

# Радиосистема передачи измерительных данных.

## Часть 3.



Лизунов Кирилл, 10 декабря 2011г.

Предыдущие сообщения по данной теме:

[Первое сообщение](#)

[Второе сообщение](#)

### 1.7. Построение канального уровня системы

#### 1.7.1. Определение способов адресной доставки сообщений канального уровня. Обоснование способа назначения идентификаторов сетевым устройствам системы и определение их параметров.

В данной системе данные будут передаваться не напрямую от счетчиков на подвижную станцию, а на терминал. В свою очередь терминал будет принимать показания от счетчиков, записывать их к себе в информационную подсистему, а затем уже передавать далее на подвижную станцию по запросу последней. Для этого, каждое из устройств (кроме концентратора) будет иметь свой идентификатор, анализируя который, каждое из устройств будет принимать решение о принадлежности информации.

##### Соединение *счетчик – терминал*

В данной системе опрос счетчиков будет производиться не одновременно, а последовательно каждого из счетчиков. Терминал будет последовательно опрашивать каждый счетчик, отправляя свой идентификатор и идентификатор счетчик. Счетчик имеет свою небольшую информационную подсистему, в которой он будет хранить свой идентификатор. Принимая сообщение от терминала, каждый счетчик выделяет адрес получателя (ID терминала которому предназначалось сообщение) и сравнивает его со своим. Если идентификаторы совпали, то производится дальнейшая обработка сообщения, иначе – сообщение игнорируется. Обратно, счетчик также будет отправлять в составе сообщения, как свой идентификатор, так и ID терминала, запрос от которой был получен. Терминал, принимая сообщения от счетчика, выделяет поле адреса получателя, в котором содержится ID получателя, и сравнивает его со своим. В случае совпадения, продолжается дальнейшая обработка сообщения, иначе – сообщение игнорируется. Далее, выделяя ID отправителя, терминал фиксирует в соответствующем регистре факт приема данных от счетчика, соответствующего данному идентификатору, а так же показания, находящиеся внутри сообщения. В случае отсутствия ответов от каких-либо счетчиков, факт отсутствия фиксируется в регистре счетчиков, который находится в информационной подсистеме терминала. Конкурентная борьба за очередность передачи в данном виде соединения отсутствует потому, что передаваемые данные будут накапливаться на терминале, и будут представлять собой всего лишь подготовляемые данные для передачи на подвижную станцию.

##### Соединение *терминал – подвижная станция*

Подвижная станция, как и остальные участники, также будет иметь свой идентификатор. Она будет рассылать широковещательную посылку всем терминалам, в состав которой будет входить её идентификатор. Терминалы, в свою очередь, хранят ID подвижной станции, которая прикреплена к данному району. Принимая данную посылку, терминал выделяет ID отправителя и сравнивает с тем, который хранится у неё. В случае совпадения продолжает обработку сообщения, иначе – сообщение игнорируется. При отправке сообщения с данными на подвижную станцию терминал отправляет в составе сообщения свой идентификатор. Данный ID будет фиксироваться в регистре терминалов, для фиксации факта приема информации от данного терминала. При дальнейшем разборе сообщения так же будут заполняться регистр счетчиков и регистр показаний.

В данном виде соединения будет учитываться конкурентная борьба за очередность передачи. Для этого будет использоваться метода CSMA/CA. Т.е. после принятия сообщения опроса каждый терминал будет отправлять на подвижную станцию запрос на разрешение передачи. Терминал, запрос от которого был принят первым, получает в ответ сообщение с разрешением передачи, а остальные получают сигнал запрета, а так же длительность занятости канала. Сообщение запроса разрешения передачи будет содержать в своём составе ID терминала и подвижной станции. Сигнал разрешения на передачу также будет содержать как ID терминала, сообщение которому предназначается, так и ID подвижной станции. Сигнал запрета будет содержать себе только идентификатор подвижной станции.

#### 1.7.2. Обоснование необходимости управление потоком сообщений. Оценка возможности применения ARQ

(AutomaticRepeat-reQuests). Разработка и пояснение способа адаптивного изменения скорости передачи данных.

В данной системе, на мой взгляд, отсутствует необходимость в управлении потоком сообщений. Связано это с тем, что система достаточно простая.

