

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»**

Кафедра телекоммуникаций и инновационных технологий

«Допущен к защите»

Зав.кафедрой Кадылбекқызы Э., доктор PhD, доц.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«___» _____ 2021 г.

(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Повышение эффективности работы сети телекоммуникаций на предприятиях
электроэнергетики

Специальность 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил Халмұрадұлы Бекзат. **Группа** РЭТ-17-4

Научный руководитель Якубова М. З. д.т.н., профессор

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Консультанты

по технической части:

Гармашова Ю.М., доц.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«___» _____ 2021 г.

(подпись)

по экономической части:

Габелашвили К., доц.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«___» _____ 2021 г.

(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Бекбасаров Ш.Ш., д.т.н

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«___» _____ 2021 г.

(подпись)

по применению вычислительной техники:

Гармашова Ю.М., доц.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«___» _____ 2021 г.

(подпись)

Нормоконтролер: Кожабаета И. Б. ст. преп.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«___» _____ 2021 г.

(подпись)

Рецензент:

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«___» _____ 2021 г.

(подпись)

Алматы 2021 г.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»**

Институт космической инженерии и телекоммуникаций (ИКИТ)

Кафедра Телекоммуникаций и инновационных технологий (ТКиТ)

Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникаций

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту	<u>Халмурадұлы Бекзату</u>
Тема проекта	<u>Повышение эффективности работы сети телекоммуникаций на предприятиях электроэнергетики</u>

Утверждена приказом ректора № 217 от « 27 » 10 2020 г.

Срок сдачи законченного проекта «25» _____ мая _____ 2021 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта:

- 1 Сеть передачи данных от приборов учета до ЦОД в г. Кызылорда;
- 2 Для построения сети использовать сеть LTE города;
- 3 Технология для передачи данных NB-IoT;
- 4 Численность района около 18548 человек;
- 5 Приборов учета около 48050 штук;
- 6 Частота 800-2000 Гц;
- 7 Расстояние базовых станций не больше 7 км;
- 8 Скорость передачи данных, 1,803 Кбит/с;
- 9 Максимальная мощность передатчика, 43 дБм.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:

- 1 Анализ технологий для сетей связи электроэнергетических компаний
- 2 Проект сети NB-IoT в г. Кызылорда
- 3 Расчет зоны покрытия б/с и их количества
- 4 Безопасность жизнедеятельности
- 5 Бизнес план.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1 Актуальность проекта
- 2 Цель и задачи проекта
- 3 Интеллектуальная сеть Smart Grid
- 4 Выбор стандарта для работы сети
- 5 Анализ выбора оборудования
- 6 Расчет зоны покрытия базовых станций
- 8 Безопасность жизнедеятельности
- 9 Экономические показатели

Основная рекомендуемая литература:

1. Шакирян Ю. Г., Новаков Н. Л. Технологическая платформа Smart Grid // Энергоэксперт. 2019. № 4.
2. Окорок В. Р., Волкова И. О., Окорок Р. В. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность. Ч. 1. Технологические и социально-экономические основания их создания//Академия энергетики. 2016. № 2. С. 72–80.
3. L. Wei, D. Jiangbo, and L. Na etc, “Nb-IoT key technology and design simulation method,” Telecommunication Science, vol. (S1), 2016.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Гармашова Ю.М	25.05.21	
Экономическая часть	Габелашвили К.	25.05.21	
Безопасность жизнедеятельности	Бекбасаров Ш.Ш.,	25.05.21	
Применение вычислительной техники	Гармашова Ю.М	25.05.21	
Нормоконтроль	Кожабаева И.Б.		

График
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1	Введение	30.01-15.02. 2021 г.	
2	Анализ технологий интеллекту- альных сетей	21.02-28.04. 2021 г.	
3	Проект сети в г. Кызылорда	17.04-28.04. 2021 г.	
4	Расчет зоны покрытия б/с	11-17.04. 2020 г.	
5	Безопасность жизнедеятельности	31.03-17.04. 2021 г.	
6	Бизнес план	15.04-10.05. 2021 г.	
7	Подготовка к презентации	25-30.05.2021г	

Дата выдачи задания «_30_»_01_____2021 г.

Заведующий кафедрой _____ (Темырканова Э.К.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель проекта _____ (Якубова М.З.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент _____ (Халмурадулы Б.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Менің жобамның тақырыбы "Электр энергетикасы кәсіпорындарында телекоммуникация желісі жұмысының тиімділігін арттыру". Smart Grid технологиясы қарастырылған жұмыста бұл технология "ақылды қала" жобасы үшін кеңінен қолданылады. Есептеу құралдары Қызылорда қаласының LTE желілерінде қолданылатын NB-IoT технологиясы бойынша базалық станциямен қосылады. Қабылдау-беру жабдықтарын, Антенналарды және электр энергиясын есептеу құралдарын таңдау жүргізілді. Базалық станциялар мен қамту аймақтарының саны есептелді. Жобаның экономикалық тиімділігіне талдау жасалды.

Аннотация

Тема моего проекта «Повышение эффективности работы сети телекоммуникаций на предприятиях электроэнергетики». В работе рассмотрена технология Smart Grid, эта технология широко применяется для проекта «Умный город». Приборы учета соединятся с базовой станцией по технологии NB-IoT, которая будет применяться на сетях LTE города Кызылорда. Произведен выбор приемно-передающего оборудования, антенны и приборы учета электрической энергии. Рассчитано количество базовых станций и зоны покрытия. Произведен анализ экономической эффективности проекта.

Annotation

The topic of my project is "Improving the efficiency of the telecommunications network at electric power enterprises". The paper considers the Smart Grid technology, this technology is widely used for the "Smart City" project. The metering devices will be connected to the base station using NB-IoT technology, which will be used on the LTE networks of the city of Kyzylorda. The selection of receiving and transmitting equipment, antennas and electrical energy metering devices was made. The number of base stations and the coverage area is calculated. The economic efficiency of the project is analyzed.

Содержание

Введение	7
1 Обзор вопросов развития телекоммуникационных технологий в электроэнергетике.....	8
1.1 Обзор технического состояния электрических сетей, средств и систем управления.....	8
1.2 Перспективы развития информационных технологий в электро энергетике.....	8
1.3 Сущность технологии Smart Grid в электроэнергетике.....	10
1.4 Анализ технологий для реализации проекта «SmartGrid».....	14
1.5 Сравнительный анализ технологий SigFox, LoRa и NB-IoT.....	21
1.6 Постановка задачи.....	22
1.7 Краткая характеристика проектируемого объекта.....	23
2 Проектирование сети.....	25
2.1 Анализ местности.....	25
2.2 Выбор режима работы и частотного диапазона.....	27
2.3 Выбор оборудования.....	29
3 Технический расчет параметров сети.....	34
3.1 Выбор модели сигнала для расчета базовых станций.....	34
3.2 Расчет пропускной способности сети.....	35
3.3 Расчет характеристик оборудования базовой станции	41
4 Бизнес-план.....	53
4.1 Анализ проектируемой сети.....	53
4.2 Маркетинг.....	53
4.3 Расчет штата.....	54
4.4 Финансовый план.....	54
5 Безопасность жизнедеятельности.....	62
5.1 Анализ условий труда в службе средств диспетчерско-технологического управления и телекоммуникаций Кызылординской РЭК.....	62
5.2 Расчет системы автоматического пожаротушения	66
5.3 Расчет времени эвакуации людей в здании.....	70
Заключение.....	77
Список сокращений.....	78
Список литературы.....	79
Приложение А. Минимальный уровень сигнала между станциями	
Приложение Б. Электронная версия ДП. Демонстрационные материалы (CD-RV)	
Приложение В. Раздаточные материалы (формат А4 -12 листов)	

Введение

Мы привыкли говорить о «цифровых сетях» относительно телекоммуникационных сетей и систем, но с развитием информационных технологий этот процесс охватил многие отрасли и производства. Сейчас мир стремительно движется в область цифровых технологий. Любой процесс мы стремимся перевести на управление компьютерами и размещать в «облаках». Такой технический прорыв помогает усовершенствовать производство, получить быстрый документооборот, усовершенствовать экономическую сторону бизнеса, производить контроль над всеми сторонами процесса производства. Продвинутое технологии применяют в разных отраслях Казахстана, нефтегазовая отрасль, электроэнергетика и пр.

В «Программе развития электроэнергетики до 2030 года» сказано, что в соответствии со стратегией развития Республики Казахстан в целях поэтапного решения задач по обеспечению надежного электроснабжения страны, создать экспортно-ориентированный, технологически связанный топливно-энергетический комплекс с учетом внутренних и внешних рынков электроэнергии. Который будет обеспечен всеми современными телекоммуникационными разработками, способными в дальнейшем развить и усовершенствовать отрасли электроэнергетики [5].

Этот вопрос весьма актуален, так как в каждой отрасли есть ряд проблем, с которыми, приходится сталкиваться в современном информационном мире. Эти проблемы всем известны, моральное и физическое старение работающего оборудования. Больше половины активов энергетической сети Казахстана, имеют сверхнормативный срок эксплуатации — более 25 лет. Износ Казахстанских электроэнергетических сетей составляет от 50 до 70 %. Преобладание систем управления и автоматизации предыдущего поколения (80 % инвестиций идёт в развитие зарубежных технологий и поставку устаревших решений) и сокращение национальной инвестиционной программы.

Энергетической отрасли жизненно необходима модернизация всей системы производства с применением интеллектуальных систем. Они помогут повысить эффективность производства, снизить капитальные затраты и улучшить сервис для клиентов.

Для того чтобы этот процесс был ускорен и имел положительные результаты, необходимо все информационные процессы перевести на высокоскоростную широкополосную связь. Это даст возможность для быстрого и прямого обмена информацией между устройствами, удаленными объектами, что в свою очередь позволит отказаться от не перспективных и устаревших технологий и добиться более рационального их использования и расположения.

Поэтому тему моей дипломной работы считаю актуальной и своевременной и идущей в ногу со временем.

1 Обзор вопросов развития телекоммуникационных технологий в электроэнергетике

1.1 Обзор технического состояния электрических сетей, средств и систем управления

В последние годы, с развитием телекоммуникационной сферы обслуживания населения и внедрения на производственные площадки качественных услуг связи стал возможным быстрый обмен информацией, контроль и мониторинг информационных систем. Многие производственные предприятия, в частности электроэнергетика, обратили внимание на новые возможности и технологии в телекоммуникационной сфере. Рассмотрим несколько проблем, которые заставляют руководителей крупных отраслей задуматься о перспективности своей деятельности. Рассмотрим на примере электрических сетей, средства и системы управления ими.

Возьмем данные по изношенности сети на период до 2020 года, то изношенность сети достигла 50 %. Воздушные линии и трансформаторы отработали свой положенный срок. Среднестатистическое количество повреждений, которое приводит к отключению высоковольтных линий напряжением до 35 кВ, составляет 200–400 на сто километров трассы в год.

Это приводит к проблеме надежности сетей энергоснабжения. А эти вопросы влияют на экономическое развитие самого производства и на качество предоставляемых услуг.

1.2 Перспективы развития цифровых информационных технологий в электроэнергетике

Главным признаком современных автоматизированных систем управления является, объединение различных программных продуктов в одно информационное пространство.

В последнее время на рынке управления и автоматизации систем управления все большую популярность занимают «Интеллектуальные сети - smartcity».

Интеллектуальные сети – это обеспечение современного качества жизни за счет применения инновационных технологий, которые предусматривают экономическое и экологическое использование городских систем деятельности.

Интеллектуальный город объединяет в своей структуре разные службы и технологии города:

- видеонаблюдение и фотофиксации;
- интеллектуальные транспортные системы (ИТС);
- единая система экстренного вызова;
- единая диспетчерская служба и ситуационные центры;
- системы 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].

«Цифровизация» характерна для всех стран мира, включая Казахстан. Задача каждого государства обеспечить качество жизни, безопасность и комфорт. Эта тенденция характерна и для нас. По показателям цифрового развития государства, Казахстан является лидером среди стран Центральной Азии. Уровень развития достиг 60%. В рамках программы «Цифровой Казахстан» запланировано внедрение технологий умного города в пяти больших городах: Нур-Султан, Алматы, Шымкент, Караганда и Актобе. В далее данное направление планируют расширить и в областях центрах Казахстана. На рисунке 1.1 представлен рейтинг городов по внедрению «Смарт» технологий.

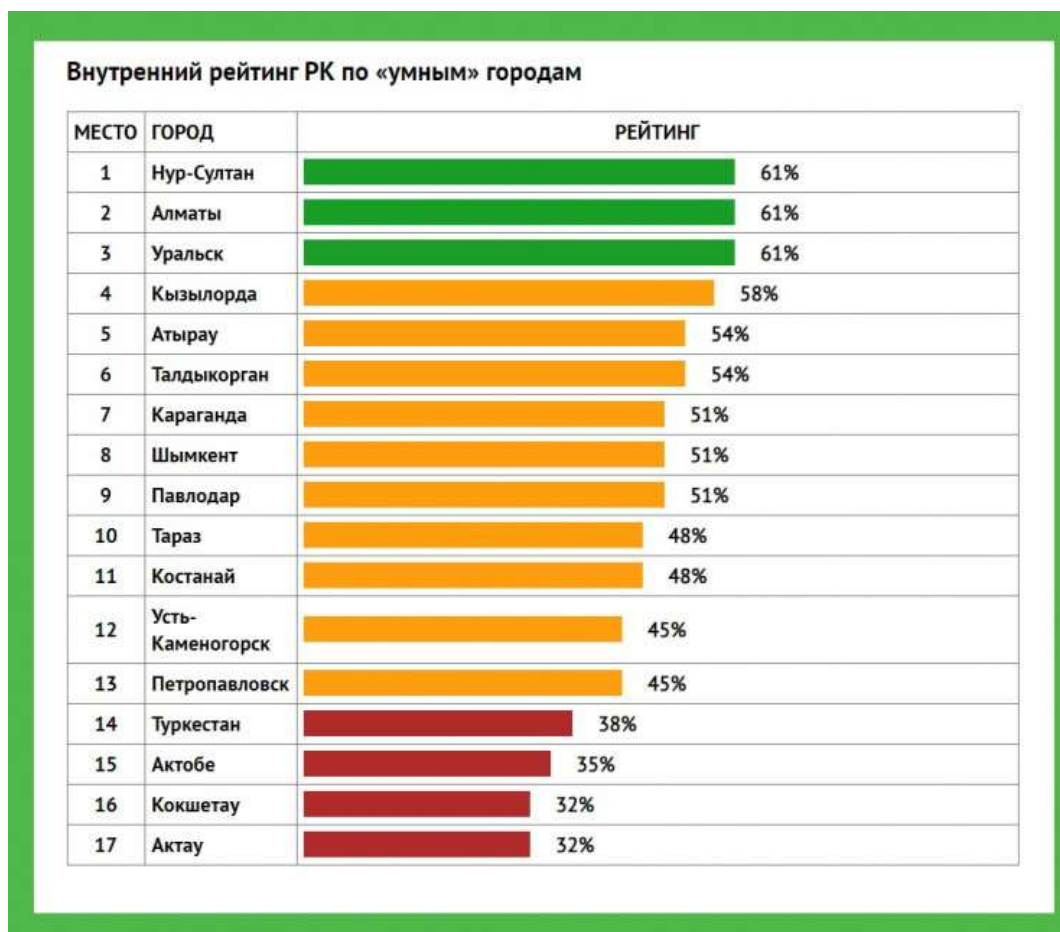


Рисунок 1.1 – Внедрение «смарт» технологий в Казахстане

В целом, хочется отметить, что создание и внедрение умных технологий, прежде всего, направлено на предоставление социальных выгод для населения. Повышается безопасность, доступность к услугам городских сервисов, городские учреждения и службы становятся более открытыми, снижаются расходы и потребление ресурсов и др. При реализации всех задуманных проектов интеллектуального города, применяют разные Smart технологии.

Так в направления разумного использования электроэнергетических ресурсов применяют технологию SmartGrid. На сегодняшний день это одна из перспективных умных технологий в отрасли электроэнергетики, а соответственно улучшения общей структуры «Умный город».

1.3 Сущность технологии SmartGrid в электроэнергетике

Smart Grid ("интеллектуальные сети электроснабжения") - это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии. Схема интеллектуальной сети представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2- Схема сети SmartGrid

Технологические решения Smart Grid могут быть разделены на пять ключевых областей:

- измерительные приборы и устройства, включающие smart-счетчики и smart-датчики;
- усовершенствованные методы управления;
- усовершенствованные технологии и компоненты электрической сети: гибкие системы передачи переменного тока FACTS, сверхпроводящие кабели, полупроводниковая, силовая электроника, накопители;
- интегрированные интерфейсы и методы поддержки принятия решений, технологии управление спросом на энергию, распределенные системы мониторинга и контроля), распределенные системы текущего контроля, автоматические системы измерения протекающих процессов, а также новые методы планирования и проектирования, как развития, так и функционирования энергосистемы и ее элементов.

Система собирает информацию о производстве и потреблении электроэнергии, что позволяет корректно распределять энергоресурсы, обеспечивать надёжность их потребления и эффективность использования.

Классические умные сети SmartGrid в электроэнергетике обладают следующими характеристиками:

- способность управлять работой потребителей;
- самостоятельное восстановление после сбоев;
- защищённость от физического и кибернетического внешнего вмешательства;
- обеспечение электроснабжения требуемого качества;
- синхронная работа генерирующих источников и центров хранения электроэнергии;
- способность существенно повышать эффективность работы энергосистемы в целом.

В своем проекте я хочу остановиться на одном направлении – интеллектуальные счетчики.

Смарт-счетчики (интеллектуальные счетчики) энергоресурсов - разновидность улучшенных приборов учета, снабжённых коммуникационными средствами для передачи накопленной информации за счет сетевых технологий, с целью мониторинга и осуществления расчётов за коммунальные услуги.

Термин "интеллектуальный счётчик", как правило, относился к счётчикам электроэнергии, однако в последнее время также применяется к средствам измерения других потребляемых ресурсов: природного газа, тепла и воды.

Основным компонентом системы является, автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии (АИИСКУЭ).

АИИС КУЭ представляет собой совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих дистанционный сбор, хранение и обработку данных об энергетических потоках в электросетях. АИИС КУЭ нужна для автоматизации торговли электроэнергией и также выполняет технические функции контроля за режимами работы электрооборудования. Структура сети представлена на рисунке 1.3.

