

## **1.6. Обоснование и подробное описание задач, выполняемых на физическом уровне. Проработка вопросов, связанных с обеспечением синхронизации сетевых устройств на физическом уровне.**

*Физический уровень* - нижний уровень модели, основная задача которого – достоверная передача потока битов, поступающего с верхнего, канального уровня, посредством радиоканала физическому уровню другого узла сети.

Проведем оценку полного трафика системы. Как было отмечено в п.1.1, количество одновременно проводимых сеансов связи на одну БС – 6 сеансов. Так же был выбран речевой кодек – G 723.1, со скоростью кодирования – 6.4 Кбит/с [2]. Произведение скорости кодирования на числа проводимых сеансов связи дает общий несжатый поток.

$$R1 = 6 * 6,4 = 38,4 \text{ Кбит/с.}$$

К значению необходимо добавить дополнительно 20% - на избыточность канального уровня. Под избыточностью в данном случае понимается (CRC, адрес услуги – addr, код запрашиваемой услуги – code).

$$R2 = 38,4 + (38,4 * 0,2) = 38,4 + 7,68 = 46,08 \text{ Кбит/с.}$$

Так как планируется использование помехоустойчивого кодирования, то учитываем, что на каждый информационный бит приходится один избыточный (при скорости кодирования  $\frac{1}{2}$ ). А следовательно, получившуюся величину R2 необходимо умножить на 2 .

$$R3 = 46,08 * 2 = 92,16 \text{ Кбит/с.}$$

Для использования логических каналов управления , например – BCCH, AGCH, добавляем дополнительно ещё 10%.

$$R4 = 92,16 + (92,16 * 0,1) = 96 \text{ Кбит/с.}$$

Полученную пропускную способность доводим до ближайшей степени двух.

$$R_5 = 96 + 32 = 128 \text{ Кбит/с.}$$

Таким образом, зададимся пропускной способностью канального уровня 128 Кбит/с.

#### **1.6.1. Анализ и обоснованный выбор мер по защите физического уровня от многолучёвости.**

Как уже было сказано в первом сообщении, речь идет о обеспечении связью пользователей, находящихся на территории производственных помещений радиусом 400 м. При этом сотрудники изменяют регулярно своё местоположение. Значит, имеет место быть рассмотренным вопрос многолучевости.

Для борьбы с многолучевостью может использоваться выравнивание характеристик канала на приемной стороне. Использование методов, собирающих рассеянную энергию символа в ее исходный временной интервал позволит избавиться от проблем многолучевости. Поскольку в мобильных системах характеристика канала меняется со временем, выравнивающий фильтр должен изменяться или приспосабливаться к нестационарным характеристикам канала. В проектируемой системе будем использовать фильтр – эквалайзер (рис.1). Для его работы необходимо наличие обучающей последовательности, следовательно в структуре сообщения физического уровня будем учитывать поле настройки фильтра эквалайзера.

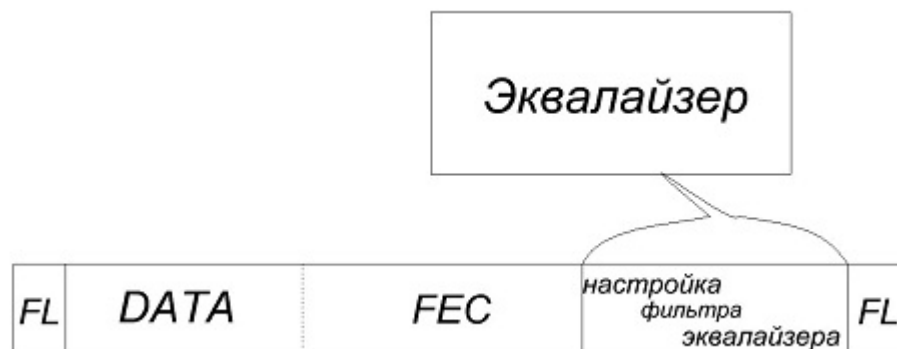


Рисунок 1 - Место фильтра-эквалайзера

#### **1.6.2. Пояснение способа реализации проведения радиоизмерений на физическом уровне.**

Терминал постоянно проводит контроль качества сигналов от БС. От сети по каналу SACCH передается уровень принимаемого сигнала Т и сигнала из списка ВА. В обратном направлении Т передает результаты измерений BCCH: свой собственный и из списка ВА. Список ВА содержит информацию о несущей BCCH.

