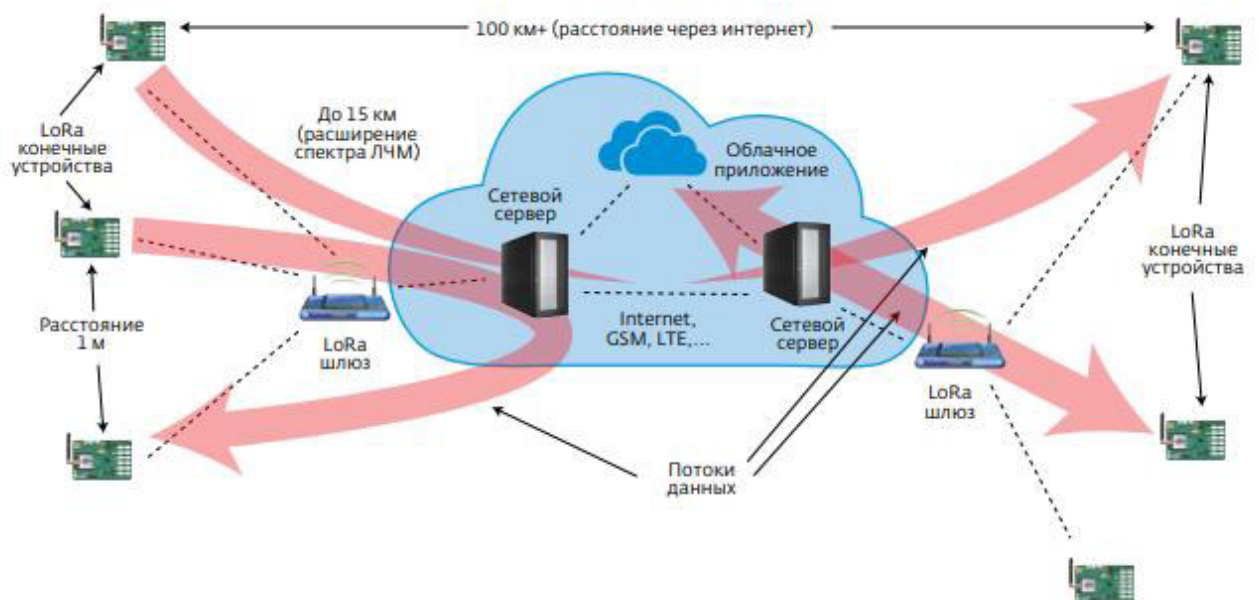


Рисунок 2 – Сетевая архитектура LoRaWAN

LoRaWAN базируется на топологии «звезда». Множество устройств по беспроводному соединению передают данные не на один шлюз, а сразу на несколько. Подключение между устройствами и шлюзами осуществляется на двусторонней основе. Связь между шлюзами осуществляется через беспроводные решения, использующие широкополосную модуляцию LoRa, то есть это модуляция с расширением спектра и основой является внутриимпульсная линейная частотная модуляция (Chirp-FM), которая показана на рисунке 3.

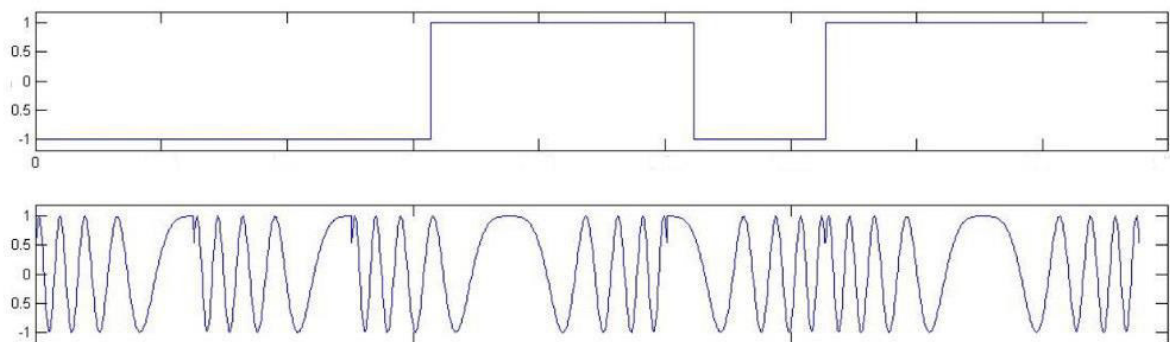


Рисунок 3 – Внутриимпульсная линейная частотная модуляция

Затем шлюзы, получившие информацию, перенаправляют полученные пакеты от конечного узла к облачному сетевому серверу, подключенному через

мобильную или спутниковую связь, проводной или беспроводной ШПД (широкополосный доступ). Оттуда данные поступают на серверы приложений.

Использование нескольких шлюзов удобно тем, что конечные узлы не имеют привязки. Это позволяет гарантировать передачу информации и контролировать устройства, находящиеся в движении. Например, беспроводные маячки, прикрепленные к грузовым контейнерам, перемещаемые на длительные расстояния, смогут без проблем обмениваться данными, так как не имеют привязки к одному шлюзу [5].

Скорость передачи данных между конечными устройствами и шлюзами варьируется от 0,3 до 50 кбит/сек и может регулироваться самими шлюзами в зависимости от сценариев использования.

Значения коэффициента расширения SF (Spreading factor) следующие: 7,8,9,10,11,12 и чем больше число, тем больше уходит энергии на бит.

Полоса пропускания (bandwidth) может принимать следующие значения: 125, 250, 500 кГц. Для заданного коэффициента SF, узкая полоса может последовать увеличением чувствительности датчиков.

А также технология LoRaWAN обладает прямой коррекцией ошибок (FEC – Forward Error Connection), то бишь, избыточное кодирование позволяет находить и корректировать ошибки, тем самым, увеличивая надежность передачи. На рисунке 4 показана модуляция LoRa [2], полосы пропускания, предусмотренные в стандарте, коэффициенты приема и передачи, скорость обмена данными, соответствующие коэффициентам SF (spreading factor), физическая скорость в стандарте и чувствительность оконечных устройств с дальностью радиуса действия.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		10

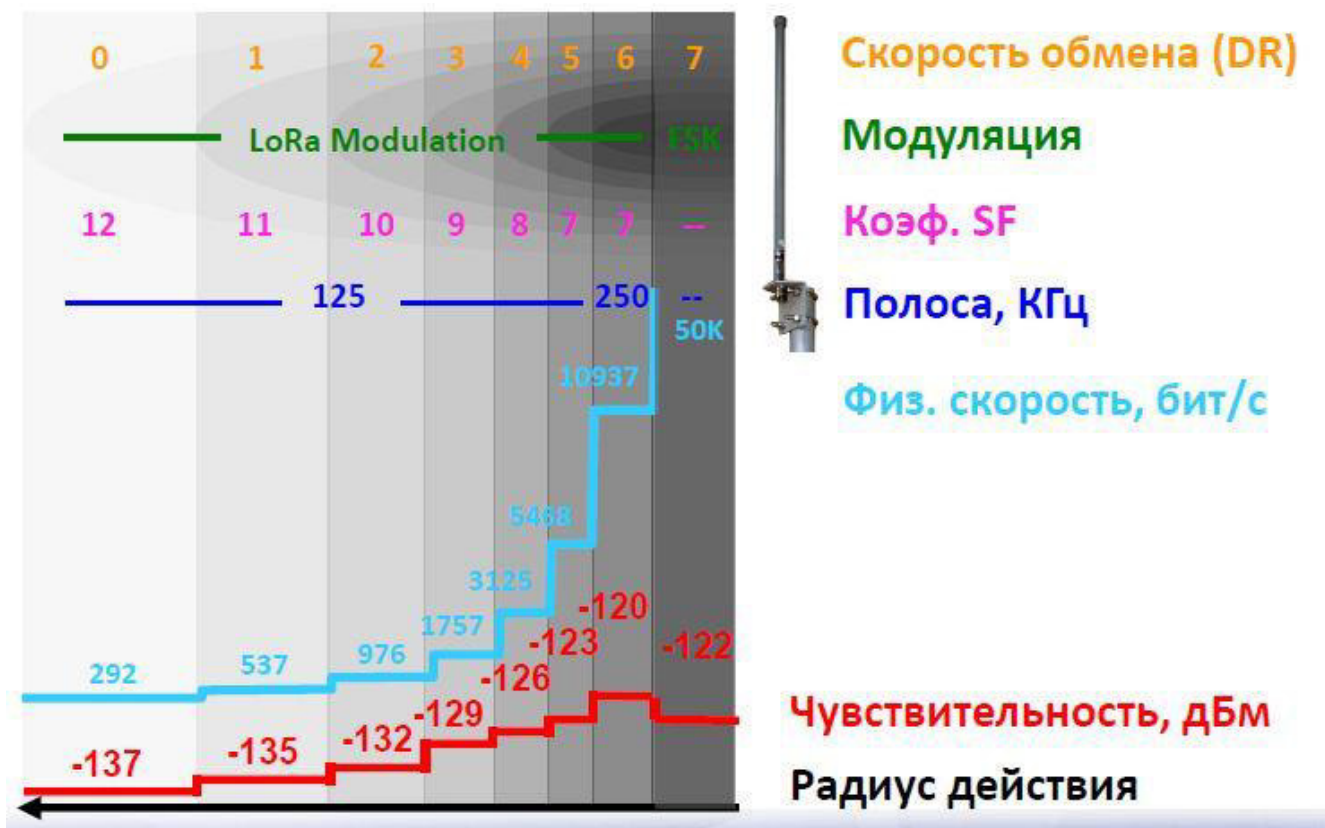


Рисунок 4 – Модуляция LoRa для разных значений скорости передачи, коэффициента SF, полосы пропускания, чувствительности и радиуса действия.

Области применения LoRaWAN:

Интернет вещей (IoT);

- Межмашинное взаимодействие (M2M);
- Промышленная автоматизация;
- Малопотребляющие приложения;
- Умный город и Умный дом;
- Умное уличное и прочее освещение (удаленный контроль, контроль состояния);
- Сельское хозяйство;
- Сбор со счетчиков ЖКХ (электричество, вода, газ и т.д.);
- Smart Grid (мониторинг электрических сетей нового поколения);
- Мониторинг погодных условий;
- Пожарная, охранная сигнализация;

- Автоматизация зданий (контроль температуры, влажности, управления воротами, жалюзи и т.д.).

На рисунке 5 показана архитектура сети LoRaWAN [2]. Данная сеть состоит из конечных устройств, шлюзов, сетевого сервера и сервера приложений (сервер приложений может быть один или несколько).

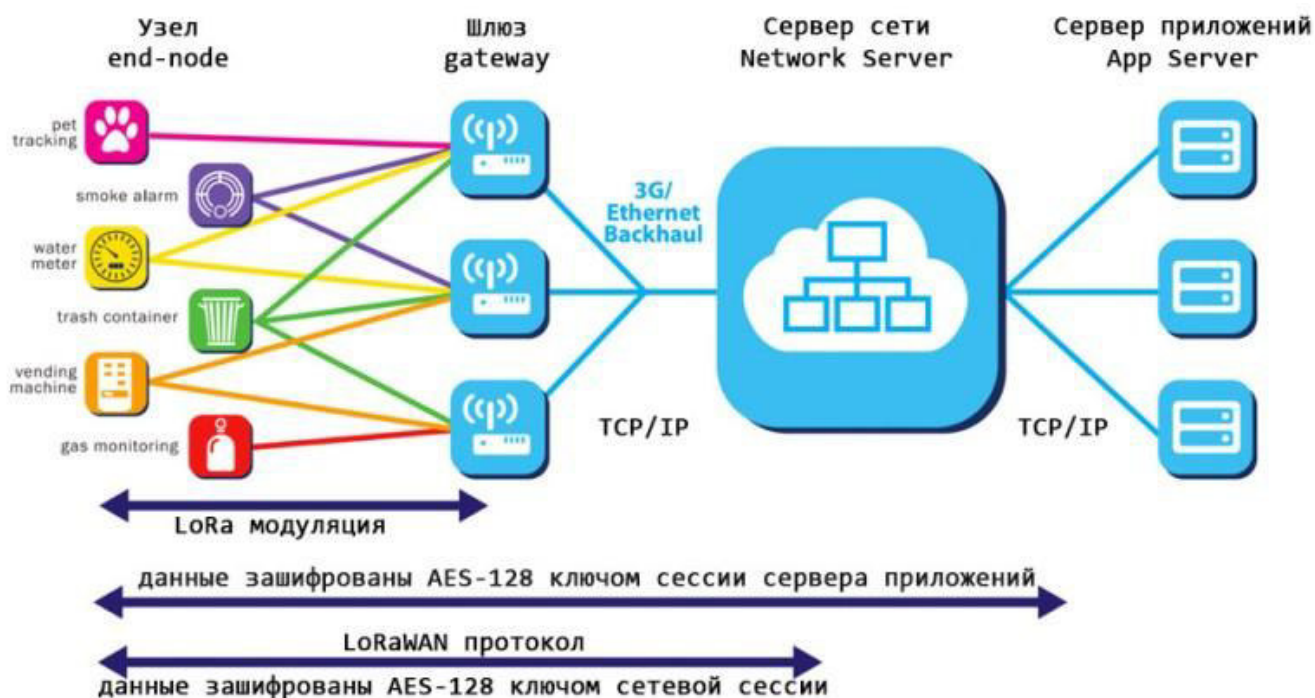


Рисунок 5 – Архитектура сети LoRaWAN

Работает это следующим образом. Базовая станция слушает эфир в заданном диапазоне частот. Когда она слышит запрос от какого-либо из устройств, то отвечает ему на частоте обращения. Пакеты принимаются базовой станцией (в архитектуре LoRa ее чаще называют шлюзом), однако обрабатывает их следующее звено цепи – сетевой сервер [6]. Этот сервер отвечает за управление всеми шлюзами, он решает через какой шлюз общаться с датчиком (если датчик слышно через несколько шлюзов) и определяет еще ряд важных параметров. Однако сетевой сервер не обрабатывает полезную информацию из пакетов. Это делает следующее и самое важное звено – сервер приложений.