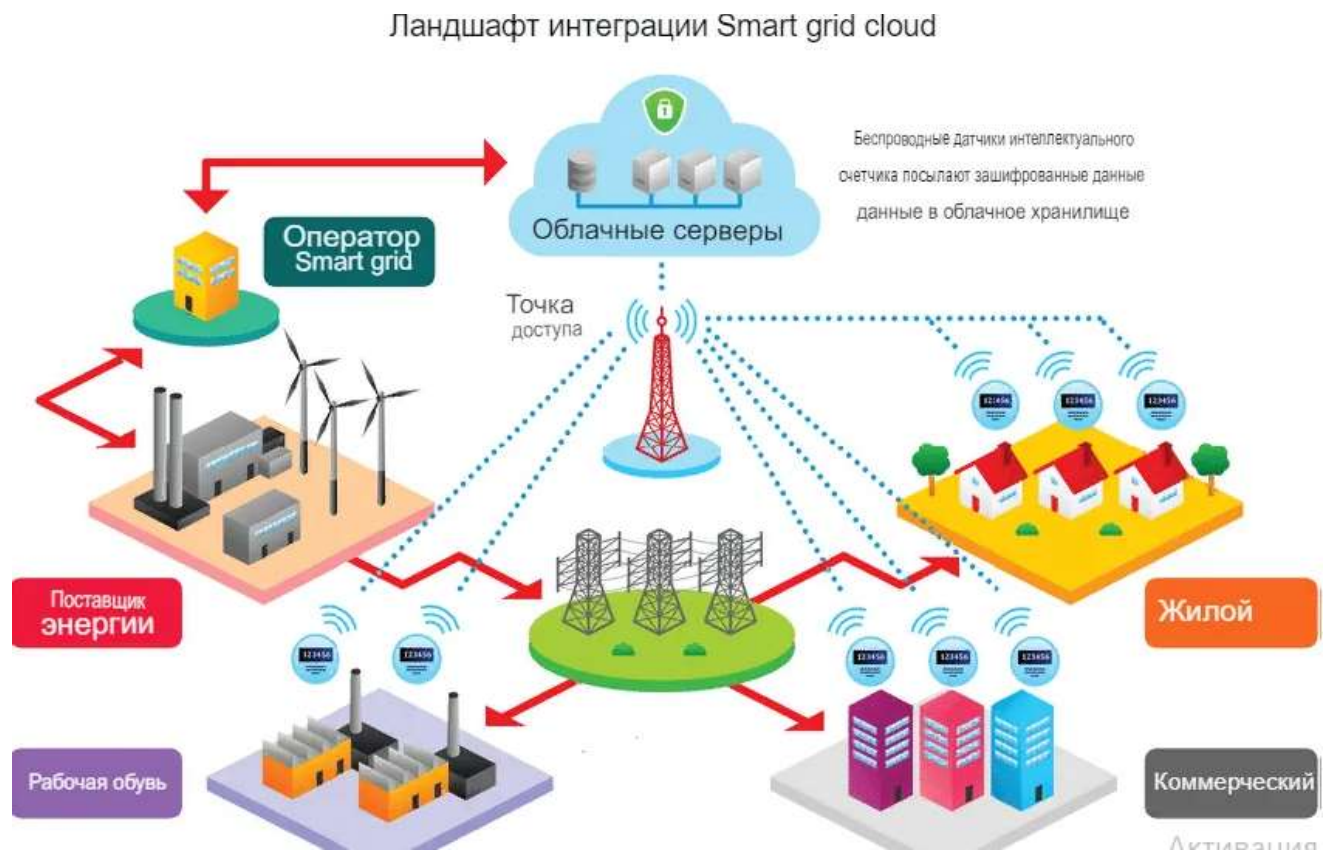


Рисунок 1.3 - Интеллектуальная сеть

Самая система, представляет собой техническое устройство, которое объединяет комплекс измерительно-информационных точек, информационно-вычислительных комплексов электроустановок, информационно-вычислительного комплекса и системы обеспечения единого времени, выполняющее функции проведения измерений, сбора, обработки и хранения результатов измерений, информации о состоянии объектов и средств измерений, а также передачи полученной информации в интегрированную автоматизированную систему управления коммерческим учётом на оптовом рынке электроэнергии в автоматизированном режиме.

Информационная сеть Smart Grid объединяет множество технических элементов и узлов.

В домене потребителей электроэнергии такими элементами являются smart-счетчики, электрические приборы, системы аккумулирования энергии, электротранспорт, а также объекты распределенной генерации.

В домене передачи и распределения энергии элементами информационной системы являются блоки измерения фаз, контроллеры подстанций, объекты распределенной генерации, системы аккумулирования энергии.

В операционном домене элементами информационной системы являются SCADA-системы.

В свою очередь, каждый из вышеперечисленных доменов может состоять из своих подсетей, что делает общую архитектуру сети весьма сложной. При этом одним из ключевых компонентов данной информационной системы является безопасность хранения и передачи данных.

В соответствии с общепринятыми подходами за рубежом, IP (Internet Protocol) - сети являются ключевым элементом информационных систем Smart Grid. К преимуществам использования IP-протоколов следует отнести широкую распространенность данной технологии, наличие значительного числа уже разработанных отраслевых стандартов, значительное число разработанных соответствующих программных продуктов.

Кроме того, решения, построенные на принципах IP, обладают хорошей масштабируемостью, что позволяет включать в информационную систему значительное число элементов сети (smart-счетчиков, домашних приборов и т.д.).

Важную роль в формировании перспектив мирового рынка smart-учета, играет унификация интерфейсов передачи данных от первичных приборов учета к концентраторам и от концентраторов - к системе обработки данных.

Другими словами, умные сети SmartGrid должны отвечать критериям гибкости, доступности, надёжности и экономичности. Помимо этого концепция SmartGrid содержит ещё один важный аспект –экономический подъём. Развёртывание подобных проектов способствует развитию инновационных технологий, стимулирует производство высокоинтеллектуальной продукции.

В Казахстане внедрением SmartGrid занимается АО «KEGOC», компания планирует построить сеть, которая станет ядром интеллектуальной энергосистемы страны.

В настоящее время компания внедряет отдельные элементы будущей инфосистемы – микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики, системы диспетчерского и технологического управления (SCADA), автоматические системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), управляемые шунтирующие реакторы 500 кВт, а также фазоповоротные трансформаторы [4].

1.4 Анализ технологий для реализации проекта «SmartGrid»

Для реализации проекта можно воспользоваться гибридными технологиями, то есть создать сеть на основе разных технологий, проводной и беспроводной. Они не являются конкурентами, а взаимодействуют и дополняют друг друга. Проводные технологии связывают между собой центры управления и мониторинга, а беспроводные клиентов с центрами сбора информации. Рассмотрим вариант создания беспроводных сетей.

С точки зрения дальности передачи, технологии связи Интернета вещей можно разделить на технологии ближнего (short-distance technologies) и дальнего радиуса действия (WAN, widearea network technologies).

Первые представлены такими протоколами, как Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, Z-wave и др. Их типичное применение – «умные дома».

Вторые же используются в службах низкоскоростной передачи данных и обычно определяются как технологии энергоэффективной сети дальнего радиуса действия (Low-power Wide-area Network, LPWAN). При этом развитие технологий LPWAN особенно перспективно [2].

В данной выпускной работе для проектирования беспроводной сети связи для реализации концепции «умная энергетика» будут рассматриваться только технологии дальнего радиуса действия с низкой скоростью передачи данных.

1.4.1 Технология SigFox

Технология SigFox была запатентована в 2008 году французской компанией с одноименным названием. Технология позволяет осуществлять передачу данных на большие расстояния при малой мощности передающего устройства и малой емкости батареи.

SigFox работает на нелицензированных частотах 868 и 915 МГц. Он использует двоично-фазовую модуляцию BPSK, которая передает короткие сообщения только при низких скоростях передачи данных. Скорость передачи данных с шириной полосы частот 200 кГц может быть от 100 бит/с до 1 кбит/с.

Из-за узкой полосы частот, коротких сообщений и бюджета канала 162 дБ возможен большой радиус действия от 30 до 50 км (3-10 км в зашумленных и труднодоступных районах).

Топология сети технологии SigFox сохраняет в себе простую и легкую топологию «звезда» на основе ячеистой инфраструктуры, топология приведена на рисунке 1.4. Такая топология была разработана для обеспечения масштабируемой высокопроизводительной сети с очень низким расходом энергии [1].



Рисунок 1.4- Топология сети SigFox

Для передачи данных SigFox использует ультразвуковую полосу частот (Ultra-Narrow Band, UNB) с двоично-фазовой манипуляцией (BPSK), а для кодирования данных меняет фазу несущей радиоволны. Это позволяет уменьшить уровень шума на принимающей стороне, следовательно, сделать принимающие устройства более дешевыми. Срок службы устройств без замены батареи - 20 лет (от 2-х батареек типа AA).

Емкость сети высока, позволяет Sigfox масштабироваться для миллиардов объектов. Огромная пропускная способность инфраструктуры сети Sigfox является результатом факторов, описанных ранее: модуляция сверхузкой полосы эффективна в использовании спектра и устойчива к помехам, поскольку вся энергия сконцентрирована в очень маленькой полосе пропускания; частотное временное разнесение, вносимое произвольным доступом; пространственное разнесение из-за перекрывающихся ячеек сети [2].

Технология SIGFOX направлена на низкую стоимость устройств, где требуется широкая зона покрытия. Есть целый ряд приложений, которые нуждаются в этой технологии беспроводной связи. Области, в которых могут быть использованы сети SigFox, включают в себя:

- дома и потребительские товары;
- энергетические коммуникации - в частности, интеллектуальный учет;
- здравоохранение – в частности, приложения mHealth;
- транспорт – включая в себя техническое управление;
- удаленный мониторинг и контроль;
- розничная точка продажи, хранение обновлений и т. д.;
- безопасность.

В настоящее время технологию применяют во Франции, Испании и многих городах Великобритании, Нидерландов, Бельгии, Португалии, Ирландии, Люксембурге, многих крупных европейских городах, и

некоторых городах США, Австралии или Новой Зеландии. SigFox сети планируется внедрять в 60 странах в течение следующих пяти лет [3].

1.4.2 Технология LoRa

LoRa (Long Range, дальний радиус) – запатентованная технология цифровой беспроводной передачи данных, разработанная Cycleo (Гренобль, Франция) и приобретенная Semtech в 2012 году. Она представляет собой систему беспроводной связи дальнего радиуса действия, продвигаемую LoRa Alliance, которая позволяет путем создания сетей радиодоступа соединять различные датчики и сенсоры на большом удалении с различными приложениями Интернета вещей.

LoRa предназначена, для развертывания сетей, конечные устройства которых, имеют ограниченную энергию (например, с питанием от батареи). Конечные устройства передают небольшой объем информации, не более нескольких байтов за раз и где трафик данных может инициироваться конечным устройством (например, когда конечное устройство является датчиком) или внешним объектом, желающим связаться с конечным устройством (например, когда конечное устройство является исполнительным механизмом) [4].

LoRa определяет физический уровень в сетях связи с низким энергопотреблением и малой дальностью и может работать в нелицензированных частотах субгигагерцового диапазона. LoRaWAN- это стандартный протокол для канального и сетевого уровней LoRa, поддерживаемый LoRa Alliance. Частные сети LoRaWAN могут быть развернуты частными лицами или организациями. Основные параметры технологии LoRa приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Параметры технологии LoRa

Параметр	Значение
Энергопотребление	10 лет работы
Покрытие	157 дБ
Ширина полосы частот	125 кГц, ISM
Частота	868-915 МГц
Дальность	До 2,5 км в городе
Количество соединений	40 тыс на сектор
Скорость	0,5-50 Кбит/с
Масштабируемость	Средняя
Покрытие	На 20 дБ больше чем GSM

1.4.3 Технология NB-IoT

Узкополосный интернет вещей (Narrow-Band Internet of Things, NB-IoT или LTE Cat-NB1) – это масштабная технология энергоэффективной сети дальнего радиуса действия (LPWA), предложенная 3GPP для сбора и обработки данных и предназначенная для интеллектуальных приложений с низкой скоростью передачи данных. Основные функции NB-IoT представлены на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 - Основные функции NB-IoT

NB-IoT обеспечивает массовое соединение, сверхнизкое энергопотребление, широкую зону покрытия и двунаправленное соединение между плоскостью управления и сигнализацией. Приведу основные возможности технологии.

Расширенная зона покрытия и низкая чувствительность к задержке. Цель NB-IoT – улучшение покрытия на 20 дБ по сравнению с GSM. Если максимальные потери в тракте связи GSM составляют 144 дБ, максимальные потери в тракте связи NB-IoT должны составлять 164 дБ. При этом улучшение нисходящей линии связи в основном зависит от увеличения максимального времени ретрансляции для каждого канала. Хотя мощность передачи по восходящей линии связи терминалов NB-IoT (23 дБм) на 10 дБм ниже, чем у терминалов GSM (33 дБм), сужение полосы пропускания передачи и увеличение максимального времени повторной передачи позволяют восходящей линии связи работать при максимальных потерях тракта связи 164 дБ.

Режим передачи. Проектирование NB-IoT основано на сети LTE. Модификация в основном производится по требуемым технологиям LTE в соответствии с уникальными возможностями NB-IoT. Радиочастотная полоса пропускания физического уровня NB-IoT составляет 200 кГц. В нисходящей линии связи (DL) NB-IoT используется цифровой модем QPSK и технология OFDMA с разнесением поднесущих на 15 кГц.

Восходящий канал поддерживает два варианта разнесения поднесущих: 15 кГц и 3,75 кГц. Дополнительный вариант 3,75 кГц обеспечивает лучшее покрытие проблемных местах, например, в глубине зданий, где мощность сигнала ограничена. Данные модулируются поднесущими с применением двоичной фазовой манипуляции (BPSK) и квадратурной фазовой манипуляции (QPSK) [3].

Такая технология применима к терминалу IoT со сверхнизкой скоростью и сверхнизким энергопотреблением. На рисунке 1.6 приведен пример передаваемого сигнала в восходящем канале NB-IoT.

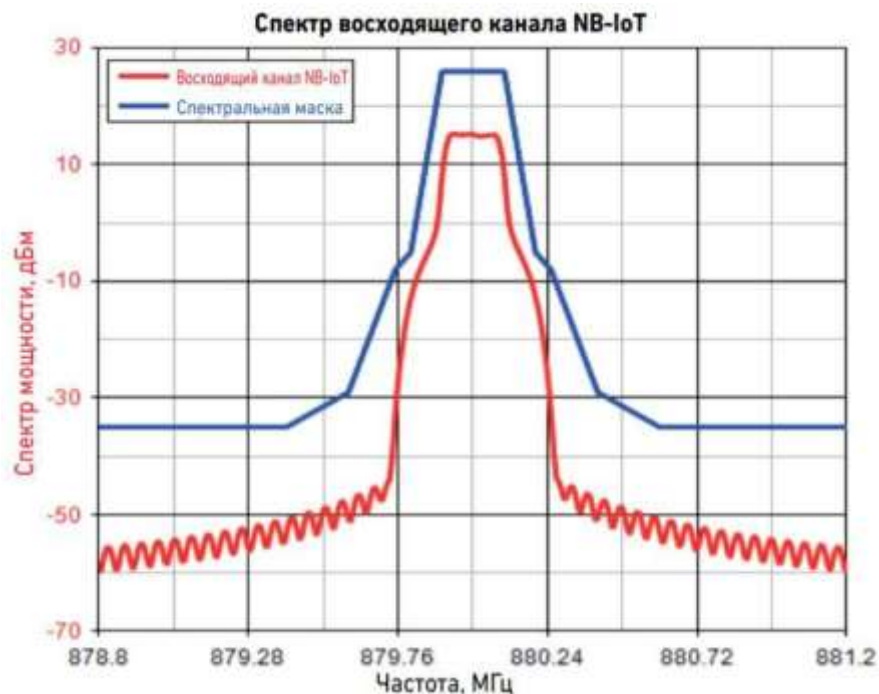


Рисунок 1. 6 - Передаваемый сигнал в восходящем канале NB-IoT

Узкополосный физический блок ресурсов нисходящего канала содержит 12 поднесущих, с разнесением 15 кГц и, соответственно, 48 непрерывных поднесущих определены для разнесения 3,75 кГц, что обеспечивает полосу передачи 180 кГц.

Передача с множеством поднесущих поддерживает разнесение в 15 кГц и определяет 12 непрерывных поднесущих, которые объединяются в 3, 6 или 12 непрерывных поднесущих. Способность покрытия для разнесения 3,75 кГц больше, чем для разнесения 15 кГц из-за более высокой спектральной плотности мощности. Емкость соты для разнесения 15 кГц составляет 92% от емкости для разнесения 3,75 кГц, но эффективность распределения и сложность распределения выше.

Поскольку физический канал случайного доступа (NarrowPhysicalRandomAccessChannel, NPRACH) должен принимать передачу с одной поднесущей с разнесением 3,75 кГц, большая часть оборудования преимущественно поддерживает передачу с одной поднесущей с разнесением частот в 3,75 кГц, для восходящей линии связи.

Полоса частот. Для создания в Казахстане сетей для Интернета вещей по стандарту NB-IoT согласно ГОСТ, разрешено использование полос радиочастот: 453-457,4 МГц, 463-467,4 МГц, 791-820 МГц, 832-862 МГц, 880-890 МГц, 890-915 МГц, 925-935 МГц, 935-960 МГц, 1710-1785 МГц, 1805-1880 МГц, 1920-1980 МГц, 2110-2170 МГц, 2500-2570 МГц и 26200-2690 МГц.

Режимы работы NB-IoT. Для функционирования сети связи в соответствии с технологией NB-IoT в радиочастотном ресурсе должна быть выделена полоса частот, шириной 180кГц, что соответствует одному ресурсному блоку радиосети стандарта LTE (E-UTRAN).

Технология предполагает три режима работы, режимы работы показаны на рисунке 1.7.

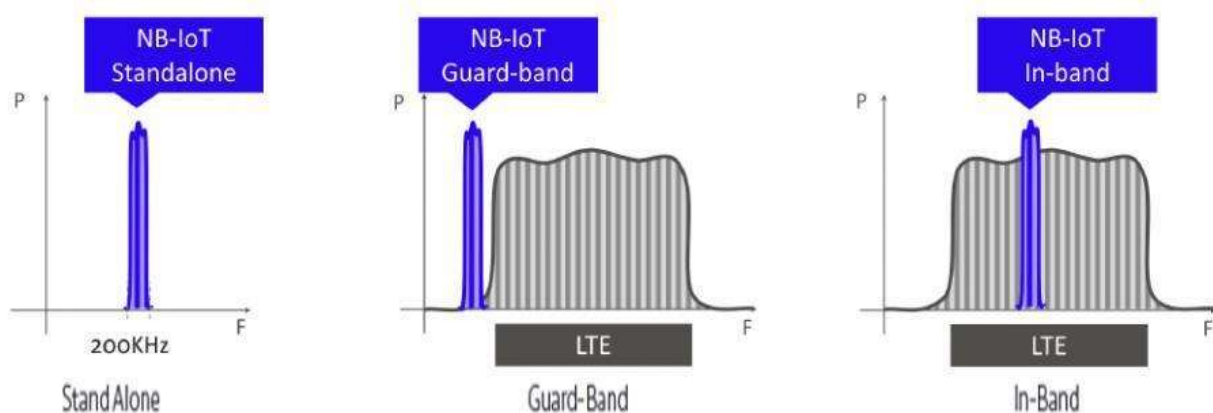


Рисунок 1.7 - Три режима работы, поддерживаемые NB-IoT

1 Автономный режим работы (stand-alonemode), в котором используется независимая полоса частот, которая не перекрывается с полосой частот LTE: происходит выделение одного частотного интервала 200кГц в диапазоне GSM, это позволит организовать NB-IoT радиоканал с двумя защитными интервалами по 10 кГц;

2 Режим работы в защитной полосе сети LTE (guard-bandmode). В этом режиме выделяется 1 ресурсный блок в защитном интервале за пределами рабочей полосы частот, он используется для предоставления услуг LTE. Защитная полоса для диапазона LTE шириной 20МГц составляет 1МГц с каждой стороны, для диапазона LTE шириной 10МГц – по 500кГц;

3 Режим работы в полосе сети LTE (in-bandmode), здесь для развертывания сети используется полоса частот LTE, и требуется 1 физический ресурсный блок (Physical Resource Blok, PRB) полосы частот LTE.

Наиболее распространенным является внутри полосный режим работы. Он широко используется в Европе, где сети с NB-IoT in-band развернуты телекоммуникационными компаниями Vodafone, Deutsche Telekom, Telecom Italia Mobile и другими.

Уровни покрытия. В большинстве случаев NB-IoT используется для передачи мини-пакетов, и NB-IoT трудно обеспечить долговременную и непрерывную индикацию изменения качества канала, поэтому NB-IoT использует разный уровень покрытия вместо схемы адаптации динамической линии [3].

Существует три типа уровней покрытия, включая нормальный охват, надежный охват и экстремальный охват, которые соответствуют минимальным потерям связи 144, 154 и 164 дБ соответственно. Структура сети NB-IoT показана на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Структура сети NB-IoT

Модуляция, режим кодирования и повторное время передачи данных могут быть выбраны в соответствии с классом покрытия терминалов, и именно так реализуется полустатическая адаптация линии связи. Базовая станция NB-IoT

конфигурирует один список RSPP, который содержит два пороговых значения RSPP, чтобы различать разные уровни покрытия.

Влияние развертывания сети на существующую сеть. Для операторов, которые на данный момент не развернули LTE FDD, развертывание NB-IoT будет подобно развертыванию новой сети и будет включать в себя строительство новой беспроводной сети и ядра сети, а также адаптацию к существующей структуре передачи. Между тем, если нет готового незанятого спектра, то потребуется настройка (автономный режим) на спектр существующей сети (обычно это GSM), поэтому стоимость внедрения может оказаться высокой. Однако для операторов, которые уже развернули LTE FDD, существующее оборудование и спектр могут быть использованы при развертывании NB-IoT, поэтому развертывание потребует обновления и модернизации существующей сети.