В связи с тем, что передаваемые показания имеют достаточно высокую важность, то потеря какой-либо части данных не желательна. Для этого будет использоваться метод ARQ с остановками. Терминал будет передавать все данные на подвижную станцию в рамках одного мультикадра. Информация от одного счетчика будет составлять кадр. Т.е. в течении мультикадра будет передаваться информация обо всех счетчиках одного терминала. После передачи каждого кадра терминал будет останавливаться, и ожидать подтверждение от подвижной станции. При получении подтверждения будет передан следующий кадр. В случае превышения времени ожидания или сообщения об ошибке, терминал попытается повторить передачу кадра. При нескольких неудачных попытках кадр пропускается, и в журнале оставляется соответствующая запись.

Адаптивное изменение скорости передачи данных в данной системе также будет отсутствовать по причине ненадобности. Канал, в данном случае, будет использоваться полностью, и его незначительные изменения из-за воздействия каких-либо факторов, не станут помехой работоспособности системы.

#### 1.7.3. Обеспечение (оценка) достоверности принимаемых сообщений.

Потому как каждый из передаваемых пакетов в данной системе имеет высокое значение, то требуется обеспечить достоверность его принятия. Достоверность можно обеспечить введением в каждый пакет поля контрольной суммы (CRC). На приемной стороне будет производиться вычисление контрольной суммы, и сравнение полученного значения, с тем, которое находилось в пакете. Тем самым будут выявляться ошибочные пакеты. Данный метод позволит сократить ресурсы данной системы. Например, если будет неправильно принят ответ с подтверждением о правильности переданного кадра, то система будет пытаться повторить его передачу.

#### 1.7.4. Обоснование логических каналов связи (ЛКС), используемых на канальном уровне. Пояснение основных видов сообщений, передаваемых по каждому ЛКС. Расчет (оценка) пропускной способности ЛКС с учетом избыточности сообщений канального уровня. Расчет основного трафика системы. Составить сводную таблицу ЛКС, с указанием наименования, назначения и типа КС.

В данной системе будет использоваться 3 типа каналов связи:

1) Сигналы опроса будут передаваться с подвижной станции всем терминалам. Т.к. данное сообщение будет предназначаться всем, то передаваться оно будет по широкополосному каналу (BCCN

).

2) Для передачи данных с терминала на подвижную станцию будет использоваться канал трафика (ТСН

).

3) Для получения подтверждений будет использоваться канал сигнализации (SCH

).

Расчет пропускной способности ЛКС:

1) Пакет сигнала опроса на данном уровне будет включать в себя поля:

- флаг(FI): 3 бита;
  - ID подвижной станции: 4 бита;
  - поле управления: 3 бита;
  - поле контрольной суммы: 3 бита;
- В итоге получается 13 бит.

2) Пакет сигнала подтверждения/ошибки включает в себя следующие поля:

- флаг(FI): 3 бита;
  - ID терминала: 5 бит ( $2^5=32$  терминала);
  - ID подвижной станции: 4 бита;
  - поле управления: 3 бита;
  - поле контрольной суммы: 3 бита;
- В итоге получается 18 бит.

3) Пакет данных будет включать в себя следующие поля:

- флаг(FI): 3 бита;
  - ID терминала: 5 бит ( $2^5=32$  терминала);
  - ID подвижной станции: 4 бита;
  - поле управления: 3 бита;
  - данные: 32 бита;
  - поле контрольной суммы: 3 бита;
- В итоге получается 50 бит.

Поле данных в пакете данных будет содержать 8 битный ID счетчика и показания самого счетчика, которое будет содержаться в 24 битах. Сведем все логические каналы связи в таблицу.

Таблица 1. Логические каналы связи

Наименование	Назначение	Тип
--------------	------------	-----

Широковещательный канал ( VCCN)	Канал передачи общей информации	F
Канал сигнализации (SCN)	Канал для передачи подтверждений	F
Канал трафика ( TCN)	Канал для передачи данных	R

### 1.7.5. Пояснение организации доступа к физическому каналу. Управление профилями физического уровня.

Доступ к физическому каналу в данной системе будет осуществляться с помощью метода CSMA/CA. Терминалы будут получать по широковещательному каналу от подвижной станции сигнал опроса. Данный сигнал доступен всем. После этого, они будут отправлять на подвижную станцию запросы о разрешении передачи. Терминал, запрос от которого пришел быстрее, получит в ответ разрешение на передачу и начнет передавать. Все остальные получают сигнал запрета, и продолжают участие в конкурентной борьбе. После окончания передачи подвижная станция будет передавать сигнал подтверждения. Данные сигналы будут передаваться без использования метода CSMA/CA.

