

## СТАТТІ З ДОДАТКОВОЇ ТЕМАТИКИ

УДК 621.391:621.395

Ляховецький Л.М., Мамонтов І.А., Радю В.В.  
*Lyakhovetsky L.M., Mamontov I.A., Radu V.V.*

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ СВЯЗИ ПО РЕКОМЕНДАЦИИ ITU G.992

#### THE CHARACTERISTICS OF TELECOMMUNICATION EQUIPMENT BASED ON THE ITU RECOMMENDATION G.992

**Аннотация.** В статье приведены принципы построения и основные характеристики оборудования связи по Рекомендации ITU G.992, предназначенного для построения цифровых абонентских линий.

**Summary.** The article is dedicated to the engineering principles and basic characteristics of telecommunication equipment based on the ITU Recommendation G.992 and intended for the digital subscriber lines development.

Сегодня в мире окончательно сформировалась точка зрения на развитие экономики двадцать первого века: экономика будущего, основы которой активно закладывают сегодня экономически развитые страны, будет экономикой информационной. Инфокоммуникационные технологии (ИКТ) и услуги, связанные с генерацией, обработкой и передачей информации, базирующиеся на развитой сети телекоммуникаций, становятся содержанием этой экономики. С построением информационного общества политики связывают свои надежды на создание более справедливого, процветающего и бесконфликтного мира.

Одной из ключевых проблем развития инфокоммуникаций на современном этапе является проблема доступности инфокоммуникационных технологий для жителей независимо от места жительства и материальных возможностей. Проблема доступности была предметом обсуждения на Всемирной встрече на Высшем уровне по вопросам информационного общества, проходившей 10–12 декабря 2003 г. в г. Женева. В принятой Декларации принципов построения информационного общества подчеркивается: «... предоставление всеобщего, повсеместного, справедливого и приемлемого в ценовом отношении доступа к инфраструктуре ИКТ и услугам на базе ИКТ составляет одну из задач информационного общества и должно стать целью всех заинтересованных сторон, участвующих в его построении ...» [1].

Решение стоящей перед обществом задачи доступности ИКТ осуществляется по многим направлениям, среди которых в настоящее время преимущественным является развитие широкополосных сетей доступа по существующей абонентской телефонной сети с использованием специально разработанных для этих целей xDSL-технологий передачи цифровых сигналов по медным телефонным кабелям. К основным требованиям, положенным в основу проектирования систем передачи (СП) xDSL, регламентированных рекомендациями ITU G.99x, можно отнести:

использование в качестве среды передачи существующих абонентских двухпроводных линий передачи на медном кабеле и обеспечение высокой достоверности передачи данных, сравнимой с качеством, достижимым на волоконно-оптических линиях связи;

– высокая степень адаптации к частотным характеристикам канала передачи, что позволяет не предъявлять высоких требований к его состоянию;

электромагнитная совместимость с существующим на абонентской сети оборудованием связи;

– электромагнитная совместимость с разными типами СП xDSL, работающими по параллельным парам;

– отсутствие на линии в наиболее типичном варианте использования регенераторов, что значительно повышает надежность системы;

– дистанционное питание абонентского оборудования осуществляется непосредственно по линии, используемой для передачи;

– совместимость практически с любым существующим телефонным и сетевым оборудованием по технологиям передачи, включая Frame Relay, ATM, протоколам и скорости передачи информации;

– удовлетворение существующим требованиям по контролю характеристик и управлению, которые предъявляются с позиций сети.

В настоящее время в мире эксплуатируется более 100 млн. xDSL-линий, из которых более 60 млн. линий построены по технологии ADSL – асимметричной цифровой абонентской линии (рекомендация ITU G.992) [2]. По прогнозам, ADSL-технология в ближайшем будущем останется лидирующей на сети доступа. Украинский оператор «Укртелеком» также выбрал эту технологию в качестве базовой для построения сети доступа. Указанные обстоятельства стимулируют интерес к этой технологии и необходимость рассмотрения комплексно характеристики существующих сегодня типов приемопередающего оборудования ADSL.