Такие измерения проводятся постоянно для оперативной реакции системы на изменение уровня ОСШ. Физический уровень, измерив эту величину, отправляет информацию на L3 уровень. L3 уровень, при низком ОСШ, сигнализирует пользователю о возможных сбоях при приеме сообщений.

Исходя из этого принимается решение об увеличении мощности передатчика.

### 1.6.3. Проработка структуры радиointерфейса L1-уровня, обеспечивающего двусторонний обмен пакетами физического уровня. Проработка профилей физического уровня и сценария их выбора. Определение типов пакетов физического уровня, обоснование структуры полей пакетов каждого типа, оценка размеров полей.

Поясним саму идею радиointерфейса. На рисунке 2 видим, что в нашем случае имеется 6 физических каналов (6 слотов). Они образуют один кадр. Введём понятия мультикадра и суперкадра. Мультикадр состоит из трех кадров. Группа из шести мультикадров составит суперкадр. Именно в нулевом суперкадре в нулевом кадре и в нулевом слоте передается только одно сообщение канала управления. И оно будет идти со скважностью 1/100. И после окончания одного периода передачи:

$6 \times 3 \times 6 \sim 100$  слотов, наступает момент передачи ещё одного сообщения канала управления – канал синхронизации, далее по такому же принципу, в нулевом слоте, каналы BCCH, PCN.

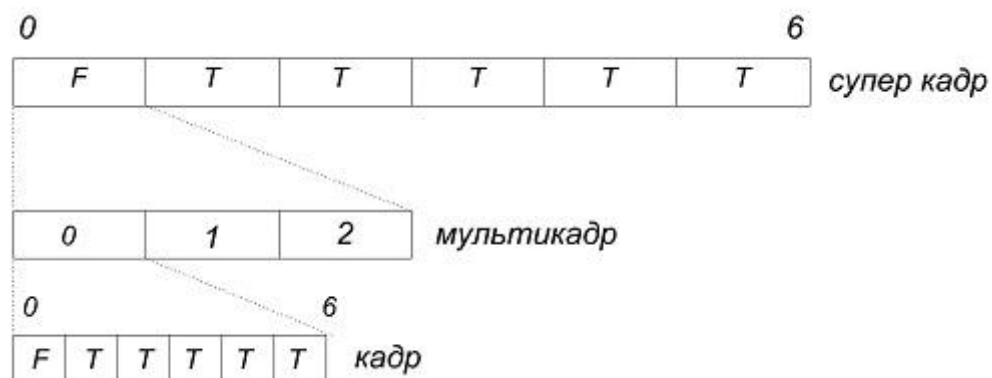


Рисунок 2 - структуры радиointерфейса

В работе используются два профиля передачи данных: QPSK, PSK–8.

QPSK- для передачи каналов управления;

PSK–8- для передачи канала трафика.

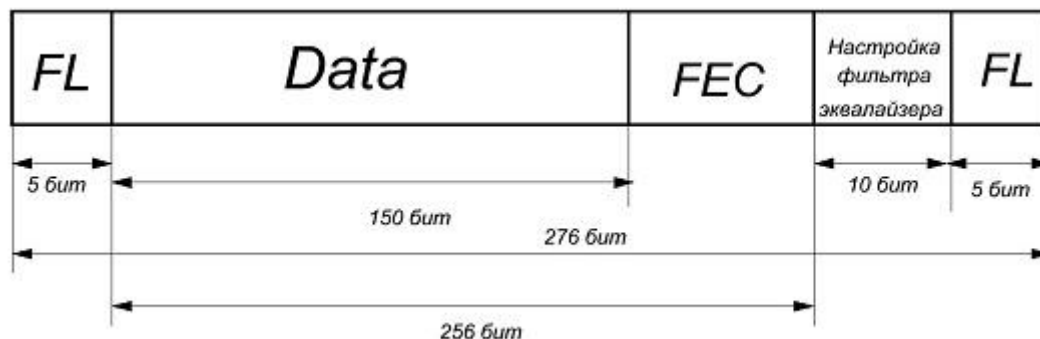


Рисунок 3 - Общий вид пакета на физическом уровне.