Именно на сервере приложений происходит расшифровка показаний от датчиков, они в понятной форме раздаются либо в биллинг, либо в интерфейс потребителю, либо в другое заданное место. Основные технические

характеристики сетей технологии LoRa показаны в табл.1 [7]. Они различаются в зависимости от требований регуляторов – СЕРТ (Европейская конференция администраций почтовых служб и служб связи) и FCC в США. Зона покрытия сети LoRa обеспечивается радиусом действия базовых станций (шлюзов LoRa) до 2,5 км внутри города и до 15 км в сельской местности.

Таблица 1 – Технические характеристики технологии LoRa

Параметры	Требования СЕРТ	Требования FCC (США)
Диапазон частот, МГц	867-869	902-928
Количество радиоканалов	10	64+8+8
Ширина радиоканала, кГц	125/250	125/500
Мощность передачи, линия вверх	+14 дБм	+20 дБм типовая (+30 дБм допустимая)
Мощность передачи, линия вниз	+14 дБм	+27 дБм
Коэффициенты SF в линии вверх	7-12	7-10
Скорость передачи данных	250 бит/с – 50 кбит/с	980 бит/с – 21.9 кбит/с
Бюджет радиолинии вверх, дБ	155	154
Бюджет радиолинии вниз, дБ	155	157

Преимущества LoRaWAN:

Одним из основных преимуществ LoRaWAN является то, что данная беспроводная технология использует широкополосную модуляцию LoRa и безлицензионные диапазоны частот. Также сети LoRaWAN:

- совместимы с существующими сетями или технологиями беспроводной передачи данных;
- обладают высокой помехоустойчивостью;
- способны обслуживать десятки и сотни тысяч устройств;
- обеспечивают большую зону охвата и малое энергопотребление конечных устройств.

LoRaWAN-сети обладают высокой скоростью развертывания (от двух дней) и простой пусконаладкой. Топология «звезда» создает большой радиус покрытия для каждой базовой станции и избавляет от промежуточного оборудования.

В технологии LoRaWAN предусмотрен режим ADR (адаптивная скорость обмена). Благодаря этому режиму автонастройки скорости передачи данных конечные устройства активны только в моменты передачи данных. Это в совокупности с небольшой мощностью самого передатчика, позволяет устройству автономно функционировать от 7 до 10 лет от одной батарейки, а также увеличивать количество устройств, общающихся с одной базовой станцией, и масштабировать сеть.

На рисунке 6 показан режим работы адаптивной скорости передачи данных.

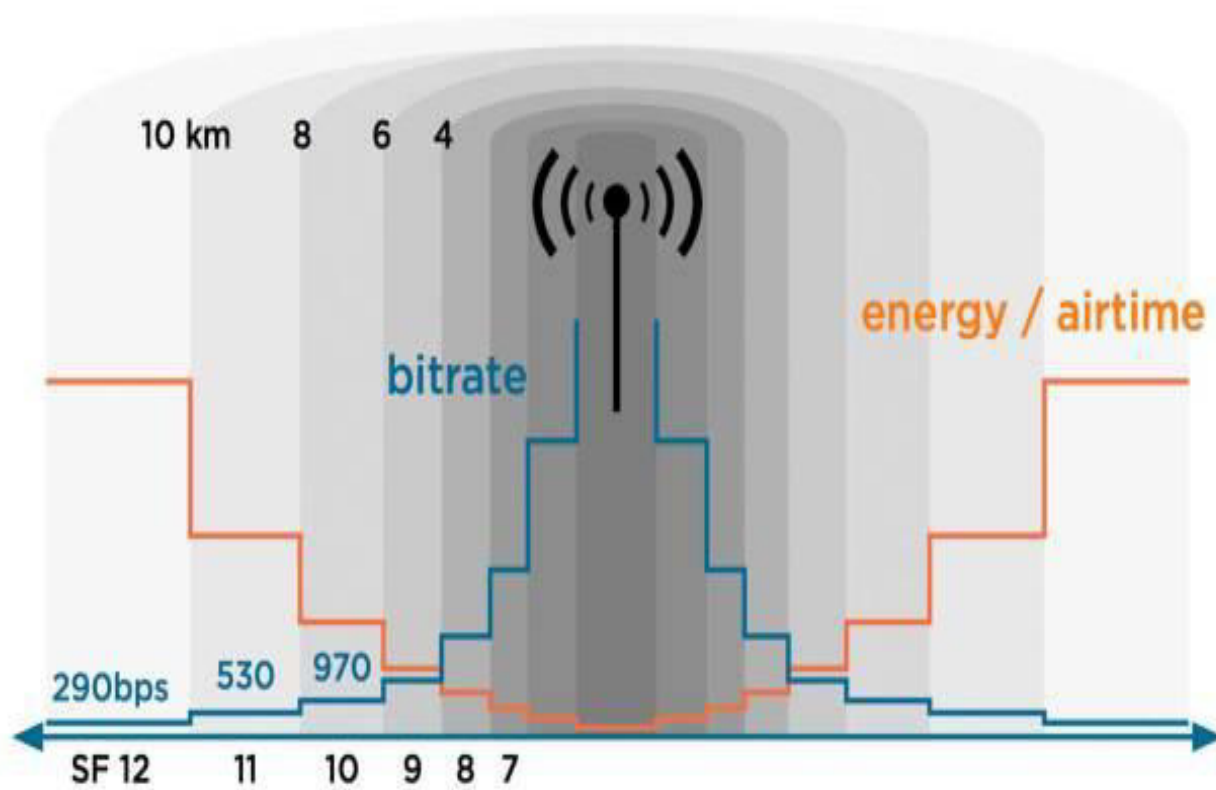


Рисунок 6 – Адаптивная скорость передачи данных (ADR – adaptive data rate) в сети LoRa

Адаптивная скорость передачи данных ADR (Adaptive Data Rate) [8] представляет собой метод, при котором фактическая скорость передачи данных

регулирується таким образом, чтобы обеспечить надежную доставку пакетов, обеспечить оптимальную производительность сети и необходимый масштаб для ее загрузки. Так, например, узлы (end-node) более близкие к шлюзу будут использовать и более высокую скорость передачи данных (а, следовательно, более короткое время активной передачи по радиоканалу) и меньшую выходную мощность. Только самые удаленные точки (end-node) будут использовать низкую скорость передачи данных и высокую выходную мощность передатчика. Технология адаптивной скорости передачи данных ADR может внести необходимые изменения в сетевую инфраструктуру и, таким образом, компенсировать различные потери на трассе передачи сигнала.

Для работы LoRa использует нелицензируемые участки спектра, которые определены и регулируются на основе региональных ограничений в следующих диапазонах частот:

- 430 МГц – для регионов Азии;
- 780 МГц – для Китая;
- 866 – для Европы;
- 915 – для США.

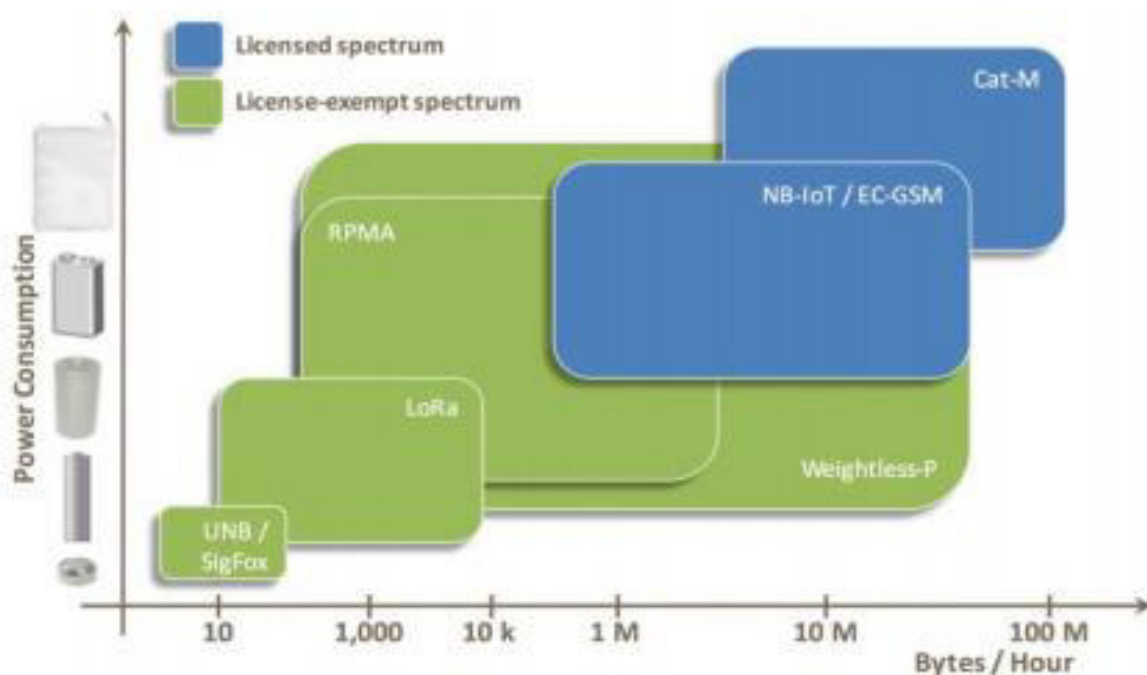


Рисунок 7 – Сравнительная оценка энергопотребления технологии LoRa и других радиотехнологий

В Европе для сетей LoRaWAN используются каналы ISM-диапазона, определенные стандартом ETSI EN 300.220 [7], в полосе частот 864–868 МГц на усмотрение оператора сети. Однако три частотных канала общего доступа используются в режиме LBT (после обязательного прослушивания перед излучением) на всех абонентских устройствах и шлюзах LoRa: 868,10; 868,30; 868,50 МГц. Еще три частотных канала: 864,10; 864,30; 864,50 МГц задействуются, чтобы гарантировать получение запросов (JoinReq message) в широкополосном канале общего доступа для управления в сети.

На рисунке 7 изображена сравнительная оценка энергопотребления технологии LoRa и других технологий. Синим цветом показаны лицензируемые диапазоны частот, зеленым цветом показаны нелицензируемые диапазоны частот. Ось X – объем данных, байт/час, ось Y – потребление энергии.

Устойчивость к радиопомехам. Высокая проникающая способность радиосигнала субгигагерцового диапазона в зданиях и подвалах обеспечивает стабильную связь там, где другие беспроводные технологии оказываются бессильны.

Модем LoRa на совмещенном GMSK канале имеет возможность подавления помех до 19,5 дБ (за счет Гауссовой фильтрации) или, говоря другими словами, он может принимать и демодулировать сигналы на 19,5 дБ ниже уровня помех или шумов при том что для правильной демодуляции большинству систем с частотной манипуляцией FSK (от англ. Frequency Shift Keying) нужна мощность сигнала как минимум на 8-10 дБ выше уровня шума.

Этот иммунитет к помехам позволяет использовать простую и недорогую систему с LoRa в тех местах, где имеется тяжелая спектральная обстановка (как в любом современном мегаполисе) или в гибридных сетях связи. В этих случаях использование технологии LoRa позволяет расширить диапазон покрытия сети связи.

Для защиты от несанкционированного доступа и искажения либо перехвата данных, передаваемых оконечными устройствами, в LoRaWAN сетях стандартом

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		16

предусмотрено обязательное двухуровневое шифрование данных двумя разными AES-128 ключами по RFC-4493 [1].

