

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

Пак А.К.

Применение технологий «Интернета вещей» для развития умного города

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ

канд.техн.наук
Е. Таштай
“ 05 ” “ 05 ” 2019г

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Применение технологий «Интернета вещей» для развития умного города

по специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

Выполнил



Пак А.К.

Рецензент

канд.техн.наук, профессор АУЭС

А.С. Байкенов

“ ” 2019г.



Научный руководитель

маг-р техн. наук, лектор

Г.М. Байкенова

“ 8 ” “ 05 ” 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ

канд.техн.наук
Е. Таштай
“08” “02” 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Пак Александру Климентьевичу

Тема Применение технологий «Интернета вещей» для развития умного города

Утверждена приказом Ректора Университета № 1162-б от “16” 10 2018г

Срок сдачи законченной работы “16” мая 2019г.

Исходные данные к дипломной работе: Материалы сети Интернет, концепции Интернета вещей, стандарты и протоколы передачи данных в IoT

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Анализ технологий «Интернета вещей»
- б) Импульсы развития Интернета вещей в Умном городе
- в) Расчетная часть

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Схема архитектуры сетей LoRaWAN 2. Схема учета услуг ЖКХ 3. Таблица потенциального рынка в Казахстане 4. Пропускная способность сети LoRa

Рекомендуемая основная литература:

1. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. «Интернет вещей».- Самара: ПГУТИ, АСТАРД 2014 г. 136 с

2. Роуз Д. «Будущее вещей: Как сказка и фантастика становятся реальностью.» Альпина нон-фикшн 2015 г/ 352 с.

3. Мачей Кранц «Интернет вещей. Новая технологическая революция.» ЭКСМО 2018 г. 330 с

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Анализ технологий «Интернета вещей»	8.02.2019	<i>Выполнено</i>
Импульсы развития Интернета вещей в Умном городе	20.03.2019	<i>Выполнено</i>
Расчетная часть	15.04.2019	<i>Выполнено</i>

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	<i>доктор Ид Таисафиевна К.Н</i>	<i>15.03.19</i>	<i>[Подпись]</i>

Научный руководитель _____ *[Подпись]* _____ Г.М. Байкенова
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся _____ *[Подпись]* _____ А.К. Пак
(подпись)

Дата " 16 " 10 2018г.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена вопросам, связанным с понятием «Интернета вещей» и его применением для развития «Умного города». Смарт сити или «Умный город» – это новая концепция по внедрению технологий (информационных и коммуникационных) для управления жизнью современного города. Технологии призваны улучшить жизнь населения городов, повысить уровень комфорта: снизить расходы электричества и воды, повысить качество обслуживания, оптимизировать работу всех служб города.

В дипломной работе показано практическое использование IoT в «Умном городе», применение технологии LoRaWAN, принцип работы сети. Изучен и проанализирован опыт применения протокола сети LoRaWAN в Казахстане на примере компании АО «Казахтелеком». Рассмотрен опыт города Акколь по внедрению технологий Интернета вещей в систему ЖКХ.

АҢДАТПА

Жұмыс "Ақылды қаланы" дамыту үшін "Заттар интернеті" ұғымына және оны қолдануға байланысты мәселелерге арналған. Смарт сити немесе "Ақылды қала" - бұл заманауи қаланың өмірін басқару үшін технологияларды (ақпараттық және коммуникациялық) енгізу жөніндегі жаңа тұжырымдама. Технологиялар қала халқының өмірін жақсартуға, жайлылық деңгейін арттыруға бағытталған: электр қуаты және су шығындарын азайту, Қызмет көрсету сапасын арттыру, қаланың барлық қызметтерінің жұмысын оңтайландыру.

Дипломдық жұмыста "Ақылды қалада" IoT-ты практикалық қолдану, LoRaWAN технологиясын қолдану, желінің жұмыс істеу принципі көрсетілген. "Қазақтелеком" АҚ компаниясының мысалында Қазақстанда LoRaWAN желісінің протоколын қолдану тәжірибесі зерделенді және талданды. ТКШ жүйесіне интернет заттарын енгізу бойынша Ақкөл қаласының тәжірибесі қарастырылды.

ANNOTATION

This work is devoted to the issues related to the concept of “Internet of Things” and its use in development and realization of “Smart city” project. “Smart city” is a brand new concept of implementation technologies (informational and communicational) for operating life of a modern city. Technologies are designed to improve life of citizens, increase level of comfort by reducing consumption of electricity and water, improve quality of service, and optimize work of all services of a city.

This diploma paper shows practical use of IoT in the “Smart City” project, use of the LoRaWAN technology, network operation concept. Experience of implementation of the LoRaWAN protocol in Kazakhstan was studied and analyzed from the experiment of Kazakhtelecom JSC. Experience of Akkol city on deployment of “Internet of things” technologies into system of the utilities sector was examined.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Анализ технологий «Интернета вещей»	10
1.1 История появления «Интернета вещей» и его сущность	10
1.2 Основные представители вендоров в области базового оборудования «Интернета вещей»	12
1.3 Практическое использование IoT в «Умном городе»	13
1.4 Актуальность темы. Задачи дипломной работы	14
2 Импульсы развития Интернета вещей в Умном городе	15
2.1 Технологии Умного города	15
2.2 Протокол LoRaWAN	17
2.3 Ключевые особенности применения технологии LORA	18
2.4 Принцип работы сети LoRaWAN	19
2.5 Преимущества сетей LoRaWAN	21
2.6 Архитектура сетей LoRaWAN	22
2.7 Оборудование, используемое для обслуживания сети	23
2.8 Сферы применения LoRaWAN	28
2.9 Состояние и перспективы развития протокола сети LoRaWAN в Казахстане	29
2.10 Анализ ситуации в системе ЖКХ в Казахстане	31
2.11 Акколь – город будущего	33
3 Расчетная часть	38
3.1 Обоснование эффективности LORA	38
3.2 Распространение радиоволн	39
3.3 Чувствительность приемника	41
3.4 Энергетический потенциал линии связи для технологии LORA	41
3.5 Емкость сети LoRa	42
Заключение	46
Перечень принятых сокращений, терминов	47
Список использованной литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

Концепция "Интернет вещей" – одна из тех новых идей, которые способны не только радикально изменить облик телекоммуникационной и информационной систем, но и существенно повлиять на образ жизни людей [1].

В моей дипломной работе рассматривается одна из самых актуальных тенденций развития информационных технологий – Internet of Things (IoT).

С каждым годом увеличивается количество устройств, подключенных к Сети. Внедрение «Интернета вещей» способствует развитию экономики и поднятию уровня жизни страны с минимальными инвестициями.

Технологии «Интернета вещей» несут в себе огромный потенциал, который, к сожалению, используется не в полной мере. Развитие Умных городов основано на применении этих технологий. В работе мне хотелось показать насколько эффективнее и выгоднее применение «Интернета вещей» в повседневной жизни, а также в масштабе государства. Насколько это поможет оптимизировать все процессы и получать выгоду, как в бытовом, так и в промышленном плане. Если «Интернет вещей» станет незаметной, но неотъемлемой частью жизни общества, не будет усложнять жизненные процессы, то можно будет говорить о полном и успешном его внедрении.

«Интернет вещей» ускорит развитие Умных городов. Сейчас в некоторых городах мы наблюдаем только начало этих процессов, но уже положительно оцениваем нововведения в сфере транспорта, коммуникаций, медицине и других областях жизни, хотя на начальных этапах было много скептицизма и недоверия.

«Интернет вещей» станет большой бизнес-площадкой. Поставщики услуг за небольшую оплату могут продавать свои услуги и получать прибыль. Это может стать статьей дохода бюджета государства.

Для наиболее полного понимания технологий в работе изучены передовые исследования в области развития «Интернета вещей» [2,3].

Также в работе представлены и проанализированы технологии, внедряемые в Казахстане, совместные проекты с зарубежными партнерами, достижения страны в сфере внедрения «Интернета вещей» в Умном городе и перспективы развития этих проектов.

1 Анализ технологий «Интернета вещей»

1.1 История появления «Интернета вещей» и его сущность

Сеть физических предметов («вещей»), подключенных к интернету и взаимодействующих с внешней средой или между собой обозначает термин «Интернет вещей». Происходит термин от английского Internet of Things, сокращенно IoT. Одним из первых IoT-устройств стал аппарат по продаже прохладительных напитков с использованием автоматизированных систем модернизированный студентами из Америки в 1982 году. Его наполняемость, а так же охлажденность напитков стало возможным проверять удаленно.

Чуть позже в 90-е годы заложена теоретическая база IoT, основанная на использовании искусственного интеллекта, мобильности и беспроводной передачи данных. Стремительное развитие технологий в нулевых, спровоцировало появление реализованных IoT проектов, возникли масштабные планы и идеи по созданию умных городов и усовершенствованию и автоматизации рутинных производственных процессов.

Впервые концепция и термин для беспроводной передачи данных сформулированы Кевином Эштоном – основателем исследовательской группы Auto-ID при Массачусетском технологическом университете в 1999 году. Суть концепции была представлена в презентации для руководства компании Procter & Gamble. Предлагалось использовать внедрение радиочастотных меток для видоизменения системы управления логистическими цепями для оптимизации работы корпорации.

Наглядные возможности концепции в бытовом применении были показаны в статье в Scientific American в 2004 году. В этой статье наглядно показано как бытовые приборы (кондиционеры, будильники, компьютеры), домашние системы (противопожарная система, система освещения, садового полива), тепловые датчики, датчики движения и «вещи», снабженные идентификационной меткой, взаимодействуют друг с другом посредством инфракрасных, беспроводных, силовых и слаботочных сетей. Все это позволяет сберегать энергию и управлять ее потреблением. Приборы напомнят о своевременном приеме лекарств, обеспечат своевременный полив, изменят освещенность и т.п.

Идеи домашней автоматизации были не новы, а вот объединение устройств и «вещей» в единую сеть, обслуживаемую интернет протоколами, приобрело широкую популярность.

По анализу корпорации Cisco 2008-2009 год считается «настоящим рождением «Интернета вещей»», так как в этот временной период количество устройств, подключенных к глобальной сети превысило численность населения земли. «Интернет людей» стал «интернетом вещей».

Начиная с 2011 года Gartner помещает «интернет вещей» в общий цикл зрелости новых технологий на этап «технологического триггера» с указанием

срока становления более 10 лет, а в 2012 году выпущен специальный цикл зрелости для технологий «интернета вещей».

На сегодняшний день технологии интернета вещей быстро внедряются во все сферы жизни общества. Активно используя различные устройства, мы облегчаем свою жизнь. Совершенствование устройств делают возможным их способными слышать, видеть, думать, а иногда и действовать.

Для скоординированной и эффективной работы устройства должны максимально корректно взаимодействовать друг с другом, чтобы быстро принимать решения, от которых может зависеть жизнь людей или безопасность зданий. Современные беспроводные технологии, различные встроенные датчики, новейшие технологии позволяют «Интернету вещей» поставленные задачи. Сегодня при существовании огромного числа производителей, технологий и устройств, возникает много проблем. Поэтому возникает необходимость создания и принятия специальных стандартов и протоколов связи.

Успешно разработанное приложение IoT включает в себя задачи по обеспечению мобильности: нужна налаженная работа протоколов маршрутизации, так как при перемещении IoT устройства изменяется IP-адрес; система должна быть надежной и быстро реагировать при сборе, передачи данных и принятии решений; обладать широкой возможностью расширения пользователей сети.

Сама концепция «Интернета вещей» предполагает, что к сети будут подключено миллионы устройств. Среди основных задач необходимо обеспечить оптимальное управление и доступность: быстро отслеживать сбои, конфигурации и производительность такого огромного количества устройств с помощью протоколов управления. Помимо этого необходимо обеспечить совместимость в сети: неоднородные устройства и протоколы должны работать друг с другом с учетом сохранения конфиденциальности и безопасности.

