

Министерство высшего образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф.Уткина»  
Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

Курсовая работа  
по курсу «Системы связи с подвижными объектами»  
на тему:  
Интеллектуальная радиосеть «Умный дом»

Выполнил: ст. гр. 819

Шаманова А.С.

Проверил:

Бакке А.В.

Рязань, 2021 г.

## Оглавление

<b>Краткое описание темы .....</b>	<b>7</b>
<b>Исходные данные к проекту .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Постановка задачи и формулирование технических условий функционирования сети .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы. Выделение основного и дополнительного видов информационного трафика (передаваемого или получаемого приложением пользователя), пояснение отношений "пользователь-сеть" в рамках схематичного описания реализуемых телекоммуникационной (ТК) сетью услуг передачи данных. ....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы. Разработка многозвеневой модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети: с чего начинается сеанс предоставления услуги, в чем состоит его исполнение и как он завершается. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети (терминалов, выделенных узлов).....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи: вид трафика, предполагаемая производительность и/или объем сообщений. Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика. ....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.Пояснение функционального состава (структуры) оборудования пользователя и того объекта, который является источником или потребителем информационных сообщений (при необходимости) .....</b>	<b>15</b>

<b>2. ПРОРАБОТКА ПЛОСКОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СЦЕНАРИЯМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Назначение плоскости управления (сигнализации) радиосети, пояснение идеи двустороннего управления решениями в виде "событие- &gt;воздействие-&gt;исполнение-&gt;уведомление об исполнении". Пояснение основных служб плоскости управления и краткий анализ их задач, подготовка и обоснование нескольких примеров сигнальных сообщений.</b>	
16	
<b>2.2. Разработка иерархической модели радиосети - как транспортной платформы доставки информационных (п.1.1-1.4) и служебных сообщений (п.2.1). Выделение отдельной транспортной сети в составе радиосети, анализ ключевых слоев и звеньев модели (физические ресурсы - канал передачи данных - службы управления сеансом соединения/сценариями взаимодействия). .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Пояснение правил идентификации установленных соединений (сессий), сообщений, процедур/служб обработки сигнальных сообщений (задачи в п.2.1), а также сетевых объектов (организация адресного пространства радиосети). .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4. Формирование диаграмм состояний сетевых объектов (выделенных узлов, терминалов) с учетом мер по обеспечению энергосбережения. Выделение активного и пассивного состояний терминалов и анализ задач (режимов) сетевых объектов, выполняемых в этих состояниях. ....</b>	<b>19</b>
<b>2.5. Проработка ключевых сценариев взаимодействия объектов сети: обнаружение/идентификация сети, регистрация/привязка к сети, реализация сеанса предоставления услуги и т.п.. Разработка сценария, выполняющего оперативное реагирование на изменение качества соединения (как будет оцениваться качество соединения, как управлять свойствами активного соединения сетевых объектов?). Подготовка</b>	

сводной таблицы сигнальных сообщений (название и назначение) проработанных сценариев.....	21
<b>3. Разработка канала передачи данных (L2) .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. Пояснение идеи одиночных и множественных логических соединений L2 уровня: назначение, основание для установления, контроль функционирования, завершения соединения. Обоснованный анализ необходимых для функционирования радиосети ключевых видов канальных ресурсов (не менее двух). .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. Обоснованный анализ видов логических каналов (ЛКС), оценка производительности сигнальных и информационных ЛКС в обоих направлениях (требуемое количество сообщений в единицу времени)...</b>	<b>23</b>
<b>3.3. Задачи службы передачи данных канального уровня в виде пояснения обработки информационных и служебных сообщений на L2 уровне: характеристика информационного трафика, поступающего на L2 уровень, оценка необходимости его фрагментации и последующей нумерации, пояснение способов разделения сообщений по типам и их адресации, обеспечение целостности сообщений и т.п. ....</b>	<b>24</b>
<b>3.4. Пояснение структуры L2 сообщений ЛКС, анализ их атрибутов (адресные/широковещательные, уведомительные или требующие обязательного ответа/шифрования, служебное/информационное и т.п.), назначение и размерности полей, оценка скорости передачи битов сообщений ЛКС. Обоснование гарантированной/негарантированной доставки указанных видов сообщений. Результаты п.3.1-3.4 свести в таблицу (с оценкой производительности ЛКС). .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5. Проработка сценария (протокола) гарантированной доставки сообщений одного из ключевых ЛКС в виде повторной передачи неверно принятого сообщения (ARQ). .....</b>	<b>26</b>

<b>3.6. Обоснованный выбор алгоритма доступа к каналным (физическим) ресурсам, пояснение структуры физических ресурсов. Описание стратегии планирования распределения каналных ресурсов. Анализ предлагаемого алгоритма доступа к ресурсам на предмет возникновения коллизий и пояснение решения по их устранению. Формирование правила распределения физических ресурсов между ЛКС (п.3.1,3.4).....</b>	<b>27</b>
<b>3.7. Проработка основных информационных объектов L2 уровня (управление оперативными сведениями). .....</b>	<b>28</b>
<b>4. Разработка физического уровня (L1). Реализация необходимых уровню L2 физических ресурсов.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. Обоснование характеристик требуемых физических ресурсов (пропускная способность, направление и качество доставки, разделяемость ресурса). .....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>4.2. Обоснованный выбор частотного диапазона (на основании документов ГКРЧ); аргументированный выбор модели оценки потерь распространения радиоволн, расчет уровня потерь.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3. Обоснование выбора мер по обеспечению синхронизации и по защите приема от многолучевости и помех в канале связи. При необходимости, проработка профилей физического уровня и сценария их выбора (п.2.5). Оценка требуемой избыточности, вносимой указанными факторами....</b>	<b>30</b>
<b>4.4. Оценка пропускной способности физического канала с учетом избыточности, вносимой на L1 уровне. ....</b>	<b>30</b>
<b>4.5. Расчет отношения сигнал/шум, требуемого для обеспечения необходимого качества приема без помехоустойчивого кодирования. Обоснованный выбор метода и скорости помехоустойчивого кодирования, расчет эффективности кодирования, пояснение влияния выбора на структуру пакета L1 уровня. Повторный расчет отношения</b>	

<b>сигнал/шум с учетом метода помехоустойчивого кодирования. Окончательная оценка требуемой полосы частот. ....</b>	<b>31</b>
<b>4.6. Определение структуры и расчет размерности полей пакетов L1 уровня. ....</b>	<b>32</b>
<b>4.7. Оценка уровня мощности передачи с учетом необходимого запаса мощности сигнала для его уверенного приема с вероятностью PR% на границе радиопокрытия, оценка размера зоны радиопокрытия.....</b>	<b>33</b>
<b>4.8. Разработка и описание функциональной схемы L1 уровня.....</b>	<b>34</b>
<b>Библиографический список:.....</b>	<b>35</b>

### **Краткое описание темы.**

Компактная интеллектуальная радиосеть предназначена для объединения в единую сеть различных электронных устройств с целью удаленного управления или сбора данных (технология «умный дом»). Проектируемая сеть должна предоставлять пользователю возможность получать информацию с каждого сетевого объекта, а также предоставлять доступ к удаленному управлению терминалами (если это предусматривается условиями соответствующего электронного устройства).

### **Исходные данные к проекту**

Максимальное количество терминалов в сети: 15

Радиус зоны обслуживания: 120 м (PR=75% покрытие на границе обслуживания)

Максимальная скорость передачи информационных данных: 1 Мбит/с

Тип местности: помещения, здания

Вероятность ошибки на бит, не более  $P_b$ :  $10^{-6}$

Мощность излучения подвижной станции  $P_{изл}$  :  $< 0.01$  Вт

Диапазон частот, вид модуляции выбирается самостоятельно.

## **1. Постановка задачи и формулирование технических условий функционирования сети**

### ***1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы.***

Под умным домом понимается комплекс решений, позволяющих автоматизировать повседневные действия, избавляя владельца от рутины. Причем это скорее не набор устройств, которыми можно «командовать» удаленно, а единая система управления ими. Она обеспечивает конкретные преимущества пользователю, в том числе наглядность контроля, удобство, экономию сил и времени.

Такая экосистема (совокупность устройств и системы управления) должна без непосредственного участия человека выполнять определенные действия и задачи в ответ на конкретные ситуации.