Так как в проектируемой системе радиотелефонной связи используется блочный код, то в структуре пакетов физического уровня учитываем наличие поля FEC (блок избыточных разрядов). В работе системы присутствует эквалайзер, значит, имеет место быть поле настройки фильтра эквалайзера. Так же в структуре пакета (рис. 3) присутствуют флаги начала, конца пакета и информационное поле Data.

#### 1.6.4. Пояснение способа обеспечения частотной и временной синхронизации.

Блоки битов, поступающие с канального уровня, кодируются кодом хеминга со скоростью кодирования 255/155, и поступают на перемежитель, который осуществляет перестановку бит по заданному алгоритму. К полученному сообщению добавляется служебная информация, необходимая для частотной и временной синхронизации, а также информация о типе выбранного профиля.

#### 1.6.5. Оценка пропускной способности физического канала связи с учетом избыточности, вносимой на L1- уровне. Оценка требуемых частотных ресурсов.

$$\Delta f = R / \log_2 n$$

Где  $R$  – пропускная способность,  $n$  – кратность модуляции.

Получим : для PSK-8 – 42 667Гц, для QPSK – 64 000Гц .

**1.6.6. Обоснованный выбор частотного диапазона (на основании документов ГКРЧ); аргументированный выбор модели оценки потерь при распространении радиоволн выбранного диапазона, расчет уровня потерь.**

Выберем диапазон частот из частот, 890-915 МГц/935-960 МГц и 1710-1785 МГц/1805-1880 МГц, разрешенных для применения на территории субъектов Российской Федерации радиоэлектронных средств стандарта GSM. Предоставление данных частот, в том числе по заявлениям российских юридических лиц, указанных в ряде пунктов информационного листа, должно осуществляться по результатам конкурсов, проводимых в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 12 января 2006 г. № 8 «Об утверждении Правил проведения торгов (аукциона, конкурса) на получение лицензии на оказание услуг связи»[4].

Выбранный диапазон: 890-915 МГц.

Несущая частота: 900 МГц.

Проведем оценку уровня потерь при распространении радиоволн выбранного диапазона. рассчитаем потери на заданных частотах с учетом расстояния между объектами сети и типа местности.

$$L = -K_1 - K_2 \log(f_0) + 13.82 \log(h_{BC}) + a(h_{MC}) - [44.9 - 6.55 \log(h_{BC})] \log(r) - K_0 \quad (7),$$

Здесь  $f_0$  - несущая частота (в мегагерц),  $h_{BC}$  - высота антенны (в метрах) БС,  $h_{MC}$  - высота антенны МС (в метрах),  $r$  - расстояние (в километрах) между базовой станцией и подвижным пользователем.

Приняв  $f_0 = 950$  МГц,  $r = 400$  м можно приближённо приравнять к 500 м,  $h_{MC} = 2$  м,  $h_{BC} = 30$  м,  $a(h_{MC}) = [1.1 \log(f) - 0.7]h_{MC} - [1.56 \log(f) - 0.8]$ ,  $K_0 =$

0,  $K_1 = 69.55$ ,  $K_2 = 26.16$ . Мы можем оценить уровень потерь при распространении радиоволн выбранного диапазона. Подставим эти данные в модель (7) получим что потери будут:

$$L = 125.736 \text{ дБ}$$

**1.6.7. Расчет отношения сигнал/шум, требуемого для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки для выбранного вида и типа модуляции/демодуляции. Обоснование выбора метода помехоустойчивого кодирования, перемежения/деперемежения, расчет эффективности кодирования. Коррекция данных расчета отношения сигнал/шум с учетом метода помехоустойчивого кодирования. Окончательная оценка требуемых частотных ресурсов.**

Из приведенной зависимости вероятности битовой ошибки от ОСШ (Рис. 4) можно сделать вывод о том, что для достижения необходимой вероятности ошибки на бит  $P_B = 10^{-5}$ , нужно обеспечить ОСШ равный 9.5 дБ для QPSK модуляции и ОСШ равный 13 дБ для PSK-8.