В сети «Интернета вещей» принята следующая модель: конечные устройства, датчики, сенсоры общаются друг с другом (так называемое взаимодействие D2D – Device to Device). Данные, собранные устройствами, отправляются на сервер для последующего анализа и обработки (взаимодействие D2S – Device to Server). Этот сервер может включать в себя несколько вычислительных машин или объектов, которым также необходимо общаться между собой (взаимодействие S2S – Server to Server). Для выполнения различных задач необходимо использование различных протоколов. Далее в дипломной работе будут приведены наиболее распространенные и перспективные протоколы на сегодняшний день, дано краткое описание каждому из них [4,5].

В нашей стране об «Интернете вещей» говорят давно. Понимая важность развития этой сферы, государство взяло под свой контроль несколько проектов под эгидой развития IoT. В настоящее время внедряются системы IoT в общественном транспорте и в системе жилищно-коммунального хозяйства.

Запущен пилотный проект под названием Smart City в четырех городах Казахстана – в Астане, Алматы, Актобе и Шымкенте.

Единый государственный фонд нормативных технических документов под руководством Министерства по инвестициям и развитию РК разработал регламент внедрения этих проектов. В 2015- 2016 годах было разработано 9 национальных стандартов, которые являются фундаментом основной политики и концепции. Данные стандарты охватывают ключевые сферы городской среды: руководство по созданию стратегий развития смарт-городов и сообществ, интеллектуальные инфраструктуры коммунального хозяйства, руководство по созданию моделей взаимодействия данных и др. В Казахстане, так же как и во всем мире, создаются проекты, связанные с IoT в области медицины, образования, строительства и т.п. [6].

1.2 Основные представители вендоров в области базового оборудования «Интернета вещей»

(Вендор) поставщик — это любое юридическое или физическое лицо, поставляющие товары или услуги заказчикам.

«Интернет вещей» очень востребованный рынок на сегодняшний день и большое количество вендоров торопятся закрепиться на переднем крае, стараясь выпускать все новые продукты. Для обеспечения работоспособности и взаимодействия всех составляющих Интернета вещей необходимы компоненты, находящиеся на том конце IoT-решений. Это встроенные шлюзы, модемы, роутеры, датчики и процессоры. Все крупнейшие компании по производству IoT оборудования создают целые системы вокруг своего продукта.

Рынок оборудования IoT обширен. Значительные инвестиции в разработку таких продуктов делают крупные компании, такие как Samsara и множество других. Не уступают им на рынке и другие вендоры – Cisco Systems, Dell Technologies, Hewlett Packard Enterprise и Intel, ARM. В 2016 году компания ARM была куплена японским телекоммуникационным концерном Softbank, но это не стало помехой в дальнейшем продвижении на рынок Интернета вещей. Ее линейки экономичных процессоров Cortex-R и Cortex-M прекрасно подходят для малых IoT-устройств.

Google Линейка «умных» термостатов Nest, поставляемых компанией Google, помогла идее IoT получить признание в потребительском сегменте. На сегодняшний день линейка Nest включает термостаты, пожарные сигнализаторы и камеры видеонаблюдения. Кроме того, компания предлагает облачную IoT-платформу Google Cloud.

Cisco Systems поставляет целый спектр оборудования для сетей связи IoT, помогая партнерам обеспечить надлежащую безопасность и строить приложения, используя прикладную среду IОх, и «периферийные» (fog)

приложения. Предложение Cisco включает шлюзы, коммутаторы промышленного класса и встроенные роутеры для IoT.

Intel хочет обрести позиции лидера во всё расширяющейся вселенной подключенных устройств, поставляя специализированные IoT-процессоры в линейках Quark, Atom и Xeon, и предлагает также комплекты разработчика и другой инструментарий для IoT.

В рейтинг крупнейших поставщиков включены 15 компаний, предлагающих самые важные компоненты оснащения IoT[7].

Все ведущие фирмы стимулируют развитие «Интернета вещей» и проникновение его в жизнь каждого человека.

1.3 Практическое использование IoT в «Умном городе»

Умный город (smart city) – это тесно взаимосвязанная система новейших информационных и коммуникативных технологий с интернетом вещей (IoT), для упрощения и оптимизации управлением процессов внутри города и улучшения качества жизни населения.

Умный город выполняет две важнейшие задачи:

- собирает и передает все данные представителям управления;
- налаживает взаимосвязь между горожанами и управлением города, а также благоустройство среды.

Преимущество умного города заключаются в повышении уровня жизни всех граждан и в уменьшении издержек всех процессов, благодаря автоматизации.

Термин «Умный город» появился недавно и стандартного определения этого понятия нет. Но эксперты сходятся в том, что главный источник управления – это данные о населении. Чем точнее и обширнее данные, тем больше возможностей для оптимизации и внедрению технологий. Улучшение функций цифрового города происходят за счет обновления и обработки сведений. Встроенные датчики собирают информацию с помощью электронных устройств и от жителей города. Эта информация собирается и анализируется, затем принимаются решения, устраняющая проблемы неэффективности

Компоненты системы интеллектуальных городов:

- видеонаблюдение и фотофиксация;
- интеллектуальные транспортные системы (ИТС);
- единая система экстренного вызова;
- единая диспетчерская служба и ситуационные центры;
- Интернет вещей (IoT);
- пятое поколение мобильной связи (5G).

Эти компоненты формируют модель цифрового города. Они используются для сбора и анализа информации, что оптимизирует работу

транспорта, связи, медицины, промышленности и других жизненно важных сфер [7,8].

1.4 Актуальность темы. Задачи дипломной работы

Урбанизация характерна для всех стран мира, включая Казахстан. Задача каждого государства обеспечить качество жизни, безопасность и комфорт. Эта тенденция характерна и для нас. По показателям урбанизации Казахстан является лидером среди стран Центральной Азии. Уровень достиг 60%. В рамках программы «Цифровой Казахстан» запланировано внедрение технологий умного города в пяти больших городах: Нур-Султан, Алматы, Шымкенте, Караганде и Актобе. В свете задач, определенных главой государства, диктуемых веяниями времени, актуальность темы неоспорима.

Целью моей дипломной работы является рассмотрение применения технологий «Интернета вещей» для развития умного города. В первой главе я рассмотрел следующие вопросы:

- понятие «Интернет вещей», его сущность, основные концепции;
- история возникновения «Интернета вещей»;
- основные вендоры и рынок оборудования «Интернета вещей»;
- понятие «Умный город», и какие задачи решает применение технологий «Интернета вещей» в нем.

Далее в своей работе я должен решить следующие задачи:

- рассмотреть основные технологии реализации «Интернета вещей», в том числе для Умного города;
- подробно изучить и описать протокол LoRaWAN: топология, архитектура, преимущества, оборудование, используемое для обслуживания сети, спектр применения;
- состояние и перспективы развития протокола сети LoRaWAN в Казахстане
- опыт АО Казахтелеком по внедрению технологий Умного города на примере города Акколь;
- проанализировать перспективы внедряемых проектов;
- выполнить соответствующие расчеты для сети LoRa.

2 Импульсы развития Интернета вещей в Умном городе

2.1 Технологии Умного города

При анализе концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT) оказалось, что наиболее востребованное и популярное направление развития – это концепция «Умный город» (Smart City). Главным принципом такого города будет являться внедрение новых информационных технологий и объектов Интернета вещей в городскую жизнь. Все эти новые технологии на современном этапе доступны Умным городам. Основная цель такого города обеспечить удобства и благосостояние жителей. Для этого потребуется решить определенный спектр задач. Населению нужно обеспечить безопасность, защищенность, повысить уровень комфорта, оптимизировать качество городских услуг, повысить уровень качества окружающей среды. Это всего лишь малая часть задач Умного города. Основой решения является внедрение концепции Интернета вещей.

Технологии Интернета вещей привлекают своей простотой. Приоритетная задача – выбрать такие, которые наиболее результативны. Необходимо будет также оснастить город большим количеством сенсоров и датчиков, а также синхронизировать их работу. Это является важным этапом развития города через Интернет вещей.

Умный город включает в себя следующие компоненты:

- управление энергосбережением и водоснабжением (умное ЖКХ),
- обеспечение качественной связи и цифровизация всех источников информации,
- охрану окружающей среды,
- утилизацию отходов,
- обеспечение безопасности граждан,
- электронное образование и здравоохранение,
- управление городом.

Ключевую роль в развитии «Интернета вещей» в Умном городе играют технологические решения межмашинных коммуникаций (M2M). Данная технология – это общее название технологий, позволяющая машинам обмениваться информацией друг с другом. В основе современной беспроводной технологии M2M используется стандартная GSM-связь и обычные SIM-карты. Последние 10 лет технология получила огромное развитие. Рынок M2M находится в постоянном росте. Чаще всего решения M2M используются в транспортных средствах, электронике, энергетике. В некоторых странах кейсы M2M успешно применяются в медицине.

M2M (machine-to-machine) означает «от машины к машине». Это значит, что передача данных осуществляется между устройствами: с датчиков в центры обработки. Система M2M состоит из оборудования, периферийных узлов и программного обеспечения. Периферийные узлы включают в себя различные

датчики. Информация с датчиков преобразуется в цифровые сигналы и передается по сети с помощью коммуникационного оборудования. Анализируются данные с помощью программного обеспечения. Главным преимуществом M2M является то, что система не требует вмешательства человека.



Рисунок 2.1 – M2M Схема взаимодействия

Технологии, используемые для передачи трафика Интернета вещей разнообразны и охватывают как беспроводные так и проводные сети.

Беспроводная сенсорная сеть – самоорганизующаяся сеть, состоящая из множества сенсоров и исполнительных устройств, объединенных посредством радиоканала.

Беспроводные сети Интернета вещей делятся по типам:

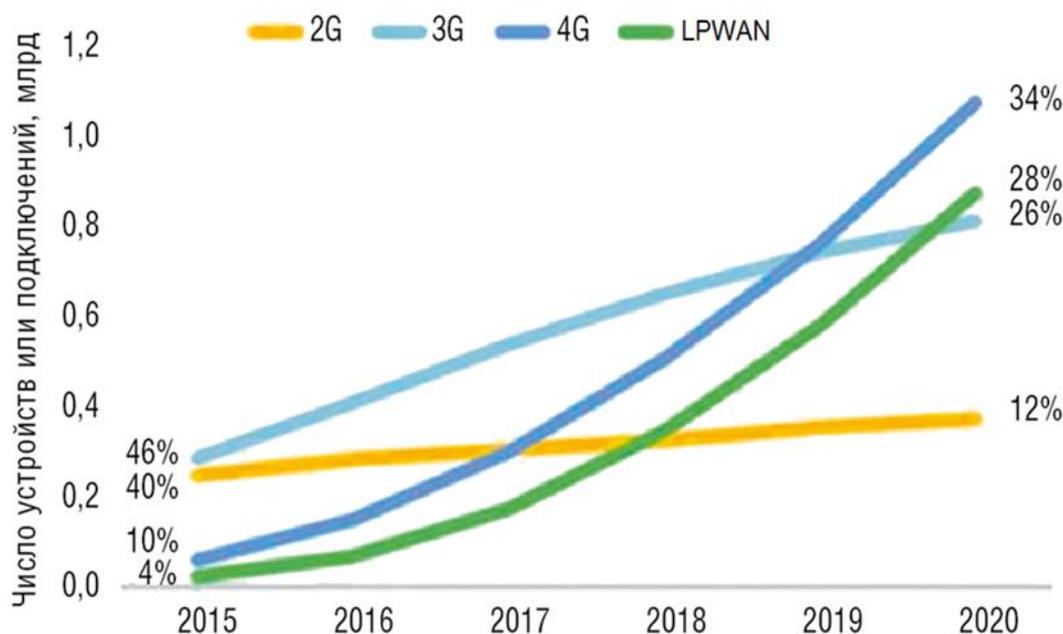
- Low Power Short Range Networks – энергоэффективные сети малого радиуса действия;

- Low Power Wide Area Networks (LPWAN) – энергоэффективные сети большого радиуса действия;

- Cellular Network – технологии, основанные на использовании стандартов сотовых сетей в лицензируемом диапазоне.