**1. Основные принципы построения приемопередающего оборудования ADSL.** В настоящее время существует пять разновидностей оборудования ADSL соответственно по рекомендациям G.992.1-5. Все эти виды оборудования объединяют общие принципы построения, которые рассмотрены ниже на примере первого в хронологическом порядке регламентации характеристик оборудования ADSL по Рекомендации G.992.1.

Аппаратура передачи ADSL по Рекомендации G.992 по отношению к СП абонентского доступа по Рекомендации G.991 наряду с асимметричной скоростью передачи по направлению к абоненту и от абонента отличается тем, что использует метод многочастотной передачи с ортогональным разделением сигналов. В качестве системы ортогональных сигналов применяются гармонические функции

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin k\omega_0 t \\ \cos k\omega_0 t \end{array} \right\}, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad 0 < t < T, \quad \omega_0 = 2\pi F_0, \quad (1)$$

ортогональные на интервале  $\tau_0 = \frac{1}{F_0}$ . В зарубежной литературе этот метод передачи получил название DMT (Discrete Multitone), который авторы других разработок называют методом передачи с OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). В отечественной литературе нашло распространение название – метод передачи ортогональными гармоническими сигналами (ОГС), а соответствующие системы передачи называют СП ОГС.

Длительность тактового интервала  $T$  (длительность передаваемой элементарной посылки) выбирается несколько большей длительности интервала ортогональности  $\tau_0$ . Их разность составляет защитный временной интервал  $\tau_3$  между последовательно передаваемыми единичными элементами группового сигнала, который вводится с целью повышения помехозащищенности СП ОГС от интерференционных помех. Важным преимуществом системы ортогональных сигналов (1) перед другими является, во-первых, высокая концентрация энергии  $k$ -го сигнала в области частот  $(k - 1) \omega_0 \leq \omega < (k + 1) \omega_0$  и быстрое убывание энергии вне этого диапазона, и, во-вторых, существование быстрых методов реализации алгоритмов их модуляции и демодуляции.

Каждая из пар сигналов (1) образует двухмерную систему координат, независимая модуляция каждой оси которой передаваемыми информационными сигналами реализует соответствующее КАМ-созвездие (КАМ – квадратурная амплитудная модуляция). На передающей стороне множество несущих с номерами от  $k_1$  до  $k_2$  одновременно и независимо модулируются передаваемыми на  $i$ -м тактовом интервале информационными сигналами. Модулированные сигналы суммируются, порождая групповой сигнал, который на  $i$ -м тактовом интервале описывается выражением

$$s_{гр}(t - iT) = \sum_{k=k_1}^{k_2} A_{ki} \cos k\omega_0(t - iT) + B_{ki} \sin k\omega_0(t - iT) \quad (2)$$

Значения амплитуд  $A_{ki}$  и  $B_{ki}$  определяются передаваемой информацией. Число несущих  $k_2 - k_1 + 1$  задается адаптивно, в зависимости от скорости и направления передачи (вверх либо вниз) и характеристик канала. Демодуляция группового сигнала (2) осуществляется путем вычисления коэффициентов корреляции принимаемого сигнала  $S_{гр}(t - iT)$  с опорными сигналами (1):

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{ki} &= \frac{2}{\tau_0} \int_{t_{0,i}}^{t_{0,i} + \tau_0} S_{гр}(t - iT) \cos k\omega_0(t - iT) dt, \\ \tilde{B}_{ki} &= \frac{2}{\tau_0} \int_{t_{0,i}}^{t_{0,i} + \tau_0} S_{гр}(t - iT) \sin k\omega_0(t - iT) dt, \end{aligned}$$

где  $t_{0,i}$  – момент начала интегрирования в приемнике на  $i$ -м тактовом интервале.