Рис.1 Общая структура

С мобильных устройств возможна передача команд на облачный сервер, а также получение оттуда информации о состоянии датчиков. Отправка и получение данных могут осуществляться либо через приложение, либо через браузер при заходе на сайт, предоставляющий услуги облачного сервиса.

Стационарные устройства- персональные компьютеры, ноутбуки. Работа с системой умного дома возможна либо через облачный сервис, либо по локальной сети через домашний сервер.

Облачный сервер предназначен для хранения данных о состоянии датчиков и устройств. Он выступает также в качестве посредника между удаленными устройствами управления и домашним сервером. Данная функция осуществляется путем передачи команд, например, с мобильных устройств в облако, где они обрабатываются и передаются дальше на домашний сервер.

Домашний сервер предназначен для получения команд от облачного сервера и их дальнейшей передачи на контроллеры, а также передачи в обратном порядке данных с датчиков, поступающих на контроллер.

Через домашний сервер также обеспечивается управление системой умного дома по локальной сети как с самого домашнего сервера, так и с мобильных устройств. В роли домашнего сервера можно использовать персональный компьютер.

Технология "умный дом" чрезвычайно гибкая система, которую пользователь конструирует и настраивает самостоятельно в зависимости от собственных потребностей. Это предполагает, что каждый владелец подобной технологии самостоятельно определяет, какие устройства ему нужны, где их установить и какие задачи они будут исполнять.

У данной технологии есть множество преимуществ:

- экономия затрат на электроэнергию за счет автоматизации бытовых процессов здания; обеспечение высокого уровня безопасности (система круглосуточного видеонаблюдения, датчики дыма, отслеживание придомовой территории);
- контроль над происходящим в доме при длительном отсутствии владельца и автоматическое оповещение его обо всех инцидентах;
- установка на любое строение: дачу, дом, коттедж, квартиру, офис, промышленный объект и так далее); беспроводное соединение элементов оборудования между собой.

Но и недостатки тоже имеются:

- как и с любой техникой возможно непредвиденное зависание устройств;
- высокая стоимость (она зависит от производителя, комплектации и других особенностей); отсутствие у некоторых компаний, занимающихся разработкой и установкой «умного дома», технического обслуживания, а это немаловажно

К **основному** виду трафика относятся те данные, которые выводятся на экран пользовательского терминала, такие как: статус работы выключателей, температура воздуха, влажность в помещении и уровень наполнения воды в чайнике.

К **дополнительному** трафику относятся команды управления. Например, команды управления датчиками. Датчик отдает данные и принимает команды.

Рассмотрим отношение «пользователь-сеть» в виде нескольких уровней детализации

**Формализация телекоммуникационной услуги на основании анализа отношений "пользователь-сеть", схематизация отношений.**

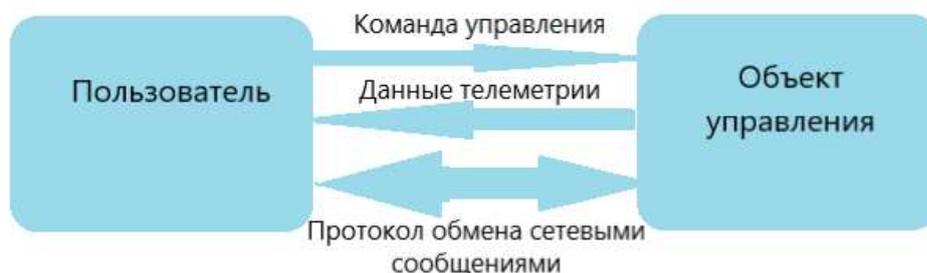


Рис. 2 Первый уровень детализации

На *первом уровне детализации* представлено взаимодействие пользователя и объекта управления. Под объектом управления понимаются датчики. Назначение датчиков – сбор информации о состоянии помещения, где они установлены. Благодаря датчикам собираются сведения о температуре и влажности воздуха, присутствии людей в комнатах, открывании и закрывании дверей или окон, протечках воды, состоянии освещённости и многом другом.



Рис. 3 Второй уровень детализации

*Второй уровень детализации* показывает, что пользователь взаимодействует с пользовательским устройством, а у объекта управления, происходит взаимодействия с терминалом.

Контроллер – это устройство. Выполняющее функцию «мозгового центра». В нём содержатся электронные компоненты, позволяющие запрограммировать контроллер на приём сигналов, их обработку и управление различными элементами «умного дома» по проводам или «по воздуху».



Рис. 4 Третий уровень детализации

На *третьем уровне детализации* показано, что на пульте управления имеется приложение с интерфейсом, с помощью которого происходит служба доставки и приема сообщений. Терминал, в свою очередь, включает в себя службы управления, которые занимаются сбором данных и осуществляют прием команд.

**1.2. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы. Разработка многозвенной модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети: с чего начинается сеанс предоставления услуги, в чем состоит его исполнение и как он завершается. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети (терминалов, выделенных узлов)**

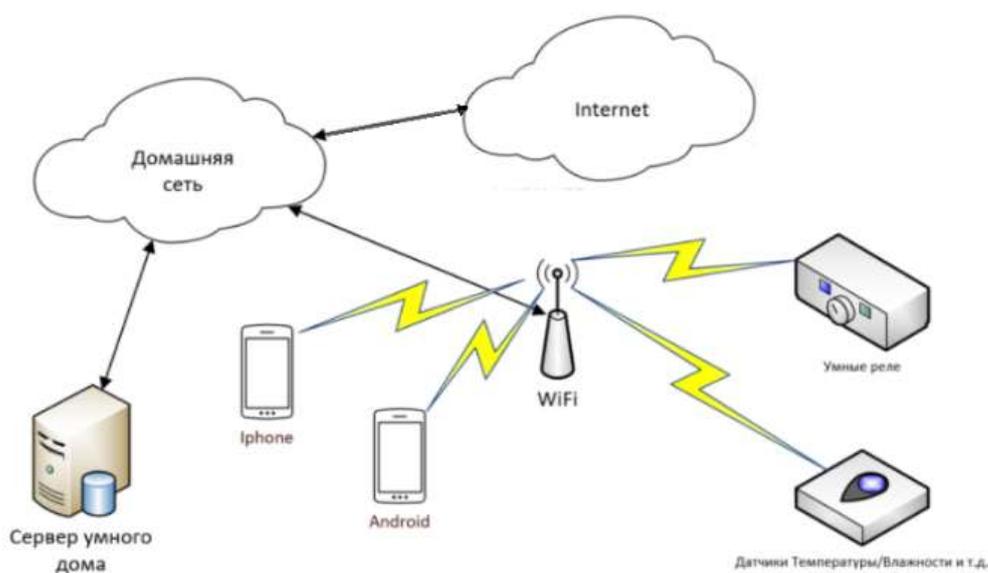


Рис. 5 Архитектура сети

**Звезда** — базовая топология компьютерной сети, в которой все компьютеры сети присоединены к центральному узлу, образуя физический сегмент сети. Подобный сегмент сети может функционировать как отдельно, так и в составе сложной сетевой топологии (как правило, «дерево»).

### **Достоинства**

- на сегодняшний день самая распространённая топология в высокоскоростной локальной вычислительной сети;
- выход из строя одной рабочей станции не отражается на работе всей сети в целом;
- лёгкий поиск неисправностей и обрывов в сети;
- высокая производительность сети (при условии правильного проектирования);
- гибкие возможности администрирования;
- низкая стоимость;

- простота установки и масштабируемость сделали топологию звезды единственной общей топологией.

## Недостатки

- выход из строя центрального концентратора обернется неработоспособностью сети (или сегмента сети) в целом;
- для прокладки сети зачастую требуется больше кабеля, чем для большинства других топологий;
- конечное число рабочих станций в сети (или сегменте сети) ограничено количеством портов в центральном концентраторе.

Разработаем многозвеньевую модель сети (рис.6) .