Из проводных технологий важную роль в проникновении Интернета вещей играют решения PLC — технологии, используемые сети по линиям электропередач, потому что во многих различных устройствах существует доступ к электросетям. Это и различные торговые автоматы, банкоматы, счётчики, датчики освещения, подключенные к сети энергосбережения. [9,10].

Большинство технологий в будущем будут использованы в реализации Интернета вещей.



Источник: Cisco VNI 2016

Рисунок 2.1 – Данные компании Huawei по выбору различными операторами технологий построения сетей IoT

2.2 Протокол LoRaWAN

В марте месяце 2015 года Semtech Corporation сделали заявление о новом и важном достижении в сфере технологий беспроводной передачи данных. Они презентовали сетевой энергоэффективный протокол LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks).

Этот протокол обеспечивает массу преимуществ в отличии от Wi-Fi и сотовыми сетями, благодаря применению технологий M2M (межмашинных коммуникаций). На рынке беспроводной связи технология вызвала огромный интерес у производителей и вендоров. Для ее поддержки, развития и стандартизации создан альянс LoRa (LoRa Alliance). В настоящее время альянс развивается, количество его членов постоянно увеличивается. За последние три года альянс увеличился более чем на 500 компаний. Членами альянса стали компании по производству устройств, технологий и различных сервисов. В состав альянса вошли всемирно известные производители электроники: Cisco, IBM, Kerlink, IMST, Semtech, Microchip Technology, - а также ведущие телекоммуникационные операторы (Bouygues Telecom, KPN, SingTel, Proximus, Swisscom).

Была сформулирована основная задача альянса: объединить аппаратное и программное обеспечение на базе стандарта LoRaWAN. Это позволит операторам связи предоставлять услуги Интернета вещей коммерческим организациям и частным фирмам. Использование данного

стандарта даст возможность в значительной мере упростить соединение растущего количества устройств. Технология LoRa относится к классу LPWAN, дает возможность проникать сигналу вглубь помещений в городе, а также стабильно обеспечит покрытие зоны в сельской местности. Все это даст возможность реализовать на базе LoRa разрабатывать и совершенствовать различные приложения для Умного города.

Semtech Corporation – один из основателей LoRa Alliance, а также производитель своих устройств LoRa и беспроводной радиочастотной технологии LoRa и сетей LoRaWAN.

LoRa-технология и метод модуляции.

LoRaWAN — это открытый протокол для сетей, которые обладают высокой емкостью (около 1 миллиона устройств), низким энергопотреблением и большим радиусом действия (до 15 км на открытой местности). Данный протокол обеспечивает связь между узлами сети и использует особые методы шифрования, что обеспечивает надежность и безопасность системы.

Воплощение сценария развития Интернета вещей является концепция развития Умного города. Что же такое Умный город? Это амбициозная градостроительная концепция, подразумевающая оптимизацию и рационализацию управления всеми городскими системами. Основным объектом Умного города является умное ЖКХ. Все элементы этого комплекса связаны: это и теплоснабжение, газоснабжение, электроснабжение, базы техобслуживания и т.д. Контроль за всеми системами города становится возможным благодаря применению новых технологий. Именно технология LoRa поможет решить множество задач по обслуживанию Умного города. Далее подробно представлен протокол LoRaWAN. Продемонстрированы его возможности и преимущества в применении в Умном городе.

2.3 Ключевые особенности применения технологии LORA

Разрабатывая сети беспроводных датчиков, большое значение придается максимальной дальности радиосвязи, чтобы обойтись без дополнительных ретрансляторов сигнала. Это сократит затраты и упростит топологию. Поэтому основным параметром, характеризующим эффективность системы является бюджет канала связи. Он состоит из чувствительности приемника и мощности передатчика. Высокая чувствительность (-148 дБм) – одна из важнейших характеристик LORA-устройств, которая достигается благодаря LORA-модуляции (таблица 2.1).

При таком способе модуляции используется технология расширения спектра, при этом данные будут кодироваться широкополосными ЛЧМ-импульсами с частотой, увеличивающейся или уменьшающейся на некотором временном интервале. Это решение дает приемнику устойчивость к

отклонениям частоты от номинального значения и значительно упрощает требования к тактовому генератору.

Таблица 2.1 – Отношение сигнал/шум для различных методов модуляции

Тип модуляции	Отношение сигнал/шум, дБ
LoRa SF=12	-20
LoRa SF=10	-15
GMSK	9

Если учесть максимально разрешенную выходную мощность трансиверов, бюджет канала будет 168 дБ, и это позволит образовать линию связи на больших расстояниях. Это составит до 15 км за чертой города и около 5 км в плотнозастроенной городской среде. При использовании интеллектуальных приборов учета с другим видом модуляции дальность передачи данных составляет около 2 км. Передатчики LORA со сверхдальним радиусом действия обеспечивают простоту развертывания сети. Они используют топологию «звезда», и эта простейшая архитектура не требует передачи данных через ретрансляторы. В такой сети можно точно рассчитать длительность работы всех узлов во время автономной работы. Это делает ее универсальной для применения в разных приборах учета. Также трансиверы конечных узлов имеют очень низкое энергопотребление, что делает их уникальными для устройств с батарейным питанием. При развертывании такой сети с огромным количеством узлов, важна также совместимость.

Развертывание сети обладает низкой стоимостью, так как отсутствуют ретрансляторы, используется нелицензированный диапазон, доступен бесплатный протокол. Это является решающим фактором для использования систем на территории страны.

Таким образом, ключевыми особенностями технологии LoRa являются:

- 1) высокая чувствительность приемника;
- 2) низкое энергопотребление;
- 3) высокая релейная защита приемника;
- 4) упреждающая система коррекции ошибок в условиях импульсных помех.

2.4 Принцип работы сети LoRaWAN

Стандарт LoRaWAN на рынке сетевых приложений относительно недавно, но уже есть масса примеров его применения. На рисунке 2.2 показано, как станция LoRa - Интернет вещей производит сбор данных с оконечных узлов. Эти узлы посредством шлюзов образуют невидимые мосты, они соединяются с центральным сервером. Конечные узлы принадлежат абонентам, а центральный сервер и шлюзы контролирует оператор.

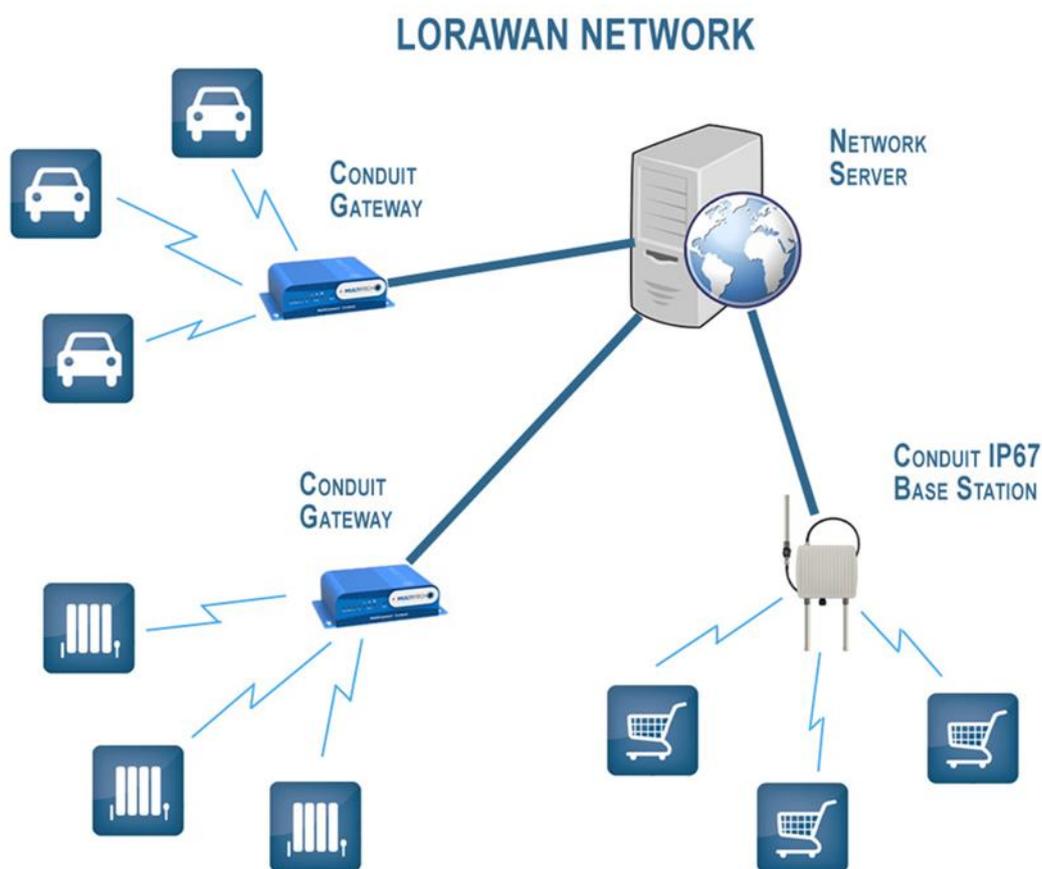


Рисунок 2.2 – Типовая беспроводная сеть LoRaWAN

LoRaWAN –это глобальная сеть. Поэтому главная задача разработчиков обеспечить защиту данных пользователей. Для этого проводится кодирование на нескольких уровнях: на сетевом уровне, сквозная безопасность на уровне приложений.

Типовая беспроводная сеть LoRaWAN представляет собой совокупность шлюзов (gateways), пересылающих сообщения между окончными устройствами (end-devices) и центральным сервером (Network Server, NS), и характеризуется «звездной» топологией «star-of-stars» приложений.

Шлюзы иногда называют концентраторами и базовыми станциями, а окончные устройства называются motes. Связь шлюзов и центральным сервером происходит через стандартные IP-соединения и между шлюзами и окончными устройствами через беспроводные соединения. Весь процесс предназначен для низкоскоростной беспроводной передачи данных в нелицензионных диапазонах частот на большие расстояния. Связь является двусторонней, но основной объем данных передается от окончных устройств к шлюзам. В сети LoRaWAN предусмотрено использование трех классов устройств. Они используются для решения разных задач в зависимости от области применения.

1 Двухнаправленные конечные устройства «класса А» (Bi-directional end-devices, Class A). Эти конечные устройства применяются, когда нужна минимальная потребляемая мощность при передаче данных на сервер.

2 Двухнаправленные конечные устройства «класса В» (Bi-directional end-devices, Class B). Отличительная особенность от класса А – дополнительное окно приема. Его устройство открывается по расписанию. Это значит, что передача данных с сервера будет осуществляться только тогда, когда конечное устройство выйдет на связь. Составление расписания для конечного устройства осуществит синхронизацию по сигналу от шлюза.

3 Двухнаправленные конечные устройства «класса С» (Bi-directional end-devices, Class C). У этих устройств максимальное окно приема. Они предназначены для получения большого объема данных и имеют почти непрерывное окно приема данных. Таким образом, 1 шлюз сети обслуживает около 5 тысяч конечных устройств.

2.5 Преимущества сетей LoRaWAN

Сети LoRaWAN работают в диапазоне частот, которые не требуют лицензирования. Они обладают высокой помехоустойчивостью. Срок службы аккумулятора около 10 лет. Одна базовая станция обслуживает десятки тысяч устройств.

У сети много преимуществ.

Срок службы батареи. Обмен данными происходит асинхронно и только тогда когда есть необходимость. В обычных сетях устройства «просыпаются», синхронизируются с сетью, проверяют сообщения. Весь процесс приводит к расходу электроэнергии и износу аккумулятора. Срок службы батареи в 3-5 раз выше, чем в других технологиях.

Емкость сети. Для того чтобы обеспечить оптимальную работу сети шлюз должен обладать очень высокой пропускной способностью или получать информацию с огромного числа конечных устройств. Большая емкость сети LoRaWAN достигается за счет использования самонастраивающейся скорости передачи данных, а также за счет использования многоканального передатчика в шлюзе. Это обеспечивает одновременное получение сообщений на нескольких каналах.

Шлюзы дают возможность по одному каналу одновременно получать информацию с устройств с разной скоростью передачи данных. Адаптивная скорость передачи данных также увеличивает время работы аккумулятора.