1.5 Сравнительный анализ технологий SigFox, LoRa и NB-IoT

В работе для проектирования беспроводной сети связи необходимо провести сравнительный анализ беспроводных технологий дальнего радиуса действия, разработанных для сетей интернета вещей, таких, как узкополосный интернет вещей NB-IoT, технология LoRa и SigFox. Результаты сравнения представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Сравнение стандартов

Характеристики	NB-IoT	LoRa	SigFox
Энергопотребление	10 лет работы	10 лет работы	20 лет работы
Бюджет	164 дБ	157 дБ	149 дБ
Ширина полосы частот	180 кГц	125 кГц	100 кГц
Частоты	700/800/900 1800 МГц и любой диапазон LTE	868 МГц (Европа), 915 МГц(США), 433 МГц (Азия)	868МГц (Европа), 915 МГц(США), 433 МГц (Азия)
Дальность	До 11 км в городе	До 2,5 км в городе	10 км в городе
Количество соединений	50 тыс. на сектор	40 тыс. на сектор	50 тыс.на сектор
Скорость	До 250 Кбит/с	0,5-50 Кбит/с	100-600 Кбит/с
Масштабируемость	Высокая	Средняя	Низкая
Покрывтие (сравнение GSM)	На 20 дБ больше	На 20 дБ больше	На 11 дБ больше
Развертывание	Реконфигурация сетей LTE, GSM	Неудобно	Неудобно

На основании приведенного материала о существующих стандартах для проектирования сети Smart Grid, мною был выбран стандарт NB-IoT, так как он обладает рядом преимуществ:

- большая плотность соединений (50 тыс. устройств IoT на один сектор базовой станции);
- обеспечение наибольшей дальности связи в городских условиях (до 11 км) благодаря бюджету связи до 164 дБ;
- оптимальная скорость (до 250 Кбит/с) для бесперебойной работы устройств, передающих с определенной периодичностью небольшой объем информации одного типа;
- не дорогое использование и обслуживание NB-IoT при развертывании сети на существующих частотах.

1.6 Постановка задачи

Автоматизация и цифровизация сегодня касается всех сфер человеческой деятельности, использование «умных технологий» приводит к оптимизации потребляемых ресурсов, сокращение материальных затрат на техническую наладку, обслуживание и ремонт оборудования, снизит ошибки и из-за человеческого фактора, а так же обеспечит высокую точность при передаче данных. Технологии "SmartGrid ", а в частности «умного» ЖКХ который обеспечит полноценный контроль над работой энергосетей, позволит дистанционно снимать показания со всех счетчиков и предотвращать аварии.

Целью дипломной работы является повысить эффективность работы сети телекоммуникаций на предприятии АО «Кызылординская РЭК» с применением технологии «SmartGrid».

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1 Выбрать технологию в области телекоммуникаций, позволяющую повысить производительность энергокомпаний в данном регионе;
- 2 Проанализировать инфраструктуру района проектирования сети связи;
- 3 Выполнить сравнительный анализ оборудования;
- 4 Произвести технические расчеты зон радиопокрытия и пропускной способности сети, исходя энергетические характеристики оборудования;
- 5 Осуществить моделирование зоны покрытия проектируемой сети в программном продукте ICS Telecom EV с учётом расположения базовых станций;
- 6 Оценить стоимость оборудования и экономическую эффективность проекта для мониторинга потребления коммунальных услуг в рамках рассматриваемого проекта.

1.7 Краткая характеристика проектируемого объекта

АО «Кызылординская РЭК» является основной электро сетевой компанией в городе Кызылорда и в Кызылординской области.

Главной задачей компании является повышение эффективности предоставляемых услуг по передаче и распределению электрической энергии, эксплуатации электрических сетей и подстанций, ремонту энергетического оборудования, с целью повышения удовлетворенности потребителей качеством предоставляемых услуг.

К основным видам деятельности относятся:

- продажа электрической энергии;
- строительство и монтаж электросетевых объектов;
- проектирование электросетевых объектов;
- ремонт, поверка и сборка приборов учета, поверка измерительных приборов;
- энергетическая экспертиза проектов;
- реализация электрических материалов и оборудования;
- микрокредитование;
- юридические консультации и оказание юридических услуг;
- обслуживание электрических сетей;
- аварийная служба.

Помимо Кызылординской распределительной электросетевой компании в регионе существуют компании, которые обслуживают крупные предприятия, например космодром «Байконур» и уранодобывающие активы, ДТОО «Кызылордаэнерго», ТОО «Даулетэнерго», ТОО «Шиелижарыгы», ТОО «Энергосервис», ДТОО «Өндіріс», ДТОО «Энергосервис», ТОО «Кызылорда жарыгы». Понятно, что все эти компании решают внутрикорпоративные задачи, которые скоординированы с энергоснабжением региона. В вопросах модернизации региона стоит задача объединения компаний в единую систему «умная энергетика» [5].

Цифровизация национальной сети с проникновением новых инфокоммуникационных технологий на региональный уровень позволит поднять эту отрасль на должный уровень. На начальном этапе холдинговое объединение ТОО «Кызылордажарыгы», создало единую корпоративную сеть, которая начала переводить на цифровые платформы внутренние сервисы. Экономия за счет принятия оперативных решений привлекла к цифровому сервису и РЭС. РЭС в свою очередь начала оснащать потребителей системой автоматизированного учета электроэнергии, а в дальнейшем планирует завязать в единую сеть учета и взять на вооружение и внедрение технологические решения, которые применяют на национальном уровне KEGOC [5].

Таким образом подводя итоги по главе хочется сказать, что тема дипломной работы актуальна, так как повышение эффективности работы электросетей связанных в единую телекоммуникационную инфраструктуру поможет осуществлять мониторинг всех процессов производства, поможет передавать полученные данные во все подсистемы посредством проводных и беспроводных систем. Это даст возможность виртуализировать большинство функций, выполняемых на производстве за счет различных программ управления и систем датчиков. Поэтому, все измерительные устройства становятся источниками информации, а все встроенные интеллектуальные электронные устройства - её потребителями.

2 Проектирование сети

2.1 Анализ местности

В г. Кызылорда было принято решение начать проектирование и внедрение «Умной энергетики» с решения проблем ЖКХ (жилищное коммунальное хозяйство), установки счетчиков для учета электроэнергии. Начато внедрение проекта в исторической части города. Участок имеет высокую плотность застройки, развитую инфраструктуру, культурные и исторические объекты, а также на территории находится здание Кызылординская РЭК Энергосервис. Улицы, ограничивающие район проектирования: О. Жанадилова, Сахи Романова, Абулхаир Хана, Жунисова. На рисунке 2.1 показана карта района в котором будут производить подключения устройств учета к центру управления.

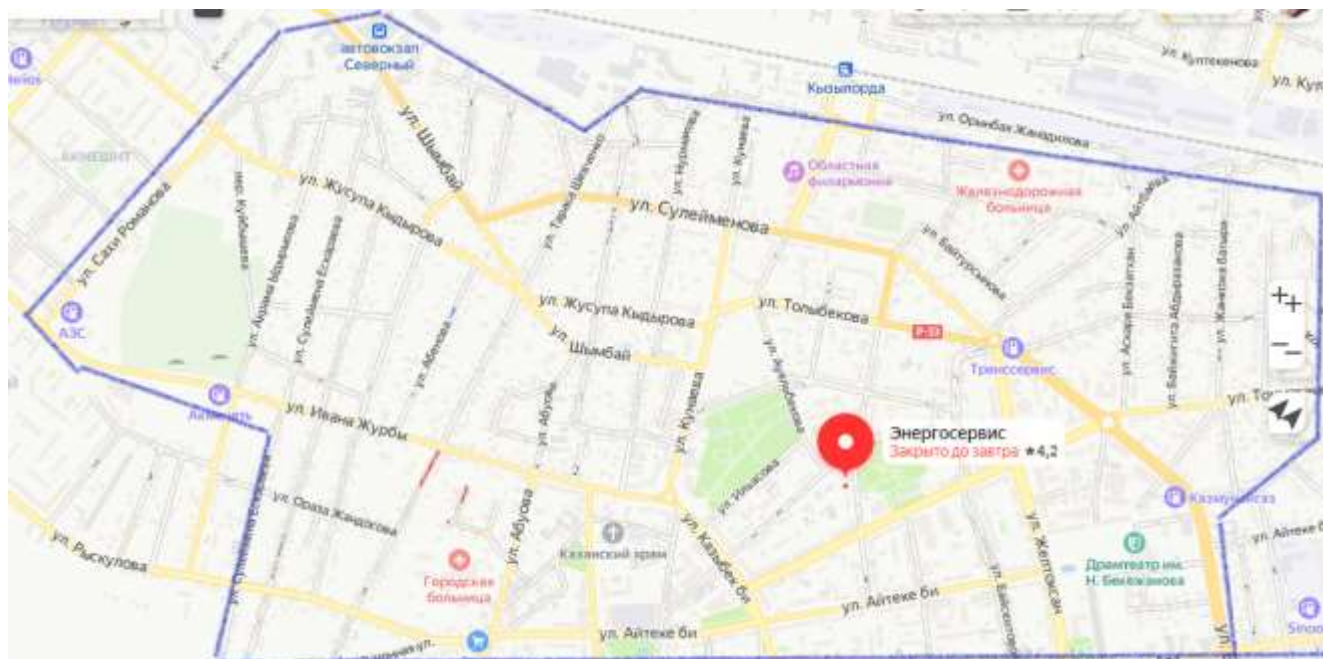


Рисунок 2.1- Карта проектируемого района

На территории находится 18548 абонентов, для них планируется установить 58 040 счётчиков учета электроэнергии.

В городе будут оцифрованы все потребители коммунальных услуг. Теперь контролерам не нужно будет ходить по домам и вручную собирать данные. Система все будет считывать все сама.

Используемая платформа обладает аналитикой на основе искусственного интеллекта и определяет взаимосвязь и взаимозависимость между самыми различными сферами.

По проекту необходимо будет заменить старые приборы учета электроэнергии на новые, входящие в автоматизированную систему коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ). АСКУЭ будет 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. Схема работы проектируемой сети представлена на рисунке 2.2.

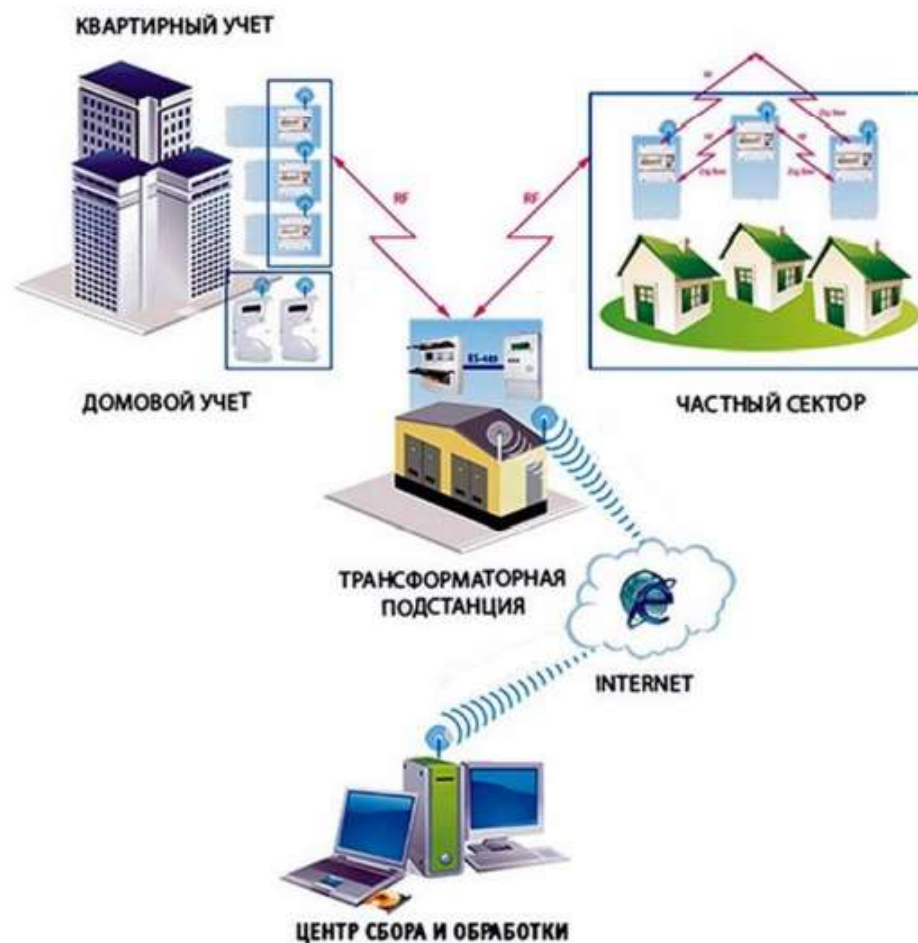


Рисунок 2.2 – Пример архитектуры сети в г. Кызылорда

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. Схема подключения приборов учета показана на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – АСКУЭ на удаленных объектах

2.2 Выбор режима работы и частотного диапазона

Для работы сети Smart Grid в соответствии с выбранной технологией NB-IoT в радиочастотном ресурсе должна быть использована полоса частот, шириной 180 кГц, это соответствует одному ресурсному блоку радиосети стандарта LTE. Так как технология NB-IoT работает в трех режимах автономный режим работы, режим в защитной полосе сети LTE, работа в полосе сети LTE, то ресурсные блок распределим в зависимости от разной ширины выделенных каналов.

Для проектирования сети был выбран режим работы в полосе сети LTE, так как он позволяет использовать NB-IoT внутри существующих сетей LTE, которые имеют большое покрытие и обеспечивают необходимое качество обслуживания интернета вещей. Статистика использования частотных диапазонов при построении сети LTE показана на рисунке 2.4.

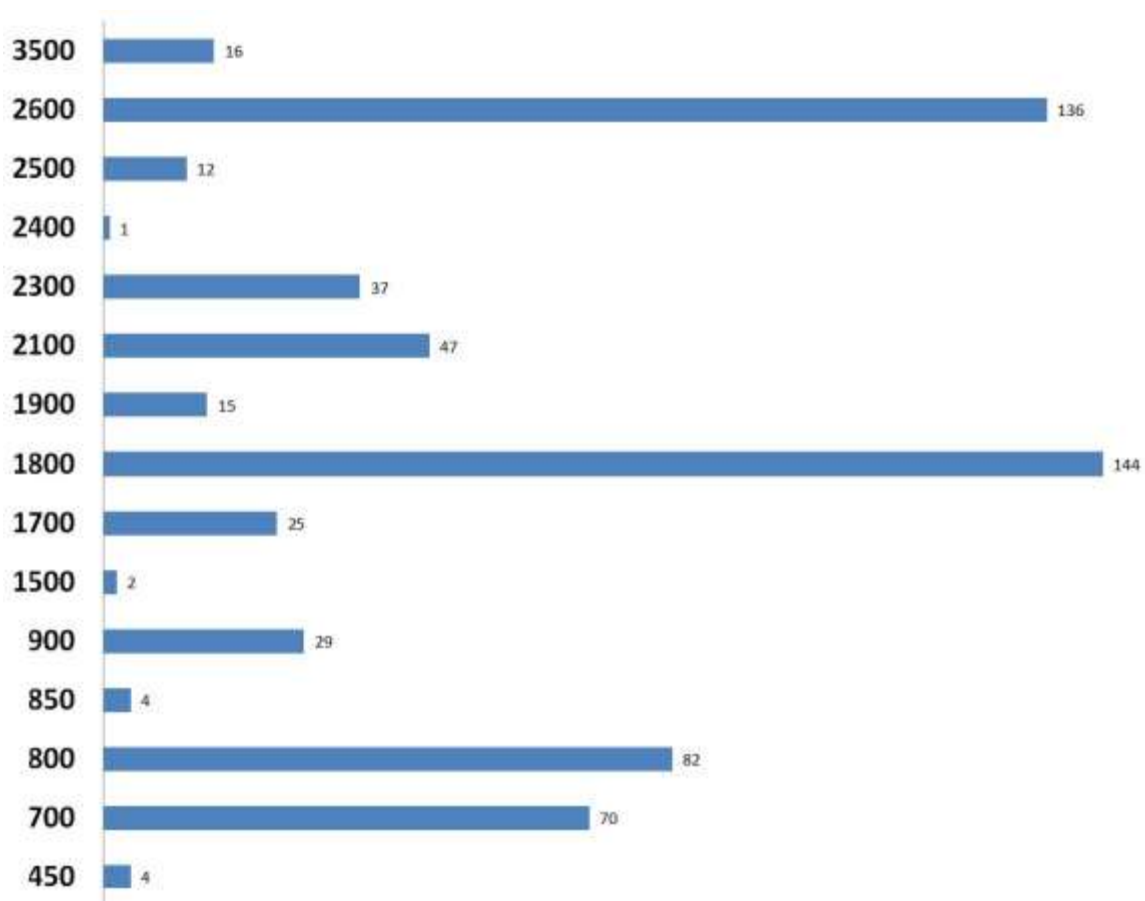


Рисунок 2.4 - Статистика использования частотных диапазонов при построении сети LTE

Из рисунка 2.4 видно, что диапазон 1800 МГц является наиболее часто используемым в сетях LTE, в том числе в Кызылординской области.

Это решение является оптимальным для подключения IoT, поскольку позволяет операторам связи использовать современное оборудование без существенных изменений аппаратного обеспечения. Данные ресурсных блоков, выделяемые при каналах различной ширины приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 -Ресурсные блоки, выделяемые при каналах различной ширины

Рабочая полоса LTE	3 МГц	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц
LTE PRB индексы для in-band NB-IoT	2, 12	2, 7, 17, 22	4, 9, 14, 19, 30, 35, 40, 45	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 42, 47, 52, 57, 62, 67, 72	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95

Для проектируемой сети выбран частотный диапазон 1800 МГц. Не смотря на то, что диапазон 900 МГц на данный момент наиболее часто используется при реализации концепции узкополосного интернета вещей, согласно решению Государственной комиссии по радиочастотам от 28 декабря 2017 г. ГКРЧ № 17-44-06, для применения РЭС в режиме NB-IoT разрешено также использование полосы радиочастот 1805-1880 МГц [12]. В Кызылорде услуги LTE предоставляет компания ALTEL.

2.3 Выбор оборудования

Для выбора оборудования нужно подойти очень внимательно, так как нужно учесть техническую и экономическую сторону проекта. При проектировании сети NB-IoT необходимо выбрать оборудование базовой станции, антенно-фидерное оборудование и оборудование для мониторинга потребления коммунальных услуг.

В первую очередь, должно быть выбрано оборудование базовой станции. Базовые станции нужны для передачи различных данных по каналу радиосвязи от приборов учета 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. В расчетной части необходимо посчитать количество базовых станций и место их расположения. На рисунке 2.5 показана базовая станция компании Huawei.



Рисунок 2.5 -Базовая станция

В таблице 2.2 представлены необходимые значения основных параметров оборудования, используемые в стандарте построения беспроводных сетей LTE [4]. Эти параметры будут использованы для расчета зоны покрытия базовыми станциями микрорайона г. Кызылорды.

Таблица 2.2- Параметры базовой станций Huawei

Параметры	Значение
Скорость передачи данных, Кбит/с	1,803
Максимальная мощность передатчика, дБм	43
Коэффициент шума приемника, дБ	5
Пропускная способность, кГц	180
Необходимое соотношение сигнал/помеха + шум, дБ	-4,6
Чувствительность приемника, дБм	-141
Максимальные потери из-за переходного затухания, дБ	164

Для выбора антенно-фидерного оборудования рассмотрим производителей антенн компаний PowerWave, Kathrein и Huawei. В таблице указаны основные технические характеристики производителей. Особое внимание стоит уделить её параметрам:

- диапазон используемых частот;
- коэффициент усиления антенны;
- угол наклона антенны;
- половина ширины лепестка диаграммы направленности;
- коэффициент стоячей волны.

В таблице 2.3 приведены основные сравнительные параметры антенн компаний Kathrein, PowerWave и Huawei.