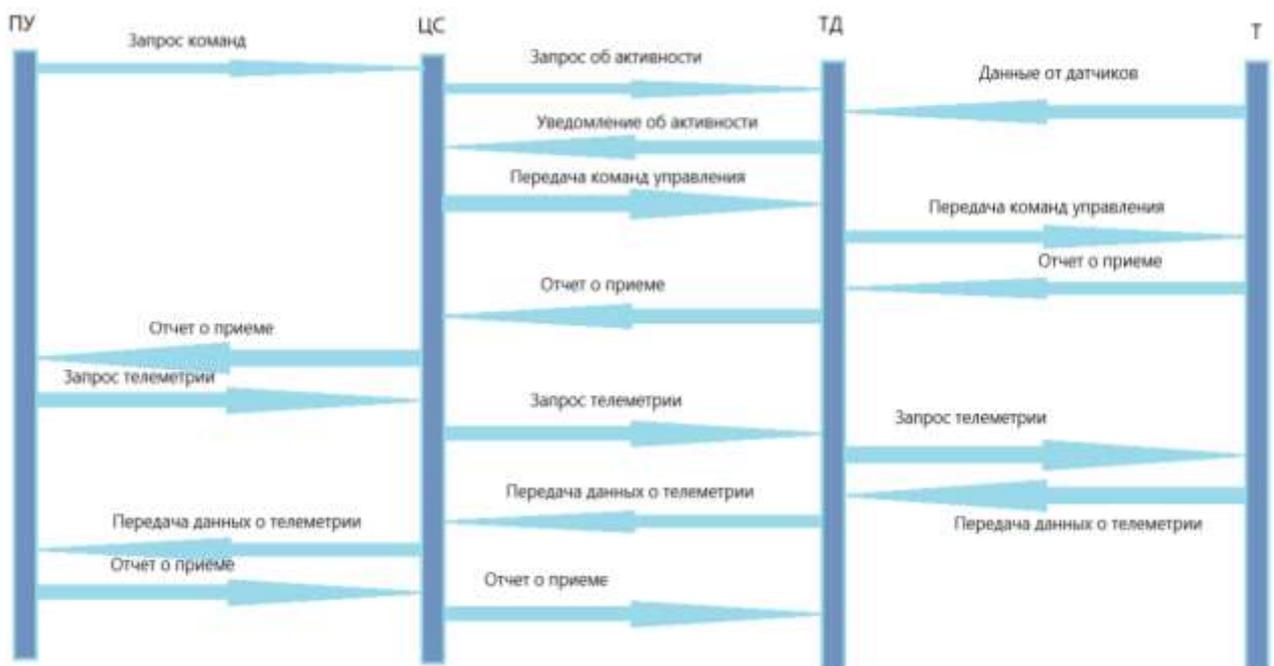


Рис. 6 Трехзвеньевая модель сети

Стратегия поведения сетевых объектов говорит о следующем: Т должны располагать оперативной информацией о параметрах сети и иметь возможность ее обнаружения и регистрацией в ней. Также необходимо отметить, что Т должны иметь возможность обратиться с запросом к сети или быть опрошенными сетью с целью получения доступа к услуге и принятый запрос от Т запускает в сеть определенный сценарий реализации запрошенной услуги Т совместно с обслуживающими узлами сети должны следовать за ними.

**Сеанс предоставления услуги** начинается с активации пользователем мобильного приложения:

1. Вход в приложение;
2. Поступает информация из приложения. Информация с датчиков на облако. Проводится опрос датчиков и проводится опрос элементов и системы;
3. Информация с датчиков и элементов системы передается в облако;
4. информация из облака поступает на пользовательский терминал;
5. Пользовательский терминал отдает команду на включение элемента (розетки и т.д.);

Пояснение: все терминалы и точки доступа имеют свой уникальный идентификатор, чтобы ЦС мог различать устройства и обращаться к конкретному из них. Все данные и команды хранятся в памяти на ЦС, команды имеют свои номера.

**1.3 . Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи: вид трафика, предполагаемая производительность и/или объем сообщений. Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика.**

От пульта управления терминалам передаются команды управления (прямое направление), а от Терминала происходит передача телеметрии (обратное направление), т.е. информационный поток в разрабатываемой системе имеет двунаправленный характер. Трафик в прямом направлении является основным, т.к. главная задача системы – управление и контроль за работой объектов, следовательно, данные телеметрии являются дополнительным видом трафика.

Передача данных телеметрии с датчиков на определенном выбранном терминале должна осуществляться от заявки пользователя. Например, датчик движения опрашивается раз в секунду, для мониторинга состояния о нахождении кого-либо в помещении, таким образом, отправляет сообщение и о том, есть движение или нет движения

Датчик влажности и температуры опрашивается 1 раз минуту. Кондиционер получает постоянную информацию от датчика температуры, который опрашивается раз в минуту. Умный чайник или умная кондиционер опрашиваются по требованию пользователя. Кондиционер вкл/выкл, чайник вкл/выкл, проверить наполненность.

Освещение опрашивается по требованию пользователя. Вкл/выкл свет, (Параметр яркости является видом дополнительных данных)

Для экономии трафика и стабильности системы, датчик движения инициирует процесс передачи самостоятельно, датчик температуры выдает температуру сам.

**1.4.Пояснение функционального состава (структуры) оборудования пользователя и того объекта, который является источником или потребителем информационных сообщений (при необходимости).**

Модуль управления получает от приложения команды управления , также необходимо отметить , что данные телеметрии , которые хранятся в буфере , могут быть использованы приложением для отображения пользователю. Радио терминал необходим для передачи команд управления сетевому терминалу .



Рис.7 Функциональный состав ПУ

Точка доступа осуществляет ретрансляцию полученных сообщений от терминалов и от ЦС. ТД обрабатывает полученные сообщения и передаёт нужному объекту сети. Если поступила команда от пользователя: например, открыть входную дверь или включить кондиционер, то ТД здесь является как Ретранслятор. То есть по приходу человека все команды должны быть выполнены. Точка доступа, как и сервер работают постоянно.



Рис. 8 Функциональный состав терминала

## **2. ПРОРАБОТКА ПЛОСКОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СЦЕНАРИЯМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

**2.1. Назначение плоскости управления (сигнализации) радиосети, пояснение идеи двустороннего управления решениями в виде "событие->воздействие->исполнение->уведомление об исполнении". Пояснение основных служб плоскости управления и краткий анализ их задач, подготовка и обоснование нескольких примеров сигнальных сообщений.**

Плоскость управления (сигнализации) радиосети содержит все необходимые для обслуживания терминалов сценарии.

Управление в радиосети осуществляется с помощью сигнальных сообщений, рассмотрим для решения каких задач в проектируемой сети используются эти сообщения. Во-первых, сообщения сигнализации используются для уведомления терминалов о выделенных ресурсах и обеспечения их информацией о сети. Во-вторых, для реализации отчётов о приёме и выполнении команд терминалами, а также для уведомления об ошибках. В-третьих, служебные сообщения необходимы для формирования запросов телеметрии на ТД для обслуживаемых ею терминалов.

Двустороннее управление решениями рассмотрим на примере службы контроля качества активного соединения. Во время соединения объектов (ПУ, ТД, Т) может произойти ухудшение связи, например, на ПУ перестанет приходить уведомление о завершении определенной команды.

Таким образом мы приходим к идеи двухстороннего управления решениями, в котором:

- 1) событие –это прием ТД сообщения от ЦС , с командой управления освещением для конкретного Т .
- 2) Воздействие -ретрансляция этого сообщения ТД нужному Т .
- 3) Исполнение –прием и выполнение Т команд .
- 4) Уведомление об исполнении является подтверждение терминалом прием и выполнение команды.

Следовательно, на данном уровне необходима служба контроля качества соединения. Данная служба дает возможность увеличения мощности сигнала, т.е. после ухудшения качества связи данной службой будет принят другой профиль сетевого протокола. Если же мощность увеличить нельзя, либо ее увеличение не привело к улучшению качества связи, служба будет искать другие варианты повышения качества соединения.

Также необходима служба установления соединения между сетевыми объектами и организации служебных сообщений о выделении ресурсов, запроса услуг и т.д.

Таким образом, необходимые службы:

- 1) служба установления и контроля соединения – отвечает за установление соединения между ТД и Т, выделение ресурсов; обеспечивает контроль качества соединения.
- 2) Служба контроля данных телеметрии нужна для того, чтобы проверять соответствуют ли данные телеметрии из точки доступа определенным нормам (температура в помещении повышена/понижена или не работает, то эта служба определяет это)

**2.2.Разработка иерархической модели радиосети - как транспортной платформы доставки информационных (п.1.1-1.4) и служебных сообщений (п.2.1). Выделение отдельной транспортной сети в составе радиосети, анализ ключевых слоев и звеньев модели (физические ресурсы - канал передачи данных - службы управления сеансом соединения/сценариями взаимодействия).**

Разработку иерархической модели радиосети осуществим в соответствии с рекомендациями модели Open System Interconnection (OSI). Модель определяет различные уровни взаимодействия, при этом на каждом уровне выполняются определенные функции. Рассмотрим иерархическую модель радиосети, которая состоит из двух уровней модели OSI – это канальный (L2) и физический (L1) уровни (рис.9). На L2 уровне выделяются 2 плоскости: плоскость управления, в которой отражены службы, осуществляющие организацию соединения между ТД и Т и плоскость данных, в которой организуется канал передачи L2-сообщений между ТД и Т.