Сети LoRaWAN разворачиваются с минимальным количеством инфраструктуры. При увеличении количества устройств в сети, возможно изменение скорости передачи данных, а также увеличение количества шлюзов.

Устойчивость к радиопомехам. Сеть обладает большой проникающей способностью радиосигнала. Она обеспечит стабильную связь, где другим технологиям не справиться. Модемы LoRa может подавлять помехи до 19, 5 дБ(Гауссова фильтрация). Эта возможность подавления помех позволит использовать систему в современном большом городе.

2.6 Архитектура сетей LoRaWAN

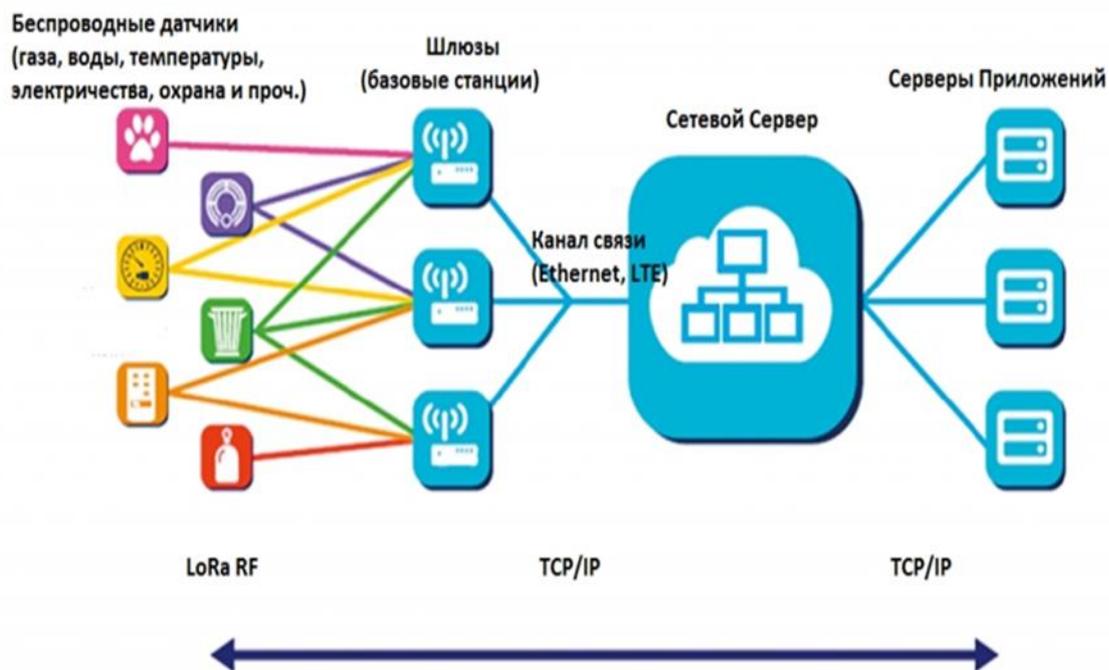


Рисунок 2.3 – Архитектура сетей LoRaWAN

Сам термин «топология сети» обозначает способ соединения устройств в сеть. По другому еще ее называют структурой или конфигурацией сети. Она определяет места размещения устройств, способ прокладки кабелей, оборудования. На современном этапе используют несколько топологий. Наиболее часто «шина», «кольцо», «звезда». В архитектуре сетей LoRaWAN используется топология «звезда». Это топология для локальной сети, в которой каждое устройство присоединено к центральному устройству. При построении сетей LoRaWAN эта топология стала основной. Это произошло потому что данная топология обладает многими достоинствами: если одна рабочая станция выходит из строя, то это не отразится на работе сети, прекрасная масштабируемость, достаточно легко встраивается новое оборудование.

В LoRaWAN-сети шлюзы передают данные, которые получены с конечных устройств на центральный сервер (сетевой сервер). Все данные зашифрованы. Конечные устройства содержат набор датчиков. Далее данные идут на сервер приложений, а оттуда к конечному пользователю. Конечные устройства выполняют функции измерения, управления и контроля.

Шлюз LoRaWAN или базовая станция принимает данные от конечных устройств по радиоканалу. Несколько таких базовых станций обеспечат большую зону покрытия, а также передачу данных между сервером и конечными узлами.

Сервер сети нужен для управления всей сетью. Он задает расписание, отвечает за прием, хранение и обработку данных, занимается адаптацией скорости.

Сервер приложений занят сбором данных с конечных узлов и ведет удаленный контроль за их работой [11].

2.7 Оборудование, используемое для обслуживания сети

С развитием технологий «Интернета вещей» мы все больше сталкиваемся с необходимостью внедрения наиболее эффективной беспроводной сети. Существующие технологии не могут обеспечить растущие потребности.

Цель такой технологии – предоставление качественной связи по передаче информации. Важным моментом является выбор оборудования. Чем правильнее подбор, тем надежнее функционирование сети. Так же немаловажный момент заключается в том, что нужно предусмотреть дальнейшую модернизацию. Это направление очень популярно среди производителей технологий Интернета вещей. Рынок предложений обширен, о чем уже говорилось выше.

В нашей стране представителем производства оборудования LoRaWAN является компания «Орион Система». Компания производит радиомодули, базовые станции, а также разрабатывает программное обеспечение Orion Network Server. В работе представлено оборудование, произведенное этой компанией и уже зарекомендовавшее себя. Также представлено оборудование, произведенное другими производителями.

Базовые станции, производства ORION предназначены для передачи различных данных по каналу радиосвязи от датчиков, приборов учета, уличного и домашнего освещения, приборов навигации, систем сигнализаций по протоколу LoRaWAN. Информация передается на центральный сервер.

С помощью настроенной базовой станции очень легко нарастить сеть. Нужно просто настроенную базовую станцию подключить через интернет. Станция должна занимать доминирующую высоту. Если еще одна базовая станция будет расположена выше, то станция будет простаивать и занимать место в эфире. Так что устанавливая базовые станции необходимо рассчитать их количество на территорию.



Рисунок 2.4 –Шлюз LoRaWAN



Рисунок 2.5 – Базовая станция ORION gateway

Модули.

Модуль- это информационные ресурсы, подключенные к программе. Он объединяет связанные ресурсы и может содержать описание переменных и подпрограмм.

Разработчики для увеличения дальности канала связи, а также уменьшения стоимости изделия предлагают модули с поддержкой технологии LoRa™ на основе усовершенствованного метода широкополостной модуляции.

Применение модулей дает следующие преимущества: снижение критичность к расстройке по частоте и повышение чувствительности приемника. В режиме приема эти модули характеризуются низким энергопотреблением.

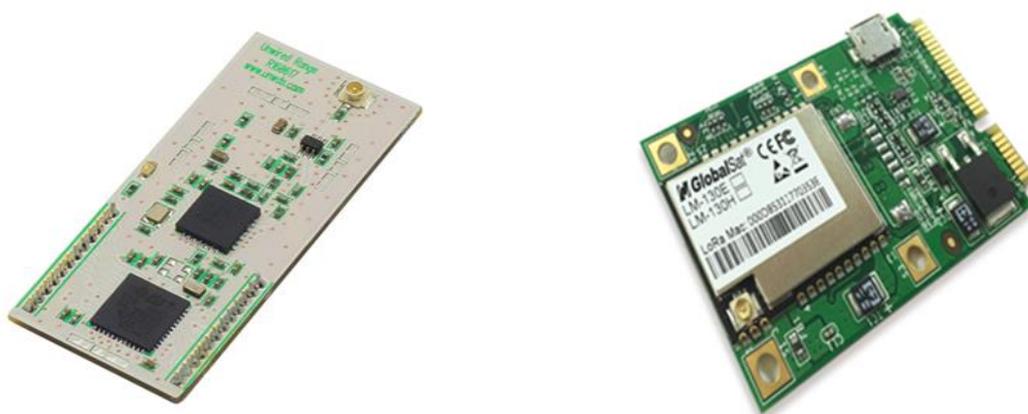


Рисунок 2.6 – Модули

Сенсоры и датчики.

В современных устройства датчики являются неотъемлемой частью. С их помощью регулируются, управляются и измеряются все процессы. Датчики преобразовывают любую величину в нужный сигнал. Величина может определять давление, движение, скорость, ток, расход и др. Она преобразуется в оптический, электрический или др сигнал, который удобен для измерения, преобразования и хранения информации. Т.е. датчик- это устройство, которое преобразует входное воздействие физической величины в сигнал, который удобен для дальнейшего использования.[12]

Далее на рисунке 2.7 представлены датчики, которые используют для обслуживания сетей LoRaWAN.



Датчик парковки



Датчик передачи давления



Датчик уличной освещенности



Датчик температуры



Датчик учета воды

Рисунок 2.7 – Различные датчики

Сенсоры LoRaWAN имеют возможность передачи информации на большие расстояния. Дальность в благоприятной среде достигает 100 километров. Если же это сельская местность или небольшой город, то до 15 км, а в современном мегаполисе 2-3 км. Скорость обмена данными от 300 бит/с до 100 Кбит/с. Сенсоры наиболее подходят для передачи малых объемов информации К тому же они потребляют очень мало энергии и это дает им бесперебойно работать до 10 лет, запитываясь от 1 аккумулятора.

Сенсоры есть устройства для измерения физического или химического параметра . Они преобразуют нужный параметр в удобный для использования сигнал, чаще электрический.



Рисунок 2.8 – Сенсор LoRaWAN

На рисунке представлен температурный сенсор класса А. Он может работать от батареи до 20 лет.



Рисунок 2.9 – Температурный сенсор с аналоговыми входами

На рисунке 2.10 представлен миниатюрный GPS трекер. Это устройство занимает особое место среди способов получения информации. Прибор используется в различных сферах. GPS трекер (маячок, метка) легко определит месторасположение и передаст координаты на сайт сервера. С помощью уведомления на ваш телефон или приложения для смартфона можно без

проблем узнать расположение объекта, если на нем установлен маячок. Трекер может выполнять и охранную функцию. По его команде можно заблокировать двигатель автомобиля в случае попытки угона.



Рисунок 2.10 – GPS трекер и принцип его работы

По сигналу со спутника устройство определит месторасположение объекта, передаст географические координаты с точностью до 10 метров.

Устройства для тестирования сетей LoRaWAN™. Тестеры осуществляют проверку параметров сетей. Как правило у них встроенный аккумулятор. Поэтому они могут работать без подпитки несколько часов. Тестер отправит по сети сигнал и сеть ответит сколько базовых станций приняло это сигнал, а так же отчитается о качестве сигнала. С его помощью оптимально размещаются базовые станции при развертывании сети, осуществляется их настройка. Тестер быстро анализирует данные о работе сети, радиопакеты в сетях, работу датчиков. Вся информация отображается на его экране. Тестеры могут работать в условиях крайне высоких и крайне низких температур [13, 14].

Ниже представлен тестер с литий-ионным аккумулятором. Время его автономной работы около 20 часов. В нижней части устройства есть USB-разъем, через который подключается зарядное устройство.



Рисунок 2.10 – Тестер LoRaWAN

2.8 Сферы применения LoRaWAN

Уже отмечалось ранее, что сети LoRaWAN выгодно выглядят на фоне других сетей. Их преимущество: большой радиус действия и длительный срок работы узлов без обслуживания. Применение таких экономичных сетей делает их достаточно привлекательными во многих сферах жизни. На современном этапе LPWAN-сети, базирующиеся на LoRa, стали достаточно распространенными во многих странах мира. Их используют уже более чем в 40 странах.

Спектр применения LoRaWAN достаточно обширен. Самым перспективным направлением считается «Умный город». Учитывая особенности технологии, простор для применения необъятный. Урбанизация идет быстрыми темпами, и проблемы городов увеличиваются. Применение технологии в системе ЖКХ самое востребованное и перспективное. Беспроводные интеллектуальные счетчики помогут организовать учет и помогут сэкономить ресурсы. С их помощью можно организовать мониторинг утечек воды, газа, электроэнергии, а так же контролировать их расход. С помощью сетей LoRaWAN можно управлять системой «Умный дом». С помощью приложения на смартфоне владельцы и экстренные службы будут моментально поставлены в известность о задымлениях, пожарах и других экстренных ситуациях. Кроме этого, технология позаботится и о комфорте людей. Приложение Умный транспорт позволит сэкономить массу времени, датчики установят благоприятную температуру воздуха и влажность помещений. LoRaWAN предупредит о состоянии погоды и атмосферном давлении, камеры видеонаблюдения сделают жизнь горожан безопасней.