Таблица 2.3 - Сравнительные параметры антенн [13]

Характеристики	Kathrein 80010621v02	PowerWave 7722.00	Huawei АНР4517R0v06
Диапазон частот (МГц)	1710 -1880 1920-2200 2200-2490 2490-2690	1710-1880 1850-1990 1920-2170 2200-2700	690-862 880-960 1427-2200 2x1695-1920
Поляризация	±45°	±45°	±45°
Коэффициент усиления	17.0 dBi	17.0 dBi	17.0 dBi
Угол наклона	2°-14°	0°-12°	2°-12°
½ ширины лепестка диаграммы направленности	68°	65°	68°
Коэф. Стоячей волны	<1.5	<1.5	<1.5

Проведя анализ характеристик антенн разных производителей, выбор остановился на антеннах фирмы Huawei АНР4517R0v06. Преимущество этой модели в более высоком показателе коэффициента усиления антенны и большом

диапазоне частот, этот факт позволяет оператору связи организовать на одной антенне сети не только стандарта LTE, но и GSM, DCS, а также UMTS.

В таблице 2.4 приведены основные характеристики антенны Huawei AHP4517R0v06.

Таблица 2.4 -Характеристики антенны Huawei AHP4517R0v06

Диапазон частот (МГц)	800-2600
Поляризация	$\pm 45^\circ$
Коэффициент усиления	15.4 dBi (690-862) МГц 15.7 dBi (880-960) МГц 17.3 dBi (1427-2200) МГц 17.5 dBi (1695-1920) МГц 18dBi (2490-2690) МГц
Горизонтальная поляризация	
$\frac{1}{2}$ ширины лепестка диаграммы направленности	68°
Коэффициент обратного излучения ($180^\circ \pm 30^\circ$)	28 dB
Вертикальная поляризация	
$\frac{1}{2}$ ширины лепестка диаграммы направленности	6.8°
Угол наклона	$2^\circ - 12^\circ$
Коэф. Стоячей волны	< 1.5
Скорость ветра	150 км/час

Далее выберем оборудование для мониторинга приборов потребления коммунальных услуг.

При выборе приборов учета особое внимание стоит уделить таким параметрам, как мощность передатчика, чувствительность приёмника, пропускная способность и рабочие полосы частот.

Необходимые значения основных параметров оборудования согласно ГОСТ Р 59026-2020 Информационные технологии (ИТ) представлены в таблице 2.5. [15].

Таблица 2.5 - Параметры оборудования мониторинга

Параметры	Значения
Мах. Мощность передатчика, дБм	23
Пропускная способность, кГц	15
С/Ш, дБ	11.8
Чувствительность приемника, дБм	От -121, до -141
Мах. потери из за переходного затухания, дБ	164

Для моей работы будут применяться счетчики Меркурий 206, эта модель хорошо себя зарекомендовала на рынке Казахстана.

Счетчики предназначены для учета активной и реактивной электроэнергии в однофазных сетях переменного тока и могут эксплуатироваться как автономно, так и в составе систем автоматизированного сбора данных.

Этот модуль в основном используется для измерения напряжения переменного тока, тока, активной мощности, частоты, коэффициента мощности и активной энергии, модуль без функции отображения, данные считываются через интерфейс RS485.

Прибор подключают в квартирах потребителей, далее по радиоканалу он подключается со службой контроля и учета. В диспетчерской службе РЭК г Кызылорда, все данные собирают и анализируют и потребители получают информацию о количестве израсходованной энергии и ее цену. Схема подключения приборов учета представлена на рисунке 2.4.

Внешний вид приборов учета показан на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6– Прибор учета электроэнергии

Основные технические характеристики приборов будут использованы в технической части для расчета устойчивости связи в радиоканале. Все данные приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 -Основные технические характеристики

Параметры	Единицы измерения
Класс точности активной энергии реактивной энергии	1,0 2,0
Номинальное напряжение, В	230
Номинальный (макс) ток, А	5(60); 5(80); 10(100)
Напряжение питания интерфейса RS-485, В	+5...12
Стартовый ток (чувствительность), - для $I_{БАЗ}=5A$ - для $I_{БАЗ}=10 A$	0,020 0,040
количество тарифов	4
Скорость обмена, бит/секунду: по интерфейсам; через беспроводной порт;	300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 9600
Сохранность данных при перерывах питания, лет - постоянной информации - оперативной информации	40 10
Защита информации	Адресный доступ и аппаратная защита памяти метрологических коэффициентов. Электронные пломбы на вскрытие. Журнал сеансов связи через цифровые интерфейсы.
Диапазон температур, °С	от - 45 до +70
Наработка на отказ, часов	220000
Безотказная работа, часов	7000
Срок службы, лет	30

3 Технический расчет параметров сети

3.1 Выбор модели распространения сигнала для расчетов базовых станций

Для проектирования беспроводной сети необходимо выбрать модель распространения сигнала. Это нужно для того чтобы проследить уровень затухания сигнала при многолучевом распространении сигнала в зависимости от расстояния передающего устройства.

В технике беспроводной связи существует ряд моделей, позволяющих рассчитать среднее значение мощности сигнала при многолучевом распространении в городских условиях с учетом характеристик данной местности. Это модели: Окамуры, Окамуры-Хата, COST231-Хата, COST231-Уолфиша-Икегами.

Для проведения расчета зон радиопокрытия выберем экспериментальную модель распространения сигнала, позволяющую определить затухание сигнала.

Модель Окамура – это одна из наиболее простых и широко используемых моделей. Она основана на графическом представлении экспериментальных данных, полученных Окамура при измерениях уровней радиосигнала в г. Токио (Япония). Этот экспериментальный подход является одним из широко используемых методов для расчета радиолиний в условиях города. Однако слишком высокое расстояние между БС и МС не позволяет нам использовать эту модель.

Модель Окамуры-Хата также была разработана в Токио. Она является модификацией Окамура на основе использования эмпирических зависимостей, аппроксимирующих экспериментальные графики Окамура. Интервал частот равен 150 – 1500 МГц и описывает потери средней мощности на расстоянии более 1 км. Данная модель также не подходит для расчёта, т.к. описывает потери на слишком большом расстоянии.

Модель COST231-Хата работает для несущих частот в диапазоне 1,5 – 2 ГГц, высоте базовой станции 30 – 200 м, высоте антенны подвижной станции от 1 – 10 м и расстоянию между ними 1 – 20 км. Затухания сигнала следует определять по картам местности. Данная модель не применима на улицах с высокими зданиями и с расстояниями между зданиями меньше 1 км.

Модель COST231-Уолфиша-Икегами может применяться в случаях, когда антенна базовой станции расположена как выше, так и ниже линии уровня крыш городской застройки. В совокупность входят высоты антенн базовой и станцией абонента, ширина улиц, расстояние между зданиями, высота зданий и ориентация улиц относительно направления распространения сигнала. Высота БС 4 – 50 м, высота МС в пределах 1 – 3 м, а расстояние между базовой станцией и модулем может быть 0,02 – 5 км.

Для проведения расчета зон радиопокрытия, данная модель является наиболее подходящей. Она соответствует выбранному частотному диапазону, описывает не только потери в свободном пространстве, но и потери на дифракцию, может применяться в случаях, когда антенна базовой станции расположена ниже линии уровня крыш городской застройки, а расстояние между базовой станцией и модулем может быть от 200 м до 5 км.

В таблицу 3.1 занесены основные характеристики выше рассмотренных моделей распространения сигнала.

Таблица 3.1 -Анализ моделей распространения сигнала [6]

Характеристики	Модель			
	Окамура	Окамура-Хата	COST231-Хата	COST231-Уолфиш-Икегами
Частотный диапазон, МГц	150...1920	150...1500	1500...2000	800...2000
Высота базовой станции, м	30...1000	30...200	30...200	4...50
Высота мс,м	От 3	От 3	От 1..10	От 1..10
Расстояние от БС до МС,км	1...100	От 1	1..20	0,2...6

Для дальнейших технических расчетов мною был проведен выбор проектируемой местности, рассчитано количество потребителей и счетчиков воды и электроэнергии. Выбраны основные технические комплектующие, приведены их характеристики и страна производитель, а так же выбран метод для расчета распространения радиоволн сети сотовой связи.

3.2 Расчет пропускной способности сети

Для того чтобы сделать проект сети NB-LoT необходимо рассчитать пропускную способность сети, для этого составим основной алгоритм расчета:

- 1 Расчет ёмкости сети;
- 2 Расчет количества базовых станций, которые должны быть развернуты в соответствии с требуемой емкости сети.
- 3 Расчет бюджета канала (технические характеристики аппаратуры сотовой связи);
- 4 Расчет максимальных потерь при распространении сигнала, с использованием эмпирической модели распространения радиоволн COST Walfisch-Ikegami;

Пропускной способностью называется метрическая характеристика, показывающая соотношение предельного количества проходящих единиц в единицу времени через канал.

Пропускную способность сети NB-IoT можно оценить количеством передаваемых пакетов за 1 секунду.

Количество сеансов связи с полезной пользовательской информацией, генерируемых на сектор в день, выражаем через формулу [10]:

$$S_{\text{map}} = N_{\text{MS}} \cdot 0,8 \cdot (0,4 \cdot 1 + 0,4 \cdot 12 + 0,15 \cdot 24 + 0,05 \cdot 48) = N_{\text{MS}} \cdot 8,96, \quad (3.1)$$

где N_{MS} - это количество устройств, работающих в секторе, $N_{\text{MS}} = 58040$.

Количество сеансов связи с сетевой информацией, генерируемых на сектор в день:

$$S_{\text{NC}} = N_{\text{MS}} \cdot 0,2 \cdot (0,4 \cdot 1 + 0,4 \cdot 12 + 0,15 \cdot 24 + 0,05 \cdot 48) = N_{\text{MS}} \cdot 2,24, \quad (3.2)$$

$$S_{\text{map}} = N_{\text{MS}} \cdot 8,96 = 58040 \cdot 8,96 = 520\,038,4,$$

$$S_{\text{NC}} = N_{\text{MS}} \cdot 2,24 = 58040 \cdot 2,24 = 130\,040,96.$$

Общее количество сеансов связи:

$$S_{\text{SIM}} = \frac{(S_{\text{MAR}} + S_{\text{NC}}) \cdot T_{\text{sim}}}{(20 \cdot 60 \cdot 60)} = \frac{11,2 \cdot N_{\text{MS}} \cdot T_{\text{SIM}}}{86400}, \quad (3.3)$$

где T_{sim} - фактическое время моделирования, 1 с.

$$S_{\text{sim}} = \frac{11,2 \cdot 58040 \cdot T_{\text{sim}}}{86400} = 7 \text{ сеансов связи на 1 секунду.}$$

Периодический трафик MAR и сетевой командный трафик, равномерно распределены во времени.

Для определения средней длины пакетов воспользуемся статистикой трафика NB-IoT, основанной на распределении Парето с ограничениями. [10]

В первом сценарии трафика, соответствующем развертыванию интеллектуальных счетчиков коммунальных услуг, предполагается, что 80% всех устройств автономно иницируют отчет UL с размером распределенной полезной нагрузки по Парето в диапазоне от 20 до 200 байтов, как показано на рисунке 3.1.

Для части счетчиков, отправляющих автономный отчет, исследуется набор различных интервалов запуска, варьирующихся от двух раз в час до одного раза в день. Этот процесс показан в таблице 3.2 и на рисунке 3.1 [11] .

В 50% случаев предполагается, что отчет устройства инициирует подтверждение на уровне приложения, что приводит к передаче DL после отчета UL.

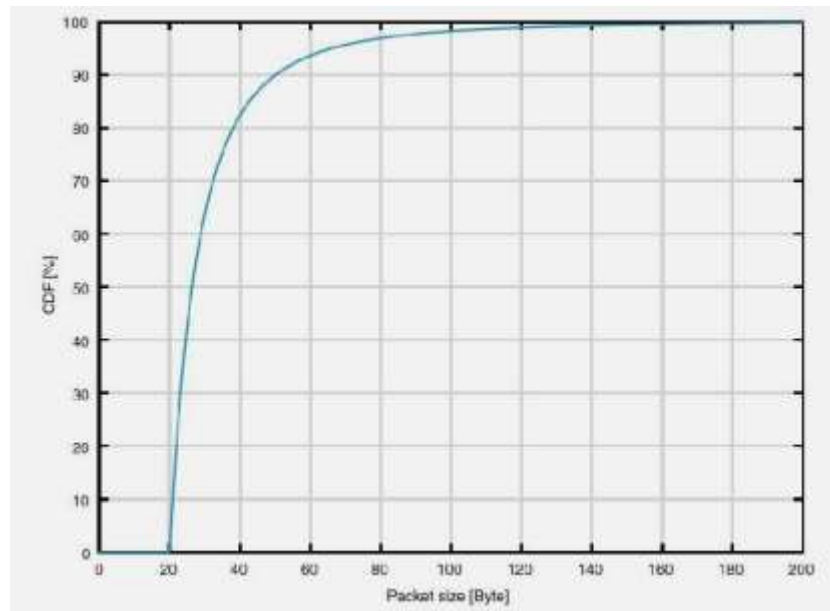


Рисунок 3.1 – График распределения полезной нагрузки в диапазоне от 20 до 200 байтов и со средним размером 32,3 байта по Паретто

Предполагаем, что команда следует распределению и периодичности, указанным в таблице 3.2. Ожидается, что каждое второе устройство ответит на сетевую команду отчетом UL. Также этот отчет следует распределению Паретто в диапазоне от 20 до 200 байтов. В таблице 3.2 показано распределение устройств и периодичность сетевых команд.

Таблица 3.2 -Распределение устройств и периодичность сетевых команд

Отчет об устройстве и периодичность сетевых команд, ч	Распределение устройств, %
24	40
2	40
1	15
0,5	5

Исходя из данных, представленных в таблице 3.1, можно сделать вывод, что устройства в среднем выполняет переход из режима ожидания в подключенный режим один раз в 128,5 минут. Это означает, что для нагрузки в 58 040 устройств, каждую секунду 7 ячеек будут переходить из режима ожидания в режим подключения. Периодичность сетевых команд и распределение размера пакета показано на рисунке 3.2.

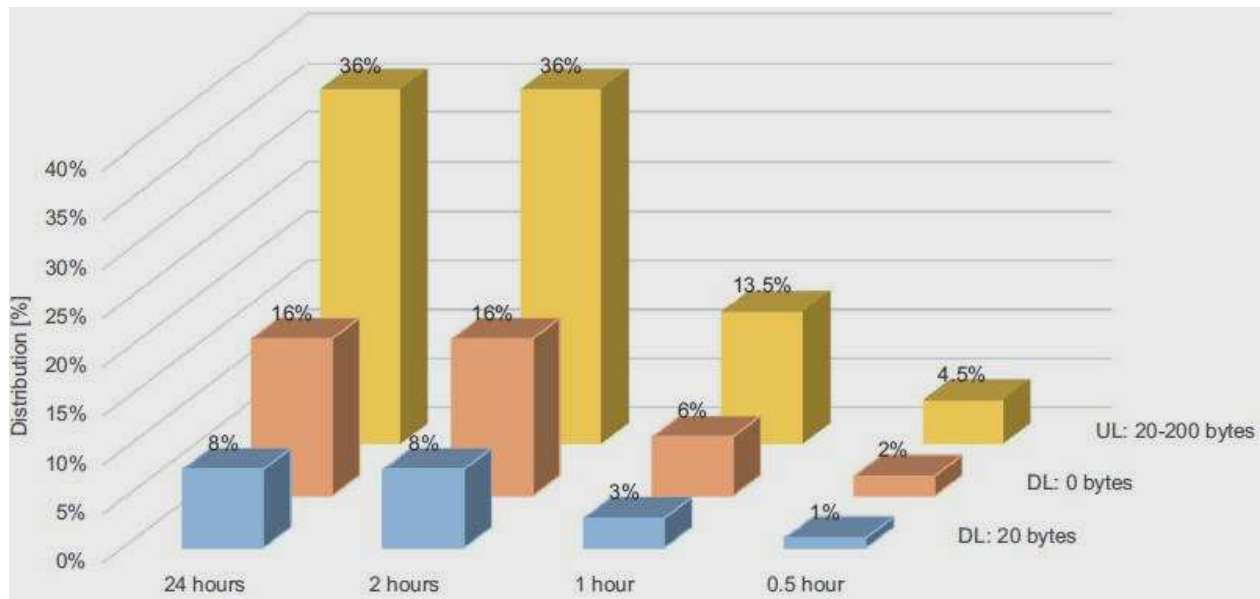


Рисунок 3.2 - Периодичность сетевых команд и распределение размера пакета

Рассчитаем длину пакета. Математическое ожидание длины пакета (средняя полезная нагрузка пакета) равно [12]:

$$M = \frac{\alpha(Lk^\alpha - Lk^\alpha)}{(1-\alpha)[x](L^\alpha - k^\alpha)}$$

где k – минимальная длина пакета $k = 20$ байт;
 L – максимальная длина пакета $L = 200$ байт;
 α – прогиб кривой плотности распределения;

$$M[x] = \frac{\alpha(Lk^\alpha - Lk^\alpha)}{(1-\alpha)(L^\alpha - k^\alpha)} = \frac{2,5(200 \cdot 20^{2,5} - 200^{2,5} \cdot 20)}{(1-2,5) \cdot (200^{2,5} - 20^{2,5})} = \frac{-27289822}{-845844} = 33 \text{ байта} = 264 \text{ бита.}$$

Рассчитанные параметры пропускной способности запишем в таблицу 3.9.

При передаче пакетов по радиоканалу необходимо также добавить объем сжатых IP/TCP (UDP) заголовков (3 байта) и минимальную суммарную длину заголовков подуровней PDCP, RLC, MAC, длиной (3 байта).

Таблица 3.3- Параметры для расчёта пропускной способности

Параметр	Значение
S_{sim} , количество сеансов на одну секунду	7
Скорость кодирования	251/1024
Количество поднесущих	3
Количество слотов	8
Количество необходимых ресурсных блоков	5
Количество повторений ресурсных блоков	16
Пропускная способность, Кбит/с	241,88
Схема модуляции	QPSK

С учетом рассчитанных выше параметров, $M[x]$ составит:

$$32 + 6 = 39 \text{ байт} = 312 \text{ бит.}$$

Метод модуляции – QPSK, позволяет передавать за один символ 2 бита информации.

Минимальной единицей для размещения транспортного блока в физической ресурсной сетке линии "вверх" является ресурсная единица – RU.

Объем RU вычисляется по формуле:

$$L_{RU} = N_{SC}^{RU} \cdot (7-1) \cdot 2 \quad (3,5)$$

где N_{sc}^{RU} – количество поднесущих;

N_{slot}^{RU} – количество слотов;

Множитель (7-1) -отражает использование одного из семи символов для передачи сигнала DMRS.

$$L_{RU} = N_{SC}^{RU} \cdot (7-1) \cdot 2 = 3 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 2 = 288 \text{ бит.}$$

Для того, чтобы передать 312 бит, необходимо 2 ресурсные единицы, однако скорость кодирования –1/4, т.е. на 1 RU приходится 72 полезных бита.

Таким образом, чтобы передать 312 бит полезной информации, необходимо 5 ресурсных единиц и 1440 бит общей информации.

Также нужно учитывать автоматические повторы, которые производятся для того, чтобы избежать ошибок. Тогда количество бит, передающихся за один сеанс, равно:

$$N_b = 11440 \cdot 16 = 23040 \text{ бит.}$$

Поэтому пропускная способность, для обслуживания выбранного количества устройств равна:

$$q = N_b \cdot \sum S_{sim},$$

$$q = 23040 \cdot 7 = 161280 \text{ Кбит/с.}$$

Средняя пропускная способность сети определяется по формуле:

$$NT_{cp} = \frac{q}{1024},$$

$$NT_{cp} = \frac{161280}{1024} = 157,5 \frac{\text{Кбит}}{\text{с}}.$$

Число базовых станций в сети определяется по следующей формуле:

$$N_{bc} = \frac{NT_{cp}}{NT_{max}} + 1, \quad (3.6)$$

где N_{bc} – количество базовых станций;

NT_{cp} – средняя пропускная способность сети;

NT_{max} – скорость базовой станции в нисходящем канале.