В данной системе будет предусмотрен только один профиль физического уровня.

### 1.7.6. Пояснение структуры сообщения (пакета) канального уровня: описание предполагаемых видов пакетов и необходимых полей.

Рассмотрим структуры пакетов канального уровня.

Пакет опроса представлен на рисунке 1.

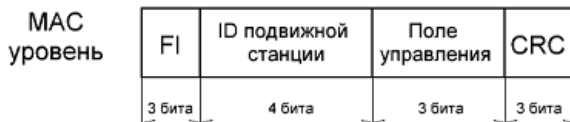


Рисунок 1. Пакет опроса.

Пакет опроса содержит в себе: защитный интервал (3 бита); ID подвижной станции, которое требуется для её идентификации терминалами и последующей вставке в пакет ответа (4 бита); поле управления, которое отображает тип пакета (опрос, подтверждение, данные) (3 бита); поле контрольной суммы, для обеспечения достоверности принятого пакета (3 бита).

Пакет подтверждения/ошибки изображен на рисунке 2.

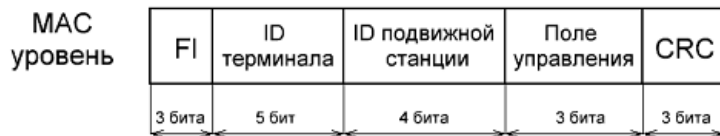


Рисунок 2. Пакет подтверждения/ошибки.

Пакет подтверждения/ошибки содержит следующие поля: защитный интервал (3 бита); ID терминала, которое содержит идентификатор адресата сообщения (5 бит); ID подвижной станции, которое требуется для идентификации отправителя пакета (4 бита); поле управления, которое указывает на тип пакета (3 бита); поле контрольной суммы, для обеспечения достоверности принятого пакета (3 бита).

Пакет данных представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Пакет данных.

Пакет данных содержит следующие поля: защитный интервал (3 бита); ID подвижной станции, которое требуется для идентификации адресата пакета (4 бита); ID терминала, которое содержит идентификатор отправителя сообщения (5 бит); поле управления, которое указывает на тип пакета (3 бита); сами данные, которые включают в себя ID счетчиков и сами показания (32 бита); поле контрольной суммы, для обеспечения достоверности принятого пакета (3 бита).

### 1.7.7. Описание типовых схем обмена сообщениями между объектами канального уровня.

Схема обмена сообщениями между объектами представлена на рисунке 4.

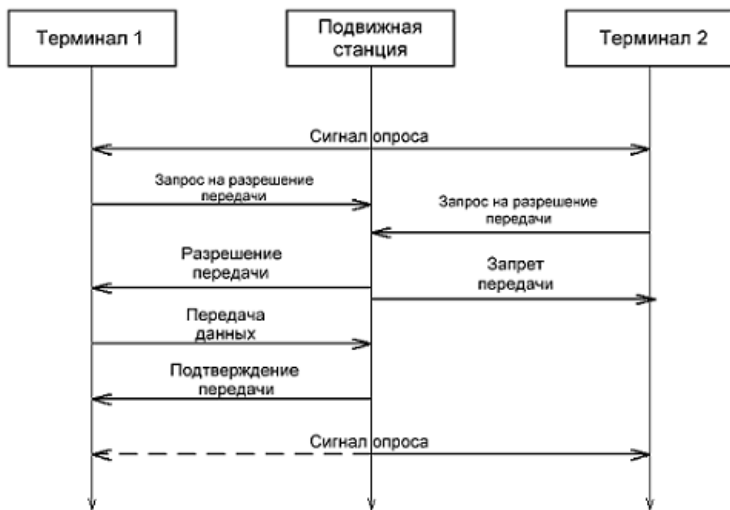


Рисунок 4. Схема обмена сообщениями.