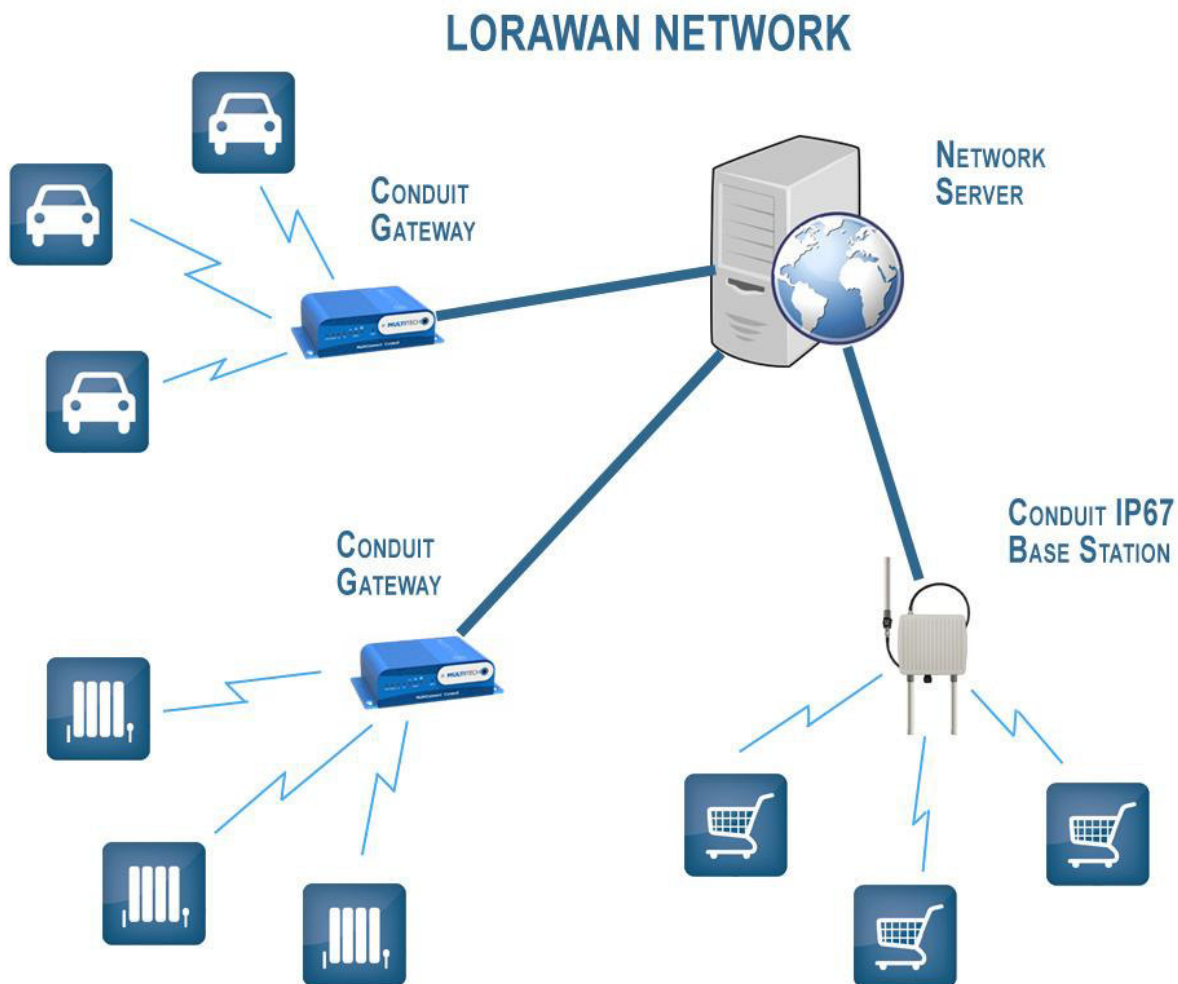


Рисунок 8 – Топология сети LoRaWAN

Безопасность. Обеспечивается полная конфиденциальность данных при прохождении всех задействованных в цепочке устройств, поэтому содержимое пакета доступно только отправителю (конечной точке) и получателю, для которого оно предназначено, т.е. приложению сервис-провайдера. Сервер сети оперирует данными в зашифрованном виде, производит аутентификацию и проверяет целостность каждого пакета, но при этом не имеет доступа к полезной нагрузке (от англ. payload), т.е. к информации от подключенных к узлу сенсоров. Топология сети LoRaWAN изображена на рисунке 8 [2]. LoRaWAN базируется на топологии «звезда» (star of stars), передача данных оконечными устройствами осуществляются на шлюзы (базовые станции), а базовые станции в свою очередь

отправляют данные на сетевой сервер где происходит их обработка с дальнейшей передачей данных на следующее звено цепи – на сервер приложений.

Оконечные устройства LoRa делятся на три класса, которые отличаются друг от друга режимами приема. Устройства данных классов являются двунаправленными [3]:

- класс А;
- класс В;
- класс С.

Класс А является базовым и должен поддерживаться всеми устройствами. Устройства класса А после каждой передачи открывают два коротких временных окна на прием, которые обозначаются, как RX1 и RX2. Принцип работы устройств класса А показана ниже на рисунке 9.

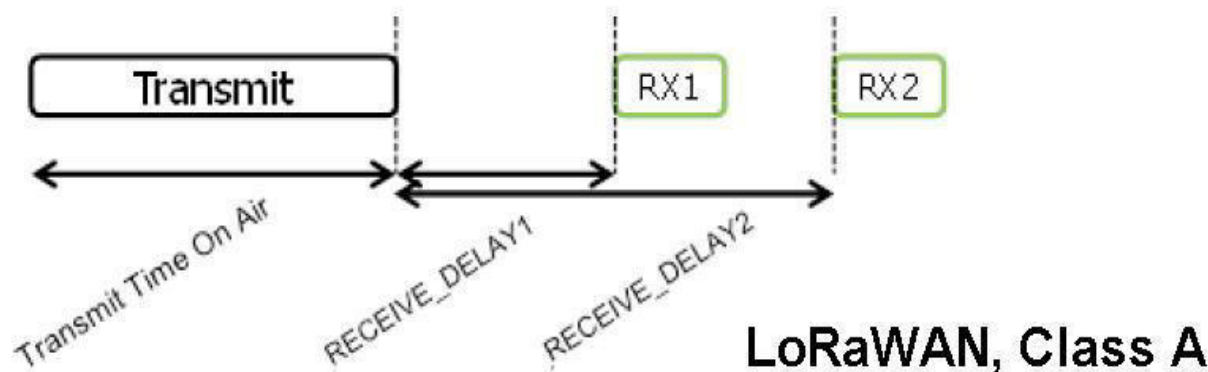


Рисунок 9 – Принцип работы устройств класса А

Интервалы от конца передачи до открытия первого и второго временных окон могут конфигурироваться, но должны быть одинаковыми для всех устройств в данной сети (RECEIVE_DELAY1, RECEIVE_DELAY2).

Устройства класса А являются самыми низкопотребляющими, но для передачи сообщения от сервера к конечному устройству необходимо дождаться следующего исходящего сообщения от этого устройства.

Класс В. В добавок к окнам приема, определенным для устройств класса А, устройства класса В открывают дополнительные окна приема по расписанию. Для синхронизации времени открытия дополнительных окон приема шлюзы излучают

маячки (beacons). Все шлюзы, входящие в состав одной сети, должны излучать маячки одновременно. Маячок содержит идентификатор сети и метку времени (UTC).

Использование класса В гарантирует, что при опросе конечных устройств задержка отклика не будет превышать определенную величину, определяемую периодом маячков.

Класс С. Устройства класса С находятся в режиме приема практически всё время за исключением промежутков, когда они передают сообщения. За исключением временного окна RX1 конечное устройство использует параметры приема RX2. Принцип работы устройств класса С показана ниже на рисунке 10.

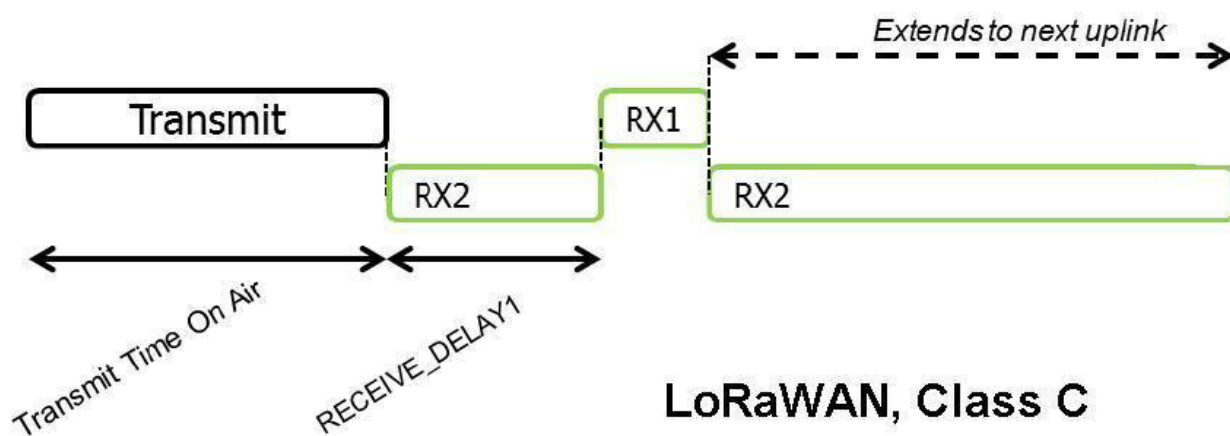


Рисунок 10 – Принцип работы устройств класса С

Класс С может применяться там, где не нужно изо всех сил экономить энергию (счетчики электрической энергии) или где необходимо опрашивать конечные устройства в произвольные моменты времени.

2.2 Схема внедрения сети LoRa

На рисунке 11 представлена схема внедрения сети LoRaWAN в систему ЖКХ города Ашхабада.

На схеме показаны счетчики учета газа, воды и электроэнергии, оснащенные радиомодулями LoRa.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		19

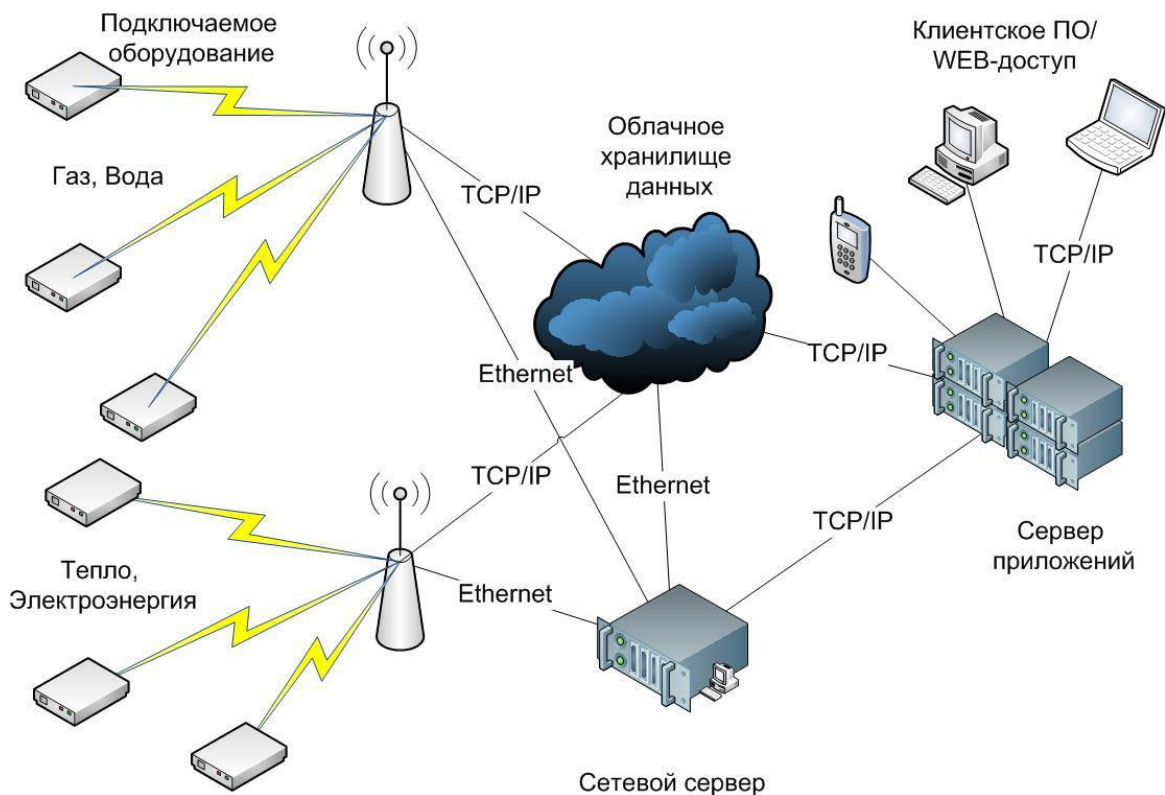


Рисунок 11 – Схема внедрения сети LoRa в систему ЖКХ г.Ашхабада

Данные счетчики передают информацию по радиоканалу LoRa на базовые станции LoRa. Данные от базовых станций отправляются на сетевой сервер, соединенным по оптическому кабелю. Процесс передачи происходит по протоколу TCP/IP. Сетевой сервер управляет всеми базовыми станциями, решает через какой шлюз (базовую станцию) общаться с датчиком (если датчик слышно через несколько шлюзов) и определяет еще ряд важных параметров.