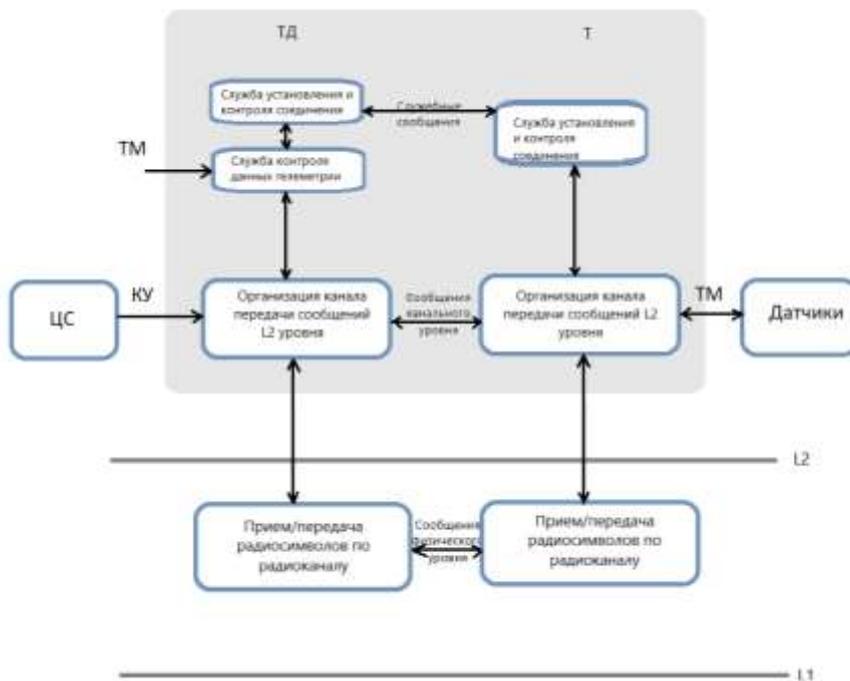


Рис.9 Иерархическая модель радиосети

Канальный уровень (L2) - предназначен для организации логических соединений, он используется с целью надёжной доставки сигнальных и информационных сообщений между объектами сети. В разрабатываемой сети на данный уровень будут поступать команды управления и данные телеметрии. Поэтому на нём будет расположено 2 службы: служба установления ресурсами и контроля данных телеметрии. Таким образом, на этом уровне организуется обмен сообщениями сигнализации между ТД и Т, с помощью которых выполняются различные сценарии взаимодействия, т.е. реализуется согласованное выполнение разнообразных правил проведения сеанса связи. Все сформированные на L2 уровне пакеты отправляются на L1 уровень.

Физический уровень (L1) – отвечает за установление физических соединений, предназначен для предоставления необходимых физических ресурсов для доставки сообщений канального уровня и передачи радио символов по радиоканалу между сетевыми объектами, на этом уровне организуются и поддерживаются в работоспособном состоянии физические каналы.

### **2.3. Пояснение правил идентификации установленных соединений (сессий), сообщений, процедур/служб обработки сигнальных сообщений (задачи в п.2.1), а также сетевых объектов (организация адресного пространства радиосети).**

#### **Пояснение правил идентификации установленных соединений (сессий):**

Так как в разрабатываемой сети каждая точка доступа будет обслуживать некоторое количество терминалов, то в качестве идентификатора активного соединения будет выступать идентификатор терминала, с которым ведётся сеанс связи. Этот идентификатор будет указываться в соответствующем поле сообщений, передаваемых по каналу связи, после выделения точкой доступа физического ресурса для передачи. Свои идентификаторы необходимы для команд управления, используемых в радиосети.

#### **Пояснение правил идентификации сообщений, процедур/служб обработки сигнальных сообщений:**

В сообщениях, передаваемых между ТД и Т есть поле (флаг), в котором указывается тип сообщения: служебное или сообщение трафика, обозначается одним битом (если служебное – 0, если трафика – 1). Если сообщение служебное, то также необходимо поле, в котором будет указываться служба, которой это сообщение предназначено, т.к. в разрабатываемой сети 2 службы, то в рассматриваемом поле можно указывать идентификатор службы – 2 бита.

## **Пояснение правил идентификации сетевых объектов (организация адресного пространства радиосети):**

У всех объектов сети есть свои идентификаторы, понятные пользователю и отражённые в приложении (имена), и понятные сети (адреса L2), которые собраны в журнале идентификационных номеров на центральном сервере. Этот журнал представляет из себя таблицу, где прописано соответствие имён адресам. Это нужно для того, чтобы ЦС понимал по имени, для какого Т пользователь выбрал команду, но при этом передавал эту команду нужному Т через соответствующую ТД с помощью L2-адреса, понятного точке доступа. В свою очередь на точках доступа имеются журналы с идентификаторами (адресами) терминалов, которые находятся в зоне их обслуживания.

Таким образом, при передаче сообщений от ТД к Т необходимо указывать адрес получателя Т, а в обратном направлении этого не требуется. В ШВС адрес получателя сообщения не указывается.

В качестве идентификатора сетевого объекта выступает число – серийный номер, который присваивается объекту на производстве, поэтому размер поля, отводимого в сообщении для ИД, зависит от размера этого номера. В разрабатываемой сети для поля адреса ТД или Т будем отводить 16 бит.

### **2.4. Формирование диаграмм состояний сетевых объектов (выделенных узлов, терминалов) с учетом мер по обеспечению энергосбережения. Выделение активного и пассивного состояний терминалов и анализ задач (режимов) сетевых объектов, выполняемых в этих состояниях.**

Рассмотрим диаграмму состояний точки доступа в разрабатываемой сети (рис.10). Режим энергосбережения мы можем не рассматриваться, потому что ТД питаются от постоянного источника, что дает возможность пренебречь энергосбережением в данном рассмотрении. Существуют 2 типа работы точки доступа: пассивное и активное. Рассмотрим каждое из них. В пассивном: точка доступа после подачи питания совершает отправление ВСН, чтобы обозначить себя в сети, далее происходит передача информации о сети Т и синхронизация, а затем переходит в режим ожидания. При таком состоянии мы можем сказать, что ТД либо может принимать команды управления и передавать их Т, либо принимает запрос данных телеметрии и отправляет нужные данные из буфера центральному серверу. При успешном выполнении ТД переходит в режим ожидания. В активном: точка доступа переходит в тот момент, когда поступает сообщение от ЦС или же при необходимости отправки запроса данных телеметрии всем обслуживаемым Т, которое происходит каждую 1 секунду. При таком состоянии ТД при получении данных телеметрии на Т с помощью служб контроля данных телеметрии происходит проверка данных, если же все хорошо, то эти данные направляются на хранение в буфер и, таким образом ТД переходит в режим

ожидания . Если же мы будем наблюдать отклонение от норм ,то придет сигнальное сообщение ЦС об отклонении и таким образом запуститься нужный сценарий взаимодействия с Т(понизить мощность). Затем ТД переходит в режим ожидания.



Рис. 10 Диаграмма состояний точки доступа.

Рассмотрим диаграмму состояний терминала (рис.11). Также как ТД терминал питается от постоянного источника, таким образом мы можем сказать, что режим энергосбережения мы не будем предусматривать. В работе терминала мы можем выделить 2 состояния: пассивное и активное. Рассмотрим их. В пассивном: в начале работы Т начинает поиск ВССН. При нахождении он синхронизируется с ТД и находится в режиме ожидания до первого сообщения. В активном: можем быть 2 случая, либо когда на Т поступает сообщение от ТД, которое является командой управления и таким образом переходит в режим ожидания, либо происходит запрос телеметрии, при котором Т отправляет данные телеметрии на ТД, после чего переходит в режим ожидания.



Рис. 11 Диаграмма состояний терминала

**2.5. Проработка ключевых сценариев взаимодействия объектов сети: обнаружение/идентификация сети, регистрация/привязка к сети, реализация сеанса предоставления услуги и т.п.. Разработка сценария, выполняющего оперативное реагирование на изменение качества соединения (как будет оцениваться качество соединения, как управлять свойствами активного соединения сетевых объектов?). Подготовка сводной таблицы сигнальных сообщений (название и назначение) проработанных сценариев.**

Рассмотрим ключевой сценарий взаимодействия объектов сети (рис.12).