Подвижная станция посылает по широкополосному каналу сигнал опроса. Принимая его, терминалы отправляют запрос на разрешение передачи. Тот терминал, чей запрос пришел раньше, получает в ответ сигнал разрешения передачи, а все остальные сигнал запрета. После этого, терминал, который получил разрешение начинает передачу данных. После окончания передачи, подвижная станция отправляет на терминал сигнал подтверждения в случае удачной передачи, или, в противном случае, сигнал «ошибка». После получения сигнала подтверждения терминал засыпает, и больше не участвует в борьбе за канал. Подвижная станция, в свою очередь, продолжает опрос терминалов. Терминал, данные с которого уже были успешно переданы не реагирует на сигналы опроса подвижной станции. Принцип доступа к каналу будет регулироваться по методу CSMA/CA. На данной схеме границы данного метода будут определены, с одной стороны, принятием сигнала опроса от подвижной станции, и с другой стороны, передачей в ответ сигналов подтверждения на передачу и сигналов запрета на передачу.

## 1.8. Разработка физического уровня системы.

### 1.8.1. Расчет полной пропускной способности физического канала связи соединения «терминал – БС».

Выберем пропускную способность канала связи равной 60 кбит/с.

### 1.8.2. Анализ и обоснованный выбор мер по защите физического уровня от многолучевости.

Для борьбы с многолучевостью в данной системе будет использоваться эквалайзер. Фактически, эквалайзер является адаптивным фильтром, который подстраивает АЧХ канала. Для его работы в пакетах физического уровня будет производиться передача настроечной последовательности, которая известна приемной стороне.

### 1.8.3. Энергетический расчет системы: обоснованный выбор частотного диапазона (на основе документов ГКРЧ); оценка уровня потерь при распространении радиоволн выбранного диапазона; обоснование выбора метода модуляции; расчет отношения сигнал/шум, требуемого для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки для выбранного и типа модуляции/демодуляции.

Диапазон рабочих частот выберем, используя документ ГКРЧ: О выделении полос радиочастот для радиоэлектронных средств любительской и любительской спутниковой служб:

1. Выделить полосы радиочастот 135,7-137,8 кГц, 1810-2000 кГц, 3500-3650 кГц, 3650-3800 кГц, 7000-7200 кГц, 10100-10150 кГц, 14000-14350 кГц, 18068-18168 кГц, 21000-21450 кГц, 24890-24990 кГц, 28000-29700 кГц, 144-146 МГц, 430-440 МГц, 1260-1300 МГц, 5650-5670 МГц, 5725-5850 МГц, 10-10,5 ГГц, 24-24,05 ГГц, 24,05-24,25 ГГц, 47-47,2 ГГц, 76-77,5 ГГц, 77,5-78 ГГц, 122,25-123 ГГц, 134-136 ГГц, 136-141 ГГц, 241-248 ГГц, 248-250 ГГц для разработки, модернизации и производства юридическими и физическими лицами РЭС любительской службы, а также полосу 2320-2320,15 МГц для проведения экспериментальных радиосвязей с использованием Луны в качестве пассивного ретранслятора, без оформления отдельных решений ГКРЧ для каждого типа РЭС при условии, что технические характеристики разрабатываемых, производимых и модернизируемых РЭС соответствуют основным техническим характеристикам, указанным в приложении № 1 к настоящему решению ГКРЧ.

Исходя из данного документа выберем несущую частоту равной 435 МГц.

В качестве модели канала связи будем использовать модель Хата. Она возникла в результате адаптации эмпирических формул к графикам, составленным Окамура и соавторами. Для оценки затухания сигнала Хата предложил следующие эмпирические формулы. В городской местности в частотном диапазоне от 150 до 1500 МГц при эффективной высоте антенны базовой станции  $h_{bs\_eff}$

от 30 до 200 м имеем

$(L_{dB})_{Город} = 69,55 + 26,16 * \lg f - 13,83 * \lg(h_{bs\_eff}) - \alpha(h_{ms}) + (44,9 - 6,55 * \lg(h_{bs\_eff})) * 1g d$ , где поправочный коэффициент зависит от высоты антенны

подвижной станции  $h_{ms}$

и для крупного города вычисляется по формуле:

$$\alpha(h_{ms}) = 3,2 * (\lg 11,75 * h_{ms})^2 - 4,97 \text{ для } f$$

$\geq 400 \text{ МГц}$

$h_{ms} = 1,7 \text{ м}$  - высота антенны подвижной станции

В качестве высоты терминала выберем 9 этажный дом, высота которого составляет в среднем 30 м.