От сетевого сервера пакеты передаются на сервер приложений, где происходит расшифровка показаний от датчиков и они в понятной форме раздаются либо в биллинг, либо в интерфейс потребителю, либо в другое заданное место.

2.3 Схема расположения базовых станций, конечных устройств в сети LoRa

Ашхабад находится на юге Туркменистана, является городом плотной застройки домами, зданиями, памятниками и достопримечательностями. На

рисунке 1 показано расположение базовых станций по городу. 20 базовых станций LoRa расположены на крышах многоэтажных домов, каждая из базовых станций может принимать пакеты от конечных устройств, находящихся в радиусе от 2 до 3,5 километров.

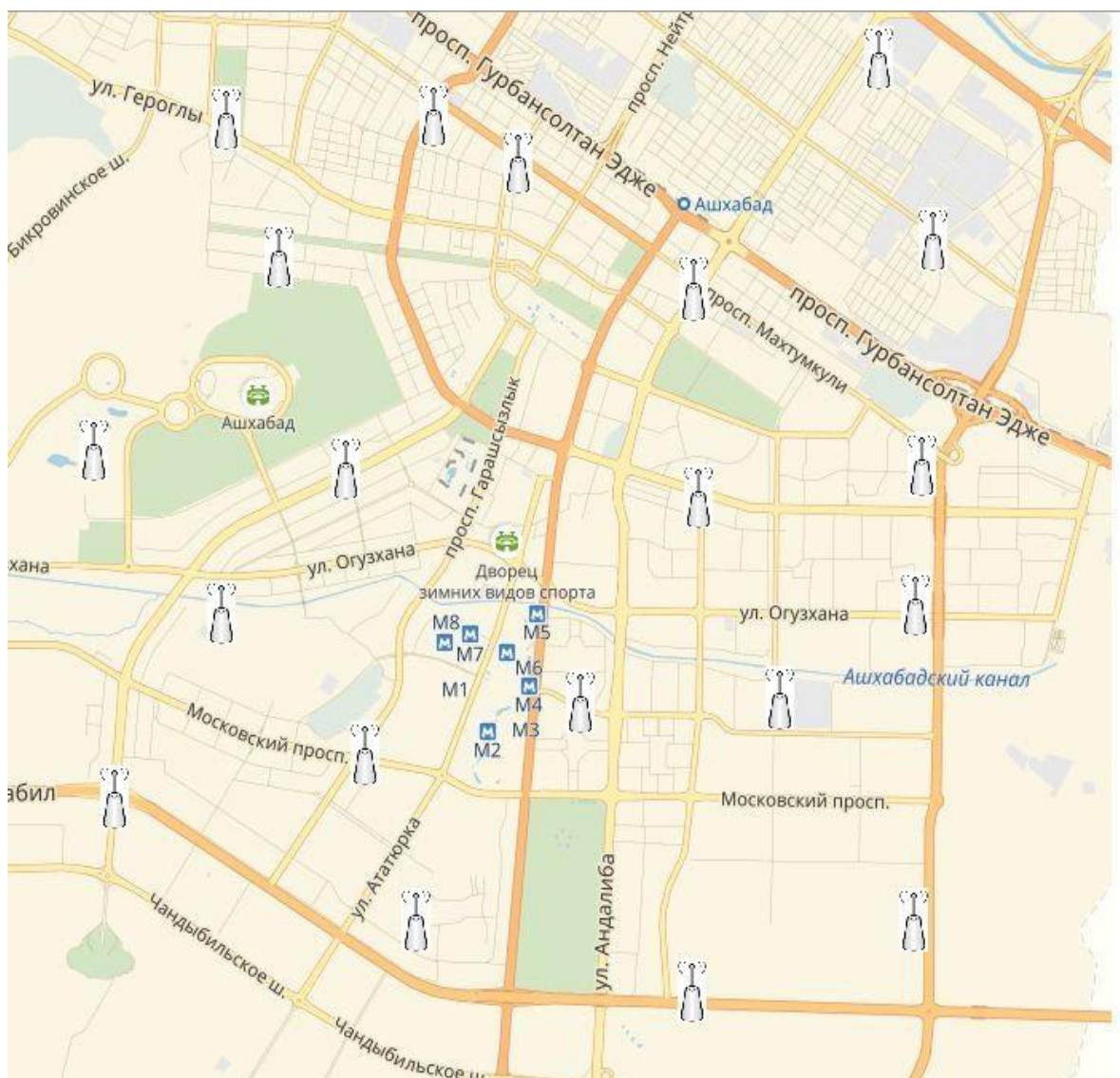


Рисунок 12 – Схема расположения базовых станций в городе Ашхабаде

Базовая станция (шлюз) имеет возможность принимать одновременно сразу 8 пакетов от 8 конечных устройств. Пакеты от конечных устройств передаются по радиоканалу LoRaWAN и зашифрованы двумя разными AES-128 ключами по RFC-4493, то есть в LoRaWAN [5] сети предусмотрено двухуровневое шифрование данных.



Рисунок 13 – Схема расположения оконечных устройств в городе Ашхабаде

На рисунке 13 показано расположение конечных устройств, оснащенных радиомодулями LoRa. Датчик имеет возможность отправлять пакет сразу на несколько базовых станций, но решение, какой шлюз примет тот или иной пакет принимает сетевой сервер. Датчики LoRa благодаря предусмотренному в LoRaWAN сетях режиму адаптивной передачи данных занимают время в эфире только тогда, когда есть что передать. Это способствует работе датчиков автономно от одной батареи без подзарядки достаточно продолжительно.

В данной сети каждая базовая станция может обслуживать до 10 000 конечных устройств.

3 АНАЛИЗ РЫНОЧНЫХ ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ

Рыночные перспективы LoRa определяют два главных фактора:

- 1) технические характеристики технологии радиодоступа (см. табл.2) для создания сетей IoT/M2M;
- 2) растущий спрос на услуги IoT, позволяющий выходить на этот рынок, как традиционным технологиям мобильной связи, так и новым технологиям радиодоступа.

Таблица 2 – Технические характеристики технологий радиодоступа

Характеристики	LoRaWAN	UNB	LTE Cat-1 2016 (Rel 12)	LTE Cat-M (Rel 13)	NB-IoT (Rel 13+)
Необходимость выделения спектра	Нелицензируемые полосы	Нелицензируемые полосы	Лицензируемые полосы	Лицензируемые полосы	Лицензируемые полосы
Модуляция	SS Chirp GMSK/FSK	UNB/GMSK/B PSK	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Ширина полосы приема Rx	500-125 кГц	100 Гц	20 МГц	1.4 МГц	200 кГц
Скорость передачи данных	250 бит/с – 50 кбит/с	100 бит/с, 128 байт максимум	10 Мбит/с	200 кбит/с – 1 Мбит/с	~20 кбит/с
Максимальное количество сообщений в день	Неограниченно	140 сообщений в день в линии вверх	Неограниченно	Неограниченно	Неограниченно
Максимальная выходная мощность	20 дБм	20 дБм	23-46 дБм	23/30 дБм	20 дБм
Бюджет радиолинии	154 дБ	150 дБ	130 дБ+	146 дБ	150 дБ
Срок службы батареи (емкостью 2000 мА*ч)	105 мес.	90 мес.	-	18 мес.	До 10 лет
Энергоэффективность	Очень высокая	Очень высокая	Низкая	Средняя	Средняя – высокая

SS – spread spectrum, Chirp – расширение спектра методом ЛЧМ

Анализ текущей рыночной ситуации для технологии LoRa показывает, что технология LoRa, ведущая отсчет с 2012 года, опередила развитие традиционных сотовых технологий для сетей Интернета вещей, начатое лишь в 2015 году [9,10]. В настоящее время на рынке сетевого оборудования (см. табл.3) для реализации технологии LoRaWAN имеется большое количество предложений от компаний Semtech Corporation, Microchip, Silicon Labs, Kerlink. Эти компании позволяют операторам сетей IoT/M2M создавать достаточно крупные сети радиодоступа для услуг IoT в диапазонах 433, 868 и 915 МГц в нелицензируемых участках использования спектра, что способствует созданию для них высокого бизнес-потенциала.

Таблица 3 – Рынок сетевого оборудования

Базовая станция	Частотные диапазоны, МГц			Интерфейсы		
	33	868	902-928	Ethernet	4G	Wi-Fi
Kerlink IoT Station	+	+	+	+	+	-
Multitech Conduit+LoRa mCard	-	+	+	+	КО	ВА
Raspberry Pi+IMST iC880A	-	+	-	+	КО	ВА
Raspberry Pi+Semtech sx1301	+	+	+	+	КО	ВА
Raspberry Pi Multitech mCard	-	+	+	+	КО	ВА
Cisco IR910	-	+	+	+	КО	ВА
Link Labs LL-BS-8	-	+	+	+	КО	ВА
Calao Toti-LoRa-pico	-	+	-	+	КО	ВА
OpenWRT+ Semtech sx1301	+	+	+	+	КО	ВА

«+» - поддерживается, «-» - не поддерживается, «КО» - контролируется опционально, «ВА» - внешний аксессуар.

В связи с быстрым ростом технологии Интернета вещей, на рынке конкурируют разные компании, которые производят устройства, датчики, радиомодули, базовые станции, программные обеспечения, что способствует развитию энергоэффективных сетей дальнего радиуса LPWAN.

3.1 Сравнительная характеристика технологии LoRaWAN с аналогичными технологиями

Глобальные LPWAN. «Стриж» и LoRa принадлежат к семейству не сотовых глобальных LPWAN, поэтому качественных различий между ними не так много, как, например, у LoRaWAN и NB-IoT. Для работы этих сетей используются частоты 868 МГц [11].

Протокол связи. Главным отличием этих сетей являются протоколы, которые они используют. В сетях LoRa предусмотрен протокол LoRaWAN - MAC протокол канального уровня для сетей с большим количеством узлов, с достаточно широким радиусом действия и низким энергопотреблением. Сеть «Стриж», в свою очередь, использует собственный протокол Marcato 2.0. Одним из главных недостатков у СТРИЖ в сравнении с LoRa является то, что протокол Marcato 2.0 существует только в закрытом доступе. А в достоинства можно записать то, что данный протокол обеспечивает шифрование XTEA с использованием 256 битного ключа.

Степень проприетарности. «Стриж» использует для работы закрытый протокол Marcato 2.0. Следовательно, для работы в этой сети необходимы шлюзы и конечные устройства производства компании «Стриж». Такая абсолютная степень проприетарности негативно сказывается как на стоимости устройств, так и на их ассортименте. Для LoRaWAN характерна низкая степень проприетарности. Обладателем патента на LoRa-чипы является компания «Semtech». Но при всем при этом Semtech не против того, чтобы оборудование выпускали и другие компании. Кроме этого, конечные устройства производит несколько десятков других компаний. В итоге пользователь имеет большое множество бюджетных и эффективных вариантов выбора для построения IoT-сетей на базе LoRa.

Модуляция. LoRa использует метод модуляции с расширением спектра и разновидностью линейной частотной модуляции, а «Стриж» – сверхузкополосный метод с дифференциальной двоичной фазовой манипуляцией DBPSK. Применение широкополосной кодовой манипуляции LoRaWAN является

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		25

недостатком, так как способствует к снижению эффективности использования частотного спектра. Следовательно, количество устройств, для работы в определенном частотном диапазоне значительно ниже, чем у «Стрижа». Вот и преимущество «Стрижа» в том, что в полосе LoRa в 125 кГц, которая необходима для кодирования одного канала, «Стриж» использует более 1250 устройств [11].

Ширина полосы сигнала. Ширина полосы сигнала, которая рекомендована для стандартной сети LoRaWAN, составляет 125 кГц. У «Стрижа» ширина полосы равна 100 Гц. У стандартной сети LoRaWAN – восемь широких каналов по 125 килогерц, а у «Стрижа» 5 тысяч узких каналов по 100 герц каждый. Узкий канал имеет несколько особенностей. Например, он необходимо настроить стабильность частоты кварцевых резонаторов, которые задают рабочую частоту абонентского устройства. В противном случае, возникает необходимость использования дорогих термокомпенсированных генераторов, у которых погрешность по частоте на порядок меньше.

Разделение каналов. FDMA (Frequency Division Multiple Access) – это множественный доступ с частотным разделением. Общий ресурс делится на несколько устройств. Такое деление может быть равным или неравным. FDMA, как правило, используется в связке с методами множественного доступа TDMA и CDMA. Принцип работы TDMA состоит в том, что на определенной частоте базовая станция какой-то промежуток времени работает на одного абонента, какую-то на другого и т.д. Перерывы настолько коротки, что для работы устройств они остаются незамеченными. Принцип работы практически цифрового стандарта CDMA означает, что все ячейки работают на одном и том же канале. В итоге частотный ресурс расходуется наиболее полно. Предусмотрена возможность плавного перехода устройства от обслуживания от одной базовой станции к другой. LoRaWAN использует CDMA и TDMA, тогда как «Стриж» - FDMA и TDMA [12].