Рис. 12 Сценарий взаимодействия ТД и Т.

С помощью службы установления и контроля соединения организуется соединение между ТД и Т. После отправки ВССН точкой доступа, сообщение ВССН обнаруживает Т и синхронизируется с ТД. После этого организуется

обмен данными между Т и ТД, при этом рассматриваемой службой установления и контроля соединения выделяются ресурсы для передачи данных и производится оценка качества связи и устранение проблем и ошибок в случае их возникновения.

При этом, т.к. запрос данных от терминалов происходит периодически – эта часть сценария взаимодействия является синхронной, а для командного интерфейса сценарий является асинхронным.

Разрабатывать сценарий, выполняющий оперативное реагирование на изменение качества соединения нет необходимости, т.к. объёмы трафика в разрабатываемой сети небольшие и профиль работы будет всего 1.

Вторая служба, используемая в разрабатываемой радиосети – служба контроля данных телеметрии. Эта служба начинает свою работу на этапе, когда ТД необходимо произвести периодический запрос данных телеметрии с Т. Её задачей является проверка данных с датчиков на соответствие нормам и в случае несоответствия отправка предупреждающего сообщения об отклонении на центральный сервер и запуск соответствующего сценария.

Таким образом, сформируем сводную таблицу сигнальных сообщений проработанных сценариев.

**Таблица 1.**

Название сообщения/назначение	Служба, формирующая сообщение
ШВС	Службы установления и контроля соединения
Опрос	Служба контроля данных телеметрии
Отчет о приеме	Служба установления и контроля соединения

### **3. Разработка канала передачи данных (L2)**

**3.1. Пояснение идеи одиночных и множественных логических соединений L2 уровня: назначение, основание для установления, контроль функционирования, завершения соединения. Обоснованный анализ необходимых для функционирования радиосети ключевых видов канальных ресурсов (не менее двух).**

В ходе обсуждения предыдущей части работы, канальный уровень предназначен для организации логических соединений. В разрабатываемой сети главной задачей L2 уровня является установление логического соединения между Т и ТД. Основанием для такого соединения является необходимость передачи данных (команд управления, данных от датчиков и служебных сообщений) между ТД и Т. Контролем функционирования рассматриваемого логического соединения будет заниматься рассмотренная в части 2 курсовой работы служба установления и контроля соединения.

Завершением установленного соединения будет являться завершение передачи данных между ТД и Т.

Для организации передачи данных в разрабатываемой сети необходимо использовать следующие логические каналы:

1) широковещательный канал ВССН: необходимо передавать широковещательное сообщение, содержащее параметры сети, всем терминалам для установления соединения, следовательно, нужно выделить для этого каналные ресурсы – канал ВССН;

2) канал данных ДСН: так как терминалам не нужно регистрироваться в сети (они знают обслуживающую их ТД), тогда для установления соединения обратного канала не нужно и достаточно только канала ВССН, следовательно, необходимы каналные ресурсы для передачи трафика – канал ДСН, который является двунаправленным и предназначен для передачи сообщений между ТД и Т. Таким образом, по каналу данных в прямом направлении будут передаваться: команды управления, запросы данных от датчиков и различного рода сообщения сигнализации; в обратном направлении будут передаваться: данные от датчиков, а также сообщения сигнализации.

### **3.2. Обоснованный анализ видов логических каналов (ЛКС), оценка производительности сигнальных и информационных ЛКС в обоих направлениях (требуемое количество сообщений в единицу времени).**

Рассмотрим перечисленные ранее ЛКС.

**ВССН** - широковещательный канал предназначен для передачи широковещательного сообщения с общей информацией о сети, с помощью которого ТД обозначают себя в сети, и этот канал пытается обнаружить Т для установления соединения. Соответственно, этот канал является однонаправленным и сообщения по нему будут передаваться с некоторым интервалом времени, тогда для канала ВССН будет достаточно производительности 1сообщение/5с.

**ДСН** – канал данных служит для передачи сигнальных сообщений и сообщений трафика между ТД и Т. В прямом направлении передаются команды управления, запросы данных, запросы повторной передачи (при необходимости активизации ARQ) и сообщения сигнализации 2-х служб плоскости управления канального уровня. Т.е. получаем в среднем 5 сообщений для каждого Т в прямом направлении. В разрабатываемой сети одна ТД может обслужить 15 терминалов, а цикл опроса повторяется каждые 5 секунд, тогда будет достаточно производительности примерно 5 сообщений/0,1с. В обратном направлении получим такую же производительность, т.к. на каждое сообщение от ТД терминал «отвечает».

**3.3. Задачи службы передачи данных канального уровня в виде пояснения обработки информационных и служебных сообщений на L2 уровне: характеристика информационного трафика, поступающего на L2 уровень, оценка необходимости его фрагментации и последующей нумерации, пояснение способов разделения сообщений по типам и их адресации, обеспечение целостности сообщений и т.п.**

Вторая задача L2 уровня - это организация доступа к физической среде, которую выполняет служба передачи данных. Эта служба отвечает за формирование сообщений, их адресную доставку и обеспечивает надежность передачи.

В разрабатываемой сети на уровень L2 поступают команды управления, данные от датчиков и служебные сообщения. Служебные сообщения имеют маленький объём и полностью помещаются в пакеты L2 уровня. Информационный трафик составляют команды управления (передается номер команды), значения показателей с датчиков, информация о том закрыта/открыта дверь, включен/выключен свет т.к. объём этих сообщений также небольшой, то фрагментация не требуется. Таким образом, нумерация блоков данных L2 уровня в разрабатываемой сети отсутствует.

Т.к. на канальный уровень поступают как служебные, так и информационные сообщения необходимо предусмотреть способ разделения этих сообщений по типам. Для этого, как упоминалось в п.2.3, в передаваемых между Т и ТД сообщениях будет введено поле (флаг), в котором указывается тип сообщения (обозначается одним битом), если сообщение служебное -0, если трафика – 1. Также необходимо учесть, что на L2 уровне находится две службы (служба установления и контроля соединения и служба контроля данных с датчиков), значит необходимо ещё одно поле, в котором будет указано, какой службе предназначено данное сообщение.

Т.к. на канальном уровне необходимо обеспечить надёжную передачу и целостность данных, то необходимо использовать циклический избыточный код (CRC). Поле CRC добавляется к блоку сообщения на L2 уровне. Данный код позволяет убедиться в достоверности передаваемого сообщения на основании контрольной суммы, которая рассчитывается на приемной стороне. Наиболее распространённым является использование кода CRC-16.

**3.4. Пояснение структуры L2 сообщений ЛКС, анализ их атрибутов (адресные/широковещательные, уведомительные или требующие обязательного ответа/шифрования, служебное/информационное и т.п.), назначение и размерности полей, оценка скорости передачи битов сообщений ЛКС. Обоснование гарантированной/негарантированной доставки указанных видов сообщений. Результаты п.3.1-3.4 свести в таблицу (с оценкой производительности ЛКС).**

1) Сообщения канала ВССН.

Рассмотрим сообщения канала ВССН (рис.13). Эти сообщения являются широковещательными, служебными и не требуют ответа, то есть являются уведомительными. Они имеют структуру, указанную на рисунке 13. В данных сообщениях содержится идентификатор точки доступа, поле данных, в котором указываются номера каналов ВССН соседних ТД, и CRC, для контроля достоверности передачи.



Рис. 13 Структура сообщений канала ВССН

Структура широковещательного сообщения (ВССН):

- идентификатор ТД;
- Информационное поле;
- поле CRC - для контроля достоверности передачи.

2) Сообщения канала DCH.

Канал передачи данных DCH является двунаправленным логическим каналом, и структура его сообщений представлена на рисунке 14. Сообщения данного канала являются адресными, как правило, требуют ответа, а также могут быть как служебными, так и информационными. В сообщениях данного канала присутствуют следующие поля:

- поле флага P, которое указывает на тип передаваемого сообщения, если 1- сообщение трафика, если 0 – служебное сообщение.
- Поле адресата, в котором указывается кому принадлежит данное сообщение;
- Поле отправителя;
- Поле NP, в котором указывается номер передаваемого фрагмента сообщения. Количество фрагментов сообщения указывается в поле данных, при передаче первого фрагмента.