NT_{max} – скорость базовой станции в нисходящем канале.

$$NT_{max} = \frac{L_{RU} \cdot N_{RU_SYSFR}}{10,24S},$$

$$N_{RU_SYSFR} = \frac{12}{N_{SLOT}^{RU}} \cdot \frac{10,24}{N_{SLOT}^{RU} \cdot T_{SLOT}^{RU}},$$

где T_{SLOT}^{RU} - длительность слота;

$$NT_{max}=241,88.$$

$$N_{bc} = \frac{157,5}{241,88} + 1 = 2 \text{ базовые станции.}$$

Таким образом, для того, чтобы обслужить трафик планируемой сети связи, необходимо две базовые станции. Теперь рассчитаем, сколько базовых станций нужно, чтобы покрыть зону обслуживания населения.

3.3 Расчет характеристик оборудования базовой станции и абонентской

Для расчета характеристик оборудования возьмем технические характеристики базовой (БС) и абонентской (АС) станции оператора связи.

Исходные данные:

$N_{TM} = 2$ –тип местности (город)

$\Delta h = 30$ м – значение холмистости субгоризонтальная аккумулятивная равнина с абсолютными отметками 30-100 м). Параметры абонентской станции приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Параметры абонентской станции

	Характеристики	Параметры станции
1	Производитель	Huawei
2	Процессор	Wavesat NP7256 Shark
3	Диапазон частот, МГц	1800-2000MHz
4	Технология дуплекса	TDD 256 FFT
5	Тип доступа к среде передачи	TDMA
6	Мощность излучения	20 dBm = 0.1 Вт
7	Модуляция	OFDM FFT 256
8	Отношение сигнал/шум (SNR)	21dB @ 64QAM3/4, 3dB @ BPSK1/2
9	Антенна	23 dBi
10	Поляризация	Вертикальная
11	Дальность работы	до 20 км
12	Скорости передачи данных	до 32 Мбит/с
13	Сетевые порты	1 x 10/100 Base-T
14	Шифрование данных	DES, 3DES, AES
15	Потребляемая мощность	12 Вт.
16	Соответствует стандартам	Radio 1995/5/EC R&TTE
17	Чувствительность приемника	Распд=-110 дБ

Параметры базовой станции приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Параметры абонентской станции

	Характеристики	Параметры станции
1	Радиоинтерфейс	IEEE802.16eOFDMA 0,8...2,5
2	Метод дуплексирования	Временное разделение (TDD)
3	Модуляция	Адаптивная QPSK/16QAM/64QAM
4	Помехоустойчивое кодирование	Каскадное: Рида-Соломона/Витерби
5	Ширина полосы сигнала, МГц	10/20
6	Максимальная пропускная способность сектора, Мбит/с	До 140 (в режиме MIMO 2x2)
7	Средняя мощность на выходе преempoпередaющего модуля, дБм	40
8	Динамический диапазон регулировки выходной мощности, дБ	45
9	Чувствительность, дБм	Минус 89,5
10	Сетевая синхронизация	GPS/ Глонасс
11	Стык сигнала с аппаратурой	Ethernet 100/1000 Base-T
12	Число секторов в одном модуле доступа, шт	До 6
13	Число абонентских станций на 1 сектор базовой станции, не менее, шт.	100
14	Мощность, Вт, , на 1 сектор	150
15	Напряжение электропитания, В	37...72
16	Тип кабеля снижения	Оптический
17	Степень защиты, Модуль	IP 40/IP 68
18	Диапазон рабочих температур, °С,	-40...+65/-60...+50

Характеристики антенны приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 -Характеристики антенны Huawei AHP4517R0v06

	Диапазон частот (МГц)	800-2600
1	Поляризация	$\pm 45^\circ$
2	Коэффициент усиления	15.4 dBi (690-862) МГц 15.7 dBi (880-960) МГц 17.3 dBi (1427-2200) МГц 17.5 dBi (2x1695-1920) МГц 18dBi (2490-2690) МГц
Горизонтальная поляризация		
3	$\frac{1}{2}$ ширины лепестка диаграммы направленности	68°
4	Коэффициент обратного излучения ($180^\circ \pm 30^\circ$)	28 dB
Вертикальная поляризация		
5	$\frac{1}{2}$ ширины лепестка диаграммы направленности	6.8°
6	Угол наклона	2° - 12°
7	Коэф. Стоячей волны	<1.5
8	Скорость ветра	150 км/час

Диаграмма направленности

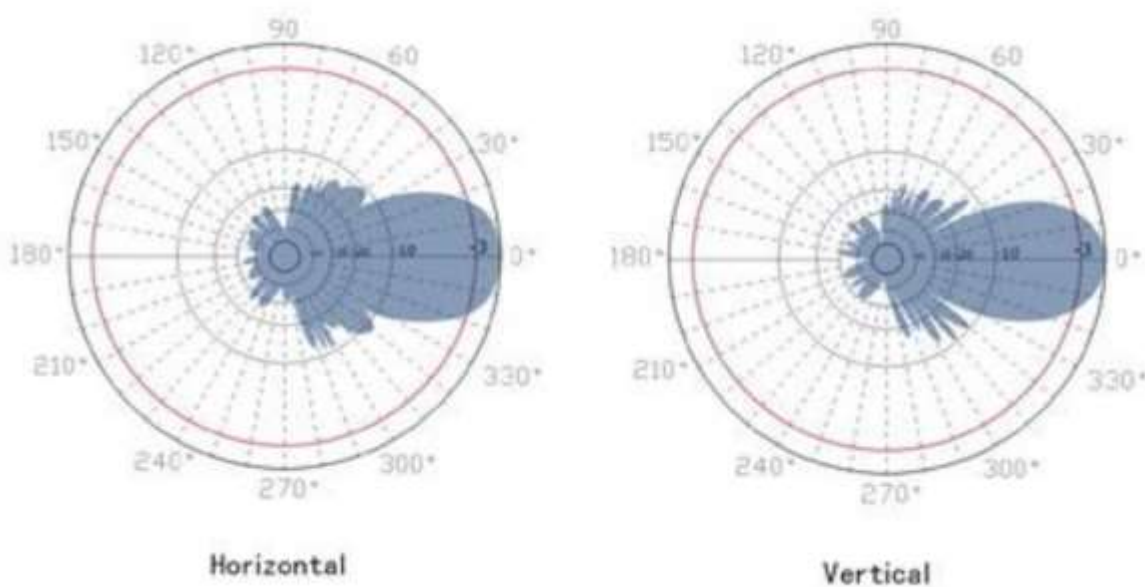


Рисунок 3.8 - Диаграмма направленности

Расчет по модели Уолфиш-Икегами:

Основные параметры, используемые в модели Уолфиша–Икегами:

f — частота передачи (МГц); 1800

h_{bs} — высота передающей антенны БС (м); 48

h_a — высота приемной антенны АС (м); 10

d — расстояние между БС и АС (км); 5

h_r — средняя высота зданий (м); 20 (в основном в городе 5 этажные дома)

w — средняя ширина улиц (м), обычно $w = 15$ м

b — расстояние между зданиями (м), обычно $b = 20$ м

$f = f_{min} = 1800$ МГц - частота

Энергия принимаемого сигнала зависит от того, где находится БС по отношению к АС.

1 Прямая видимость вдоль улиц или других открытых площадей.

В рамках этой модели средний уровень потерь при распространении радиоволн над квазиоптимальным городом определяются следующим образом:

$$L_{LOS}[\text{dB}] = 42,6 + 26 \lg(d) + 20 \lg(f), \quad (3.7)$$

$$L_{LOS}[\text{dB}] = 42,6 + 26 \lg(5) + 20 \lg(1800) = 128,4 \text{ дБ}.$$

Сравнивая формулу с основным ослаблением в свободном пространстве,

$$L_0 = 32,45 + 20 (\lg(d_{\text{km}}) + \lg(f_{\text{МГц}})), \quad (3.8)$$

$$L_0 = 32,45 + 20(\lg 5 + \lg 1800) = 114 \text{ дБ}.$$

где L_0 — потери при распространении в свободном пространстве, без препятствий.

Расчет высоты подвеса антенны по отношению средней высоты уровня зданий:

$$\Delta H_{bs} = h_{bs} - h_{r_m}, \quad (3.9)$$

$$\Delta H_{bs} = 48 - 20 = 28 \text{ м}.$$

Из расчетов следует, что антенна БС стоит выше среднего уровня крыш окружающих зданий.

$$\Delta H_{ms} = h_r - h_{ms} \text{ м}, \quad (3.10)$$

$$\Delta H_{ms} = 20 - 10 = 10 \text{ м.}$$

Это разница между высотой зданий и устройствами абонентской станции.

Расчет распространения сигнала при отсутствии прямой видимости:

Составляющая L_h учитывает уменьшение потерь, если антенна БС расположена выше крыши зданий. Эта составляющая рассчитывается по формуле:

$$L_h = -18 \lg(1 + h_b - h_r) \text{ при } h_b > h_r, \quad (3.11)$$

$$L_h = -18 \lg(1 + 28) = -26, \text{ дБ.}$$

Находим уровень мощности передатчика абонентской станции в дБм/мВт:

$$P_{аспрд} = 10 \lg(P_{аспл}) + 30 \frac{\text{дБм}}{\text{мВт}}, \quad (3.12)$$

$$P_{аспрд} = 10 \lg(20) + 30 = 43 \frac{\text{дБм}}{\text{мВт}}.$$

Задаемся длиной фидера и погонным затуханием в фидере АС:

$$L_{асф} = 0.001,$$

$$A_{асф} = 0,1 \text{ дБ/м.}$$

Вычисляем потери в фидере передатчика АС:

$$B_{асфпрд} = L_{асф} \cdot A_{асф}, \text{ дБ} \quad (3.13)$$

$$B_{асфпрд} = 0,1 \cdot 0,001 = 0.0001 \text{ дБ} = 0,1 \text{ мдБ.}$$

Вычисляем потери в фидере антенны приемника БС:

$$B_{бспрм} = L_{бсф} \cdot A_{бсф}, \text{ дБ} \quad (3.14)$$

$$B_{бспрм} = 0,062 \cdot 50 = 3,1 \text{ дБ.}$$

Уровень эффективной изотропной излучаемой мощности передатчика АС:

$$P_{\text{асизл}} = P_{\text{аспрд}} - V_{\text{асфпрд}} + G_{\text{ас}}, \text{ дБ} \quad (3.15)$$

$$P_{\text{асизл}} = 43 - 0,0001 + 0 = 42,99 \text{ дБ.}$$

Размеры зоны покрытия базовой станции будут определяться дальностью расстояния между базовой и абонентской станциями. Дальность связи будет определяться путем решения первого уравнения связи:

$$P_{\text{пс}} = P_{\text{изл}} - L,$$

$$P_{\text{пс}} = 42,99 - 128,4 = -85,41 \text{ дБм} \quad (3.16)$$

где $P_{\text{пс}}$ – уровень мощности полезного сигнала на входе приемной антенны в дБм;

$P_{\text{изл}}$ – уровень эффективной изотропно излучаемой мощности передатчика в дБм;

L - затухание сигнала при распространении, определяемое по формулам (1);

На входе приемной антенны минимально необходимый уровень мощности определяется техническими характеристиками приемника:

$$P_{\text{псмин}} = P_{\text{бспрм}} + V_{\text{бспрм}} - G_{\text{бс}}, \text{ дБм}, \quad (3.17)$$

$$P_{\text{псмин}} = -89,5 + 3,1 - 10 = -96,4 \text{ дБм.}$$

Вычисляем значение стандартного отклонения сигнала по месту в зависимости от холмистости $\Delta h(\text{м})$ и расстояния $d(\text{км})$.

$$\alpha_{a(d)} = 4,1 \cdot \lg(7) + 5 = 8,46.$$

Вычисляем значение стандартного отклонения сигнала по времени в зависимости от расстояния $(d)\text{км}$.

$$\alpha_t(d) = 6,15 \cdot \lg(1 - e^{-0,036 \cdot 7}) = 1,45.$$

Обобщенное значение стандартного отклонения сигнала по месту и по времени:

$$\alpha(r) = \sqrt{10^{0.1 \cdot \alpha_a(d) \cdot 2} + 10^{0.1 \cdot \alpha_t(d) \cdot 2}}, \quad (3.18)$$

$$\alpha(r) = \sqrt{10^{0.1 \cdot 8.46 \cdot 2} + 10^{0.1 \cdot 1.45 \cdot 2}} = 7,15 \text{ раз.}$$

Дополнительный запас уровня сигнала равен:

$$P_{\text{псдоп}} = Z \cdot \alpha(r), \quad (3.19)$$

$$P_{\text{псдоп}} = 2,326 \cdot 7,15 = 9,47 \text{ раз} = 9,76 \text{ дБ.}$$

Нормированное действующее значение напряженности поля в точке приема для заданной вероятности $S=0,99$.

$$Z=2,326.$$

Значение требуемого уровня мощности сигнала на входе приемной антенны, обеспечивающей необходимую надежность связи равно:

$$P_{\text{пстр}} = P_{\text{псмин}} + P_{\text{псдоп}}, \text{ дБ} \quad (3.20)$$

$$P_{\text{пстр}} = -96,4 + 9,76 = -86,64 \text{ дБ.}$$

Максимально допустимые потери при распространении сигнала на трассе:

$$L_{\text{доп}} = P_{\text{асизл}} - P_{\text{пстр}}(d), \text{ дБ} \quad (3.22)$$

$$L_{\text{доп}} = 42,99 - (-86,64) = 129,63.$$

Максимальная дальность связи определяется путем решения уравнения для превышения допустимых потерь:

$$L_{\text{лос}} = L_{\text{доп}} \text{ дБ,} \quad (3.23)$$

$$128,4 = 129,63 ,$$

$$L_{\text{лос}} \leq L_{\text{доп}}:$$

$$128,4 \leq 129,63 - \text{условие выполнено.}$$

Вывод, максимальный радиус $r(d) = 5$ км, значит что расстояние и характеристики оборудования выбраны, верно.

Проверим наш расчет графическим методом. Построим график зависимости потерь сигнала от расстояния, график представлен на рисунке 3.4.

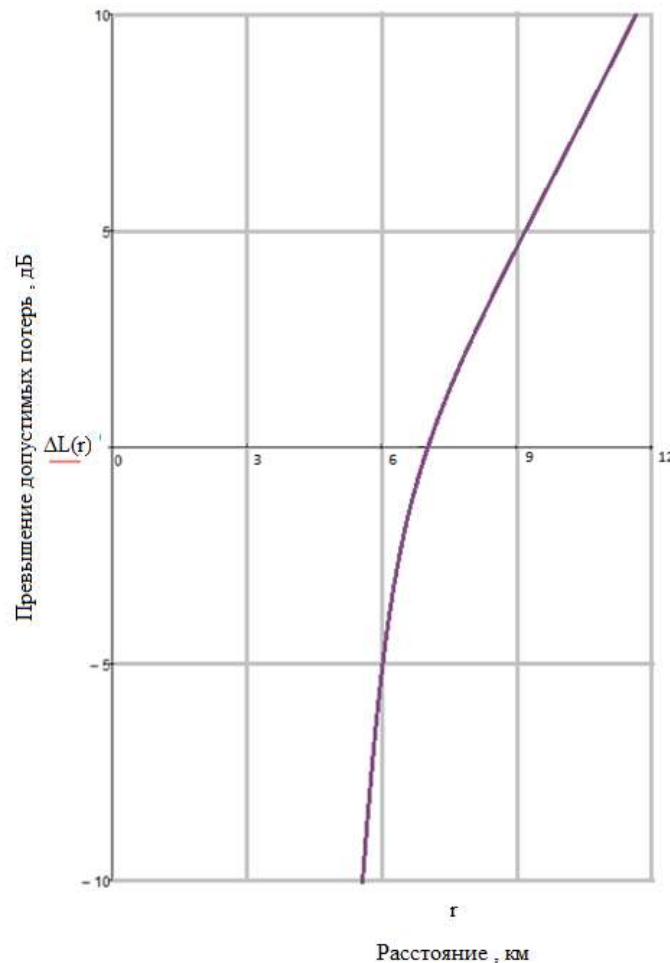


Рисунок 3.4 – График зависимости потерь сигнала от расстояния

Как видно из графика, минимальное расстояние радиуса покрытия сигнала базовой станцией так же $r(d) = 5$ км. Еще раз мы видим, что математический расчет и графический совпали, задача решена, верно.

Далее воспользуемся диаграммой направленности выбранной антенны (концентрические окружности проведены по уровням затухания кратным 3 дБ).

Диаграмма направленности антенны для заданных угловых направлений приведена на рисунке 3.5.

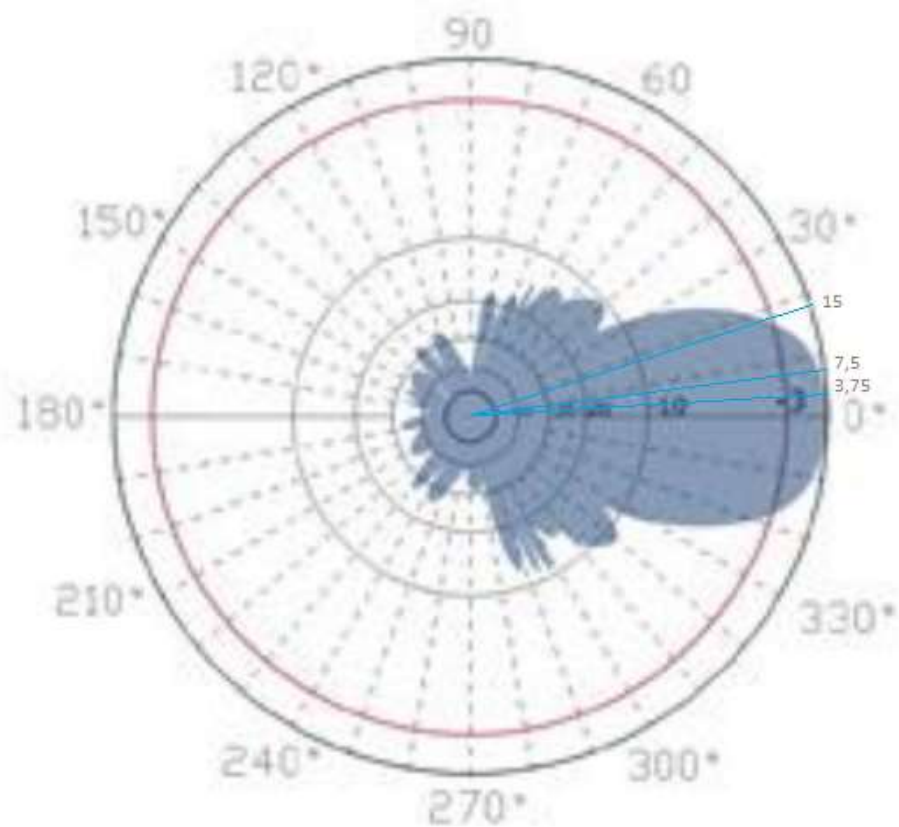


Рисунок 3.5– Диаграмма направленности антенны для заданных угловых направлений

Для заданных угловых направлений (азимутов) находим ДН антенны и дополнительные величины затухания сигнала (азимуты отмечаем на ДН антенны).

$$\alpha_m = \frac{\alpha_{BC}}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ град.}$$

Половинный угол раскрытия ДН антенны:

$$\alpha_1 = 0,25 \cdot \alpha_m = 0,25 \cdot 15 = 3,75 \text{ град.} \Rightarrow G_{дн} = \Delta G_{дн}(\alpha_1) = 0,21 \text{ дБ,}$$

$$\alpha_2 = 0,5 \cdot \alpha_m = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ град.} \Rightarrow G_{дн} = \Delta G_{дн}(\alpha_2) = 0,81 \text{ дБ,}$$

$$\alpha_3 = \alpha_m = 15 \text{ град.} \Rightarrow G_{дн} = G_{дн}(\alpha_1) = 3,1 \text{ дБ.}$$

Решаем это уравнение приближенно графически, рисунок 3.6:

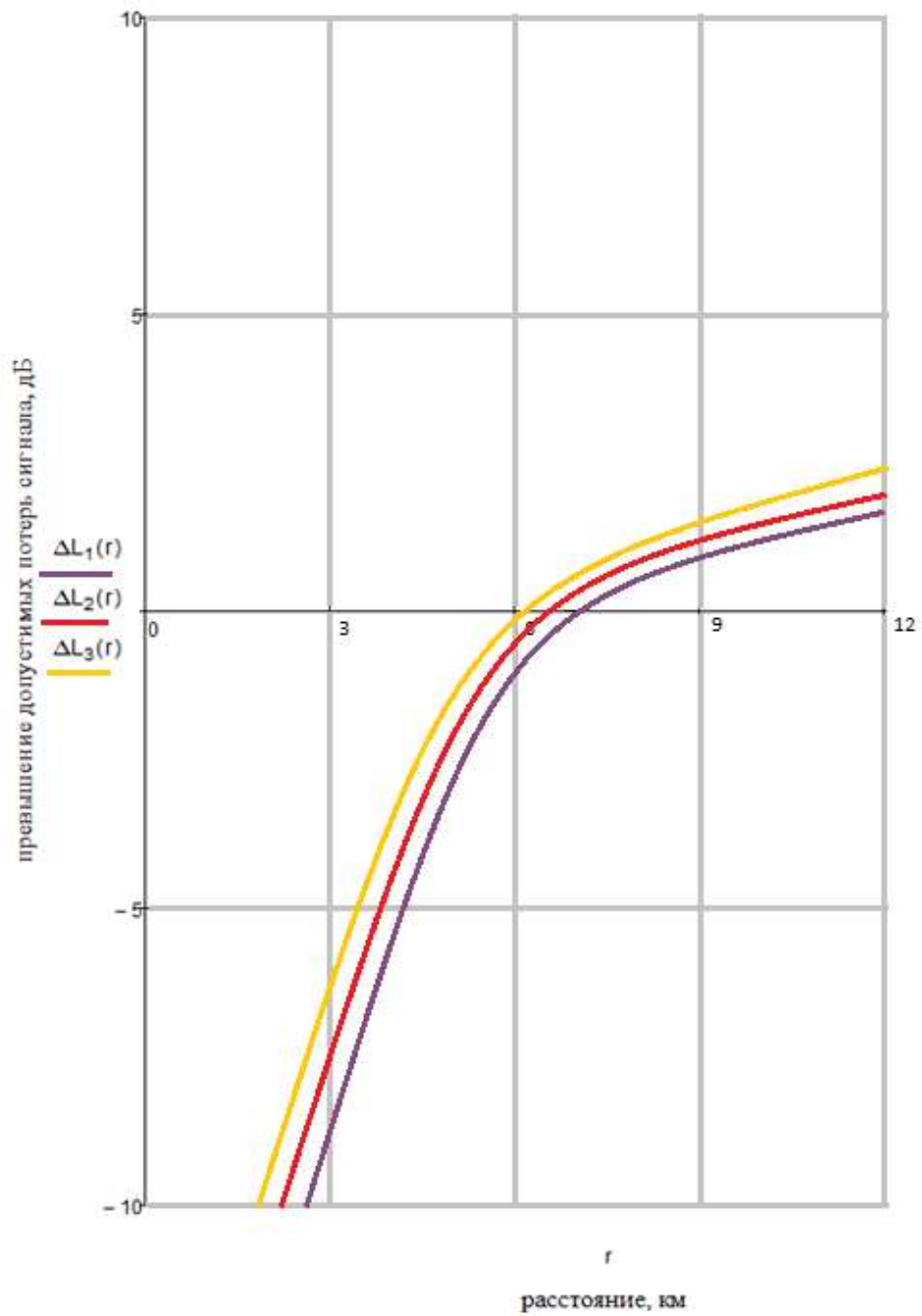


Рисунок 3.6 – Графическое решение

По графику определим приближенное решение:

$$r_1=r_0 = 7,1 \text{ км,}$$

$$r_2=6,8 \text{ км,}$$

$$r_3=6,1 \text{ км.}$$

Принимаем за радиус зоны обслуживания минимальное значение из найденных дальностей связи: $R=r_3=6,1 \text{ км.}$

Используем для покрытия круговой области $N=12$ антенн. При этом каждая антенна будет покрывать сектор:

$$\alpha_{\text{пок}} = \frac{360}{N} = 30 \text{ град.}$$

Сектор перекрытия двух соседних антенн, где могут работать обе антенны, в этом случае будет равен:

$$\Delta\alpha_{\text{пер}} = \alpha_{\text{м}} - \alpha_{\text{пок}} = 15 - 30 = -15 \text{ град.}$$

Строим зону покрытия БС (Концентрические окружности сетки проведены на удаление от БС, кратным расстоянию 1 км, а пунктиром проведены окружность гарантируемой зоны обслуживания $R=6,1 \text{ км.}$). Зона покрытия базовой станцией приведена на рисунке 3.7.

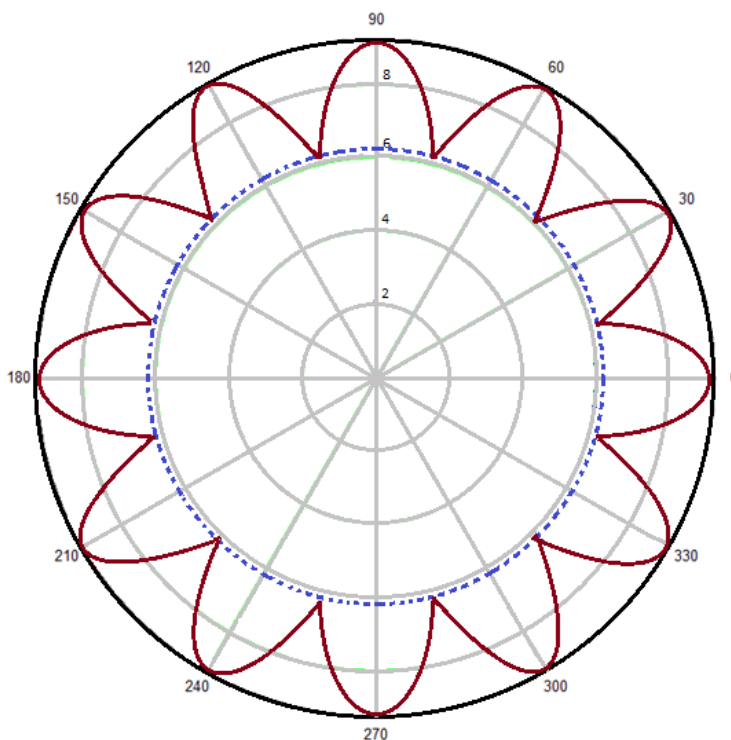


Рисунок 3.7 – Зона покрытия БС

Перенесем на карту насчитанные параметры базовой станции, ее расстояние и зону покрытия. Базовые станции стоят на здании автовокзала и

железнодорожного вокзала, расстояние между ними 5 км. Расстояние устойчивой связи 5 км, расстояние максимальное 7 км. Это расстояние соответствует выбранной технологии и характеристикам базовой станции. На рисунке приведено расположение базовой станции и расстояние зоны покрытия.



Рисунок 3.8– Зона покрытия базовыми станциями сети связи NB-IoT

Подведем итоги главы, были приведены краткая характеристика выбранного оборудования базовой (БС) и абонентской станций (АС), антенны БС, приведены технические параметры оборудования и диаграмма направленности антенны БС. Также был определен радиус зон покрытия выбранного оборудования БС с учетом заданного стандарта, типа местности и выбранной диаграммы направленности для нескольких углов диаграммы. Затем была построена расчетная зона покрытия, обеспечивающая уверенный прием в радиусе 4,17 км. В городе расположено 12 вышек LTE (информация с сайта ALTEL), поэтому считаю, что связь будет устойчива на всей выбранной территории рисунок. Вышки стоят на ж/д вокзале «Кызылорда» и а/в «Кызылорда» расстояние между ними 6 км, это еще раз доказывает о правильно подобранных параметрах и расчете. Это подтверждают расчеты и зона карта зоны покрытия радиосигналом компании ALTEL.

4 Бизнес-план

4.1 Анализ проектируемой сети

Целью выпускной квалификационной работы является повышение эффективности работы сети телекоммуникаций на предприятии АО «Кызылординская РЭК» с применением концепции «SmartGrid».

Автоматизация и цифровизация сегодня касается всех сфер человеческой деятельности, использование «умных технологий» приводит к оптимизации потребляемых ресурсов, сокращение материальных затрат на техническую наладку, обслуживание и ремонт оборудования, снизит ошибки и из-за человеческого фактора, а так же обеспечит высокую точность при передаче данных. Технологии "SmartGrid ", а в частности «умного» ЖКХ, который обеспечит полноценный контроль за работой энерго сети, позволит дистанционно снимать показания со всех счетчиков и предотвращать аварии.

Для проектирования сети, был выбран исторический центр города Кызылорда.

На территории находится 18548 абонентов, для них планируется установить 58 040 счётчиков электроэнергии, воды и газа для зданий ниже 9-ти этажей, и счётчики электроэнергии, горячей воды и холодной воды для 5 и 9 этажных зданий. Сеть будем строить на базе существующей сети LTE (4G). Поэтому расходы будут на приборы учета и контроля и на элементы сети. Главным заказчиком является АО KEGOC.

4.2 Маркетинг

Цель маркетинга. Повышение эффективности работы электросетей за счет соединения их в единую телекоммуникационную инфраструктуру. Это поможет осуществить мониторинг процессов производства, поможет передавать полученные данные во все подсистемы, посредством проводных и беспроводных систем. Даст возможность виртуализировать большинство функций, выполняемых на производстве за счет различных программ управления и систем датчиков. Таким образом, все измерительные устройства становятся источниками информации, а все встроенные интеллектуальные электронные устройства — её потребителями.

При расчете доходов от внедрения проекта будем учитывать следующие факторы:

- себестоимость услуг;
- уникальность данной услуги;
- стоимость приборов учета;
- цену, определяемую спросом на данную услугу.

На сегодня существуют четыре сотовые компании, три из них работают в цифровом стандарте GSM (K'Cell, Beeline, и компания

"Алтел") готовы предоставить данную услугу. В технической части проекта я привел данные, которые обосновывают выбор оператора связи «Алтел», как наиболее перспективного и экономически выгодного.

4.3 Расчет штата

Для расчета персонала воспользуемся штатным планом подбора команды для реализации проекта. Объем работ представим в виде плана, таблица 4.1

Таблица 4.1 – Штат сотрудников с учетом этапов проектирования

Наименование этапов	Исполнители	Количество, шт	Зар. плата, тыс руб
Разработка проекта построения сети	Инженер по планированию сети	1	200
Монтаж оборудования	инженер отдела обслуживания базовых станций	2	200
Настройка системы	инженер отдела обслуживания базовых станций	2	200
Сдача в эксплуатацию	инженер отдела обслуживания базовых станций	1	200
		6	1200

Обязанности инженера по планированию сети: проектирование, расчет и мониторинг сети сотовой связи.

Обязанности инженера отдела обслуживания базовых станций: установка, настройка и обслуживанием системы доступа.

4.4 Финансовый план

Рассчитаем капитальные вложения в проект, сюда будут входить затраты на оборудование и монтаж, а так же на реконструкцию сети, т.е добавление оборудования для функционирования сети.

Общие капитальные вложения рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{в}} = K_{\text{о}} + K_{\text{м}} + K_{\text{тр}}, \quad (4.1)$$

где $K_{\text{о}}$ - затраты на оборудование;

$K_{\text{м}}$ – затраты на монтаж;

$K_{\text{тр}}$ - транспортные расходы (5-10% от стоимости оборудования)

Таблица 4.2– Затраты на оборудование

№	Наименование закупаемых товаров, работ и услуг	Количество шт	Цена за единицу, тенге	Стоимость, тенге
1	Комплект приемный на базовой станции	2	4 761 250	9 522 500
2	Монтажные материалы и услуги по установке оборудования	5% от стоимости оборудования	476125	476125
3	Транспортные расходы	5% от стоимости оборудования	476125	476125
			5 713 500	10 474 750

$$K_{\text{тр}} = K_o \cdot 0,05 = 476125 \text{ тг.} \quad (4.2)$$

$$K_o = 9522500 \text{ тг, } K_M = 476125 \text{ тг, } K_{\text{тр}} = 476125 \text{ тг.}$$

Подставим значения в формулу и получим:

$$K_o = 9\,522\,500 + 476\,125 + 476\,125 = 10\,474\,750 \text{ тг.}$$

Эксплуатационные расходы. Эксплуатационные расходы рассчитываются из затрат на обслуживание, оказание услуг в течении года.

$$\mathcal{E}_p = \text{ФОТ} + O_{\text{сн}} + A_0 + H_p + \text{Пч} + C_{\text{эл}} + M, \quad (4.3)$$

где ФОТ - фонд оплаты труда;

$O_{\text{сн}}$ - налоговые отчисления (10,36 % от ФОТ);

M - расходы на запасные части, и текущий ремонт составляют 0,5% от капитальных вложений;

$C_{\text{эл}}$ - затраты на электроэнергию;

A_0 - амортизационные отчисления;

Пч - платежи за использование частот;

H - накладные расходы. Обычно это 75% от себестоимости.

Фонд оплаты труда (ФОТ), рассчитывается исходя из количества работающего персонала и их заработной платы:

$$\Phi OT = Z_{\text{пер}} \cdot Ч \cdot 12, \quad (4.4)$$

Количество обслуживающего персонала взято согласно нормативной численности штата центра технической эксплуатации линий LTE, таблица 4.1

$$Z_{\text{пер}} = 200\,000 \text{ тг.},$$

$$\Phi OT = 200\,000 \cdot 6 \cdot 12 = 14\,400\,000 \text{ тг.}$$

Объект сдается в эксплуатацию 1 раз после выполнения всего комплекса проектно-монтажных работ

$$O_{\text{сн}} = 0,1036 \cdot 14\,400\,000 = 1\,491\,840 \text{ тг.}$$

Величина амортизационных отчислений (А) рассчитывается как:

$$A = \sum_{i=1}^n N_{ai} \cdot \Phi i,$$

где N_{ai} – норма амортизационных отчислений от среднегодовой стоимости основных производственных фондов, в процентах;

Φi – среднегодовая стоимость основных фондов (капитальных вложений).

Нормы амортизационных отчислений для отрасли связи (до 25% в год), кроме компьютерной техники (до 40% в год).

$$A = 0,25 \cdot 10\,474\,750 = 2\,618\,687 \text{ тг.}$$

Накладные расходы составят:

$$H_p = 0,75 \cdot \Phi OT = 0,75 \cdot 14\,400\,000 = 10\,800\,000 \text{ тг.}$$

Затраты на электроэнергию рассчитаем по следующей формуле:

$$C_{\text{эл}} = W \cdot T \cdot S, \quad (4.6)$$

где W - потребляемая мощность, одна базовая станция 3 кВт;

T - количество часов работы $T = 8760$ ч/год;

S - стоимость киловатта часа электроэнергии $S = 21$ тг/кВт/час;

$$C_{\text{эл}} = 3 \cdot 8760 \cdot 21 = 552\,000 \text{ тг.}$$

Расходы на запасные части принимают в размере 5% от стоимости оборудования:

$$M = 9\,522\,500 \cdot 0,05 = 476\,000 \text{тг},$$

Рассчитаем общее число расходов:

$$\begin{aligned} \text{Эр} = \text{ФОТ} + \text{О}_{\text{сн}} + \text{А}_0 + \text{Н}_p + \text{Пч} + \text{С}_{\text{эл}} + \text{М} = & 14\,400\,000 + 1\,491\,840 + 2\,618\,687 + \\ & + 10\,800\,000 + 552\,000 + 476\,000 = 30\,338\,527 \text{тг}. \end{aligned}$$

Таблица 4.5– Структура эксплуатационных расходов

Наименование	Абсолютная величина, тенге	Удельный вес, %
Фонд оплаты труда (ФОТ)	14 400 000	47
Отчисления на социальный налог, $\text{О}_{\text{сн}}$	1 491 840	4,9
Амортизационные отчисления, А_0	2 618 687	8,6
Накладные расходы, Н_p	10 800 000	35,6
Затраты на электроэнергию, $\text{С}_{\text{эл}}$	552 000	1,8
Затраты на материалы и запасные части, М	476 000	1,6
Итого:	30 338 527	100

Оценим стоимость внедрения проекта, исходя из стоимости тарифа компании «Телеучёт данных» [16] и стоимости приборов учёта [17].

Ежегодная плата за комплект устройств по тарифу «IoT-сеть» - 4 500 тг.
Ежегодная плата за комплект устройств для всех абонентов района:

$$T_{\text{об}} = T \cdot N_p \quad (4.7)$$

где T – ежегодная плата за комплект устройств для одного абонента;
 N_p – количество абонентов;

$$T_{\text{об}} = 4\,500 \cdot 17\,679 = 44\,197\,500 \text{тг./год}.$$

С учётом НДС 12%

$$T = 5\,303\,580 \text{ тг. в год}.$$

$T_{об} = 49\,500\,080$ тг. в год.

Эксплуатационные расходы представим в виде диаграммы на рисунке 4.1.

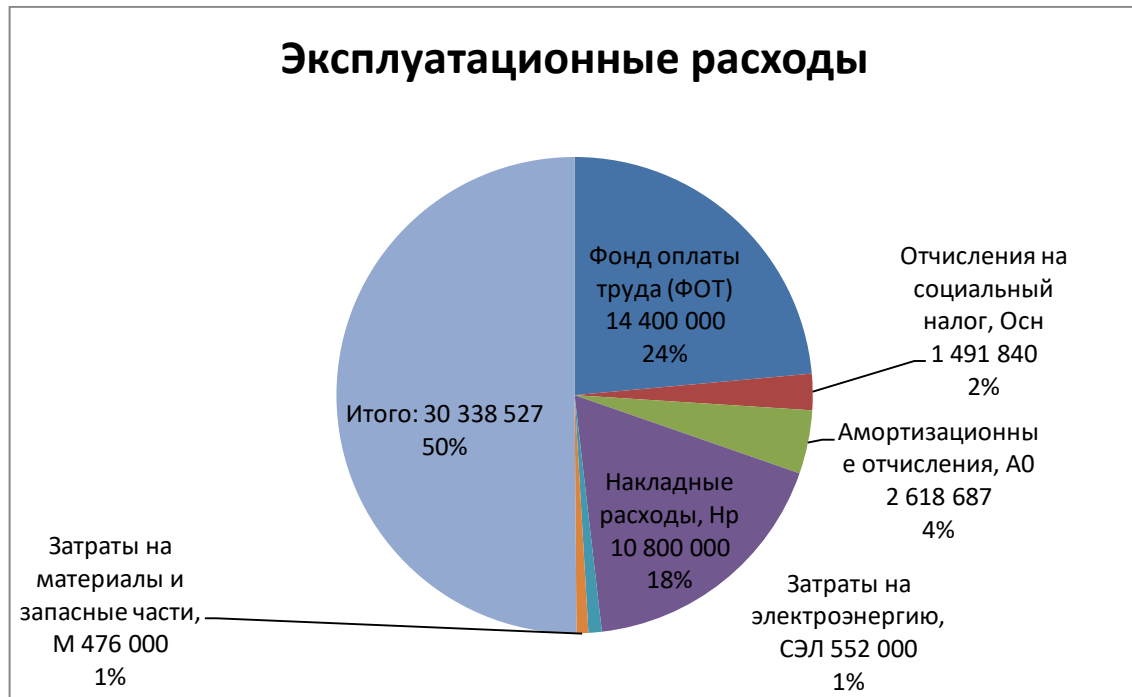


Рисунок 4.1 – Эксплуатационные расходы

Прибыль от основной деятельности определяется как разница между полученными доходами от реализации услуг и средствами, израсходованными в процессе создания услуг:

$$Пр_{осн.} = D_{осн.} - D_{реал} - Э_p, \quad (4.8)$$

$$Пр_{осн.} = D_{осн.} - D_{реал} - Э_p = 44\,197\,500 - 30\,338\,527 = 13\,858\,973 \text{ тг.}$$

Получаемые предприятием доходы подлежат налогообложению, при котором определенная их часть перечисляется в бюджет в соответствии с действующим законодательством.