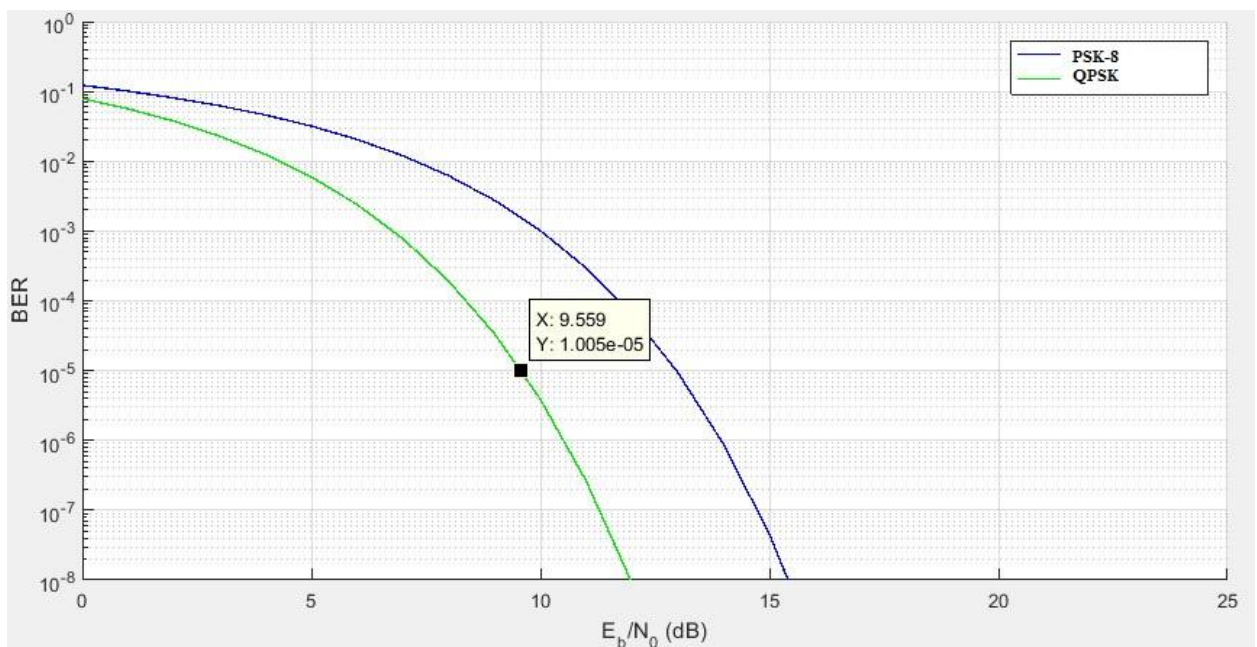


Рис. 4. Зависимости вероятностей битовой ошибки от ОСШ для QPSK и PSK-8 модуляций.

Для борьбы с пакетами ошибок в системе используется блочный код.

Сообщения физического уровня имеет следующую структуру:

- информационное поле Data
- наличие поля FEC (блок избыточных разрядов);
- поле настройки фильтра эквалайзера;
- FL флаги начала, конца пакета.

С учетом кодирования со скоростью  $1/2$  и добавления нулевых битов для приведения размера сообщения к числу, кратному 2, сообщение ФУ будет иметь размер: 276 бит.

Далее найдем ОСШ с учетом кодирования:

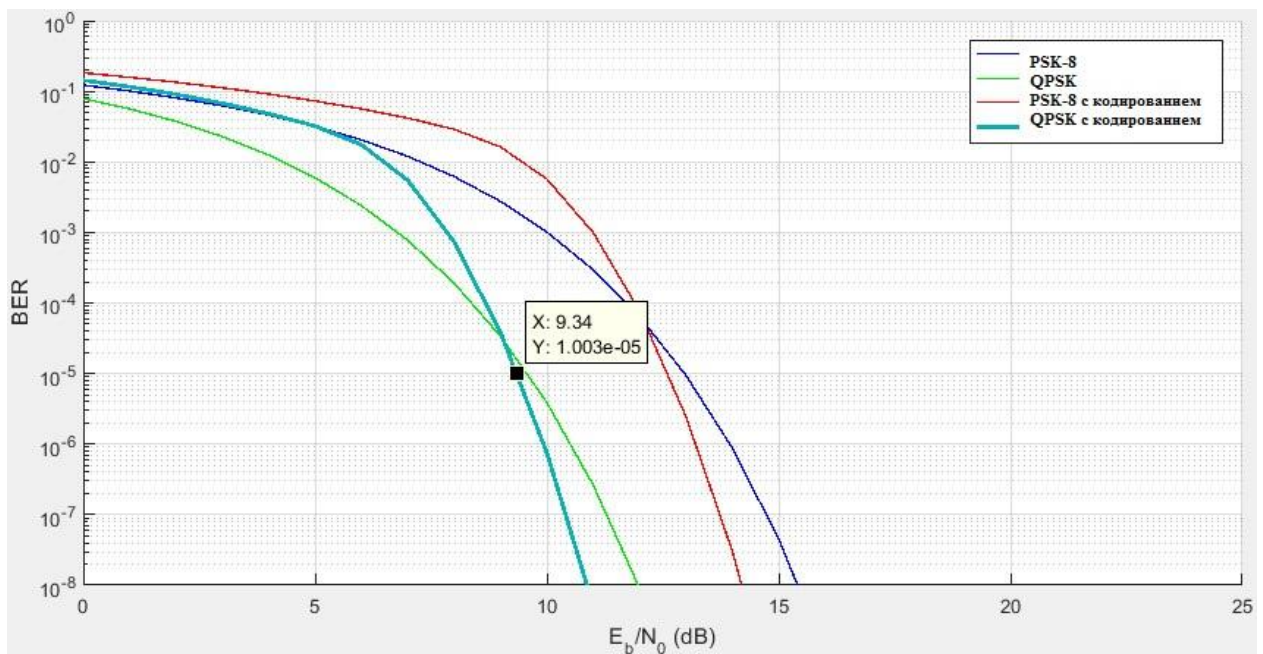


Рис. 5. Зависимости вероятностей битовой ошибки от ОСШ для QPSK и 8-PSK модуляций при использовании помехоустойчивого кодирования.

Исходя из изображенных графиков (рис. 7), можно сделать вывод, что для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки требуется ОСШ равное:

- 9.559 дБ для модуляции QPSK, энергетический выигрыш составит  $12.6 - 9.559 = 3.031$  (дБ).
- 9,33 дБ для модуляции PSK-8, энергетический выигрыш составит  $12.97 - 9.33 = 3.64$  (дБ).

Сверточное кодирование является мощным средством борьбы с одиночными ошибками. Идея сверточного кодирования заключается в следующем: входящая последовательность информационных бит преобразуется в специальном сверточном кодере таким образом, чтобы каждому входному биту соответствовало более одного выходного. Сверточный код - непрерывный код, здесь нет деления на кодовые комбинации, при одинаковой сложности кодирующих и декодирующих устройств такое кодирование просто в реализации.

Из-за того, что закодированная информация не группируется в блоки, обнаружение и исправление ошибок выполняется непрерывно, и именно в этом состоит преимущество сверточных кодов.

В разрабатываемой системе применяется сверточный код с параметрами (8, [255 155] ) и жестким декодированием по Витерби, что позволяет декодировать полученную последовательность кодовых слов с большой степенью правдоподобия.

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

Оценим уровень мощности передающего устройства  $P_{прд}$ . Мощность передатчика рассчитывается по формуле:

$$P_{прд} = P_{прм} + L - G_m - G_r,$$



где  $P_{нрм}$  – чувствительность приемника,  $L=128.736$  дБ – затухание в радиоканале,  $G_t=2$  дБ – коэффициент усиления передающей антенны,  $G_r=2$  дБ – коэффициент усиления приемной антенны.

Чувствительность приемника равна:

$$P_{нрм} = P_{ш} + N_k + C/N,$$

где  $P_{ш}$  – мощность шума на входе приемника,  $N_k=10$  дБ – коэффициент шума первых каскадов приемника,  $C/N$  – аналоговое ОСШ.