$h_{bs} = 30 \text{ м}$  – высота антенны терминала

$$\alpha(1,7) = 3,2 * (\lg$$

$$11,75 \cdot 1,7^2 - 4,97 = 0,442;$$

$$L_{db}(19) = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(435) - 13,83 \cdot \lg(30) - 0,442 + (44,9 - 6,55 \cdot \lg(30)) \cdot \lg(0,5) = 69,55 + 69,023 - 20,428 - 0,442 + 35,225 \cdot (-0,301) = 107,1 \text{ дБ}$$

Т.е. в данном случае, при использовании модели Хата затухания на расстоянии 0,5 км в городе при высоте антенны терминала 30 м и подвижной станции 1,7 м составляют 107,1 дБ.

Потери в условиях LOS:

$$L_{LOS} = 27,56 - 20 \cdot \lg(f) - 20 \cdot \lg(r), \text{ дБ}$$

$$L_{LOS} = 27,56 - 20 \cdot \lg(435) - 20 \cdot \lg(500) = -79,189 \text{ дБ.}$$

Данная система должна работать в узкой полосе частот, а так же иметь хорошую вероятность битовой ошибки ( $10^{-6}$ ). Поскольку в данной системе не требуется высокая скорость передачи, то в качестве вида модуляции выберем QPSK

Расчёт ОСШ, требуемый для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки:

$$\Delta f = R/2 = 30000 \text{ Гц} - \text{минимальная полоса пропускания};$$

$$Пш = \Delta f \cdot 1,1 = 33000 \text{ Гц} - \text{шумовая полоса приёмника};$$

$$T = 296 \text{ К} - \text{шумовая температура};$$

$$Pш = k \cdot T \cdot Пш = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 296 \cdot 33000 = 1347984 \cdot 10^{-22} = -158,7 \text{ дБ} - \text{мощность шума}$$

График зависимости битовой ошибки от  $E_b/N_0$  для QPSK  $Q(E_b/N_0)$  изображен на рисунке 5.

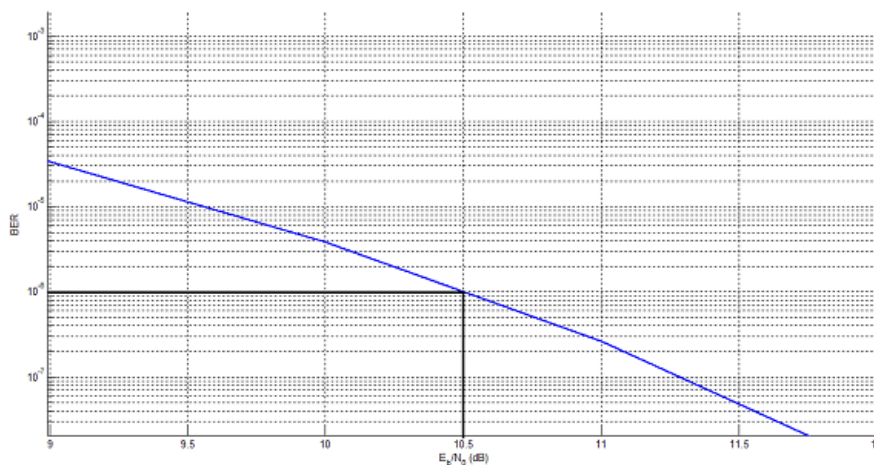


Рисунок 5. Зависимость вероятности битовой ошибки от  $E_b/N_0$  для QPSK.

Из данного рисунка видно, что для значения требуемой вероятности битовой ошибки ( $10^{-6}$ ) требуется  $E_b/N_0 = 10,5$  дБ.

1.8.4. Обоснованный выбор метода помехоустойчивого кодирования, перемежения, деперемежения, оценка эффективности кодирования. Коррекция данных расчета п.1.8.3 и проверка на обеспечение исходных данных. Анализ необходимости наличия разных профилей настройки физического уровня.

В качестве помехоустойчивого кода выберем блочный код. Данный код увеличивает избыточность сообщения так, чтобы в приемнике можно было расшифровать его это сообщение, с минимальной погрешностью. В качестве блочного кода выберем код (50,65), т.е. данное кодовое слово будет иметь длину 65 бит, из которых 50 бит будут информационными. График вероятности зависимости битовой ошибки от  $E_b/N_0$  с применением блочного кодирования и без, представлен на рисунке 6.