· Поле данные, в котором могут содержаться как сообщения от датчиков, так и служебные сообщения для различных служб управления (сигнализации).

Поле CRC необходимо для контроля достоверности передаваемых сообщений.



Рис. 14 Структура сообщений канала DCH.

Сведём в таблицу результаты.

Таблица 2.

Тип канала	Наименование	Направленность	Пропускная способность
BCCH	Широковещательный канал	<u>DownLink</u>	10%
DCH	Канал данных	DL/UL	90%

### 3.5. Проработка сценария (протокола) гарантированной доставки сообщений одного из ключевых ЛКС в виде повторной передачи неверно принятого сообщения (ARQ).

Гарантированная доставка сообщений обеспечивается инструментом автоматического запроса повторной передачи (ARQ). Он обеспечивает возможность контроля принятых сообщений.

Рассмотрим сценарий гарантированной доставки сообщений канала DCH.

1) на ТД от Т приходит сообщение с данными от датчиков, в составе сообщения передаётся CRC, который позволяет проверить целостность сообщения;

2) сообщение по коду CRC проверяется на наличие ошибок с помощью службы установления и контроля соединения;

3) если оказывается, что сообщение пришло с ошибкой, то с помощью инструмента ARQ упомянутая служба отправляет на Т запрос повторной передачи сообщения.

4) Т получает запрос повторной передачи. Т.к. в разрабатываемой сети сообщения не фрагментируются, то повторно будет передано всё сообщение целиком.

Аналогично работает механизм ARQ и в обратном направлении (при передаче команд управления), и после успешного приёма Т отправляет сообщение с отчётом о приёме и выполнении команды, таким образом обеспечивается гарантированная доставка и выполнение команд управления.

**3.6. Обоснованный выбор алгоритма доступа к канальным (физическим) ресурсам, пояснение структуры физических ресурсов. Описание стратегии планирования распределения канальных ресурсов. Анализ предлагаемого алгоритма доступа к ресурсам на предмет возникновения коллизий и пояснение решения по их устранению. Формирование правила распределения физических ресурсов между ЛКС (п.3.1,3.4).**

В качестве алгоритма доступа к канальным (физическим) ресурсам в разрабатываемой сети используется алгоритм множественного доступа с временным разделением. В соответствии с этим алгоритмом в определённые моменты времени терминал обладает полным доступом к физической среде, поэтому коллизии отсутствуют.

Таким образом, для каждого логического канала будет выделен определённый промежуток времени. Сначала по каналу ВССН передаётся ШВС для всех терминалов, потом по каналам DCH (количество каналов соответствует количеству Т, обслуживаемых одной ТД) происходит опрос терминалов и передача команд управления (при необходимости проводится процедура ARQ). После прохождения одного цикла процедура повторяется. На рисунке: ЗД – запрос данных, ДД- данные от датчиков, КУ – команда управления, ОП –отчёт о приёме.

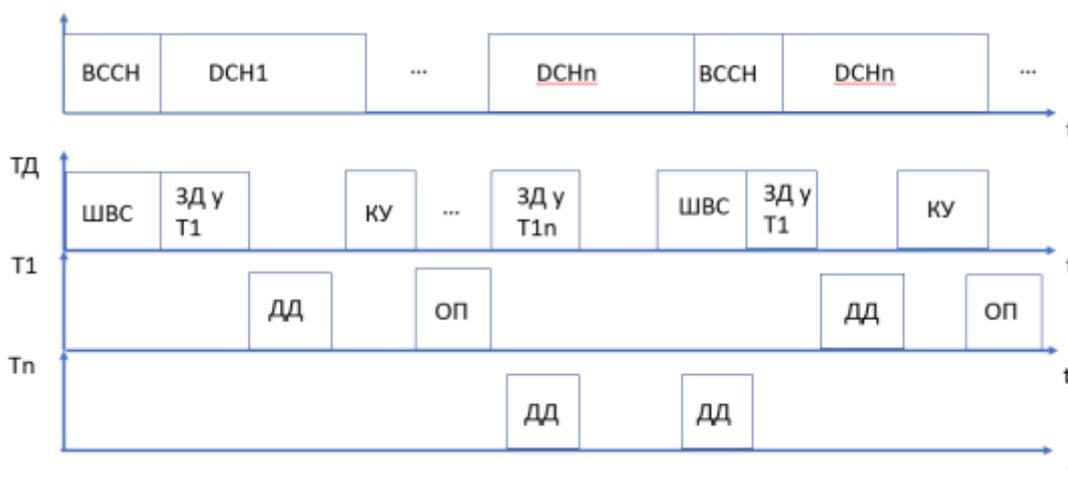


Рис. 15 Временная диаграмма распределения физических ресурсов между ЛКС

### **3.7. Проработка основных информационных объектов L2 уровня (управление оперативными сведениями).**

Рассмотрим постоянные и оперативные сведения, используемые в радиосети:

- 1) Информационный объект службы контроля качества передачи данных "Параметры соединения" - представляет собой журнал, отражающий информацию о радиоизмерении соединения, в котором хранятся ID терминалов и уровень сигнала от них, эти данные постоянно обновляются.
- 2) Информационный элемент сети используется службой общей информации о сети для формирования сообщений ВССН: параметры доступа к сети, максимальный и минимальный разрешенный уровни сигналов.
- 3) Журнал активных Т на основании данных, полученных по запросу от терминалов.
- 4) Информационный элемент сети, в котором указывается соответствие каждого терминала конкретному кадру опроса.

## **4. Разработка физического уровня (L1). Реализация необходимых уровню L2 физических ресурсов.**

### **4.1. Обоснование характеристик требуемых физических ресурсов (пропускная способность, направление и качество доставки, разделяемость ресурса).**

В разрабатываемой сети терминалы опрашиваются точкой доступа каждые 5 секунд по очереди, следовательно, один Т обслуживается максимум 0,1 секунды при этом, как говорилось ранее, в каждом направлении передаётся в среднем 5 сообщений. Сообщения L2 уровня состоят из 240 бит, тогда можно вычислить необходимую скорость для передачи этих сообщений:  $240 \cdot 12 / 0,1 = 28800$  бит/с = 28,8 кбит/с.

Значит, скорости 10кбит/с, будет недостаточно. Для надёжной реализации соединений между ТД и Т в выбранной в следующем пункте полосы частот необходимо обеспечить более высокую скорость передачи данных на канальном и физическом уровнях, поэтому возьмём скорость 150кбит/с. При такой скорости передачи данных получается, что трафик будет пульсирующим, т.е. большую часть времени ничего передаваться не будет.

Рассмотрим разделяемость ресурса. Одна ТД обслуживает 4 терминала, следовательно, в составе мультикадра необходимо иметь 4 кадра. Т.к. передаётся 5 сообщений в прямом и 5 сообщений в обратном направлении, то один кадр обслуживания будет состоять из 5 посылок от ТД и 5 – от Т.

#### 4.2. Обоснованный выбор частотного диапазона (на основании документов ГКРЧ); аргументированный выбор модели оценки потерь распространения радиоволн, расчет уровня потерь.

ТД в разрабатываемой сети работают в разных частотных полосах, это необходимо для исключения взаимного влияния ТД друг на друга и на «чужие» Т. Соответствующий частотный план представлен на рисунке 16.

Здесь обозначено  $k$  точек доступа и при разнесении их на расстояние, исключающее взаимное влияние, можно использовать одинаковые частоты для нескольких ТД. В разрабатываемой сети используется 5 ТД и каждой соответствует своя полоса частот.

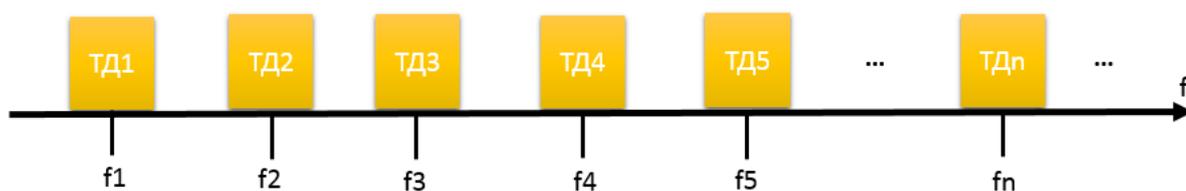


Рис. 16 Частотный план радиосети

В соответствии с решением Государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи России от 21 декабря 2011 г. №1049-34 «Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации» для любительской радиосвязи отведены конкретные частотные диапазоны, поэтому выберем несущую частоту – 2375 МГц (диапазон 2300 – 2450 МГц).