Мощность шума равна:

$$P_{ш} = k * T * \Pi_{ш},$$

где  $k=1.38*10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана,  $T=293$  К – шумовая температура,  $\Pi_{ш}$  – шумовая полоса приемника, которая равна

$$\Pi_{ш} = \Delta f * 1.1, \text{ где } \Delta f \text{ – эффективная полоса пропускания.}$$

Аналоговое ОСШ определяется как:

$$C/N = E_b/N_0 + 10 * \lg((R_n/\Pi_{ш})),$$

где  $E_b/N_0$  – цифровое ОСШ,  $R_n$  – скорость передачи данных.

Скорость передачи данных на выходе помехоустойчивого декодера определяется как:

$$R_c = R * n/k,$$

где  $n$  – размер сообщения на выходе канального кодера,  $k$  – размер сообщения, приходящего с КУ,  $R$  – скорость передачи данных на выходе ФУ.

Эффективная ПП вычисляется как:

$$\Delta f = R_n / \log_2(M),$$

где  $M$  – позиционность модуляции.

Общая пропускная способность ФКС рассчитывается по формуле:

$$C_{ск} = \Delta f * \log_2(1 + C/N),$$

Проведем расчет мощность ПРД и чувствительности ПРМ для профиля QPSK.

$$R_n = 128 \text{ кбит/с.}$$

$$\Delta f = 128 * 10^3 / \log_2(4) = 64 \text{ кГц.}$$

$$P_{ш} = 64 * 10^3 * 1.1 = 70.4 \text{ кГц.}$$

$$P_{ш} = 1.38 * 10^{-23} * 293 * 70400 = -195 \text{ дБ.}$$

$$C/N = 9.5 + 10 * \lg(64/70.4) = 9.1 \text{ дБ.}$$

$$P_{прм} = -195 + 10 + 9.1 = -175.9 \text{ дБ} = 25.40 \text{e-14 Вт.}$$

$$P_{прд} = -131.31 + 108.28 - 2 - 2 = -27.03 \text{ дБ} = 1.98 \text{e-3 Вт.}$$

$$C_{ск} = 64 * 10^3 * \log_2(1 + 9.1) = 224 * 10^3 \text{ бит/с.}$$

Проведем расчет мощность ПРД и чувствительности ПРМ для профиля PSK-8 .

$$R_n = 128 \text{ кбит/с.}$$

$$\Delta f = 128 * 10^3 / \log_2(8) = 16 \text{ кГц.}$$

$$P_{\text{ш}} = 16 \cdot 10^3 \cdot 1.1 = 17.6 \text{ кГц.}$$

$$P_{\text{ш}} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 17600 = -263 \text{ дБ.}$$

$$C/N = 10.7 + 10 \cdot \lg(16/17.6) = 10.3 \text{ дБ.}$$

$$P_{\text{прм}} = -263 + 10 + 10.3 = -201.714 \text{ дБ} = 6.74 \cdot 10^{-21} \text{ Вт.}$$

$$P_{\text{прд}} = -201.714 + 108.28 - 2 - 2 = -94.496 \text{ дБ} = 2.06 \cdot 10^{-10} \text{ Вт.}$$

$$C_{\text{ск}} = 16 \cdot 10^3 \cdot \log_2(10.3 + 1) = 56.6 \cdot 10^3 \text{ бит/с.}$$

Требование по мощности излучения подвижной станции ( $< 0.35 \text{ Вт}$ ) соблюдается в обоих профилях.

Оценим область уверенного приема исходя из рисунка 5, при  $Pr=90\%$ . В таблице функций Лапласа найдем значение, ближайшее к  $((100-90)/100)=0.1$  и получим  $W=0.53$

Так как наша сеть находится в плотной городской застройке, то  $\sigma = 10$  и  $n = 5$ .