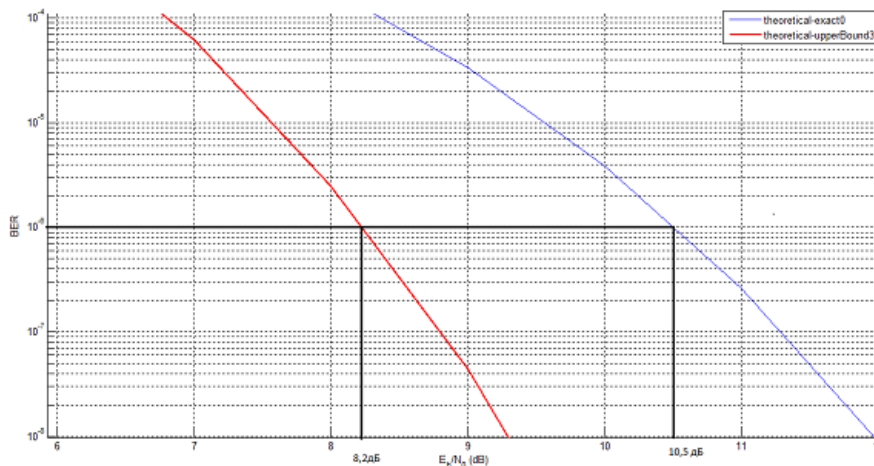


Рисунок 6. Зависимость вероятности битовой ошибки от  $E_b/N_0$  с применением блочного кодирования и без. На данном рисунке, синим цветом обозначена зависимость вероятности битовой ошибки от  $E_b/N_0$  без применения блочного кодирования, а красным цветом – с применением. Как видно из графика, применение блочного кода

позволяет уменьшить требуемое значение  $E_b/N_0$  с 10,5 дБ до 8,2 дБ. Т.е. выигрыш при применении кодирования будет составлять 2,3 дБ.

**Выбор перемежения.**

Перемежение представляет собой такое изменение порядка следования символов информационной последовательности, то есть такую перестановку символов, при которой стоящие рядом символы оказываются разделенными несколькими другими символами. Перемежение, как процедура перестановки символов, предпринимается с целью преобразования групповых ошибок (пакетов ошибок) в одиночные ошибки, с которыми проще бороться с помощью блочного и сверточного кодирования. В данной системе будем использовать блочное перемежение. Блочный перемежитель обозначается  $(K, J)$ , где  $K$  означает количество бит во входном информационном блоке, а  $J$  – количество бит, на которое разносятся соседние для входного блока биты. Работу схемы блочного перемежителя можно представить как проведение последовательной построчной записи входной информационной последовательности в матрицу, в которой длина строки соответствует  $J$  (число столбцов  $(K \div J + 1)$ ), а затем считывания записанной информации по столбцам.

**1.8.5. Оценка уровня мощности излучения передающего устройства, сравнение с заданным значением  $P_{излАС}$ ;** сделать выводы, при необходимости вернуться к п.1.8.3, 1.8.4. Расчет чувствительности приемников АС(БС).

Чувствительность приемника рассчитывается по формуле:

$$P_{им дБ} = P_{ш дБ} + N_k + C/N, \text{ где } N_k$$

= 10 дБ – мощность шума первых каскадов

$$C/N = E_b/N_0 + 10 \cdot \log(R / \Pi_{ш}) = 8,2 + 2,596 = 10,796 \text{ дБ}$$

$N_k = 10$  дБ – коэффициент шума каскадов приемника;

$$P_{им дБ}$$

$$= -158,7 + 10 + 10,796 = -137,9 \text{ дБ}$$

Переведем полученное значение в Вт.

$$P_{им} = 10^{(P_{им дБ}/10)}$$

$$= 10^{-13,79} = 1,622 \cdot 10^{-14} \text{ Вт}$$

Мощность передатчика рассчитывается по формуле:

$$P_{ид дБ} = P_{им дБ} + L - G_T - G_R$$

, где

$$G_T$$

= 2 дБ – коэффициент усиления передающей антенны,

$$G_R$$

= 1 дБ – коэффициент усиления приемной антенны,

$$L$$

= 107,1 дБ – затухание в радиоканале

$$P_{ид дБ}$$

$$= -137,9 + 107,1 - 1 - 2 = -33,8 \text{ дБ}$$

Переведем полученное значение в Вт.

$$P_{ид} = 10^{(P_{ид дБ}/10)} = 10^{-3,8} = 1,585 \cdot 10^{-4} \text{ Вт.}$$

**1.8.6. Пояснение структурной схемы физического уровня системы.**

Структурная схема физического уровня системы изображена на рисунке 7.