Радиорелейные и ячеистые сети. Преимущество LoRaWAN заключается в использовании ячеистых (многоточечных) сетей. Устройства могут работать как радиорелейная станция и передавать сигнал до ближайшей точки доступа.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		26

Поэтому у провайдеров нет необходимости устанавливать дополнительные точки доступа с проводкой к ним. Альтернативный путь – использование миниатюрных радиорелейных станций WLAN, которые обеспечивают связь с имеющейся инфраструктурой точек доступа. «Стриж» такими характеристиками похвастаться не может.

Классы обслуживаемых устройств. LoRaWAN может обслуживать устройства класса А, В, С, тогда как «Стриж» - только устройства класса А. Классы отличаются по расписанию передачи данных в эфир. Например, оборудование класса А передает информацию, а затем короткий промежуток времени ожидает ответа от базовой станции. Приемник выключается до следующего сеанса связи. Устройства класса В работают по расписанию. Передатчик включается в заданное время. Базовая станция располагает этим расписанием, поэтому способна передавать данные на устройство в соответствии с графиком. Устройства класса С держат приемник включенным постоянно, поэтому базовая станция может в любое время передать информацию [3].

Асинхронная передача данных. Сети «Стриж» и LoRaWAN не являются сотовыми. Это значит, что устройствам не требуется просыпаться для синхронизации данных. Датчики можно запрограммировать на отправку данных по расписанию или по мере накопления информации. Поэтому срок работы аккумуляторов достаточно длительный и может достигать несколько лет.

Локальные сети масштаба объекта. Построить эффективную сеть LoRaWAN под силу даже отдельному предприятию в виду меньшей стоимости базовой станции и более широкой экосистеме поставщиков оборудования и программной части. Построение сети «Стриж» на локальном объекте также возможно, но, ввиду абсолютной закрытости протокола, на подбор необходимого оборудования и согласование проекта может уйти больше времени.

Количество операторов. Сети LoRaWAN развернуты более сотней операторов в 40 странах и 250 городах мира. Заручившись поддержкой ИТ-гигантов и крупнейших операторов связи, LoRaWAN уже покрыла сигналом более 40 стран мира и 250 городов. В США, Австралии, Новой Зеландии, Тайване

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		27

и Нидерландах LoRaWAN считается стандартом сети Интернета вещей. Сеть «Стриж» представлена единственным оператором, предоставляющим услуги в некоторых странах СНГ.

Стоимость базовых станций. Инвестиции в строительство не сотовых LPWAN достаточно низкие, чем в мобильные LPWAN. Сети не сотовых LPWAN можно с легкостью развернуть как в городской черте, так и в сельской местности. Стоимость одной базовой станции LoRaWAN оценивается в \$1000. Для охвата территории Нидерландов, к примеру, одним из операторов связи было приобретено 12.

Помехоустойчивость. Технология «Стриж» более устойчива к помехам. Сигнал LoRaWAN обладает средней степенью устойчивости. Защита от помех в случае с LoRaWAN обеспечивается с помощью кодирования. При одновременной работе в одном канале устройства могут добиться защиты от помех на уровне 10 – 20 Дб, в «Стриже» этот показатель составляет до 65 дБ защиты от помехи на соседнем канале.

Экосистема. Решения «Стриж» развивает сама компания и несколько, преимущественно российских, производителей оборудования. Экосистема LoRa включает более 500 компаний – операторов связи и поставщиков ИТ-решений и оборудования. В LoRa Alliance входят такие ИТ-гиганты, как IBM, Cisco, Orange, NTT, Soft Bank, Bosch, Schneider Electric, Inmarsat, Swisscom. Поддержка этих лидеров уже привела к тому, что LoRaWAN стала крупнейшей популярной LPWAN-технологией в мире. Об этом свидетельствует количество операторов, развернувших эту сеть.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика технологий LoRa и СТРИЖ

Характеристика	LoRa	СТРИЖ
Частота	868 МГц	868 МГц
Протокол	LoRaWAN	Marcato 2.0
Ширина полосы сигнала	125 ¹ кГц	100 Гц

Окончание таблицы 4

Характеристика	LoRa	СТРИЖ
Модуляция	Широкополосная	Узкополосная
Разделение каналов	CDMA, TDMA ²	FDMA, TDMA ²
Количество каналов	8	5000
Бюджет канала	168 dBm	178 dBm
Симметричность канала	Полная	Ограниченная
Классы абонентских устройств	А, В, С	А
Сложность базовой станции	От низкой до средней	Высокая
Скорость связи	От 300 до 50 000 бит/с ¹	100 бит/с
Помехоустойчивость	Средняя	Высокая
Агрессивность по отношению к соседям	Низкая	От средней до высокой
Степень проприетарности	Низкая (только чипы)	Абсолютная
Дальность связи	48.3	50
Глобальные сети LPWAN	Да	Да
Локальные сети масштаба объекта	Да	С оговорками
Радиорелейные и ячеистые сети	Да	Нет
Стоимость модема	\$30-40	~\$40 ³
Стоимость базовой станции	~\$1000	~\$2500
Количество развернутых в мире сетей	Более 100	1

1 – параметры, рекомендуемые для стандартной сети LoRaWAN;

2 – при активном использовании обратной связи с абонентами;

3 – в свободной продаже модемов нет.

На рисунке 14 показана сравнительная характеристика таких технологий энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия LPWAN, как LoRaWAN, SIGFOX, СТРИЖ. А также показана степень проприетарности данных технологий.

Низкая стоимость базовых станций и конечных узлов позволяет реализовать некоторые решения до 10 раз дешевле по сравнению со слаботочными системами, например ZigBee или GSM/GPRS. Стоимость эксплуатации системы также невысока.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		29



Рисунок 14 – Сравнительная характеристика технологий «Большой тройцы»: LoRa, СТРИЖ, SIGFOX

LoRa – открытый стандарт (рис. 14), и это позволяет избежать монополии и не попасть в зависимость от конкретных производителей оборудования. Еще одним плюсом открытости является объединение разработчиков и производителей, использующих эту технологию, в альянс, что позволяет быстрее и эффективнее ее развивать и продвигать.

В заключении хотелось бы заметить, что LoRaWAN существенно превосходит «Стриж» и SIGFOX в степени проприетарности, разделении каналов, в возможности обслуживания нескольких классов устройств, возможности использования радиорелейных и ячеистых сетей, строительстве локальных сетей на предприятиях, стоимости базовых станций, экосистеме поддержки и количестве запущенных сетей. Это означает, что вариантов построения эффективных промышленных решений на базе LoRaWAN у заказчиков гораздо больше, чем при использовании технологии «Стриж» или SIGFOX. Из-за таких характеристик LoRaWAN идеально подходит для систем с высокими

требованиями к устойчивости связи на больших расстояниях и низкому энергопотреблению, позволяющему конечным устройствам долго работать автономно и без подзарядки. Таким образом, можно собрать в единую систему различные виды устройств – фонари уличного освещения, приборы учета потребления ресурсов ЖКХ (электричество, вода, газ, тепло), автопарк (контроль передвижения, расхода горючего), устройства безопасности (контроль доступа) и т. п., а также создавать принципиально новые решения в сфере услуг связи, мониторинга, телематики, телемеханики, диспетчеризации.

По проведенному анализу рыночных перспектив внедрения можно сделать вывод, что технология LoRaWAN имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с остальными технологиями, а сетевое оборудование LoRa, которое доступно и отличается относительной дешевизной, можно использовать в качестве технологии решения IoT взаимодействия.

3.2 Оборудование сети LoRa

В городе Ашхабаде насчитывается около одного миллиона счетчиков ресурсов жилищно-коммунального хозяйства. Общее количество данных счетчиков можно приравнять количеству городских жителей, но с учетом того, что в каждой квартире установлено три счетчика – счетчики газа, электричества и воды. Таким образом, если в Ашхабаде один миллион жителей, то суммарная емкость рынка для городских операторов сети составит около одного миллиона приборов учета ресурсов ЖКХ. В перспективе 5 лет проникновения технологии беспроводного сбора данных составит 20%, то есть не менее 200 тысяч приборов произвести, установить и подключить к системам дистанционной диспетчеризации. Следовательно, чтобы покрыть сеть LoRa город-миллионник Ашхабад необходимо 200 тысяч приборов учета, передающих показания по беспроводным технологиям, в данном случае по технологии LoRaWAN [21].

При построении сети LoRa предлагается использование оборудования производства компании «ВЕГА-Абсолют». Компания ведет свою деятельность с

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		31

1996 года, а также в настоящее время специализируется на построении сетей IoT-решений на базе технологии LoRaWAN.

Для покрытия сетью LoRa город Ашхабад требуется приобрести 200 тысяч приборов учета, оснащенные радиомодулями LoRa, 20 шлюзов (базовых станций) LoRa. А также необходимо создать программное обеспечение для клиентов, использующих данную сеть. Приобрести коммутаторы, маршрутизаторы. Построить централизованные серверные помещения для сбора и обработки данных. И самое главное – подписать выгодный договор с оператором связи «ТМ Cell» в целях аренды канала связи для соединения по оптическому волокну в одну сеть базовые станции с сетевыми серверами.



Рисунок 15 – Базовая станция LoRaWAN от компании «ВЕГА-Абсолют»

Базовая станция Вега БС-1 предназначена для разворачивания сети LoRaWAN на частотах диапазона 863-870 МГц. Питание базовой станции и сообщение с сервером осуществляется через канал Ethernet. Операционная система Linux. Базовая станция Вега БС-1 имеет предустановленное ПО Packet forwarder. Рекомендуется использовать антенну А10-868 производства ООО «Фирма «Радиал» [21].

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		32

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ СЕТИ LORA

4.1 Время передачи пакетов через радиointерфейс

Каждый пакет, который передается в LoRaWAN сети, состоит из преамбулы и блока данных физического уровня [19]. Количество символов в преамбуле обозначается, как $n_{preamble}$ и может конфигурироваться в диапазоне 6...65535.

Количество символов в блоке данных физического уровня определяется следующей формулой:

$$8 + \text{ceil} \left(\frac{8 \times PL - 4 \times SF + 28 + 16 \times CRC - 20 \times H}{4 \times (SF - 2 \times DE)} \right) \times (CR + 4), \quad (1)$$

где, ceil – операция округления до ближайшего большего целого числа;

$PL = 12 + FRM$ – количество байт полезных данных в блоке физического уровня (обозначается как PHYpayload);

FRM – количество байт полезных данных на уровне приложений;

SF – коэффициент расширения спектра (Spreading Factor);

CRC – циклический избыточный код, может принимать значение $CRC=1$, когда передача поля CRC блока полезных данных включена и $CRC=0$ – когда выключена;

H – заголовок пакета, принимает значение $H=0$, когда передача заголовка ($PHDR+PHDR_CRC$) включена и $H=1$ – когда заголовок отсутствует;

DE – оптимизация скоростей передачи, принимает значение $DE=1$, когда оптимизация передачи для низких скоростей включена и $DE=0$ – когда выключена (при коэффициенте расширения спектра $SF=11$ и $SF=12$ оптимизация скоростей передачи данных должна быть включена);

CR – скорость кода, принимает значения в диапазоне 1...4;

Длительность передачи преамбулы определяется следующей формулой:

									Лист
									33
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.638.ПЗВКР				

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4,25) \times T_{sym} \quad (2)$$

Длительность передачи блока данных физического уровня определяется формулой:

$$T_{payload} = payloadSymNb \times T_{sym} \quad (3)$$

Длительность передачи всего пакета по сети LoRaWAN можно посчитать, используя следующую формулу:

$$T_{packet} = T_{preamble} + T_{payload} \quad (4)$$

В данном случае T_{sym} - длительность передачи одного символа и она равна

$$T_{sym} = \frac{2^F}{W}, \quad (5)$$

где W – полоса одного радиоканала, равная 125 кГц.

В таблице 5 показана длительность передачи одного символа при разных значениях коэффициента расширения спектра SF (Spreading Factor) и полосе, равной 125 кГц.

Таблица 5 – Длительность передачи одного символа в зависимости от SF и W

Коэффициент расширения спектра, SF	Ширина полосы радиоканала, W	Длительность передачи одного символа, T_{sym} , мс
7	125	1,024
8	125	2,048
9	125	4,096
10	125	8,192

Окончание таблицы 5

Коэффициент расширения спектра, SF	Ширина полосы радиоканала, W	Длительность передачи одного символа, T_{sym} , мс
11	125	16,384
12	125	32,768

На рисунке 16 показан график зависимости времени передачи одного символа от коэффициента расширения спектра SF (Spreading Factor).

Чем больше коэффициент SF (Spreading Factor), тем дольше занимает передача символа в эфире, но также увеличивается безопасность при передаче.