Перспективно использовать такие сети и в промышленности. Сети LoRaWAN могут работать в изолированных условиях, поэтому они могут быть

развернуты в отдаленных районах, в море. LoRaWAN – спутниковая связь поможет следить за состоянием рабочих систем и механизмов предприятия. Это поможет избежать простоев из-за поломок и материальных потерь.

В сельском хозяйстве датчики отслеживают состояние почвы, влажность воздуха и почвы, количество применяемых удобрений. Система сама займется орошением высыхающего участка, причем избежит и переувлажнения, что значительно сэкономит расход воды.

Множество перспективных проектов еще только ждут своего внедрения. Сферы применения не ограничиваются перечисленными. Сейчас идет внедрение протокола в медицине, транспорте, управление отходами, управление уличным освещением и во многих других областях жизни [14].

2.9 Состояние и перспективы развития протокола сети LoRaWAN в Казахстане

На сегодняшний день в Казахстане активно идет формирование рынка Интернета вещей. Во всем мире этот рынок будет большой статьей дохода в бюджете стран. Эксперты прогнозируют, что к 2025 году в Казахстане количество устройств, подключенных к Интернету вещей, достигнет 100 миллионов штук.

Учитывая все основные мировые тренды, в нашей стране самым активным участником формирования рынка Интернета вещей является компания АО «Казахтелеком». Компания реализует амбициозный проект по строительству энергоэффективной сети LoRa. Для Казахстана это оптимальная технология создания Умных городов.

Почему выбрали именно эту технологию? LoRa является доступной, открытой технологией. На рынке производителей сетевого оборудования достаточно много экономичных, продвинутых предложений. Более 80 операторов связи отдали ей свое предпочтение.

Внедрение данной технологии не потребует больших инвестиций, выделения и перераспределения дополнительных частот, перестройки сети мобильной связи. Все ведущие производители поддерживают этот тренд, так что недостатка оборудования или программного обеспечения нет. Для нашей страны главная проблема слабая цифровизация муниципального хозяйства. Хотя в последнее время этой проблеме уделяют больше внимания. Для решения этой задачи запущен проект облачного видеонаблюдения. Проект предусматривает развертывание сети с подключением 19 тысяч камер. Это даст возможность отдельным людям получить доступ к определенным камерам через мобильное приложение, а также правоохранительным органам для обеспечения безопасности городов. Дальше планируется внедрение видеоаналитики. Это программная платформа будет распознавать лица в

автоматическом режиме. Такое решение можно употреблять в образовании, медицине и других областях.[15]

Таблица 2.2 – Потенциальный рынок IoT в Казахстане

Рынок	Потенциал
18 млн человек	
5,2 млн домохозяйств	75 млн датчиков (счетчики, безопасность и тд)
4 млн автомобилей	4 млн терминалов eCall
80 тыс автобусов	200 тыс камер и 200 тыс терминалов оплаты
100 тыс км автодорог	100 тыс камер, детекторов и датчиков
26 тыс производственных предприятий	Более 400 тыс промышленных датчиков, камер и счетчиков
220 млн га сельскохозяйственных угодий	Более 1 млн датчиков почвы
7,5 тыс школ	1,5 млн школьников с устройствами слежения
900 медицинских учреждений	10 млн wearbles
87 городов	Более 1 млн датчиков парков, GPS-трекеров, камер, велодатчиков и т.д.

В рамках первого этапа завершено строительство самой масштабной в СНГ энергоэффективной сети LPWAN на базе технологии LORA в городах Нур-Султан, Алматы и Шымкент.

Продвижение проекта происходит довольно успешно. На конец 2018 года установлено больше 400 базовых станций LORA в 19 городах страны. Действие станций охватило около 7 тыс. квадратных километров городской территории, а это 1.5 млн. квартир. Новая сеть заложена как основа для реализации решений Умного города. На данном этапе предусмотрено автоматическое снятие показаний с приборов учета ресурсов и по умному освещению.

Второй этап проекта будет направлен на развитие платформы Smart Connectivity с функционалом SIM-management, connection-management, device-management и другим. На рынке уже доступны услуги M2M на базе сетей GSM/LTE от "Казахтелеком" и его мобильных активов Tele2/Altel.

К этой платформе возможно подключение разных устройств.

Наиболее быстро происходит внедрение умных решений в сфере транспорта. Пример тому город Алматы. В 2018 году в Словении, в городе Любляне прошел Европейский форум умных городов Smart city-2018. За реализацию транспортной реформы Алматы получил высшую награду. Сейчас в общественном транспорте города 97% всех транзакций совершается

безналичным путем. Это позволит вывести из тени оборот компаний и сделает прозрачным доход.

В городе развернута система фото и видеофиксации. Все нарушители правил дорожного движения находятся под контролем полиции. Система контролирует 709 полос движения, а в планах – увеличение количества в 2 раза.

Формируя подходы транспортной реформы, городские власти опирались на передовой мировой опыт, привлекли передовых мировых экспертов. В их числе эксперты компании Gehl architects по модернизации общественных пространств и пешеходных улиц, ПРООН по проекту "Устойчивый транспорт", компании "А+S Транспроект" и Systra по выработке комплексной схемы дорожного движения, а также канадско-американская компания Hatch – по разработке концепции мастер-плана Алматы.

На сегодняшний день у нас в стране запущено много пилотных проектов с применением технологий Умного города. Примером тому может послужить город Акколь.

2.10 Анализ ситуации в системе ЖКХ в Казахстане

Анализируя ситуацию в системе ЖКХ в Казахстане, приходишь к неутешительным выводам: за прошлый год долги населения нашей страны по коммунальным услугам составляет порядка 15 миллиардов тенге. Лидером по неплатежам является город Алматы, второе место занимает Нур-Султан, третье Шымкент. То есть большие города являются основными должниками. Огромные долги населения влекут за собой печальные последствия. Неплатежи приводят к тому, что одни поставщики услуг задолжали другим (например, электросетям), и те не могут выполнить обязательства в виду дефицита бюджета. Взимание долгов в судебном порядке не приводят к улучшению ситуации.

Немного статистики: около 33% тепловых сетей страны находятся в коммунальной собственности и 67% в частной. При этом 63% сетей нуждаются в ремонте или полной замене. Что влечет за собой износ системы теплоснабжения? Это увеличение потерь тепловой энергии и как следствие увеличение стоимости услуг. Растет недовольство населения качеством предоставляемых услуг. По данным статкомитета только 3% граждан удовлетворены качеством предоставляемых услуг. Несмотря на массовую установку приборов учета тепла (как правило на 1 дом-1 счетчик) проблема не решилась. Система плохо обеспечена приборами учета. Поэтому невозможно определить фактический расход тепловой энергии. Отсутствие приборов учета в каждой квартире уравнило всех граждан в оплате за услугу, вне зависимости от температуры воздуха в помещении. Треть тепловой энергии вырабатывается малыми котельными. А такие теплоисточники вырабатывают КПД около 60%. В них расходуется очень много топлива, а также они совершают вредные

выбросы в окружающую среду. О наличии очистных сооружений даже нет речи.

Об электроснабжении: в электроснабжении самый высокий процент сетей из всего коммунального сектора, требующих замены и ремонта. Требуют ремонта 73% сетей. Это 145 тысяч километров линий электропередач. А ведь кроме этого изношены внутридомовые распределительные устройства и подстанции. Уровень обеспеченности приборами учета электроэнергии достаточно высок, но из-за отсталости технологий и оборудования велик уровень потерь электроэнергии. Погрешность приборов учета допускается 20%, в то же время как новые цифровые приборы учета имеют погрешность не более 3%. Отсюда формируются потери и высокая стоимость электроэнергии.

В сфере газоснабжения ситуация немного лучше. 34% протяженности сетей в коммунальной собственности, 66% – в частной. При этом половина нуждается в замене и ремонте. Многие населенные пункты охвачены проектом по газификации. Учет потребляемых ресурсов ведется не в полном объеме. Счетчики устарели, не сертифицированы и не точны. Слабо ведется процесс инспектирования. В многоквартирных домах не могут пресечь пользование природным газом в баллонах. Это создает угрозу пожаров и влечет за собой человеческие жертвы.

Изучив материал можно выделить основные проблемы коммунальных служб:

- довольно высокий уровень износа сетей и сопутствующих сооружений;
- недостаточное обеспечение приборами учета;
- техническая отсталость отрасли;
- низкие объемы финансирования, непривлекательность для инвестиции.

В результате компании, предоставляющие услуги, пытаются решить свои финансовые трудности за счет исправных плательщиков, непрерывно повышая тарифы на услуги. Стоимость услуг выросла приблизительно на 7% за год.

Нельзя сказать, что государство не озабочено данной ситуацией и не оказывает поддержку предприятиям в сфере поставок услуг. За прошлый год объем инвестиций только коммунальщикам составил 391 млрд. тенге. Но без модернизации и инвестиций невозможно изменить данную ситуацию.



Таблица 2.11 –Динамика роста объема инвестиций в ЖКХ

Так за последние годы рост инвестиций в жилищно-коммунальный сектор находится в постоянном росте в среднем на 24 % в год.[16]

С внедрением технологий «Интернета вещей» появился выход из ситуации. Вариантом решения стала цифровизация всех систем учета потребления газа, воды, электроэнергии, тепла.

В мае 2017 года за проект "Умный город" (Smart City) взялись IT-компания Tengri Lab совместно с АО "Акмолинская распределительная электросетевая компания", АО "Казахтелеком", ERG, BTS Digital и акиматом Акмолинской области. Для проведения пилотного проекта был выбран город Акколь, расположенный в Акмолинской области в 100 километрах к северу от города Нур-Султан. Население здесь насчитывается около 14 тысяч человек. Город известен тем, что в 2005 году здесь введен в строй первый казахстанский наземный комплекс управления космическими аппаратами.

2.11 Акколь – город будущего

Почему именно этот город? Причин было несколько: это и близкое расположение к столице, наличие необходимой инфраструктуры, оптимальное количество населения, Доступность и наличие защищенных каналов связи и центров обработки данных.

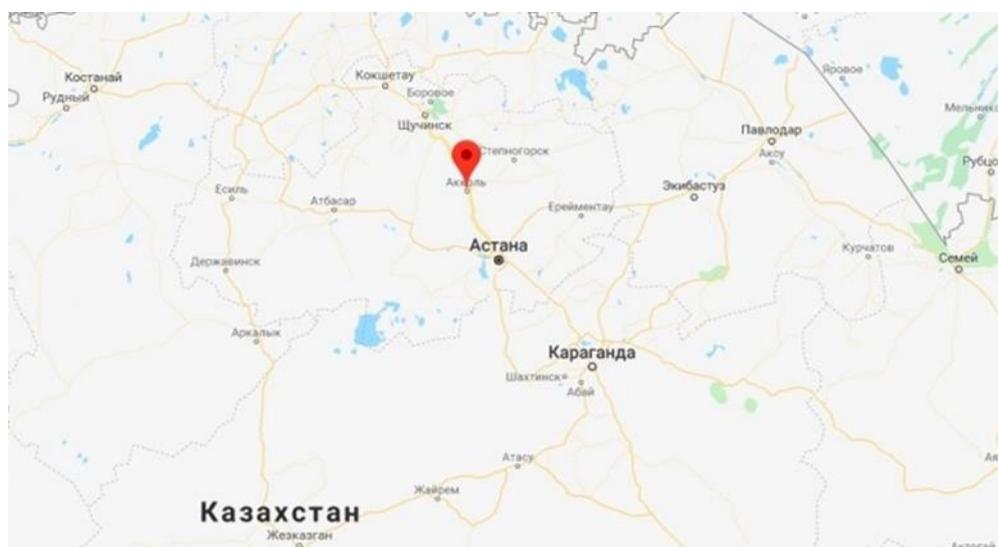


Рисунок 2.12 – Местоположение г. Акколь

За первые полгода в Акколе провели колоссальный объем работ. Осуществлено полное покрытие города 4G и LoraWan сетями. Заменяли около 4500 счетчиков учета расхода воды и предусмотрели возможность в дальнейшем подключить их к автоматической передаче данных. Произведена замена 6000 счетчиков учета электроэнергии также с возможностью подключения к сети. Заменяли 250 точек уличного освещения с системой

автоматического включения-выключения, что позволит экономно расходовать электроэнергию.