Использование разрабатываемой радиосети предполагается в помещении (склад), поэтому для расчета потерь в условиях распространения радиоволн выберу модель ITU-R 1238. Она предполагает расчет потерь для частот, находящихся в диапазон от 900 МГц до 100 ГГц. Используя данную модель можно рассчитать потери при распространении волн в закрытом помещении по формуле (1):

$$L_{total} = 20 * \lg f + N * \lg d + Lf (n) - 28, \text{ [дБ]}, \quad (1)$$

где  $N$  – дистанционный коэффициент потерь мощности;  $f$  – частота (МГц);  $d$  – расстояние разнесения (м) между точкой доступа и терминалом (где  $d > 1$  м);  $Lf$  – коэффициент потерь за счет прохождения сигнала через пол (дБ);  $n$  – максимальное количество этажей между точкой доступа и терминалами.

$$Lf = 15 + 4 * (n - 1) = 15, \text{ тогда}$$

$$L_{total} = 20 * \lg 2375 + 28 * \lg 120 + 15 - 28 = 112,73 \text{ дБ}$$

Таким образом, потери при распространении радиоволн составляют 112,73 дБ.

Сравним результат с нижней границей потерь.

$$L_{LOS} (r, f) = 27,56 - 20 \lg f - 20 \lg r + 10 \lg G_{пр} + 10 \lg G_{п}, \text{ [дБ]}, \quad (2)$$

где  $f = 2375$  МГц – несущая частота;  $r = 120$  м – дальность связи, т.е. радиус зоны обслуживания (в соответствии с заданием);  $G_{пр}$ ,  $G_{п} = 1,5$  дБ - КНД приемной и передающей антенны соответственно.

$$L_{LOS}(r, f) = 27,56 - 20\lg(2375) - 20\lg(120) + 10\lg(1.5) + 10\lg(1.5) = -78,01 \text{ дБ}$$

**4.3. Обоснование выбора мер по обеспечению синхронизации и по защите приема от многолучевости и помех в канале связи. При необходимости, проработка профилей физического уровня и сценария их выбора (п.2.5). Оценка требуемой избыточности, вносимой указанными факторами.**

В разрабатываемой сети для обеспечения временной и частотной синхронизации будет использоваться преамбула, которая состоит из двух CAZAC последовательностей, длиной 64 бита. Эта преамбула добавляется в кадр L1 уровня прямого направления и обозначает начало пакета.

Для защиты от помех, возникающих в канале связи, в разрабатываемой сети будет использоваться помехоустойчивое кодирование свёрточным кодом (171 133) со скоростью  $\frac{1}{2}$ , т.е. на вход кодера поступает 1 бит, на выходе получается 2 бита, тогда избыточность будет равна длине сообщения L2 уровня (128 или 240 бит). Также необходимо добавить в сообщение физического уровня 5 нулей для сброса свёрточного декодера. Защита от многолучевости будет осуществляться с помощью применения адаптивных фильтров-эквалайзеров. Для их настройки в пакете L1 уровня будет передаваться настроечная обучающая последовательность длиной 16 бит.

Таким образом, вносимая на физическом уровне избыточность составляет  $64 \cdot 2 + 16 + 240 + 5 = 389$  бит для сообщений канала DCH и  $64 \cdot 2 + 16 + 128 + 5 = 277$  бит для сообщений канала VCCN.

Все расчёты произведены для прямого направления, в обратном направлении будет отсутствовать преамбула и длина L2- сообщения равна 240 бит.

**4.4. Оценка пропускной способности физического канала с учетом избыточности, вносимой на L1 уровне.**

В предыдущем пункте было рассчитано, что избыточность, вносимая на физическом уровне равна 389 бита или 277 бит. Следовательно, определённой ранее скорости 150 кбит/с будет достаточно.

**4.5. Расчет отношения сигнал/шум, требуемого для обеспечения необходимого качества приема без помехоустойчивого кодирования. Обоснованный выбор метода и скорости помехоустойчивого кодирования, расчет эффективности кодирования, пояснение влияния выбора на структуру пакета L1 уровня. Повторный расчет отношения сигнал/шум с учетом метода помехоустойчивого кодирования. Окончательная оценка требуемой полосы частот.**

Для расчёта ОСШ, требуемого для обеспечения необходимого качества приема (заданной вероятности ошибки), используем инструмент bertool (Matlab). По заданию необходимо обеспечить вероятность ошибки на бит  $P_b = 10^{-6}$ .

Построим зависимости вероятностей битовой ошибки от ОСШ для модуляции BPSK (будем использовать этот вид модуляции) без помехоустойчивого кодирования и с помехоустойчивым кодированием (рис.17).

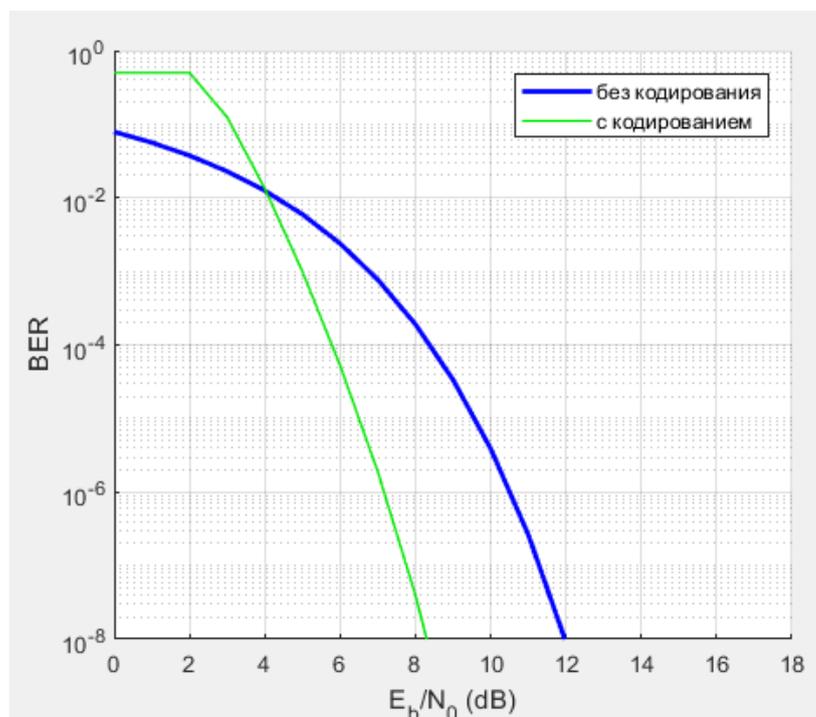


Рис .17 Зависимости вероятностей битовой ошибки от ОСШ

Как упоминалось в ранее, помехоустойчивое кодирование будет реализовано с помощью сверточного кода (171 133) со скоростью 1/2, где каждому биту на входе соответствует 2 бита на выходе. Как видно из рис.17 при использовании помехоустойчивого кодирования ОСШ, при котором обеспечивается заданная вероятность ошибки уменьшается и составляет 8,2 дБ.

Таким образом, выигрыш при использовании помехоустойчивого кодирования при модуляции BPSK составляет около 4 дБ.

Таким образом, использование помехоустойчивого кодирования эффективно. При этом, т.к. скорость кодирования  $\frac{1}{2}$ , пакет физического уровня увеличится на длину сообщения L2 уровня.

#### 4.6. Определение структуры и расчет размерности полей пакетов L1 уровня.

С L2 уровня на физический уровень поступает пакет размерностью 128 или 240 бит. На физическом уровне к нему добавляется преамбула длиной 128 бит для частотной и временной синхронизации. Избыточная часть получается благодаря сверточному кодированию и её длина равна длине L2-сообщения, так же для сброса свёрточного декодера с целью предотвращения накопления ошибок в пакет физического уровня добавляется 5 нулей. Для настройки эквалайзера в пакет добавляется обучающая последовательность длиной 16 бит.

Как упоминалось ранее, структура пакета L1 уровня обратного направления (рис.19) аналогичная за исключением отсутствия преамбулы, а также длина поступающего на физический уровень L2-сообщения соответствует 240 битам (используется только канал DCH).