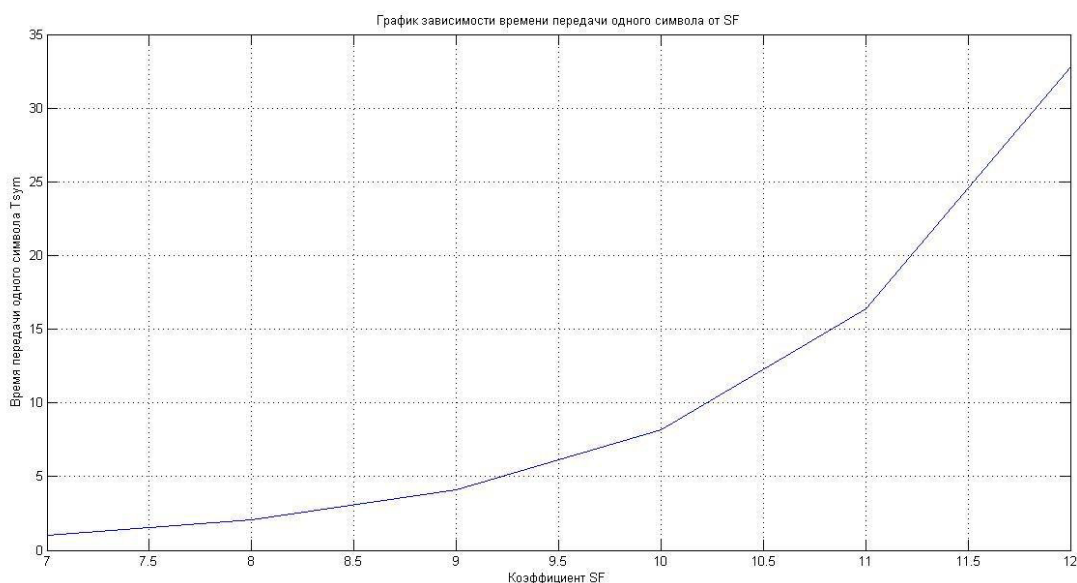


Рисунок 16 – График длительности передачи одного символа в зависимости от коэффициента SF

Передача конечным устройством в восходящем канале (UL-канале) пакета с полезной нагрузкой.

В таблице 6 приведены результаты расчета времени, необходимого для передачи одного UL-пакета с полезной нагрузкой 10 байт между конечным устройством и сервером приложений [17,18].

Таблица 6 – Время передачи UL-пакета

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Полоса радиоканала	W, кГц	125	125	125	125	125	125
Длительность передачи 1-го символа	T_{Sym} , мс	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768
Кол-во символов в преамбуле (6...65535)	$N_{preamble}$	6	6	6	6	6	6
Полезные данные (FRMPayload)	FRM, байт	10	10	10	10	10	10
Физический блок данных (PHYPayload)	PL, байт	23	23	23	23	23	23
Флаг включения заголовка в пакет 0 – включен, 1-выключен	H	0	0	0	0	0	0
Флаг включения CRC в пакет: 0 – выключен, 1 – включен	CRC	1	1	1	1	1	1
Флаг включения оптимизации скоростей 0 – выключена, 1 – включена	DE	0	0	0	0	0	0
Скорость кодирования: 1 – 4/5; 2 – 4/6; 3 – 4/7; 4 – 4/8.	CR	1	1	1	1	1	1
Кол-во символов в блоке данных	payloadSymN b	48	43	38	33	38	33
Длительность передачи преамбулы	$T_{preamble}$, мс	10,50	20,99	41,98	83,97	167,94	335,87
Длительность передачи блока данных	$T_{payload}$, мс	49,15	88,06	155,65	270,34	540,67	917,50
Длительность передачи всего пакета	T_{packet} , мс	59,65	109,06	197,64	354,30	708,61	1253,38

Передача LoRa-шлюзом в DL-канале этикетки, подтверждающей получение пакета от конечного устройства.

В таблице 7 приведены результаты расчета времени, необходимого для передачи одного DL-пакета без поля полезной нагрузки.

Таблица 7 – Время передачи DL-пакета

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Полоса радиоканала	W, кГц	125	125	125	125	125	125
Длительность передачи 1-го символа	T _{Sym} , мс	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768
Кол-во символов в преамбуле (6...65535)	N _{preamble}	6	6	6	6	6	6
Полезные данные (FRMPayload)	FRM, байт	0	0	0	0	0	0
Физический блок данных (PHYPayload)	PL, байт	12	12	12	12	12	12
Флаг включения заголовка в пакет 0 – включен, 1-выключен	H	1	1	1	1	1	1
Флаг включения CRC в пакет: 0 – выключен, 1 – включен	CRC	1	1	1	1	1	1
Флаг включения оптимизации скоростей 0 – выключена, 1 – включена	DE	0	0	0	0	0	0
Скорость кодирования: 1 – 4/5; 2 – 4/6; 3 – 4/7; 4 – 4/8.	CR	1	1	1	1	1	1
Кол-во символов в блоке данных	payloadSym Nb	28	23	23	18	23	18
Длительность передачи преамбулы	T _{preamble} , мс	10,50	20,99	41,98	83,97	167,94	335,87
Длительность передачи блока данных	T _{payload} , мс	28,67	47,10	94,21	147,46	294,91	589,82

Окончание таблицы 7

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Длительность передачи всего пакета	T_{packet} , мс	39,17	68,10	136,19	231,42	462,85	925,70

4.2 Расчет емкости сети

Все устройства LoRaWAN класса "A", включая конечные устройства и LoRa-шлюз, используют не синхронизированный (произвольный) доступ к общей среде передачи. При всем при этом временные интервалы отправки пакетов планируются конечными устройствами на основе собственных потребностей. Данный механизм доступа является протоколом типа «pure ALOHA» по имени первой компьютерной сети передачи данных с пакетной коммутацией «ALOHA.net».[20]

Оценка пропускной способности системы "чистая ALOHA" определяется при следующих предположениях:

- пользовательские данные, предназначенные для передачи, поступают на терминалы случайно, образуя пуассоновский поток;
- отброшенные из-за ошибок передачи пакеты передаются повторно, образуя также пуассоновский поток;
- все пакеты данных имеют одинаковую длину и передаются одинаковое время;
- в сети находится бесконечное число удалённых терминалов (при этом если некий терминал уже передаёт данные, это никак не влияет на вероятность передачи данных другими терминалами).

В этом случае, вероятность того, что за время передачи одного пакета T поступит еще k пакетов от всех терминалов сети, определяется формулой Пуассона:

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		38

$$P(k) = \frac{G^k e^{-G}}{k!}, \quad (6)$$

где G – интенсивность поступления пакетов (или среднее число сообщений для передачи, появившееся на всех терминалах за время T) [16].

Вероятность возникновения коллизии сводится к минимуму, если на интервале передачи сообщения, а также на одном предшествующем интервале не появятся еще пакеты для передачи от других конечных устройств сети, то есть когда значение k равно нулю ($k=0$). Следовательно, вероятность успешной передачи сообщения равна

$$P(k) = e^{-2G} \quad (7)$$

Среднее число успешно переданных пакетов за время T , что означает пропускную способность сети, составит:

$$S = G \times P = G \times e^{-2G} \quad (8)$$

График пропускной способности сети представлен ниже на рисунке 17.

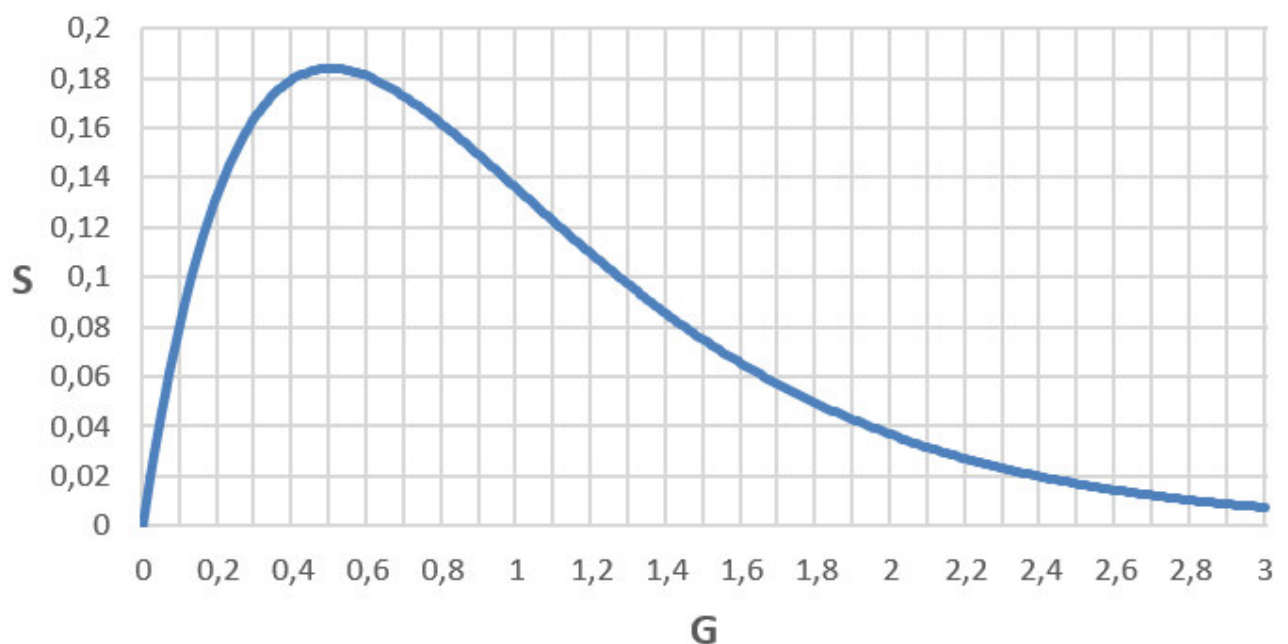


Рисунок 17 – Пропускная способность сети LoRaWAN

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		39

Максимальное значение пропускной способности достигается при интенсивности поступления пакетов (G) равной 0,5 и составляет 0,184 (при этом вероятность потери пакетов из-за коллизии – P_{LOSS} составит 63%).

При интенсивности поступления пакетов (G) равной 0,0256 вероятность потери пакетов из-за коллизии (P_{LOSS}) составляет 5%.

Характеристики предлагаемой для внедрения сети LoRa:

- количество радиоканалов (N_f) – 8;
- количество символов в преамбуле ($n_{preamble}$) – 6;
- средний размер полезных данных, которые будут передаваться в поле FRMPayload – 10 байт;
- средняя частота передачи пакетов одним конечным устройством – 1 пакет в час;
- передача заголовка включена ($H=0$), передача CRC включена ($CRC=1$), оптимизация скоростей выключена ($DE=0$);
- скорость кодирования CR – 4/5;
- пакеты передаются только от конечных устройств и без подтверждения доставки;
- допустимая вероятность потери пакетов из-за коллизии P_{LOSS} – 5%;
- совмещение по времени в одном радиоканале двух пакетов от различных источников будет считаться коллизией независимо от используемых коэффициентов расширения спектра SF.

Модель трафика такого радиошлюза LoRa можно считать эквивалентным восьми одноканальным системам массового обслуживания с отказами. Данная модель изображена на рисунке 18 [17].

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		40

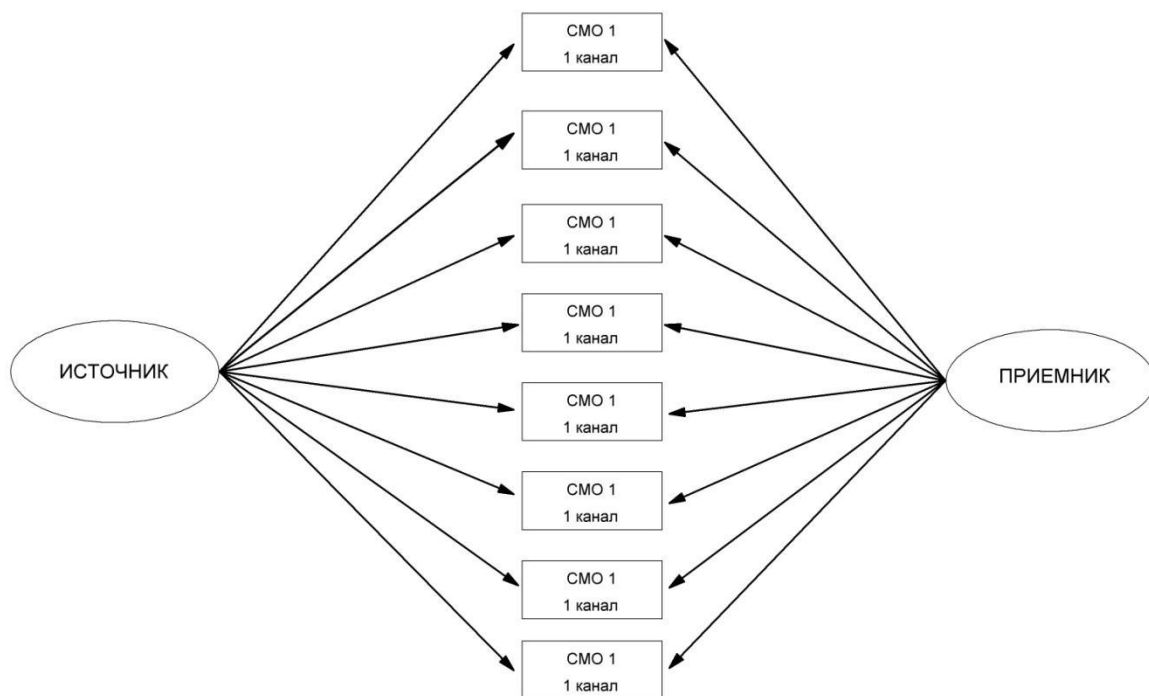


Рисунок 18 – Трафиковая модель радиощлюза LoRa

В этом случае время передачи одного пакета ($T=T_{ULpacket}$) для разных коэффициентов SF (Spreading Factor) определяется данными из таблицы 6, а допустимое количество пакетов в сутки на радиощлюз LoRa будет определяться следующим образом:

$$Throughput = N_f \times \frac{24 \times 3600 \times G_{5\%}}{T}, \quad (9)$$

где интенсивность поступления пакетов G равно $G=0.0256$, при вероятности потери пакетов из-за коллизии $P_{LOSS}=5\%$.