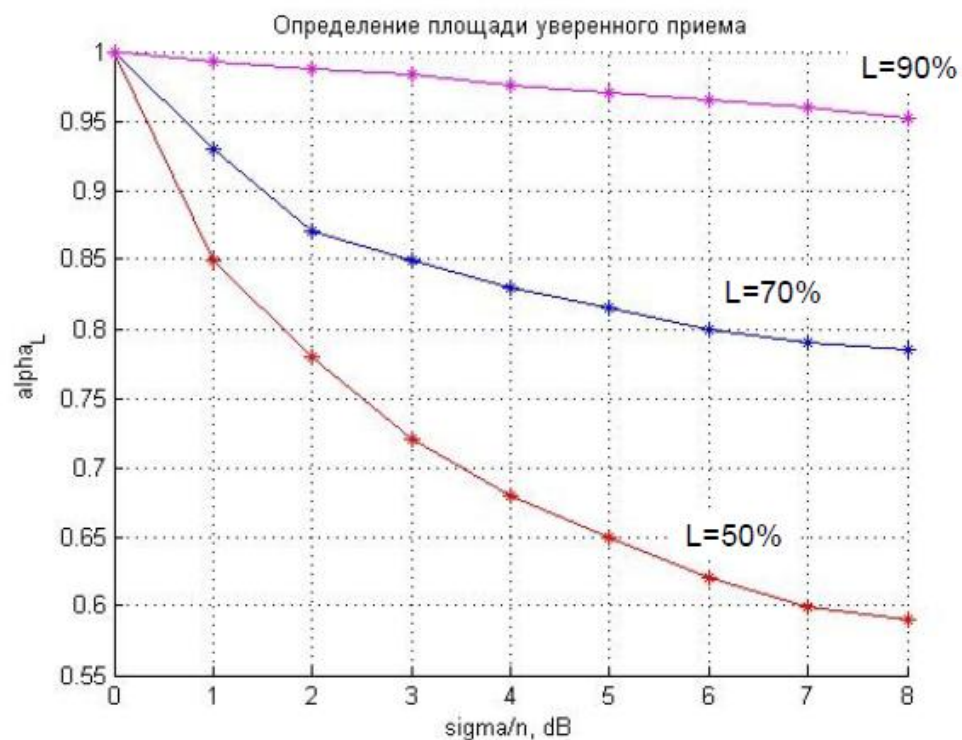


Рисунок 7 – Определение площади уверенного приема.

$\sigma/n=2$ , тогда  $r_{40} = 0.95$ . Отсюда найдем для 90% -  $r_{90} = (10^{((-0,53 * 10) / (10 * 5))) * 0,95 = 511\text{м}$ .

#### 1.6.9. Построение блок-схем алгоритмов приема/передачи сообщений физического уровня.

Исходя из всего вышесказанного, можно построить алгоритм передачи сообщения физического уровня (рис. 8).