Рис. 18 Структура пакета L1 уровня прямого направления



Рис. 19 Структура пакета L1 уровня обратного направления

#### 4.7. Оценка уровня мощности передачи с учетом необходимого запаса мощности сигнала для его уверенного приема с вероятностью PR% на границе радиопокрытия, оценка размера зоны радиопокрытия.

Произведем оценку уровня мощности передачи при BPSK модуляции.

Скорость передачи:  $R = 150$  кбит/с.

Эффективная полоса:  $\Delta f = R / \log_2(M)$ , (3)

$\Delta f = 150$  кГц.

Шумовая полоса приемника:  $\Delta f_{ш} = 1,1 * \Delta f$ , (4)

$\Delta f_{ш} = 165$  кГц.

Мощность шума на входе приемника:  $P_{ш} = k * T * \Delta f_{ш}$ , (5)

где  $k = 1,23 * 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  $T = 296$  К – шумовая температура.

$P_{ш} = 1,23 * 10^{-23} * 296 * 165 * 10^3 = 60073 * 10^{-20}$  Вт = -152,2 дБ.

Чувствительность приемника:  $R_{прм} = P_{ш} + N_k + SNR$ , (6)

где  $SNR = E_b/N_0 + 10 * \log(\Delta f / \Delta f_{ш})$ , (7)

$E_b/N_0 = 6,5$  дБ (из пункта 4.5).

$SNR = 6,5 + 10 * \log(150/165) = 6,1 + 4$  (запас в ОСШ) = 10,1 дБ.

Коэффициент шума первых каскадов приемника примем равным  $N_k = 3$  дБ,

тогда  $R_{прм} = P_{ш} + N_k + SNR = -152,2 + 3 + 10,1 = -139,1$  дБ.

Рассчитаем мощность излучения подвижного объекта:

$R_{изл} = R_{прм} + L_{total} - G_t - G_r$ , (8)

где  $L_{total} = 112,73$  дБ – рассчитано в п.4.2

$G_t = 0$  дБ – КНД передающей антенны;

$G_r = 0$  дБ – КНД приемной антенны;

$R_{изл} = -139,1 + 112,73 = -26,37$  дБ = 0,002 Вт.

Произведем оценку мощности, для обеспечения уверенного приема сигнала с вероятностью  $PR = 75\%$  на границе зоны радиопокрытия, радиус из задания к курсовой работе 120м

Рассчитаем вероятность выполнения условий уверенного приема:

$X_{75} = 75/100 = 0,75$

По таблице функций Лапласа вычислим аргумент, при котором:

$X_{75} - 0,5 = F(-W)$

$F(-W_{75}) = X_{75} - 0,5 = 0,25$

$W_{75} = -1$ .

Определим радиус зоны радиопокрытия ( $PR = 75\%$ ):

$$r_{75} = 10^{((W_{75} * \sigma) / (10 * n)) * r}$$

$$r_{75} = 10^{((-1 * 7) / (10 * 3)) * 120} = 118 \text{ м}$$

Сведём результаты энергетического расчёта в таблицу.

**Таблица 3.** Сводная таблица по результатам расчета.

Параметры	Значения
Скорость передачи	150 кбит/с
Эффективная полоса	150 кГц
Шумовая полоса приемника	165 кГц
Мощность шума на входе приемника	-152,2 дБ
Чувствительность приемника	-139,1 дБ
Мощность излучения подвижного объекта	0,002 Вт
Радиус зоны радиопокрытия	118 м

#### 4.8. Разработка и описание функциональной схемы L1 уровня.

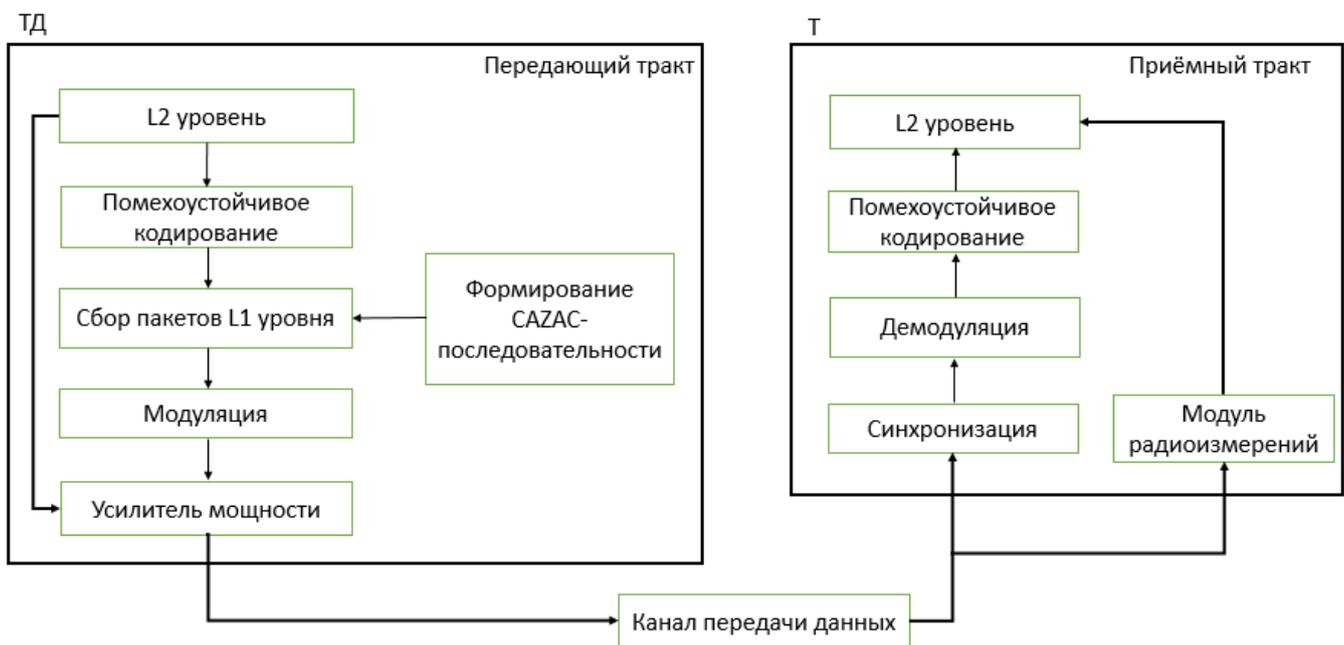


Рис.20 Функциональная схема L1 уровня

Основные этапы преобразования сообщения на физическом уровне:

- 1) сообщение с уровня L2 поступает на помехоустойчивый кодер;
- 2) сообщение подвергается помехоустойчивому кодированию (добавляется избыточность);

3) далее происходит сборка пакета L1 уровня, путём добавления к закодированному L2-сообщению преамбулы (для синхронизации);

4) затем L1-сообщение модулируется;

5) после модуляции поток радиосимволов поступает на усилитель мощности, который усиливает/ослабляет сигнал до определённой мощности (это зависит от того, какому T передаётся сообщение; на L2 уровне хранятся данные о соответствии адресов терминалов и уровню мощности сигнала для них);

6) затем поток радиосимволов распространяется по каналу передачи данных (радиоканалу);

7) на приёмной стороне после синхронизации поток радиосимволов демодулируется (преобразуется в биты);

8) сообщение подвергается помехоустойчивому декодированию и на выходе получается L2-сообщение, которое поступает на канальный уровень;

9) при этом модулем радиоизмерений проводится оценка качества соединения, данные поступают на L2 уровень.

### **Библиографический список:**

1. Бакке А.В. – лекции по курсу "Системы и сети связи с подвижными объектами";
2. Чигрина Татьяна «Радиосеть управления освещением. Часть 1. Доработанная.»  
<http://omoled.ru/publications/view/1409>;
3. Питерякова Анастасия Интеллектуальная радиосеть «Умный дом» Часть 1. (Доработанная)  
<http://omoled.ru/publications/view/1392>
4. Кострица Данил Компактная сеть радиодоступа. Часть 1 (Исправленная)  
<http://omoled.ru/publications/view/1205>
5. Питерякова Анастасия Интеллектуальная радиосеть «Умный дом» Часть 2.  
<http://omoled.ru/publications/view/1392>
6. Кострица Данил Компактная сеть радиодоступа. Часть 2  
<http://omoled.ru/publications/view/1204>
7. Виноградов Н. С. - КР на тему "Радиосеть сбора данных с ПО часть 3."
8. Иванова А.А. – КР на тему "Радиосистема управления подвижными объектами. Часть 3"
9. Чигрина Т.А. - КР на тему «Радиосеть управления освещением».