Результаты расчетов при различных коэффициентах расширения спектра SF приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов пропускной способности сети при различных SF

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Вероятность коллизии	P	5	5	5	5	5	5
Кол-во частотных каналов	N_f	8	8	8	8	8	8
Кол-во пакетов на устройство в сутки	$N_{EN\text{packets}}$	24	24	24	24	24	24
Длительность передачи одного UL-пакета	$T_{UL\text{packet}}$, мс	59,65	109,06	197,63	354,30	708,61	1253,38
Нагрузка на 1-й канал, Эрл	A	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256
Кол-во пакетов на LoRa-шлюз в сутки, тыс.шт	$N_{LG\text{packets}}$	297,19	162,55	89,70	50,03	25,02	14,14
Кол-во устройств на LoRa-шлюз, тыс.шт	N_{EN}	12,38	6,77	3,74	2,08	1,04	0,59

При использовании режима с подтверждением получения сетевым сервером каждого пакета от конечного устройства с передачей этикетки подтверждения в первом временном окне приема, в качестве времени передачи одного сообщения можно использовать суммарное время передачи пакета данных конечным устройством и передачи этикетки подтверждения. Результаты расчетов для различных коэффициентов (SF) приведены в таблице 9. Под нагрузкой на первый канал имеется в виду доля задействования первого канала для передачи трафика и измеряется данная величина в эрлангах [18].

Таблица 9 – Результаты расчетов при режиме подтверждения получения пакетов

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Вероятность коллизии	P	5	5	5	5	5	5
Кол-во частотных каналов	N_f	8	8	8	8	8	8
Кол-во пакетов на устройство в сутки	$N_{EN\text{packets}}$	24	24	24	24	24	24

Окончание таблицы 9

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Длительность передачи одного UL-пакета	$T_{ULpacket}$, мс	59,65	109,06	197,63	354,30	708,61	1253,38
Длительность передачи одного DL-пакета	$T_{DLpacket}$, мс	39,17	68,10	136,19	231,42	462,85	925,70
Нагрузка на 1-й канал, Эрл	A	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256
Кол-во пакетов на LoRa-шлюз в сутки, тыс.шт	$N_{LGpackets}$	179,35	100,07	53,10	30,26	15,13	8,14
Кол-во устройств на LoRa-шлюз, тыс.шт	N_{EN}	7,47	4,17	2,21	1,26	0,63	0,34

На рисунке 19 изображен график пропускной способности сети LoRa в зависимости от коэффициента расширения спектра SF (Spreading Factor).

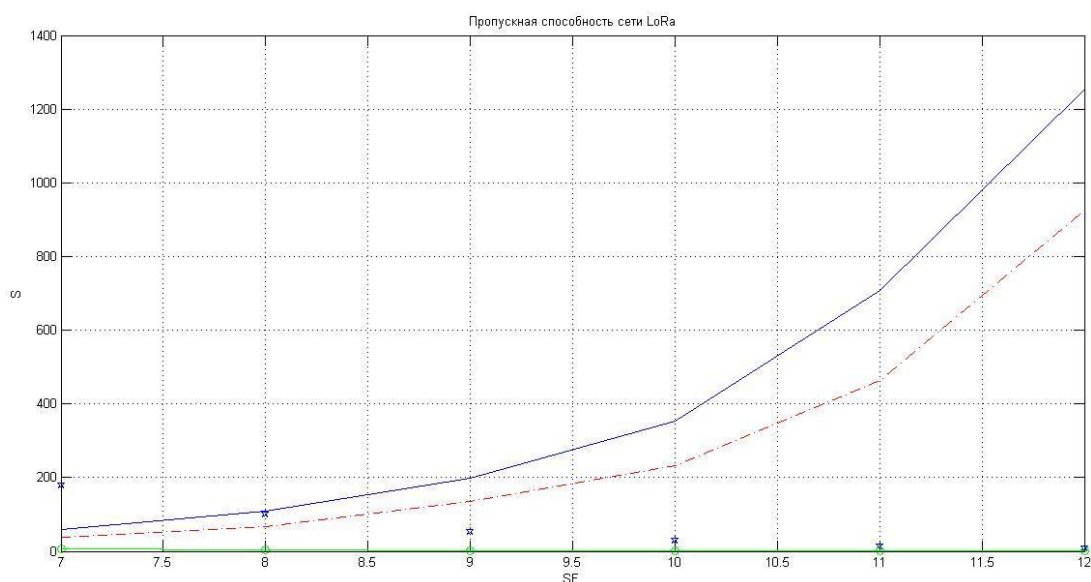


Рисунок 19 – график зависимости пропускной способности сети от SF

Время передачи пакетов по сети LoRa, а также емкость сети определяются используемым для передачи коэффициентом расширения спектра, а в конечном итоге – качеством сигнала сети. Так, длительность передачи одного up-link пакета

с полезной нагрузкой 10 байт при минимальном коэффициенте расширения спектра SF=7 составляет 59,65мс, а при максимальном, когда коэффициент SF=12 – 1 253,38мс.

Таблица 10 – Сводные данные по емкости одного LoRa-шлюза

Трафиковая модель радиошлюза LoRa	Коэффициент расширения спектра SF	Емкость шлюза LoRa	
		Кол-во пакетов в сутки	Кол-во устройств
Модель без подтверждения доставки	SF 7	297 193	12 383
	SF 8	162 549	6 773
	SF 9	89 697	3 737
	SF 10	50 033	2 085
	SF 11	25 017	1 042
	SF 12	14 143	589
Модель с подтверждением доставки	SF 7	179 394	7 475
	SF 8	100 066	4 169
	SF 9	53 103	2 213
	SF 10	30 265	1 261
	SF 11	15 132	631
	SF 12	8 135	339

В результате расчетов были получены значения, которые подтверждают целесообразность внедрения технологии LoRaWAN при реализации концепции «Умный город» в сетях Internet of Things. Трафиковая модель радиошлюза (базовой станции) LoRa может быть реализована как модель с подтверждением доставки пакета данных, так и модель без подтверждения доставки пакета данных. Время передачи пакета при SF=7 составила 59,65 мс при полезной нагрузке 10 байт, что является оптимальным вариантом в плотной городской застройке.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

5.1 Расчет капиталовложений

Общие капитальные вложения на приобретение оборудования могут быть вычислены по формуле:

$$K_{об} = \sum_{i=1}^N K_i, \text{ руб,} \quad (10)$$

где $K_{об}$ – суммарный объем затрат на оборудование; K_i – общая стоимость одной позиции (типа оборудования); N – количество позиций.

Актуальные цены оборудования взяты с нижеуказанных источников [23].

Таблица 11 – Смета затрат на приобретение оборудования

Наименование	Количество единиц	Стоимость (руб.)	
		За единицу	Всего
Базовая станция «БС-2» ВЕГА	20	27 000	540 000
Маршрутизатор Cisco 7606	1	107 226	107 226
Блок питания (АС) для Cisco 7606	1	58 126	58 126
Блок вентиляторов для Cisco 7606	1	32 789	32 789
Коммутатор Cisco ME 3400G-12CS.	1	300 816	300 816
Сервер HP Proliant DL585R1	1	420 000	420 000
ПО Сервера «Vega Server»	1	42 300	42 300
Итого			1 501 257

Суммарный объем затрат на приобретение оборудования составит:

$$K_{об} = \sum_{i=1}^N K_i = 1\,501\,257, \text{ руб.}$$

Далее нужно посчитать общие капитальные вложения на линейные сооружения. Актуальные цены на материалы взяты с нижеуказанных источников:

Таблица 12 – Общие капитальные вложения на линейные сооружения

Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость за единицу	Общая стоимость
Кабель волоконно-оптический ДКП-7-6z-4/24	м	23000	31,13	715 990
Патч-корд оптический одномодовый дуплексный FC-LC длиной 3 м	шт.	20	257	5 140
Итого				721 130

Общие затраты на прокладку кабеля можно посчитать по следующей формуле:

$$K_{каб} = L * Y \quad (11)$$

где L – длина трассы прокладки кабеля; Y – стоимость 1 км. прокладки кабеля.

Суммарный объем затрат на прокладку кабеля:

$$K_{каб} = L * Y = 23000 * 250 = 5\,750\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие капитальные вложения рассчитываются по следующей формуле:

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		46

$$KB = K_{об} + (K_{пр} + K_{тр} + K_{смп} + K_{т/у} + K_{зср} + K_{нпр})K_{об} + K_{каб}, \text{ руб.}, \quad (12)$$

где $K_{пр}$ – Затраты на приобретение оборудования; $K_{тр}$ – транспортные расходы в т.ч. таможенные расходы (4% от $K_{пр}$); $K_{смп}$ – строительно-монтажные расходы (20% от $K_{пр}$); $K_{т/у}$ – расходы на тару и упаковку (0,5% от $K_{пр}$); $K_{зср}$ – заготовительно-складские расходы (1,2% от $K_{пр}$); $K_{нпр}$ – прочие непредвиденные расходы (3% от $K_{пр}$).

Общее капитальное вложение составит:

$$KB = 2\,653\,247, \text{ руб.}$$

5.2 Калькуляция эксплуатационных расходов

Состав персонала, который обслуживает сеть и оборудование представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав персонала по обслуживанию оборудования

Наименование должности	Оклад	Количество человек	Сумма з/п руб.	ФОТ	СВ
Ведущий инженер	30 000	1	30 000	360 000	108 000
Инженер 1 категории	25 000	2	50 000	600 000	180 000
Инженер-программист	20 000	2	40 000	480 000	144 000
Монтажник	25 000	5	125 000	1 500 000	450 000
Итого		10	245 000	2 940 000	882 000

2.1 Годовой фонд оплаты труда для персонала:

$$ФОТ = \sum_{i=1}^K (T * P_i * I_i) * 12, \text{ руб.} \quad (13)$$

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		47

2.2 Страховой взнос:

$$CB = \Phi OT * 0,3, \text{ руб} \quad (14)$$

2.3 Амортизация:

$$AO = T / F, \text{ руб} = 1\,501\,257 * 0.105 = 157\,631, \text{ руб.} \quad (15)$$

2.4 Материальные затраты:

а) затраты на электроэнергию:

$$Z_{\text{эн}} = T * 24 * 365 * P = 3.69 * 24 * 365 * 12 = 387\,892, \text{ руб.} \quad (16)$$

б) затраты на материалы и запасные части:

$$Z_{\text{мв}} = KB * 0,035 = 2\,653\,247 * 0.035 = 92\,863, \text{ руб.} \quad (17)$$

2.5 Общие материальные затраты:

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{эн}} + Z_{\text{мв}} = 387\,892 + 92\,863 = 480\,756, \text{ руб.} \quad (18)$$

2.6 Прочие расходы

а) общие производственные затраты:

$$Z_{\text{пр}} = \Phi OT * 0,15 = 2\,940\,000 * 0.15 = 441\,000, \text{ руб.} \quad (19)$$

б) эксплуатационно-хозяйственные затраты:

$$Z_{\text{эк}} = \Phi OT * 0,25 = 2\,940\,000 * 0.25 = 735\,000, \text{ руб.} \quad (20)$$

В таблице 14 показаны годовые эксплуатационные расходы

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		48

Таблица 14 – Годовые эксплуатационные расходы

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.	Удельный вес статей, %
ФОТ	2 940 000	52.16
Страховые взносы	882 000	15.67
Амортизационные отчисления	157 631	2.79
Материальные затраты	480 756	8.52
Прочие расходы	1 176 000	20.86
Итого	5 636 387	100

В связи с существованием местного оператора сети «ТМ Cell», был подписан договор на аренду канала связи на 10 лет. Аренда канала будет составлять 10 000 руб. в месяц. Годовая стоимость аренды канала составит:

$$Z_{\text{ар.год}} = Z_{\text{ар.мес}} \times 12 = 10\,000 \times 12 = 120\,000 \quad (21)$$

Таблица 15 – Общие показатели затрат на внедрение технологии

Показатели	Численные значения
Капитальные затраты, руб	2 653 247
Ежегодные эксплуатационные расходы, руб, в том числе:	5 636 387
Расходы на оплату производственной электроэнергии	387 892
Расходы на материалы, запасные части и текущий ремонт	92 863
Фонд оплаты труда	2 940 000
Страховые взносы	882 000
Амортизационные отчисления	157 631
Общие производственные расходы	441 000
Расходы на аренду канала связи, руб.	120 000

Калькуляция доходов. Внедрение технологии LoRaWAN обеспечит оптимизацию работы системы ЖКХ. Например, многочисленные датчики позволяют собирать большие объёмы данных, которая затем может быть использована для выявления проблем и их устранения. Системы могут

отслеживать состояние оборудования, объёмы потребления ресурсов, а затем предлагать варианты улучшения. Например, они могут подсказать, как лучше настроить уличное освещение, чтобы электроэнергия не расходовалась впустую.