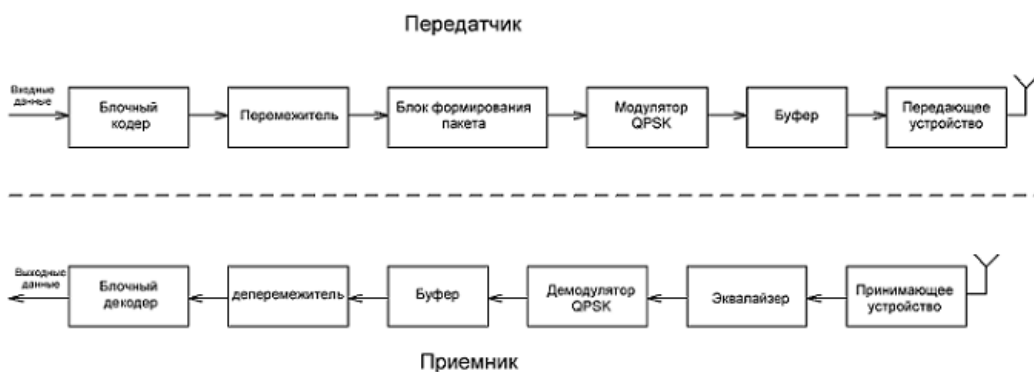


Рисунок 7. Структурная схема физического уровня системы.

Входные данные на передающей стороне вначале кодируются блочным кодом. После этого они поступают на перемежитель, который производит их перемешивание по заданному алгоритму. После этого данные поступают на блок формирования пакета, где будет собираться сам передаваемый пакет. После этого данные модулируются, накапливаются в буфере, и после этого поступают на передающее устройство, которое производит перенос данных на несущую частоту, усиление и передачу в канал. На приемной стороне присутствует эквалайзер, который будет выравнивать АЧХ канала. Дальнейшие действия представляют из себя действия, обратные тем, которые проводились на передающей стороне.

**1.8.7. Обоснование видов и назначения логических каналов связи, используемых на физическом уровне.**

В данной системе, на физическом уровне будет использоваться 2 типа логических каналов связи:

1) FCCN

– канал для подстройки частоты. По данному каналу будут передаваться данные, необходимые для битовой

синхронизации.

2) Канал для передачи подстроечной последовательности. По данному каналу будет передаваться подстроечная последовательность, необходимая для работы эквалайзера.

1.8.8. Определение типов пакетов физического уровня, обоснование структуры полей пакетов каждого типа, оценка размеров полей, длительность пакета.

Пакет физического уровня представлен на рисунке 8.



Рисунок 8. Пакет физического уровня.

Пакет физического уровня состоит из следующих полей: поле FCCH для подстройки частоты (7 бит); поле подстроечной последовательности, необходимой для работы эквалайзера (8бит); поле данных, размер которого составляет 50 бит; поле избыточности (15 бит); поле защитного интервала (3 бита). В итоге, размер пакета физического уровня может достигать 78 бит. При этом, если учитывать что скорость передачи в системе составляет 60 кбит/с, то для передачи пакета требуется около 1,3 мс

Список используемой литературы:

- 1)Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи/Пер. с польск. И.Д. Рудинского; под ред. А.И.Ледовского.- М.:Горячая линия -Телеком, 2006.-530с.
- 2)Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003.-1104с.: Парал. Тит. Англ.
- 3)Лекции по курсу ОТССПО
- 3) Курсовая работа по курсу ОТССПО
- 4)Минаев И.Г. [Третье сообщение по теме "Радиосистема передачи измерительных данных"](#)

Также были использовано множество ссылок на интернет ресурсы, многие из которых, к сожалению были утеряны.