Корпоративный налог определяется по следующей формуле:

$$Ю_n = H_{ст} \cdot Пр_{осн.}, \quad (4.9)$$

$H_{ст}$ – ставка подоходного налога на прибыль юридического лица – 20%

$$\text{Ю}_H = \text{Н}_{\text{ст}} \cdot \text{Пр}_{\text{осн.}} = 0,2 \cdot 13\,858\,973 = 3\,208\,620 \text{ тенге.}$$

Прибыль после налогообложения рассчитывается по формуле:

$$\text{Пр}_{\text{п.нал.обл.}} = \text{Пр}_{\text{осн.}} - \text{Ю}_H, \quad (4.10)$$

$$\text{Пр}_{\text{п.нал.обл.}} = \text{Пр}_{\text{осн.}} - \text{Ю}_H = 13\,858\,973 - 2\,771\,795 = 11\,087\,178 \text{ тенге.}$$

$$\text{Пр}_{\text{п.нал.обл.}} = \text{Пр}_{\text{чист.ост.врасп.пред}}$$

Прибыль, оставшаяся в распоряжении предприятия включает в себя:

1 Средства накопления (70% от чистой прибыли, в распоряжении предприятия);

2 Средства потребления (25% от чистой прибыли, в распоряжении предприятия);

4 Резервные средства (5% от чистой прибыли, в распоряжении предприятия).

Средства накопления:

$$\Phi_H = 0,75 \cdot \text{Пр}_{\text{п/нал/обл}}, \quad (4.11)$$

$$\Phi_H = 0,75 \cdot \text{Пр}_{\text{п/нал/обл}} = 0,75 \cdot 11\,087\,178 = 8\,315\,383 \text{ тг.}$$

Ожидаемый чистый доход (ОЧД)-средняя сумма денежного потока:

$$\text{ОЧД} = \Phi_H + A_0; \quad (4.12)$$

$$\text{ОЧД} = 8\,315\,383 + 2\,618\,687 = 10\,934\,070 \text{ тенге.}$$

Период окупаемости - это минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта). Данный показатель является одним из наиболее распространенных показателей оценки эффективности инвестиций.

$$T_{\text{ок.}} = \frac{K_{\text{вл}}}{\text{ОЧД}}, \quad (4.13)$$

где $K_{\text{вл}}$ - это сумма инвестиционных средств, направляемых на реализацию инвестиционного проекта.

$$T_{ок} = \frac{10\,475\,750}{10\,934\,070} = 0,96 \text{ года.}$$

Экономическая эффективность:

$$E = \frac{1}{T_{ок}}, \quad (4.14)$$

$$E = \frac{1}{0,96} = 1,04$$

Рассчитаем риски.

Ставку дисконта примем равной 14 %, $E = 0,14$.

Современная стоимость денежного потока на время экономической жизни проекта составит:

$$PV = \sum P_t \cdot \alpha_t, \quad (4.15)$$

где

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (4.16)$$

Определим коэффициент для первого года:

$$\alpha_1 = \frac{1}{(1+0,14)^1} = 0,877.$$

Определим Коэффициент для второго года:

$$\alpha_2 = \frac{1}{(1+0,14)^2} = 0,769.$$

Подставим значения в формулу 4.20:

$$\begin{aligned} PV &= 10\,934\,070 \cdot 0,877 + 10\,934\,070 \cdot 0,769 = \\ &= 9\,589\,179,39 + 8\,408\,299,83 = 17\,997\,479,22 \text{ тт} \end{aligned}$$

Чистая приведенная стоимость:

$$NPV = PV - K_{\sum_{B,Л}} \quad (4.17)$$

$$NPV = 17\,997\,479,22 - 10\,934\,070 = 7\,063\,409,22 \text{ тг.}$$

Индекс рентабельности:

$$PI = \frac{PV}{K(5,20PI)} = \frac{17\,997\,479,22}{10\,934\,070} = 1,646 \text{ тг.}$$

Если: $PI > 1$, то проект является рентабельным;

$PI < 1$, то проект не рентабельный.

Срок окупаемости с учетом дисконтирования:

$$E = \frac{NPV}{K}, \quad (4.18)$$

$$E = \frac{7\,063\,409,22}{10\,474\,750} = 0,65.$$

$$T = \frac{1}{0,65} = 1,5.,$$

Таблица 4.7– Экономическая эффективность проекта

Затраты	Сумма, в тенге
Капитальные вложения в оборудование	10 474 750
Эксплуатационные расходы	30 338 527
Чистый доход от реализации услуг	10 934 070
Экономическая эффективность	1,04
Срок окупаемости, лет	0,96
Прибыль от основной деятельности	11 087 178

Изучая и анализируя экономические аспекты внедрения проекта, мною были сделаны выводы, что применение этих технологий предоставляет огромные возможности для улучшения условий жизни людей, оптимизации всех систем городской жизни. А расчет экономической эффективности проекта показал, что доход в большей степени зависит от времени монтажа и запуска всей системы, я считал из расчета на год. Обычно проекты подобного масштаба, реализуются гораздо быстрее. Экономическая эффективность должна оправдываться результативностью и быстротой внедрения.

5 Безопасность жизнедеятельности

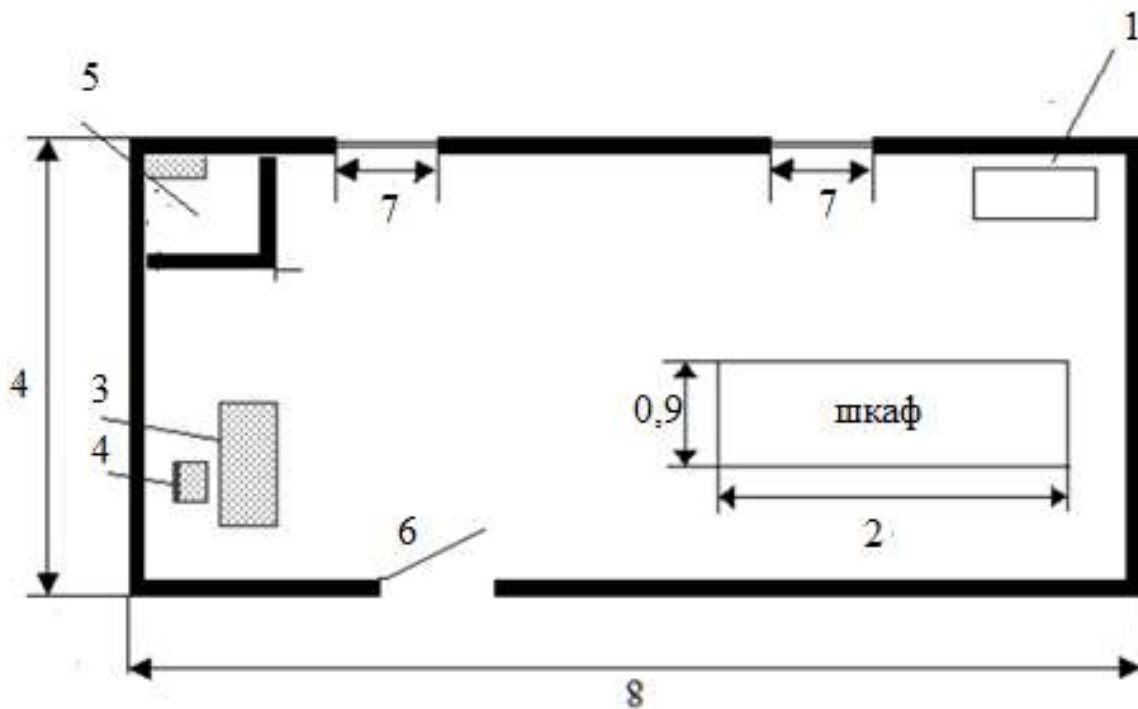
5.1 Анализ условий труда в службе средств диспетчерско-технологического управления и телекоммуникаций Кызылординской РЭК

По техническому заданию, создана телекоммуникационная сеть в Кызылординской РЭК для автоматизации системы управления и контроля вверенных объектов.

Эта сеть создаст современную производственно-технологическую систему связи, которая организует работу высоконадежных каналов для технологии SmartGrid и информационных приложений.

В моем проекте существует центр мониторинга за всеми объектами отрасли. Вся информация поступает в серверное помещение, где работают операторы.

РЭК находится в трех этажном здании, пункт управления занимает один этаж, на остальных этажах администрация и другие отделы. Помещение, для размещения аппаратуры коммутации, имеет размеры: длина $L = 8$ м, ширина $B = 4$ м, высота $H = 3$ м. четыре люминесцентных светильника. Площадь и объем помещения $S = 32 \text{ м}^2$. $V = 96 \text{ м}^3$. Два окна и одна дверь. Площадь и объем помещения $S = 32 \text{ м}^2$. $V = 96 \text{ м}^3$. Два окна и одна дверь.



1 – кондиционер, 3 – столы, 4 – стулья, 5- место для огнетушителя, 6 – дверь, 7 – окна

Рисунок 5.1 – План диспетчерского пункта

В комнате стоит телекоммуникационное оборудование компании Huawei:

- коммутационная стойка;
- ИБП;
- компьютер.

Приемно-передающее оборудование станции работает в условиях:

- температура от 0 до 45° С;
- влажность от 5 до 75%, неконденсированная;
- питание:
- переменный ток - напряжение от 100 до 220 В, частота 50/60 Гц, ток 2 – 5

А;

- постоянный ток - напряжение от 48 до 60 В, ток нагрузки 2 – 4 А.

Все оборудование имеет сертификаты, класс профессионального риска определяем как минимальный. [17]

Электроустройства относятся к устройствам с рабочим напряжением до 1 кВ.

Рассмотрим помещение с точки зрения санитарно-эпидемиологических норм.

По характеру окружающей среды помещение относится к классу "нормальных сухих", относительная влажность воздуха не превышает 60%. По степени доступности оно относится к категории электротехнических, т.е. доступ к оборудованию осуществляется только электротехническим персоналом.

Все высокочастотные установки спроектированы таким образом, что уровни излучений, воздействующих на работников, не превышают нормативных значений (согласно ГОСТ 12.1.006-76 общие требования по технике безопасности").

Оценим микроклимат. Микроклиматические условия на нашем узле обслуживания соответствуют ГОСТу 12.0.003-74. И считаются оптимальными для работы в этой категории. Тип помещения и нормы микроклимата приведены в таблице 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Категории работ по энергозатратам организма

Работа	Категория	Энергозатраты организма, Дж/с (ккал/час)	Характеристика работы
Легкая физическая	I а	< 138	Производится сидя и не требует физического напряжения

Таблица 5.2 - Оптимальные нормы параметров микроклимата

Период работы	Категория работ	T, °C	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	I а	22-24	0,1
Теплый	I а	23-25	0,1

Микроклимат в помещении поддерживается по установленным допустимым значениям СН 245-71. Температура летнего периода: + 24 °C, температура зимнего периода +21 - +24° C, относительная влажность воздуха – 60% при температуре ниже 36° C, скорость движения воздуха не превышает 0,2 м/с в любой период года. Для поддержания температурного режима установлена система кондиционирования.

По содержанию вредных веществ в рабочей зоне диспетчерская соответствует 4 классу опасности ГОСТ 12.1.007-76 . Нормы приведены в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Нормирование показателей помещения для классов опасности

Наименование	Норма для класса
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Мало опасные, 4
	< 0,1
Средняя смертельная концентрация в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	< 500

По степени опасности поражения электрическим током помещение относится к классу без повышенной опасности, поскольку оно соответствует требованиям:

- сухое;
- с нормальной температурой;
- с изолированными полами;
- беспыльное.

В таблице 5.4 приведена оценка условий труда производственного объекта Кызылординской РЭК.

Таблица 5.4 – Оценка условий труда производственного объекта

№	Наименование производственного фактора, единицы измерения	ПДК, ПДУ	Фактический уровень производственного фактора	Величина отклонения "+"	№ протокола, дата проведения замера, кем проведены
1	Вредные химические вещества в воздухе рабочей зоны, мг/мм ³	0,01	Ниже уровня чувствительности прибора	Норма	Протокол № 352 от 20.11.2020 Выездная лаборатория Государственного комитета Стандартизации и Метрологии
2	Пыль преимущественно фиброгенного действия, мг/мм ³	0,0015	Ниже уровня чувствительности прибора	Норма	
3	Вибрация, дБ	2	0	Норма	
4	Шум, дБ	65	44	Норма	
5	Излучения: неионизирующее, мкВт/см ²	60	72	12	
	Ионизирующее, мкВт/см ²	12	8	Норма	
6	Микроклимат: Температура °С,	18–24 ⁰	21 ⁰ С	Норма	
	Относительная влажность %	55–36%	52 %	Норма	
7	Освещенность Е, лк	200	150	Норма	

Класс профессионального риска	2
-------------------------------	---

Проведя анализ помещения по сан эпидемиологическим требованиям, я выяснил, что помещение соответствует допустимым нормам и не представляет опасности для людей и работающего оборудования.

Пожарная безопасность РЭК. Так как в помещении обновляется оборудование, то встает вопрос о замене старой системы автоматического пожаротушения, которая не обновлялась с 2002 г. В помещении была проведена перепланировка, поэтому появилась необходимость в обновлении плакатов по эвакуации людей. Эти вопросы более подробно рассмотрены в следующем разделе.

5.2 Расчет системы автоматического пожаротушения Кызыл-Ординской РЭК

Система автоматического пожаротушения применена в комнате диспетчерского пункта. Она должна соответствовать ГОСТ 12.3.046-91. Здесь располагаются электронные приборы, пульт управления, кросс и место диспетчера. Опасность возгорания может возникнуть от попадания постороннего напряжения на платы, или от прохождения токов высокого напряжения по проводникам, это может вызвать возгорание изоляции и кабеля. При выборе системы автоматического пожаротушения нужно учитывать уровень надежности системы, атак же материал которым производят тушение пожара, так как микроэлектроника очень чувствительна к попаданию жидкости, воды или соли на системные блоки и платы.

Рассчитаем систему автоматического пожаротушения [16,17]

Рассмотрим системы автоматического пожаротушения (САП) для помещений РЭК, они бывают:

- объёмного пожаротушения;
- локального пожаротушения по площади;
- локального пожаротушения по объёму.

Для помещения диспетчерского пункта наиболее подходят САП локального пожаротушения по объёму (указано в технической документации проекта), здесь применяют двуокись углерода и хладон 114В(2), а при САП локального пожаротушения по площади используют двуокись углерода.

На рисунке 5.2 показано расположение оборудования для пожаротушения, система подачи газа для тушения пожара и места расположения баллонов.



- 1 - системы управления;
- 2- коммутационная коробка;
- 3,4 –система тушения и датчики;
- 5– система оповещения.

Рисунок 5.2 - Расположение системы автоматического пожаротушения

Так как в проекте устанавливается автоматическое программное обеспечение по управлению всеми системами, то и система пожаротушения будет прикреплена к этому программному продукту. Поэтому способ запуска САП будет электрическим.

При проектировании системы необходимо предусмотреть полный резерв по оборудованию и запасу огнетушащих веществ.

Рассчитаем массу комбинированного углекислого -хладанового состава m_d кг, для помещения диспетчерского пункта с учетом объемного пожаротушения определяется:

$$m_d = k_6 \cdot g_n \cdot V, \quad (5.1)$$

где k_6 - коэффициент компенсации, $k_6 = 1,13$;

g_n - нормативная массовая концентрация состава – $0,27 \text{ кг/м}^3$, при времени заполнения помещения – 30 с , и $0,4 \text{ кг/м}^3$, при времени заполнения помещения , равном 60 с ;

V - объём защищаемого помещения 96 м^3 (по плану помещения).

$$m_d = 1,13 \cdot 0,27 \cdot 96 = 30 \text{ кг}.$$

Количество баллонов ξ_2 определим из расчета вместимости массы смеси для пожаротушения (углекислого-хладанового состава) в 40- литровый баллон кг.

В один баллон допускается заполнять не более 25 кг состава. Количество баллонов получается –2 (25кг).

Для качественной работы системы определим внутренний диаметр магистрального трубопровода d_i , мм:

$$d_i = d_i \cdot \sqrt{\xi_2}, \quad (5.2)$$

где d_i – диаметр сифонной трубки баллона, мм;

ξ_2 – количество одновременно заряженных баллонов.

$$d_i = 2 \cdot \sqrt{2} = 2,82 \text{ мм.}$$

Соответственно длина трубопровода l_2 , м, рассчитывается по формуле:

$$l_2 = k_7 \cdot l, \quad (5.3)$$

где k_7 – коэффициент увеличения длины трубопровода для компенсации неучитываемых местных потерь, $k_7=1,2$;

l – Длина трубопровода по проекту, $l=25$ м.

$$l_2 = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ м.}$$

Сечение выходного отверстия оросителя определим по формуле , м³ :

$$A_3 = \frac{S}{\xi_1}, \quad (5.4)$$

где S – площадь сечения магистрального трубопровода, мм²;

ξ_1 – число оросителей.

$$A_3 = \frac{90}{6} = 14,93 \text{ мм}^2.$$

Расход углекислого-хладанового состава Q , кг/с, зависит от длины и диаметра трубопровода, $Q=0,800$.

Расчетное время подачи углекислого-хладанового состава t , мин, определяются по формуле:

$$t = \frac{md}{60Q}, \quad (5.5)$$

$$t = \frac{30}{60 \cdot 0,8} = 0,6 \text{ мин.}$$

Масса основного запаса углекислотно-хладонового состав m , кг, определяется по формуле :

$$m = 1,1 \cdot m_d \cdot 1 + \left(1 + \frac{k_8}{k_6}\right), \quad (5.6)$$

где k_8 – коэффициент, учитывающий остаток углекислотно-хладонового состава в баллонах и трубопроводах, $k_8=0,2$.

$$m = 1,1 \cdot 30 \cdot \left(1 + \frac{0,2}{1,13}\right) = 40 \text{ кг.}$$

Для расчета распределительного трубопровода с насадками и расчета массы необходимого количества огнетушащего вещества для создания нормативной огнетушащей концентрации в защищаемом объеме, используются современные компьютерные программы. Для подтверждения достоверности результатов расчета я провел расчет на онлайн калькуляторе рисунок 5.3.

Расчет массы газового огнетушащего вещества для установок газового пожаротушения при тушении объемным способом

Исходные данные

Расчетный объем защищаемого помещения:	$V_D = 96 \text{ м}^3$
Высота защищаемого помещения:	$H = 3 \text{ м}$
Суммарная площадь негерметичных проемов:	$F_H = 0.011 \text{ м}^2$
Параметр, учитывающий расположение проемов по высоте:	$\Pi = 0.1$
Минимальная температура в защищаемом помещении:	$T_M = 293 \text{ К (20 °C)}$
Тип выбранного газового огнетушащего вещества:	Хладон 227ea (C3F7H)
Плотность паров ГОТВ при атмосферном давлении 101,3 кПа и температуре $T_0 = 293 \text{ К (20 °C)}$ составляет:	$P_0 = 7.28$
Класс по взрывопожарной и пожарной опасности:	A
Вид горючего материала:	Прочие материалы
Нормативная объемная огнетушащая концентрация ГОТВ:	$C_H = 7.2$
Время подачи газового огнетушащего вещества:	$t_{под} = 10 \text{ с}$
Объем трубопровода:	$V_{тр} = 0.023 \text{ м}^3$
Область:	Кызылординская

Рисунок 5.3 - Исходные данные для расчета системы пожаротушения

Результаты расчета

Расчетная масса газового огнетушащего вещества Хладон 227ea (C3F7H), которая должна храниться в установке:

$$M_r = K_1 [M_p + M_{тр} + M_6 \cdot n] = 41 \text{ кг}$$

Данный расчет выполнен согласно методике, изложенной в Приложении 5 и Приложении 6 СНиП РК 2.02-15-2003. "ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ".
Казгефест Engineering System Service
Страница материала: https://kazgefest.kz/calc/calculator_agpt.html

Рисунок 5.4 -Результат расчета онлайн калькулятора

Результат расчетов приблизительно совпал, значит, расчет произведен, верно.

5.3 Расчет времени эвакуации людей в здании

В диспетчерской службе в случае экстремальной ситуации, для сотрудников, разработан план эвакуации сотрудников с детальным описанием действия каждого маршрутом выхода из здания. [15,16]

План эвакуации содержит следующую информацию:

- путь выхода людей из здания;
- расположение аварийных и эвакуационных выходов;
- алгоритм действий в условиях опасной ситуации.