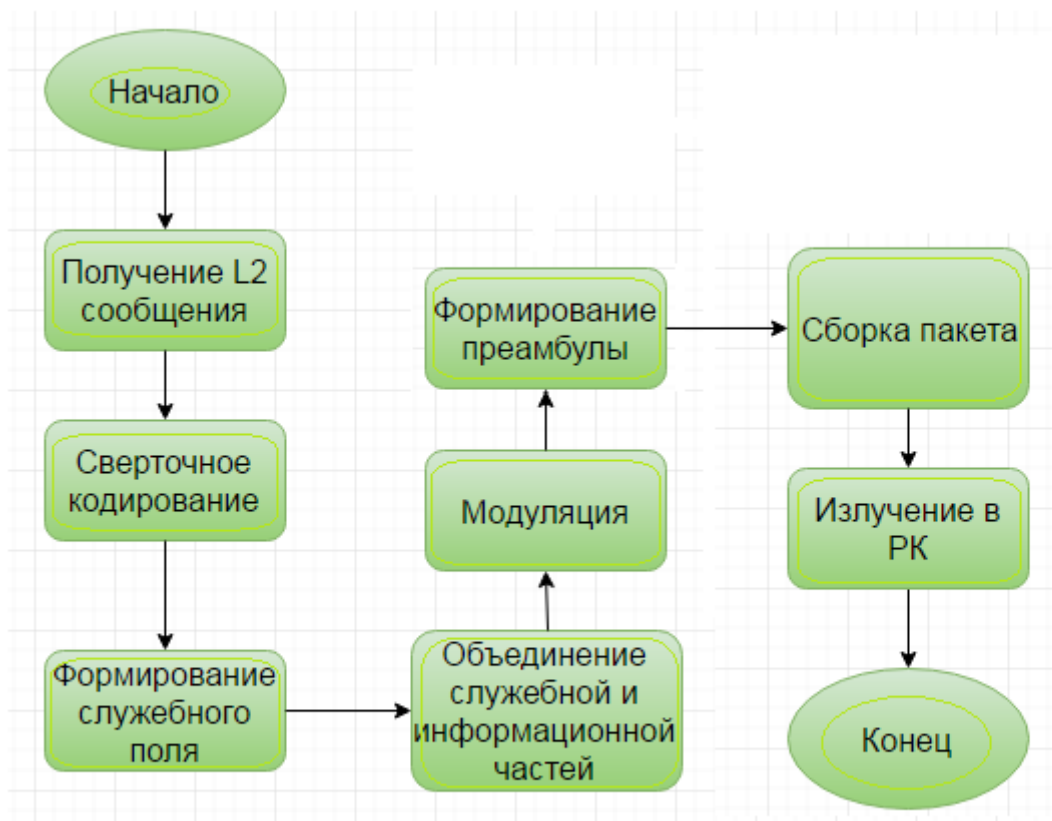


Рисунок 8 – Алгоритм передачи сообщений физического уровня

А также и алгоритм приема сообщения физического уровня (рис. 9).

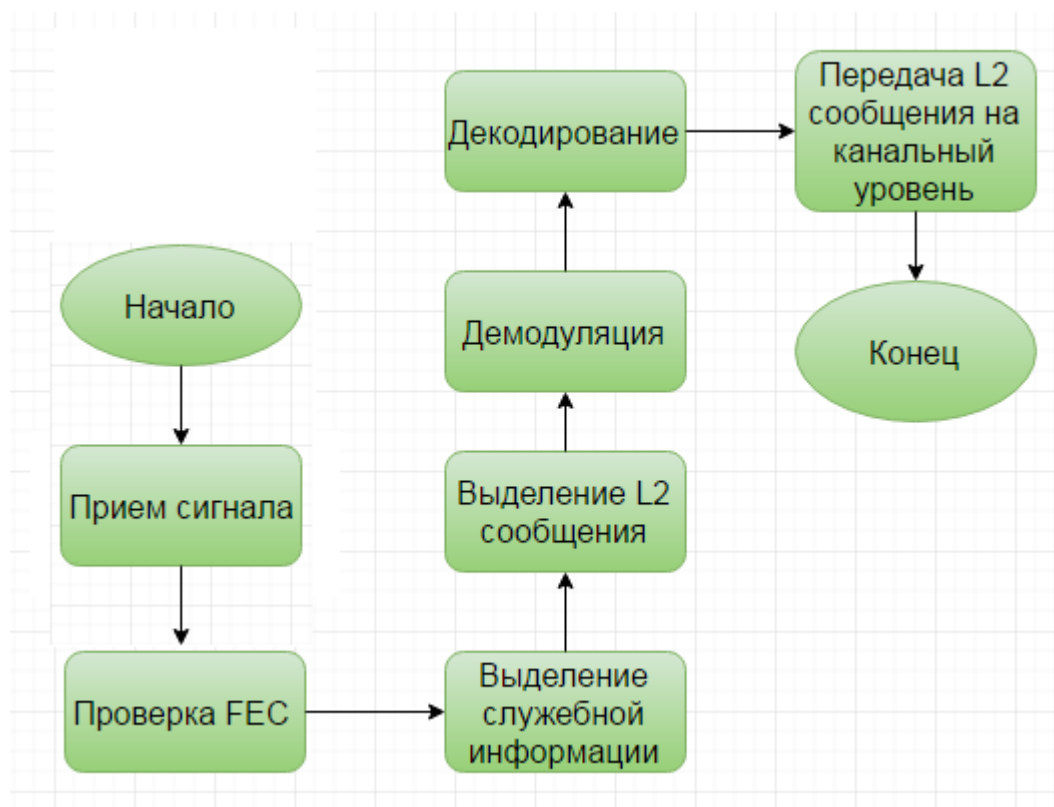


Рисунок 9 – Алгоритм передачи сообщений физического уровня

### Используемая литература:

1. Бакке А. В. "Лекции по курсу: Системы и сети связи с подвижными объектами".
2. Статьи с сайта Omoled.ru прошлых лет.
3. [http://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2014/03\\_Moscow/Session\\_2\\_Lokhvitsky.pdf](http://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2014/03_Moscow/Session_2_Lokhvitsky.pdf)
4. <http://www.rfdesign.ru/tools/rf-calculator.htm>