В результате данная технология способствует высвобождению ресурсов. Зарубежный опыт показывает, что потребление энергетических и водных ресурсов может быть снижено на 15-30 %. Неучтенный расход воды и ее утечка за год составляет примерно 22 % от всего объема подачи воды по всему Туркменистану. Фактические потери электроэнергии по стране достигают 90 млрд. кВт*ч – это 10,5 % отпуска в сеть. Система, основанная на комплексном мониторинге, учете и контроле данных, способствует снижению расходов на эксплуатацию сети, а также повышению эффективности работы, если вдруг возникнет аварийная ситуация [18].

Таблица 16 – Косвенные доходы и снижение расходов от внедрения

Показатели	Численные значения
Сокращение расходов на воду и электроэнергию, руб.	22 000 000
Косвенный доход от продаж услуг, руб. в том числе	315 000
Использование сети для СКУД, руб. в год	100 000
Умная парковка, руб. в год	125 000
Контроль выброса отходов, руб. в год	90 000

В таблице 16 показано насколько снизятся расходы от внедрения технологии LoRaWAN при реализации концепции «Умный город» в сетях Internet of Things. Внедрение данной технологии поспособствует также оптимизации работы системы жилищно-коммунального хозяйства. А также можно получать доходы от продаж услуг, таких как использование сети для системы контроля управления доступом, умная парковка, контроль выброса отходов, управление уличным освещением.

6 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ LoRaWAN

6.1 Организация работы по охране труда

Общие положения. В зависимости от целей оценки функционирования системы управления охраной труда выполняют различные виды контроля требуемых критериев охраны труда, анализируют и оценивают результаты проверки, разрабатывают мероприятия по улучшению значений соответствующих критериев охраны труда.

Выполняемые процедуры контроля и оценка эффективности системы управления охраной труда, а также ее элементов являются основой разработки соответствующих мероприятий по улучшению условий труда.

Процедуры контроля следует выполнять, привлекая персонал, прошедший обучение в области охраны труда.

Применяют следующие виды контроля:

- а) текущий контроль выполнения плановых мероприятий по охране труда;
- б) постоянный контроль состояния производственной среды;
- в) многоступенчатый контроль состояния условий труда на рабочем месте;
- г) проверку готовности организации к работе в осенне-зимнем периоде;
- д) реагирующий контроль;
- е) внутреннюю проверку (аудит) системы управления;
- ж) внешняя проверка (аудит) органом по сертификации с выдачей сертификата соответствия.

Основными видами оценок являются:

- а) статистическая отчетность о состоянии условий труда работников – сведения о состоянии условий труда и компенсациях за работу во вредных и (или) опасных условиях труда и о состоянии травматизма;

- б) расследование несчастных случаев, профессиональных заболеваний и инцидентов на производстве и их воздействие на деятельность по обеспечению

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		51

безопасности и охраны здоровья;

в) анализ производственного травматизма;

г) оценка результативности системы управления охраной труда и ее элементов.

В результате контроля, оценок и проверок определяют достигнутый уровень охраны труда и его соответствие запланированным показателям. Результаты контроля, оценок и проверок условий труда оформляют соответствующими протоколами.

Показатели результатов деятельности по обеспечению охраны труда зависят от размеров и характера (вида) деятельности организации и целей охраны труда.

Объективную оценку показателей безопасности труда получают с помощью контрольно-измерительного оборудования. В процедурах измерений и оценок показателей охраны труда следует устанавливать перечень необходимых измерений параметров, методы и точность их измерения; требования к калибровке и поверке средств измерений, а также обеспечение требуемых условий их сохранности.

Достоверность и сопоставимость результатов измерений достигается проведением измерений подготовленными специалистами с помощью аттестованных средств, их своевременной поверкой и калибровкой.

Процедуры контроля и измерения по охране труда следует разрабатывать, устанавливать и периодически анализировать. Обязанности, ответственность и полномочия по контролю должны быть распределены на различных уровнях управленческой структуры.

Регистрацию данных об условиях труда, ее передачу обеспечивают установлением порядка сбора, систематизации, ведения, хранения и передачи требуемых данных об условиях труда, ее соответствие законам и правилам по охране и безопасности труда и эффективности системы управления охраной труда.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		52

6.2 Экологическая безопасность проекта

Технологические процессы, происходящие в период эксплуатации оборудования планируемого при использовании в проекте, являются экологически чистыми, и не производят в процессе эксплуатации вредных выделений, излучений и промышленных отходов, загрязняющих окружающую среду.

Предусматриваемые стационарные герметизированные необслуживаемые аккумуляторы влияния на окружающую среду не оказывают.

Оборудование внутреннего расположения выполнено в заземленных, экранированных корпусах и внешних электромагнитных излучений не создает.

Проектируемая волоконно-оптическая линия связи согласно «Положению об оценке воздействия на окружающую среду в Туркменистане», «Руководству по экологической экспертизе предпроектной и проектной документации» не относится к экологически опасным объектам хозяйственной деятельности, т.к. энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия LoRa во время строительства и всего срока их эксплуатации не создают внешних вредных электромагнитных или иных излучений, вибраций, а материалы, используемые в конструкции оптических кабелей, не выделяют вредных химических веществ и биологических отходов.

При работе оборудования станции и аппаратуры, установленной на узлах связи, исключаются также шумы, вибрации и других вредных физических воздействий.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		53

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе было предложено внедрения концепции умного города на базе технологии LoRaWAN в г. Ашхабад. Цель данной работы достигнута, все задачи выполнены. А также был произведен анализ рыночных перспектив данной технологии по сравнению с конкурирующими технологиями, была посчитана сумма общих затрат на приобретение оборудования, установки и эксплуатации сети.

Расчеты показали, что внедрение сети LoRa поспособствует существенной экономии электроэнергии, воды, также оптимизирует работу системы ЖКХ г. Ашхабад, сократив расходы на потребление ресурсов ЖКХ. Расходы на электроэнергию сократятся приблизительно на 30 %, а расходы на воду – от 15 до 22 %. Также услуги сети можно продавать интеграторам, операторам других сетей, предпринимателям и т.д.

Для масштабирования сети LoRa, достаточно выполнить подключение настроенной БС к сетевому серверу через Ethernet или мобильные сети.

Исходя из проведенных расчетов и сравнения с конкурирующими технологиями энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия, технология LoRaWAN является наиболее подходящей современной технологий для внедрения IoT решения в систему ЖКХ города Ашхабада.

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		54

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. N.Sornin LoRaWAN™ Specification, LoRa Alliance [Текст] /M.Luis, T.Eirich, T.Kramp, O.Hersent// Version: V1.0, 2015 January.
2. Спецификация LoRaWAN [Электронный ресурс] //1234g.ru/ Официальный сайт технологии M2M – Режим доступа: <http://1234g.ru/novosti/novyj-standart-dlya-m2m-iot-reshenij-lorawan> (Дата обращения 14.02.18)
3. Классы конечных устройств [Электронный ресурс] //habr.com/ Официальный сайт технологии IoT решений – Режим доступа: <https://habr.com/company/efo/blog/316954/> (Дата обращения 08.03.18)
4. Концепция «Умный город», основные понятия, используемые технологии реализации концепции [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://robo-sapiens.ru/stati/umnyi-gorod/> (Дата обращения 09.03.18)
5. Технология LoRaWAN [Электронный ресурс] //gamma.spb.ru/ Официальный сайт LoRaWAN – Режим доступа: <http://gamma.spb.ru/media/pdf/masters2015/LORA> (Дата обращения 10.03.18)
6. Mobile Experts. White Paper for LoRa Alliance, 2015.
7. ETSI EN 300.220 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 1: Technical characteristics and test methods.
8. LoRaWAN – широкие возможности [Электронный ресурс] //iot.ru/ Официальный сайт Интернет вещей – Режим доступа: <https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-shirokie-vozmozhnosti-seti-dalnego-radiusa> (Дата обращения 11.03.18)
9. Сферы применения LoRaWAN [Электронный ресурс] //iot.ru/ Официальный сайт Интернет вещей – Режим доступа: <https://iot.ru/promyshlennost/top-5-sfer-primeneniya-lorawan> (Дата обращения 12.03.18)
10. Сравнение LoRaWAN с NB-IoT [Электронный ресурс] //iot.ru/ Официальный сайт Интернет вещей – Режим доступа:

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		55

- <https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-protiv-nb-iot-sravnenie-standartov> (Дата обращения 13.03.18)
11. LoRa против СТРИЖа – сравнение технологий [Электронный ресурс] [//iot.ru/](https://iot.ru/) Официальный сайт технологии IoT решений – Режим доступа: <https://iot.ru/gorodskaya-sreda/lora-protiv-strizha-sravnenie-tekhnologiy> (Дата обращения 14.03.18)
12. Что такое LoRaWAN? [Электронный ресурс] [//geektimes.com/](https://geektimes.com/) Официальный сайт компании Semtech – Режим доступа: <https://geektimes.com/company/nag/blog/296123/> (Дата обращения 14.03.18)
13. Интернет вещей – а что это? [Электронный ресурс] [//geektimes.com/](https://geektimes.com/) Официальный сайт компании Semtech – Режим доступа: <https://geektimes.com/post/149593/> (Дата обращения 15.03.18)
14. Умный город [Электронный ресурс] [//smartcity31.ru/](https://smartcity31.ru/) Официальный сайт концепции умный город – Режим доступа: <https://smartcity31.ru/> (Дата обращения 15.03.18)
15. Строительство сетей LoRa в РФ [Электронный ресурс] [//itechinfo.ru/](https://itechinfo.ru/) Официальный сайт Itechinfo – Режим доступа: <https://itechinfo.ru/> (Дата обращения 16.03.18)
16. Ёмкость LoRa сети [Электронный ресурс] [//www.thethingsnetwork.org/](https://www.thethingsnetwork.org/) Официальный сайт интернета вещей – Режим доступа: <https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/capacity-of-lora-gateway/5454> (Дата обращения 16.03.18)
17. Ёмкость LoRa сети [Электронный ресурс] [//blog.semtech.com/](https://blog.semtech.com/) Официальный сайт Semtech Corp – Режим доступа: <https://blog.semtech.com/understanding-the-lorawan-capacity-whitepaper> (Дата обращения 17.03.18)
18. Understanding the Limits of LoRaWAN [Электронный ресурс] [//arxiv.org/](https://arxiv.org/) Официальный сайт Itechinfo – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1607.08011.pdf> (Дата обращения 24.04.18)

19. C. Goursaud, , and J. M. Gorce, “Dedicated Networks for IoT: PHY/MAC State of the Art and Challenges,” EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, vol. 15, no. 1, Oct. 2015.
20. Analysis of the Capacity and Scalability of the LoRa Wide Area Network Technology [Электронный ресурс] //itechinfo.ru/ Официальный сайт Itechinfo
Режим доступа: <https://itechinfo.ru/> (Дата обращения 25.04.18)
21. Базовые станции LoRa производства компании «Вега-Абсолют» [Электронный ресурс] //iotvega.com/ Официальный сайт Вега-Абсолют –
Режим доступа: <http://iotvega.com/product/bs01> (Дата обращения 05.05.18)
22. Меры безопасности интернета вещей, технологии LoRaWAN [Электронный ресурс] //net868.ru/ Официальный сайт Сеть868 – Режим доступа:
<http://net868.ru/blog/197> (Дата обращения 07.05.18)
23. Оборудование Вега-Абсолют [Электронный ресурс] //iotvega.com/
Официальный сайт Вега-Абсолют – Режим доступа:
<http://iotvega.com/product/bs01> (Дата обращения 08.05.18)
24. Цены на волоконно-оптический кабель [Электронный ресурс] //www.all-lines.ru/ Официальный сайт волоконно-оптических линий связи – Режим доступа: <http://www.all-lines.ru/montazh-vols-ceny> (Дата обращения 08.05.18)
25. Цены на волоконно-оптический кабель [Электронный ресурс] //shop.nag.ru/
Официальный сайт волоконно-оптических линий связи – Режим доступа:
<https://shop.nag.ru/catalog/01898.Patch-kordy/12422.SM-FC-LC> (Дата обращения 08.05.18)

					11070006.11.03.02.638.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		57