Этим не ограничились и произвели ремонт и модернизацию инфраструктуры. Полностью произведена замена более 100 км электрических кабелей, на улицах и зданиях города установили более 70 камер видеонаблюдения, подключили систему контроля доступа, в том числе идентификации лиц, в школах и акимате города. Действует система экологического контроля, система обнаружения задымления, система мониторинга общественного транспорта. Разработана цифровая 3D-карта города, на которой отображаются все показания с датчиков. Для удобства людей установлены теплые остановки с автоматами подзарядки для гаджетов от солнечных батарей. Все события фиксируются датчиками и сенсорами и выводятся на специальную видеостену в Ситуационном центре Акколя. (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Ситуационный центр г.Акколь

Данная система не является системой тотальной слежки, а является механизмом анализа и решения ситуаций. Например, если возникают проблемы с отоплением, значит резко возрастет потребление электроэнергии или увеличится количество обратившихся в медучреждения с простудными заболеваниями. Вся информация поступит в Ситуационный центр, и будут найдены решения по устранению сбоев.[17]

Именно в Акколе сделана попытка решить проблемы ЖКХ и проверить на опыте результативность применения новых технологий. Это первый в Казахстане город, где оцифровали всех потребителей коммунальных услуг.

Теперь контролерам не нужно ходить по домам и вручную собирать данные. Система сама все считывает сама. Счетчики установили бесплатно для жильцов и многоквартирных домов и частному сектору.

Используемая платформа обладает аналитикой на основе искусственного интеллекта и определяет взаимосвязь и взаимозависимость между самыми различными сферами. Благодаря цифровизации процессов в Акколе снизили тарифы на электроэнергию. В целом снижение составило 8,4%.

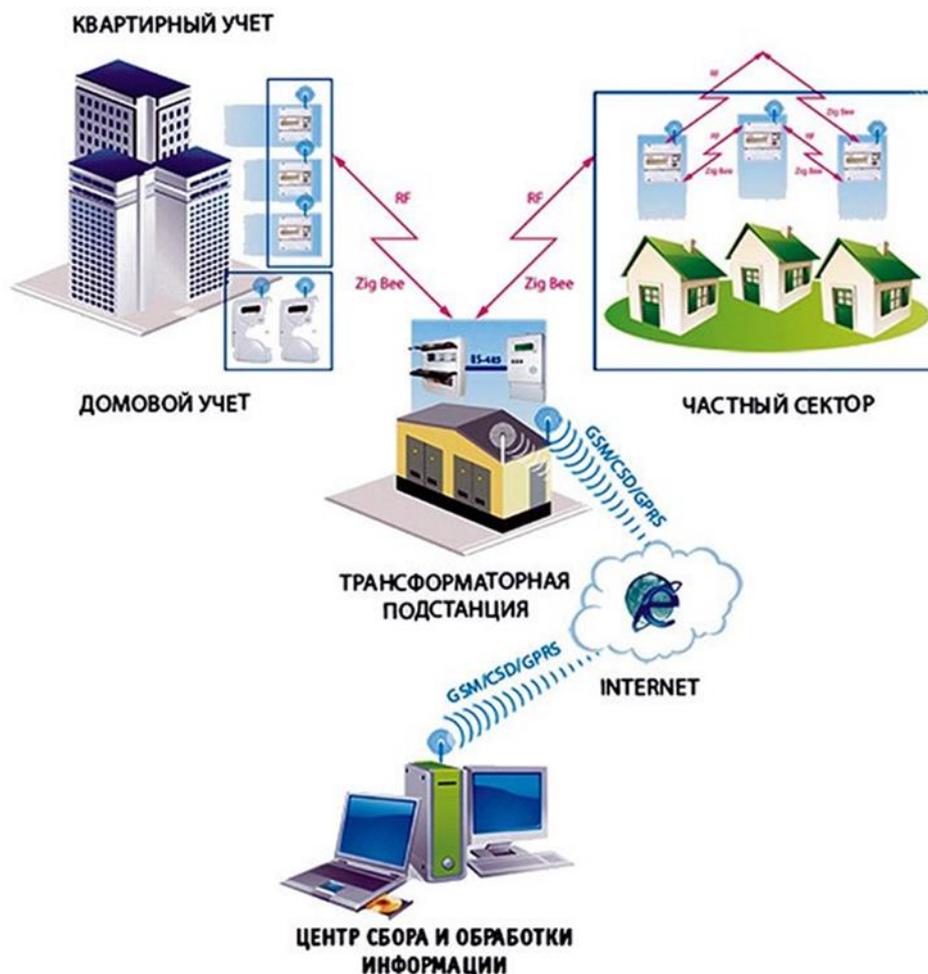


Рисунок 2.14 – Пример архитектуры сети в г. Акколь

Акмолинская распределительная электросетевая компания" (АРЭК) совместно с компанией - оператором проекта SmartAqkol ТОО "TengriLab", реализуя проект первого интеллектуального города в Казахстане, в ударные сроки заменила около 6000 приборов учета на новые, входящие в автоматизированную систему коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ).

Данная система разрабатывается с 2006 года. АСКУЭ «Ресурс» может хранить и обрабатывать информацию в режиме реального времени независимо от производителя и типа устройств. Система также имеет возможность отключать должников от потребления услуг. Система обладает многими преимуществами: не надо платить абонентскую плату, умеренная цена, совместимость со всеми приборами учета.

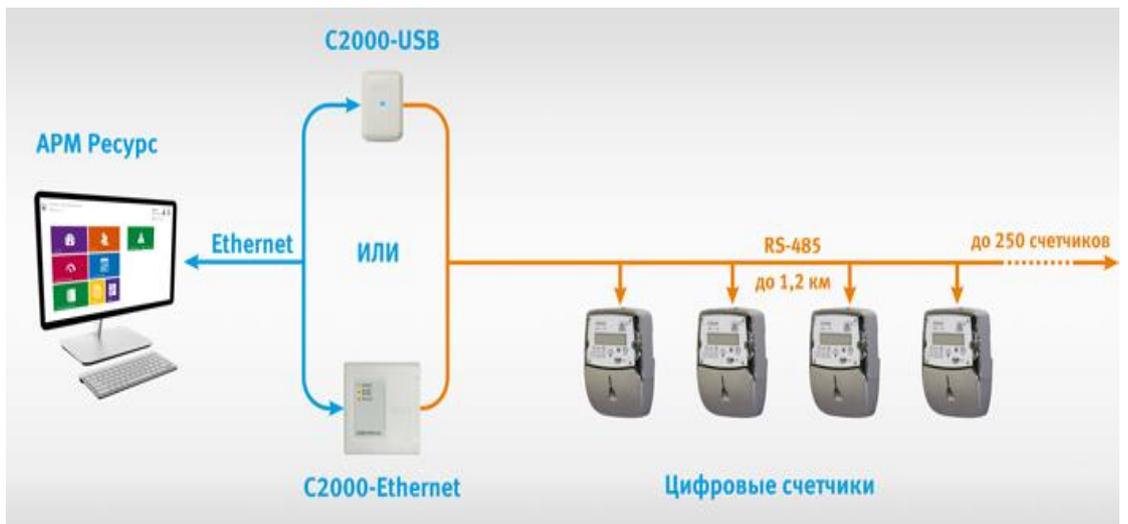


Рисунок 2.15 – Структурная схема канала для цифровых счетчиков

В данное время в АСКУЭ подключено 22600 точек учета в североказахстанской области. Счетчики с радиомодулями передают все данные дистанционно. Это хорошая возможность отследить утечки и аварии на линиях, так как чрезмерный расход сразу фиксируется системой.

Система работает в домах любой конфигурации.

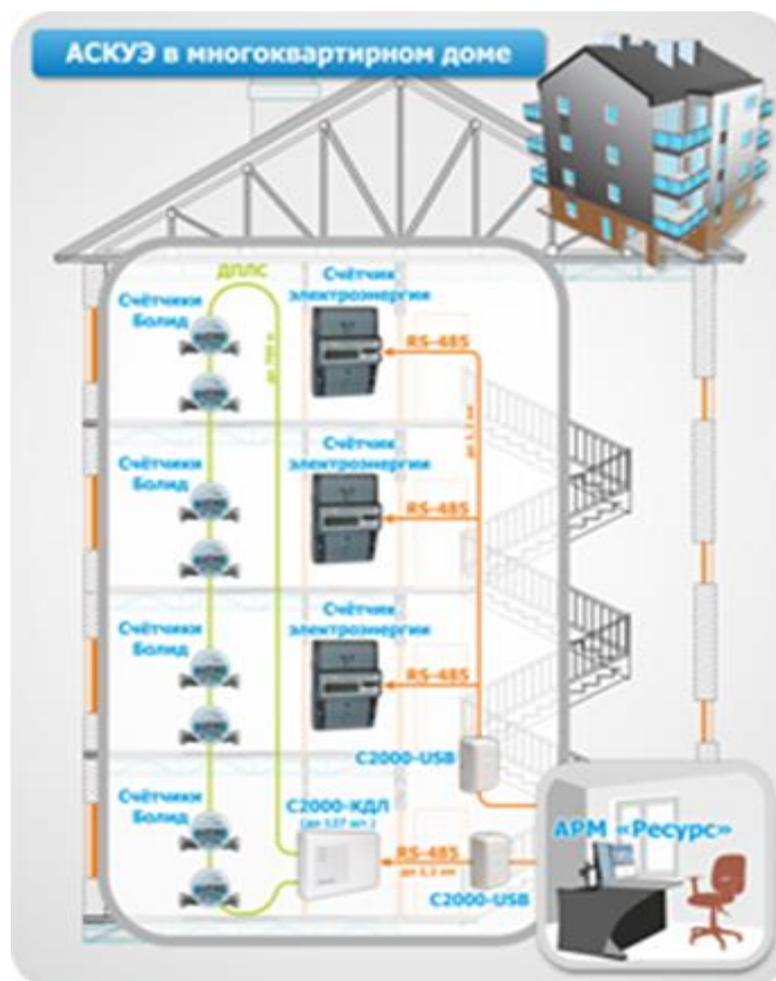


Рисунок 2.16 – АСКУЭ «Ресурс» в многоквартирном доме

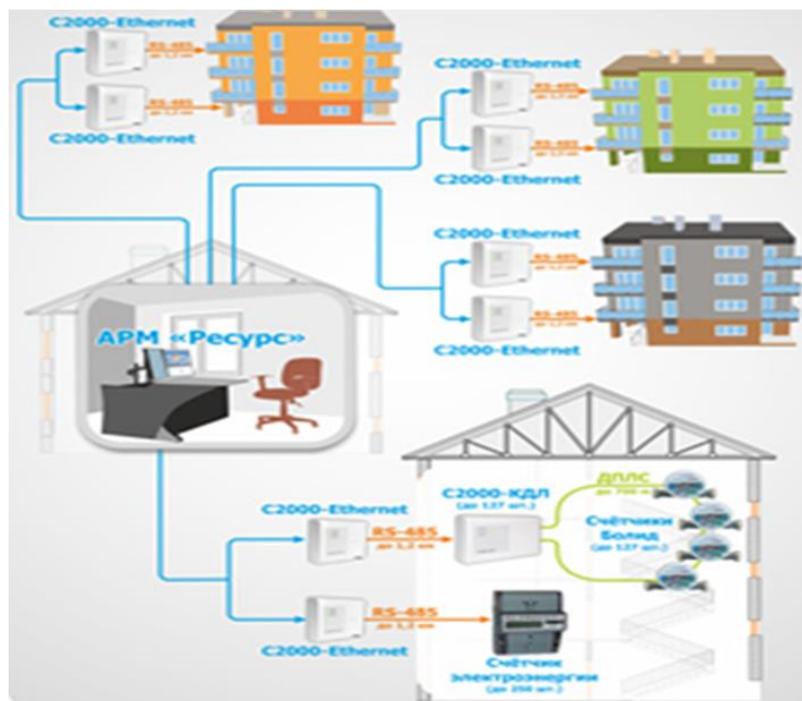


Рисунок 2.17 – АСКУЭ на удаленных объектах

На примере города Акколь применение технологий LoRa и использование протокола LoRaWAN оказалось эффективным. Несмотря на некоторые трудности внедрения проекта, в числе которых немаловажную роль играет безграмотность населения, проект зарекомендовал с положительной стороны. Предстоит большая работа по ликвидации безграмотности населения в этом вопросе, а также расширение спектра инноваций. [18]

Уже в настоящее время процесс запущен. Показательным примером развития технологий Интернета вещей является появление отечественной компании по производству оборудования и программного обеспечения сетей LoRaWAN.