Эвакуационный план составлен строго с регламентами и ГОСТ.

Расчет времени эвакуации :

Эвакуационные пути должны обеспечивать эвакуацию всех людей, находящихся в помещениях в течении необходимого времени эвакуации.

Время эвакуации людей t_p определяют как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i :

$$t_p = t_1 + t_2 + \dots + t_n.$$

Время движения людей на 1 участке:

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1},$$

где v_i — скорость движения людского потока,
Плотность людского потока :

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{(l_1 \cdot \delta_1)},$$

где N_1 — число людей на участке;

f — площадь проекции человека (взрослого в летней одежде — $0,1 \text{ м}^2$, в зимней одежде — $0,125 \text{ м}^2$, подростка — $0,07 \text{ м}^2$.)

В таблице 5.5 дана скорость потока людей в зависимости от плотности D и зависимость людского потока от его плотности и скорости движения.

$$q = D \cdot v, \text{ чел/мин.}$$

Пропускная способность потока:

$$Q = D \cdot v \cdot \sigma_1, \text{ м}^2/\text{мин.}$$

Интенсивность движения потока по каждому из участков:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_i}{\delta_i},$$

где σ_i, σ_{i-1} - ширина рассматриваемого и предшествующего участка пути;

q_i, q_{i-1} — интенсивность движения потока по рассматриваемому и предшествующему участку пути.

Если $q_i \leq q_{\max}$, то время движения на участке пути следует определять по формуле:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}.$$

Значение q_{\max} будем принимать:

- для горизонтальных участков $16,5 \text{ м/мин}$;
- для дверных проемов $19,6 \text{ м/мин}$;
- для лестницы вниз 16 м/мин ;
- для лестницы вверх 11 м/мин .

Если значение $q_i > q_{\max}$, то ширину участка пути нужно увеличить чтобы соблюдалось условие $q_i \leq q_{\max}$.

Скорость движения потока по участку пути при значении $D=0,9$.

При слиянии в начале участка двух и более потоков интенсивность движения определяют по формуле:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i},$$

где q_{i-1} - интенсивность движения потоков, сливающихся в начале участка, м/мин;

σ_{i-1} - ширина участков до слияния, м;

σ_i – ширина рассматриваемого участка, м.

Определить время эвакуации людей из зала, расположенного на втором этаже.

Зал состоит из двух одинаковых секции. Объем каждой секции 330 м^3 , площадь секции 78.2 м^2 , площадь, занимаемая оборудованием 20.0 м^2 . Ширина маршей лестничных клеток от дверей входа до лестничных маршей, находится на расстоянии $3,60 \text{ м}$, и ширина выхода из нее, на равна $2,4 \text{ м}$.

Помещение симметричное, поэтому выполним расчет времени эвакуации для 1 секции.

Таблица 5.5-Скорость интенсивности движения людского потока [15]

Плотность потока D , чел · $\text{м}^2/\text{м}^2$	Дверной проем	Лестница вниз	Лестница вверх
Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин Скорость v , м/мин
0,1		8,7	9,5
0,2		13,4	13,6
0,3	14,1	16,5	15,6
0,4		18,4	
0,5	16,5	19,6	15,5
0,6	16,2		14,4
0,7	16,1	18,5	12,6
0,8	15,2	17,3	10,4
0,9 и более	13,5	8,5	7,2

Таблица 5.6-Нормы по времени эвакуации людей [15]

Категория производства	Объем помещений, тыс. м ³	Объем помещений, тыс. м ³			Объем помещений, тыс. м ³
А				60	
А, Б, Е	0,5	0,75		1,5	1,75
В	1,25		2,5		
Г, Д	Не ограничивается				

Путь эвакуации от наиболее удаленной точки до выхода наружу состоит из 8 участков, ширина пути и интенсивность движения неизменна. Ширина каждого из шести проходов 2 м, длина их, включая путь движения от стены, составляет l=42 м. Участки 2 - 6 имеют длину по 3 м, ширину 4 м, участок 7 имеет длину 2 м, ширину 4 м. Для расчета необходимо знать возможное число людей в секции. По СНиП 11-77-80. пункт 3.16 на 1 человека приходится 1,35 м², следовательно, расчетное число людей составляет:

$$N = \frac{F_{\text{секции}}}{1,35} = \frac{78,2}{1,32} = 58 \text{ человек.}$$

Средняя плотность людского потока:

$$D_{\text{ср}} = N \cdot f \cdot (F_{\text{секц}} - F_{\text{обор}}) = \frac{(57,9 \cdot 0,125)}{78,2 - 20,0} = 0,12.$$

Определяем время прохождения каждого участка пути.

Участок 1 (проход) $D_1 = D_{\text{ср}} = 0,12$; $l_1 = 42$ м; $q_1 = 9$ м/мин;

$V_1 = 75$ м/мин; $t_1 = 42/75 = 0,56$ мин.

Участок 2 (расширение пути) :

$$q_2 = \frac{q_1 \cdot \delta_1}{\delta_2} = \frac{9 \cdot 2}{4} = 4,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

$v_2 = 100$ м/мин; $t_2 = 3/100 = 0,03$ мин.

Участок 3 (слияние потоков). Интенсивность движения во всех потоках принимается одинаковой.

$$q_3 = \frac{q_2 \cdot \delta_2 + q_1 \cdot \delta_1}{\delta_3} = 4,5 \cdot 4 + \frac{9 \cdot 2}{4} = 9 \frac{\text{м}}{\text{мин}};$$

$$v_3 = 75 \text{ м/мин}; t_3 = 3/75 = 0,04 \text{ мин.}$$

Участок 4 (слияние потоков).

$$q_4 = \frac{q_3 \cdot \delta_3 + q_1 \cdot \delta_1}{\delta_4} = 9 \cdot 4 + \frac{9 \cdot 2}{4} = 13,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}};$$

$$t_4 = 3/48 = 0,06 \text{ мин.}$$

Участок 5 (слияние потоков).

$$q_4 = \frac{q_4 \cdot \delta_4 + q_1 \cdot \delta_1}{\delta_5} = 13,5 \cdot 4 + \frac{9 \cdot 2}{4} = 18 \frac{\text{м}}{\text{мин}};$$

$$18 \text{ м/мин} > q_{\text{max}} = 16,5 \text{ м/мин.}$$

Участок 5 и участки 6 и 7 содержит скопление людей, причем ширина участков 5, 6 и 7 одинакова и составляет 4м, а участком, ограничивающим пропускную способность эвакуационного пути, является марш лестницы шириной 2,4 м.

Так как интенсивность движения по маршу лестницы меньше интенсивности движения в дверном проеме.

Время эвакуации на участках 5 – 7, на которых к основным потокам добавляется три потока из проходов, с учетом задержки движения у лестничного марша равно:

$$t_{5-7} = \frac{l_{5-7}}{V_{\text{ck}}} + N_f \left(\frac{1}{q_{\text{ck}} \cdot \delta_{\text{марш}}} - \frac{1}{(3q_1 \cdot \delta_1)} \right) = \frac{8}{15} + 579 \cdot 0,125 \cdot$$

$$\left(\frac{1}{7,2 \cdot 2,4} - \frac{1}{(13,5 \cdot 4 + 3 \cdot 9 \cdot 2)} \right) = 0,53 + 3,53 = 4,04 \text{ мин.}$$

Рассчитаем время эвакуации людей из помещения:

$$t_p = \sum t_i = 5,28 \text{ мин.}, \text{ т.е. } t_p > t_{нб} = 1,7 \text{ мин.}$$

Условие по безопасности не выполняется, поэтому, проект нуждается в переработке.

В этом варианте из каждой секции предусмотрено два эвакуационных выхода шириной 2,4 м. При этом на каждого человека приходится около 0,4 м², что в два раза превышает установленную норму площади для разгрузочных площадок.

Определим расчетное время эвакуации через выход А.

Участок 1 такой же, как в предыдущем варианте планировки, следовательно:

$$q_1 = 9 \text{ м/мин}; \\ v_1 = 75 \text{ м/мин}; t_1 = 42/75 = 0,56 \text{ мин.}$$

Участок 2 характеризуется слиянием трех потоков из проходов в сборном проходе при движении к выходу. Интенсивность движения на этом участке:

$$q_2 = \sum_1^3 q_1 \cdot \frac{\delta_1}{\delta_1} = 3 \cdot 9 \cdot \frac{2}{4} = 13,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}};$$

При интенсивности движения $v_1 = 55 \text{ м/мин}$;

$$t_1 = 4/55 = 0,08 \text{ мин.}$$

Интенсивность движения в дверном проеме:

$$q_{\text{дв}} = \frac{q_2 \cdot \delta_2}{\delta_{\text{дв}}} = 13,5 \cdot \frac{4}{2,4} = 22,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}},$$

$$22,5 \text{ м/мин} > q_{\text{max}} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Расчетное время эвакуации:

$$t_p = 0,56 + 0,08 + 0,42 = 1,06 \text{ мин} < t_{нб} = 1,7 \text{ мин.}$$

Условие безопасности при новом, переработанном варианте планировки соблюдается.

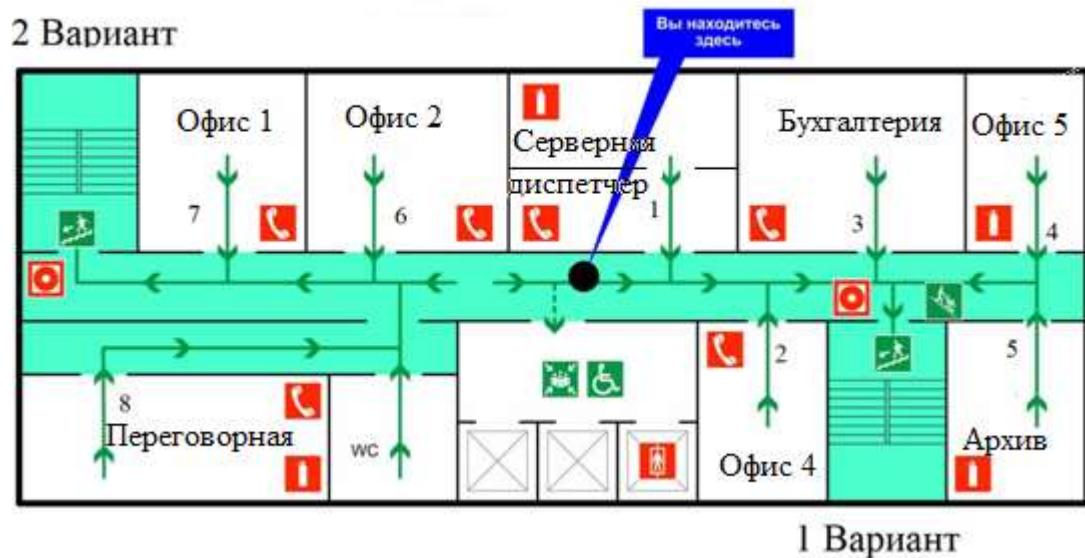


Рисунок 5.2 – План эвакуации в здании

Одним из важных факторов является система пожаротушения, которая была учтена в дипломной работе согласно ГОСТ 12.3.046-91. Применение системы автоматического пожаротушения позволит предотвратить пожар в случае его возгорания, а также оповестить людей для экстренной эвакуации. План эвакуации людей так же предоставлен в дипломной работе, рассчитано время, за которое люди покинут помещение, скорость людского потока, возможное количество людей, а так же указан наиболее оптимальный путь для эвакуации людей.

Заключение

Целью дипломной работы является повысить эффективность работы сети телекоммуникаций на предприятии АО «Кызылординская РЭК» с применением технологии «SmartGrid».

Для достижения поставленной цели мною были выполнены следующие задачи:

- Выбрана технология NB-IoT которая взаимодействует с сетями LTE города Кызылорда ;
- Сделан сравнительный анализ оборудования, и выбрана компания Huawei выбрано приемно передающее оборудование этой компании;
- Произведен расчеты зоны радиопокрытия и пропускной способности сети, исходя энергетические характеристики оборудования, а так же рассчитано количество базовых станций для данного района;
- Сделано моделирование зоны покрытия проектируемой сети в программном продукте ICSTelecomEV с учётом расположения базовых станций;
- Рассчитана экономическая эффективность проекта, проект принят рентабельным и его окупаемость равна 1 год.

Таким образом, тема дипломной работы раскрыта и поставленные задачи выполнены. Считаю тему актуальной, так как повышение эффективности работы электросетей связанных в единую телекоммуникационную инфраструктуру поможет осуществлять мониторинг всех процессов производства, поможет передавать полученные данные во все подсистемы посредством проводных и беспроводных систем. Это даст возможность виртуализировать большинство функций, выполняемых на производстве за счет различных программ управления и систем датчиков. Таким образом, все измерительные устройства становятся источниками информации, а все встроенные интеллектуальные электронные устройства — её потребителями.

Список сокращений

- 3GPP – объединение по разработке стандартов мобильной связи 3-го поколения
- eNB – базовая станция стандарта LTE
- E-UTRAN – сеть радиодоступа стандарта LTE
- ETSI – европейский институт телекоммуникационных технологий
- FDD – дуплекс с частотным разделением направлений
- GERAN – сеть радиодоступа стандарта GSM/EDGE
- GSM – глобальная система мобильной связи
- HSPA – технология беспроводной широкополосной радиосвязи, использующая пакетную передачу данных в сетях WCDMA/UMTS
- IMS – мультимедийная система передачи данных на основе протокола IP
- MIMO – технология передачи данных с помощью N антенн и их приема M антеннами
- OFDM – технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов
- SAE – архитектура ядра сети, разработанная для стандарта LTE
- SC-FDMA – множественный доступ с мультиплексированием с частотным разнесением передачи на одной несущей
- TDD – дуплекс с временным разделением направлений
- UMTS – универсальная мобильная телекоммуникационная система
- WCDMA – широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов
- СМР – строительно-монтажные работы
- ЧНН – час наибольшей нагрузки
- ЦП – циклический префикс

Список литературы

- 1 Nalan, K. E., Guibene, W., Kelly, M. Y. An Evaluation of Low Power Wide Area Network Technologies for the Internet of Things // International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). 2016.
- 2 <https://www.3gpp.org/release-12>(дата обращения: 21.04.2021) .
- 3 <https://www.3gpp.org/release-13>(дата обращения: 21.04.2021) .
- 4 <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P990000384>(дата обращения: 21.04.2021) .
- 5 <https://strategy2050.kz/ru/news/52068/>(дата обращения: 21.04.2021) .
- 6 <http://slgaz.com/2016/03/smart-grid.htm>(дата обращения: 21.04.2021) .
- 7 <https://krek.kz/modernizaciya.html>(дата обращения: 21.04.2021) .
- 8 <https://forca.ru/knigi/arhiv/mezhdunarodnaya-konferenciya-po-raspredelitelnyam-setyam-2001-3.html>
- 9 Шакарян Ю. Г., Новиков Н. Л. Технологическая платформа Smart Grid // Энергоэксперт. 2019. № 4.
- 10 Липатов Ю. Производство электросетевого оборудования: модернизация, инвестиции, инновации // Энергорынок. Февраль 2010 г. № 02 (74).
- 11 Околоков В. Р., Волкова И. О., Околоков Р. В. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность. Ч. 1. Технологические и социально-экономические основания их создания//Академия энергетики. 2016. № 2. С. 72–80.
- 12 L. Wei, D. Jiangbo, and L. Na etc, “Nb-IoT key technology and design simulation method,” Telecommunication Science, vol. (S1), 2016.
- 13 Решение Государственной комиссии по радиочастотам от 28 декабря 2017 г. “Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами стандарта LTE и последующих его модификаций в режиме NB-IoT (решение ГКРЧ № 17-44-06)”, 24 января
- 14 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Экономика предприятия. Методические указания по выполнению семестровых работ для студентов специальности 5В071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации. Алматы. АУЭС, 2013. -31с.
- 15 Сайт компании Huawei<http://www.huawei.com/ru>. (дата обращения: 21.04.2021) .
- 16 Сайт компании O-Link<http://www.o-link.ru>. (дата обращения: 10.05.2021).
- 17 Сайт компании АО "Казахтелеком" <https://telecom.kz/ru/purchases>. (дата обращения: 22.04.2021) .

Приложение А

Минимальный уровень сигнала между базовыми станциями

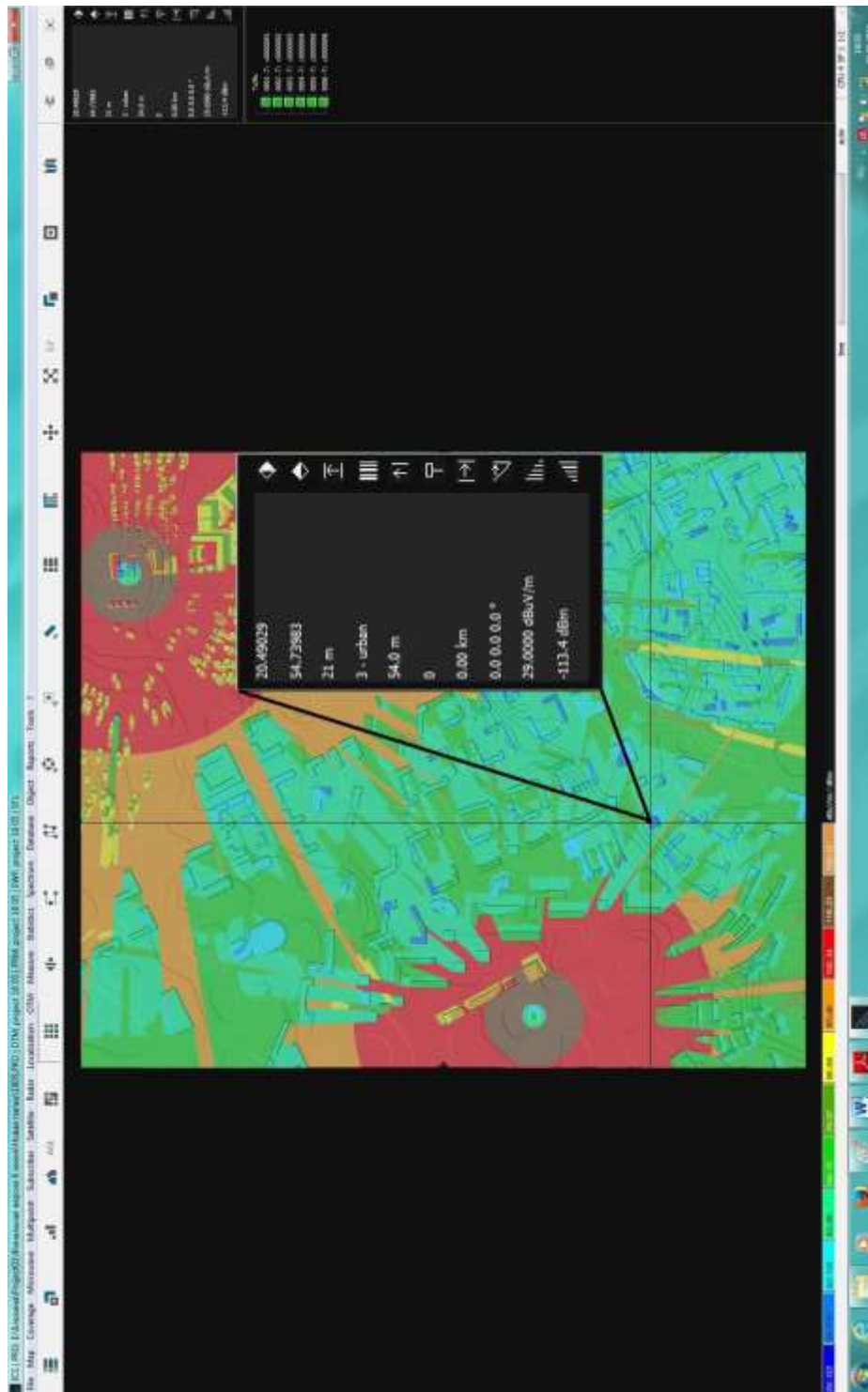


Рисунок А1 - Минимальный уровень сигнала между базовыми станциями