3 Расчетная часть

3.1 Обоснование эффективности LORA

Технологии беспроводной связи по пропускной способности и дальности передачи данных значительно отличаются друг от друга.

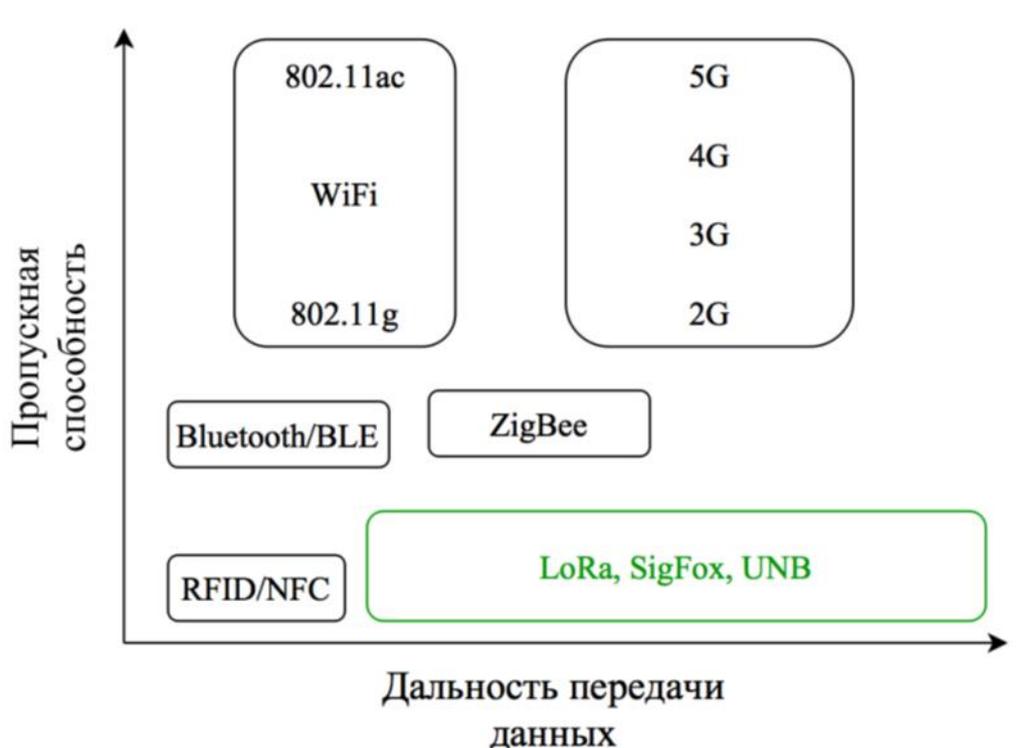


Рисунок 3.1- Сравнение технологий беспроводной связи

Малой пропускной способностью обладают технологии RFID и NFC. Они предназначены для работы на очень близких расстояниях и передают минимальное количество данных. Технологии основаны на применении радиочастотной идентификации. В основном применяется в области контроля доступа и как способ бесконтактных платежей через мобильные устройства. Диапазон чтения радиотега составляет 10 метров и скорость передачи данных около 400 кбит/сек,

Технологии Bluetooth и BTLE (Bluetooth Low Energy – Bluetooth с низким потреблением энергии) обладают уже заметно большей дальностью (до 20 метров устройств класса A) и пропускной способностью (до 1Мбит/с).

Еще выше по шкале пропускной способности находится технология Wi-Fi.

Принцип работы беспроводной сети построен на использовании радиоволн, а сам обмен данными во многом напоминает переговоры с использованием радиосвязи. Устройства Wi-Fi используют частоты 2,4 ГГц или 5 ГГц, которые существенно выше, что позволяет передавать больше данных.

Технологии LoRa, SigFox (очень схожая технология с LoRa) и другие UNB технологии (Ultra Narrow Band – сверх узкие полосы пропускания) обладают экстремально большой дальностью – до нескольких десятков километров, но пропускная способность у них достаточна мала.

Между дальнобойными технологиями типа LoRa и высокоскоростной технологией Wi-Fi находятся все технологии мобильной связи, которые имеют среднюю дальность и приличную пропускную способность.

Все существующие на сегодняшний день технологии связи предоставляют некоторый баланс из трех желаемых свойств:

- большая дальность связи, высокая пропускная способность и низкое энергопотребление. Мобильные телефоны достигают хорошую дальность и скорость передачи данных, но потребляют значительную энергию;

- у LoRa есть превосходная дальность и низкое энергопотребление, но она имеет малую пропускную способность;

- Wi-Fi имеет большую пропускную способность и потребляет немного энергии, но дальность у неё из-за этого небольшая.

3.2 Распространение радиоволн

Максимально возможное изменение мощности сигнала для успешного приема приемником называется энергетическим потенциалом линии связи (Link Budget). Это величина, определяющая сколько энергии есть у сигнала для преодоления некоторого расстояние или проникновения сквозь преград у на пути распространения радиоволн от передатчика к приемнику.

Рассмотрим процесс распространения радиоволн в пространстве. Потери на пути распространения (FSPL - Free Space Path Loss) определяется формулой (1).

$$FSPL = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi d f}{c}\right)^2, \quad (1)$$

где d – расстояние, м,
 f – частота, Гц.

Основной вывод, который можно сделать из данной формулы, это то, что потери на пути распространения меняются в зависимости от расстояния между передатчиком и приемником, причем зависимость – квадратичная.

Формула (1) схожа с формулой для нахождения площади поверхности сферы, так как сигнал распространяется сферично.

На рисунке 3.2 видно, что плотность сигнала, проходящего через фиксированную площадь A , уменьшается по квадратичной зависимости от расстояния. На расстоянии r – площадь поверхности данной часть сферы равна

А, но при расстоянии $3r$ – площадь становится равной $9A$, ввиду чего плотность сигнала уменьшается в 9 раз.

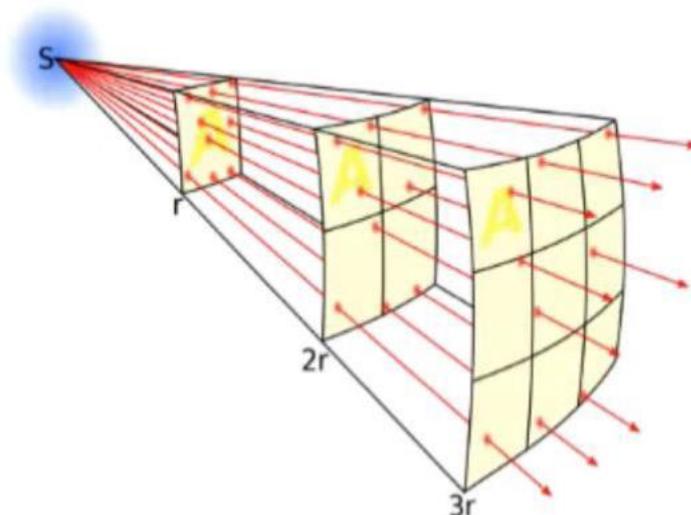


Рисунок 3.2 - Принцип рассеивания сигнала в постоянной площади с увеличением расстояния

В формуле (1) потери на пути распространения зависят не только от расстояния, но еще и от частоты. Данная зависимость только косвенно связана с частотой сигнала. С увеличением частоты, прибор вынужден использовать антенну меньшего размера, так как длина антенны зависит от длины волны, которая обратна пропорциональна частоте. Но уменьшая размер антенны, уменьшается площадь приемника, которая условно обозначена как A на рисунке 3.2.

Формула (1) удобна для ассоциации геометрической формы волны с математическим представлением, но для расчета потерь на пути распространения чаще используют её логарифмическую версию (dB – децибел), ввиду больших значений, получаемых в мега- и гигагерцовых диапазонах.

$$FSPL_{dB} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 147,55$$

Из этой формулы следуют два интересных заключения.

Первое – удвоение расстояния приводит к уменьшению мощности в 6dB.

Второе – разница в потерях на пути распространения между 868МГц (LoRa) и 2.4ГГц (Wi-Fi) составляет около 9dB. Другими словами – LoRa, используя частоту 868 МГц, может покрыть в полтора раза больше расстояния в сравнении с Wi-Fi, использующая 2.4ГГц.

3.3 Чувствительность приемника

Чувствительность приемника (Sensitivity) определяется по формуле (2).

$$Sensitivity(dBm) = -174 + 10\log_{10}(BW) + NF + SNR, \quad (2)$$

где BW (Bandwidth) – ширина полосы пропускания,
NF (Noise floor) – тепловой шум (от движения электронов в схеме),
SNR (Signal to Noise Ratio) – отношение сигнала к шуму.

Важно отметить, что чувствительность зависит от десятичного логарифма ширины полосы пропускания. Это означает, что приемник для технологии с большой шириной полосы пропускания будет менее чувствительным.

Приемники LoRa благодаря используемым методам модуляции и обработки сигнала имеют высокую чувствительность до -137 дБм. Ввиду малой ширины полосы пропускания, являются очень чувствительными и способны распознавать полезный сигнал, даже когда тот находится на уровне ниже уровня шума.

3.4 Энергетический потенциал линии связи для технологии LORA

Рассмотрим пример системы, построенную на основе LoRa, со следующими параметрами:

Мощность передатчика (TX power): 14dBm.

Ширина полосы (Bandwidth): 125кГц.

В логарифмическом варианте: $10 \cdot \log_{10}(125000) = 51\text{dB}$.

Режима SF12 позволяет распознать сигнал, который находится 20dB под уровнем шума, поэтому:

SNR (отношение сигнала к шуму): -20dB .

Коэффициент шума (Noise Figure): 6dB (у базовой станцией он может быть и ниже)/

Используя формулу (2) получаем:

Чувствительность приемника:

$$-174+51+6-20= -137\text{ dBm}$$

Поскольку энергетический потенциал равен сумме мощности передатчика и чувствительности приёмника получаем:

Энергетический потенциал:

$$14+137 =151\text{ dB}$$

Согласно формуле (1) – максимальное возможное расстояние передачи при частоте 868 МГц и потерях на пути распространения равных 150dB составляет 800км. Это означает, что в условиях, приближенных к идеальным, где отсутствуют шумы и преграды LoRa передатчик может передавать данные на расстояние до 800 км! На практике такие расстояния для технологии невозможны ввиду того, что на пути от передатчика к приемнику всегда имеются преграды и объекты, которые отражают, поглощают и преломляют сигнал.

Радиолинии в сети LoRa обеспечивают энергетический бюджет для приведенных выше скоростей передачи данных с уровнем более 160 дБ. Потребляемый ток у абонентских устройств сети LoRa составляет 40 мА при передаче сигнала и 10 мА при приеме, при напряжении питания 3В. Энергопотребление определяет продолжительность работы этих устройств без замены батарей. LoRa имеет преимущество над другими технологиями в сегменте передачи от 1 байта до 10 кбайт в час.

Разработка и внедрение технологии LoRa для узкополосной передачи данных с расширенной зоной покрытия существенно усилила конкуренцию на рынке беспроводных технологий IoT для сотовых технологий, использующих лицензируемые полосы частот и требующих использования SIM-карт.

В настоящее время LoRa обладает рядом преимуществ по техническим параметрам, использованию нелицензионного спектра, простоте регулирования, отсутствию необходимости получения лицензии на оказание услуг передачи данных.

3.5 Емкость сети LoRa

Время передачи пакетов через радиointерфейс.

Каждый пакет, передаваемый по сети LoRaWAN, включает в себя преамбулу и блок данных физического уровня. Количество символов в преамбуле $n_{preamble}$ является конфигурируемым в диапазоне 6..65535

Количество символов в блоке данных физического уровня определяется следующей формулой:

$$payloadSymbNb = 8 + ceil \left(\frac{8 \cdot PL - 4 \cdot SF + 28 + 16 \cdot CRC - 20 \cdot H}{4 \cdot (SF - 2 \cdot DE)} \right) \cdot (CR + 4)$$

где $PL = 12 + FRM$ – количество байт полезных данных в блоке физического уровня (PHYPayload);

FRM – количество байт полезных данных на уровне приложения (FRMPayload);

SF – коэффициент расширения спектра;
 CRC = 1, когда передача поля CRC блока полезной нагрузки включена и CRC=0 – когда выключена;
 H=0, когда передача заголовка (PHDR + PHDR_CRC) включена и H=1 – когда заголовок отсутствует;
 DE=1, когда оптимизация для низких скоростей передачи включена и DE=0 – когда выключена (для SF=11 и SF=12 оптимизация скоростей передачи должна быть включена);
 CR=1..4 – скорость кода;
 ceil – операция округления до ближайшего большего целого числа.
 Длительность передачи преамбулы .

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4,25) \cdot T_{sym}$$

Длительность передачи блока данных физического уровня: Длительность передачи блока данных физического уровня:

$$T_{payload} = payloadSymNb \cdot T_{sym}$$

Длительность передачи всего пакета по сети LoRaWAN: Длительность передачи всего пакета по сети LoRaWAN .

$$T_{packet} = T_{preamble} + T_{payload}$$

где $T_{sym} = \frac{2^{SF}}{W}$ - длительность передачи одного символа – длительность передачи одного символа (см. таблицу ниже),

W – полоса одного радиоканала (125кГц)

Таблица 3.1- Результаты расчета

SF	7	8	8	10	11	12
W, кГц	125	125	125	125	125	125
Tsym, мс	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768

Расчет емкости сети.

Все LoRaWAN устройства класса "A", включая конечные устройства, а также LoRa-шлюз, используют произвольный (не синхронизированный) доступ к общей среде передачи. При этом временные интервалы отправки пакетов планируются конечными устройствами на основе собственных потребностей. Данный механизм доступа представляет из себя протокол типа "чистая ALOHA" (pure ALOHA).

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:

$$\text{Pr}(k) = \frac{G^k \cdot e^{-G}}{k!}$$

где G – интенсивность поступления пакетов (или среднее число сообщений для передачи, появившееся на всех терминалах сети за время T);

- коллизия не возникнет, если на интервале передачи сообщения, а также на одном предшествующем интервале не появятся еще пакеты для передачи от других конечных устройств сети ($k=0$). Следовательно, вероятность успешной передачи составляет $P = e^{-2G}$;

- среднее число успешно переданных за время T пакетов, т.е. пропускная способность сети, составляет $S = G \cdot P = G \cdot e^{-2G}$.

График пропускной способности приведен на рисунке 3.3.

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 – PLOSS составит 63%).

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

Время передачи пакетов по сети LoRa, а также емкость сети определяются используемым для передачи коэффициентом расширения спектра, а в конечном итоге – качеством сигнала сети.

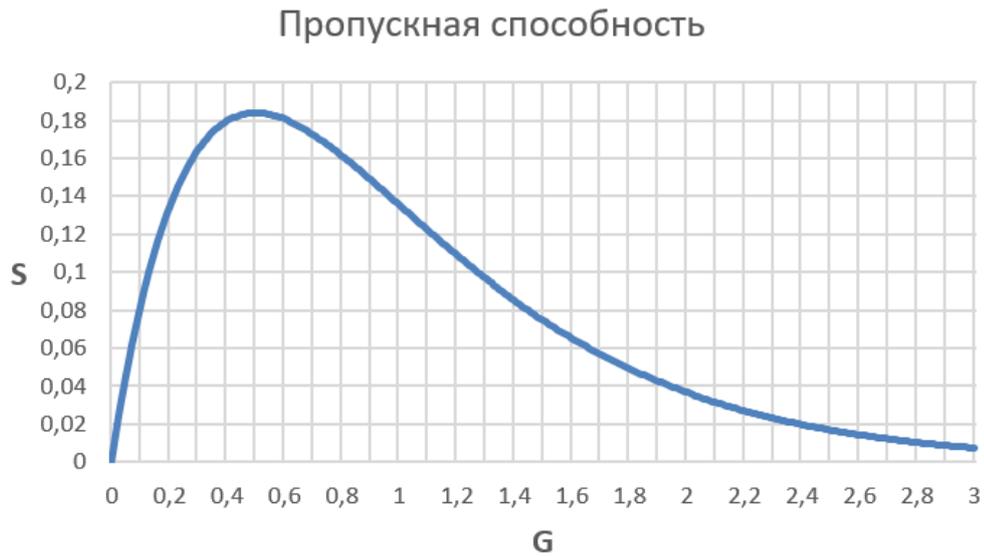


Рисунок 3.3 - Пропускная способность сети LoRa

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 (SF=12) – 1 253,38мс.

Дополнительно на емкость сети LoRa будут влиять такие факторы как:

- переповторы сообщений, потерянных из-за ошибок на радиointерфейсе и коллизий;
- эффект множественного приема при нахождении клиентских устройств в зоне действия нескольких LoRa-шлюзов.
- использование второго окна приема (RX2).[19]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе были рассмотрены технологии «Интернета вещей» и их использование в «Умном городе».

Изучая и анализируя теоретические источники сделаны выводы, что применение этих технологий предоставляет огромные возможности для улучшения условий жизни людей, оптимизации всех систем городской жизни. Исходя из цели дипломной работы: Изучить технологии «Интернета вещей» для применения в Умном городе», поставленные задачи были достигнуты.

Подробно описаны и изучены современные технологии «Интернета вещей», наиболее подробно изучен протокол LoRaWAN, так как в Казахстане с 2017 года активно внедряется система энергоэффективной сети LPWAN на базе технологий "LoRa" с охватом всех частных и многоквартирных домов, зданий и городской территории в городах Астана, Алматы и Шымкент. Таким образом, для нашей страны это очень актуально. Архитектура сети обладает наилучшим соотношением между увеличением срока службы батарей IoT устройств, и обеспечением дальности связи. Протокол работает в нелицензируемом диапазоне и в этом его уникальность по стоимости и скорости внедрения.

Подробно изучен опыт внедрения протокола в городе Акколь, достоинства и проблемы внедрения. Оценена возможность внедрения технологии в больших городах.

Также произведены расчеты эффективности LoRa: распространения радиоволн, чувствительности приемника, энергетического потенциала линии связи для технологии LoRa, емкости сети LoRa. Расчеты явились доказательством преимущества данной технологии в настоящее время и обосновало применение протокола LoRaWAN в нашей стране .

Сделаны выводы: для быстрого внедрения новых технологий необходимо наращивание объема инвестиций. Экономическая эффективность должна оправдываться результативностью и быстротой внедрения.

Также необходима подготовка высокоспециализированных кадров в сфере IoT технологий.

Внедрение новых технологий вызывает сопротивление сотрудников на местах и недоверие населения. Нужно вести повсеместную разъяснительную работу и поселить твердую уверенность в неизбежности нововведений. Возможна организация разъяснительных курсов для населения и сотрудников предприятий, а также стажировке и переподготовки кадров.

Для успешного развития и конкурентоспособности нашей страны нужно идти в ногу со временем. Благодаря внедрению IoT проектов, экономика страны будет успешно развиваться.

Перечень принятых сокращений, терминов

Auto ID – оборудования для маркировки и автоматической идентификации данных.

ADR (adaptive data rate)- адаптивное изменение скорости передачи.

Cellular Network – технологии, основанные на использовании стандартов сотовых сетей в лицензируемом диапазоне.

Cisco- американская транснациональная компания, разрабатывающая и продающая сетевое оборудование.

Device-to-Device (D2D) - технология прямой связи между устройствами стандарта LTE

IP-адрес - адрес Интернет-протокола

IoT-или интернет вещей(Internet of Things) — это сеть связанных через интернет объектов, способных собирать данные и обмениваться данными, поступающими со встроенных сервисов.

Low Power Short Range Networks – энергоэффективные сети малого радиуса действия.

Low Power Wide Area Networks (LPWAN) – энергоэффективные сети большого радиуса действия.

LoRaWAN (Long Range) -один из стандартов технологии энергоэффективной сети LPWAN, не требующий лицензирования используемых частот, предназначенный для межмашинных взаимодействий, сбора данных с датчиков, приложений.

LTE- (буквально с англ. Long-Term Evolution — долговременное развитие, часто обозначается как 4G LTE) — стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных телефонов и других терминалов, работающих с данными.

M2M машинно-машинное взаимодействие, англ. Machine-to-Machine.

Smart City- концепция «идеального города»

The Procter & Gamble Company- американская транснациональная компания, один из лидеров мирового рынка потребительских товаров.

ИТС- интеллектуальные транспортные системы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. «Интернет вещей».- Самара: ПГУТИ, АСТАРД 2014 г.
- 2 Роуз Д. «Будущее вещей: Как сказка и фантастика становятся реальностью.» Альпина нон-фикшн 2015 г
- 3 Международный Научный Журнал «Инновационная Наука» №12-2/2016 статья «Интернет вещей».
- 4 Мачей Кранц «Интернет вещей. Новая технологическая революция». ЭКСМО 2018 г.
- 5 Карачев О. «Интернет вещей : что это такое и с чем его едят?» 2014 г. <http://chezasite.com/news/chto-takoe-internet-veshei-82180.html>.
- 6 Карим Токтабаев «Интернет вещей в РК: реальность или несбыточная мечта?» 2017 г. kapital.kz/economic/64083/internet-vecshej-v-rk-realnost-ili-nesbytochnaya-mechta.html
- 7 Линдзи О* Доннелл «Вендоры Интернета вещей: оборудование для IoT.2017 г. <https://www.crn.ru/numbers/spec-numbers/detail.php?ID=11794>
- 8 Кабанова А. Б., Бодрова А. А., Логвин В. И. «Исследование интернета вещей и его применение в создании умного дома» Журнал «Символ науки» № 11 2016 г.
- 9 Пятницких А. «Технологии IoT на службе умного города.» СТА №4 2015 г.
- 10 Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. «Самоорганизующиеся сети» СПб... Любавич 2011г.
- 11 Спецификация LoRaWAN . Введение. Основные понятия и классы оконечных устройств. 2016 г. <https://habr.com/ru/post/316954/>
- 12 Плотников О. Сети LoRaWAN 2017 г
- 13 Верхулевский К. «Однокристалльные ISM трансиверы Simtech: уверенная связь в сложных условиях». Компоненты и технологии № 6 2013 г.
- 14 Электронный ресурс:
[http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Стандарт NB-IoT_LowPower_and_Wide-Area_LPWAN](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Стандарт_NB-IoT_LowPower_and_Wide-Area_LPWAN)
- 15 <https://smartiko.ru/products/radiomodemy-i-gotovye-ustroystva/>
- 16 Программа модернизации ЖКХ в Республике Казахстан на 2011-2020 г.
- 17 <http://orion-m2m.kz/ru/news/lora-alliance/>
- 18 <https://telecom.kz/ru/news/view/28369>
- 19 Э.Таненбаум, Д. Уэзеролл. Компьютерные сети. 5-е изд.- СПб: Питер, 2012.- 960 с.