Практически операции модуляции (2) и демодуляции при цифровой реализации СП выполняются методами быстрого дискретного преобразователя Фурье (ДПФ), причем порядок ДПФ равен  $2N$ , где  $N-1$  – максимальное количество несущих, которые могут быть использованы для передачи. Операция модуляции определяется как обратное ДПФ (ОДПФ) последовательности комплексных чисел

$$R_k = A_k + iB_k, k = 0, 1, \dots, 2N - 1,$$

$$s_{\text{гр}}(n) = \sum_{k=0}^{2N-1} R_k e^{i \frac{2\pi kn}{2N}}, n = 0, 1, \dots, 2N - 1, \quad (3)$$

а операция демодуляции – как прямое ДПФ

$$R_k = \sum_{n=0}^{2N-1} s_{\text{гр}}(n) e^{-i \frac{2\pi kn}{2N}}. \quad (4)$$

Комплексная последовательность  $R_k$  формируется следующим образом:

$$R_k = 0, k = 0, 1, \dots, k_1-1, k = k_2+1, \dots, N-1,$$

$$R_k = A_k + iB_k, k = k_1, k_1 + 1, \dots, k_2, \quad (5)$$

$$R_k = R_{2N-k}^*, k = N, N + 1, \dots, 2N - 1.$$

Знак (\*) означает комплексно-сопряженную величину.  $R_N$  должно быть действительным числом согласно [2].

Следует отметить, что в результате модуляции, выполняемой методом ОДПФ, формируются лишь  $2N$  цифровых отсчетов группового сигнала, соответствующих интервалу  $\tau_0$ . Формирование сигнала на интервале  $T$  осуществляется в силу периодичности группового сигнала повторением последних  $N_3$  отсчетов ( $N_3$  – число цифровых отсчетов сигнала на интервале  $\tau_3$ ) группового сигнала в начале посылки (эти отсчеты называют префиксом).

Блок-схема алгоритмов преобразования сигналов в передатчике станционного приемопередатчика (ПП) ADSL по Рекомендации G.992.1 (ATU-C) приведена на рис. 1. Функционально передатчик ATU-C и передатчик абонентского модема ATU-R реализуются по одним и тем же алгоритмам. Существующие между ними незначительные различия связаны с разными скоростями и диапазонами частот передачи “вниз“ и “вверх“, с различным числом используемых несущих сигналов, а также с режимом работы «ведущий» – «ведомый».

Укажем назначение блоков передатчика, а также рассмотрим содержание выполняемых алгоритмов. Так как принятый вид модуляции – DMT – вносит значительные задержки в передачу сигналов, определяемые длительностью тактового интервала, а эти задержки нормируются, то Рекомендацией G.992.1 предусмотрены специальные меры по ограничению задержки сигналов, вносимой ADSL-системой. С этой целью в передатчике передаваемые данные разбиваются на два потока – один, который требует малых задержек (обрабатывается в так называемом быстром буфере), а второй – в перестановочном буфере (в этом буфере данные подвергаются операции перемежения). Соответствующие биты (данные), обрабатываемые в быстром или перестановочном буфере, также называются быстрыми или перестановочными. Для выполнения требований по задержке быстрые и перестановочные данные обрабатываются по-разному: для быстрых данных длина блока кодирования меньше, отсутствует операция сверточной перестановки данных. Нормативная задержка быстрых данных составляет до 2 мс, а перестановочных – до 20 мс.

Блок мультиплексирования может объединять (мультиплексировать) до 4-х симплексных каналов (AS0 – AS3) с суммарной скоростью передачи до 6,144 Мбит/с и до 3-х дуплексных каналов (LS0 – LS2) с суммарной скоростью до 640 кбит/с, допустимые скорости которых приведены в табл. 1. Эти каналы, называемые также логическими, синхронизируются с тактовой частотой 4 кГц и объединяются с сигналами управления, администрирования и эксплуатации в два отдельных потока данных: быстрый и перестановочный. Каждый из потоков подвергается независимому CRC-кодированию (циклической избыточной проверке). Кодирование осуществляется путем деления двоичной последовательности передаваемых данных на образующий полином седьмой степени. Остаток от деления передается на противоположную сторону и служит для обнаружения ошибок при декодировании принятого сигнала. CRC-процедура является внутренней функцией ПП ADSL, которая введена для оценки качества образуемого канала передачи (оценки вероятности ошибки при передаче информации).

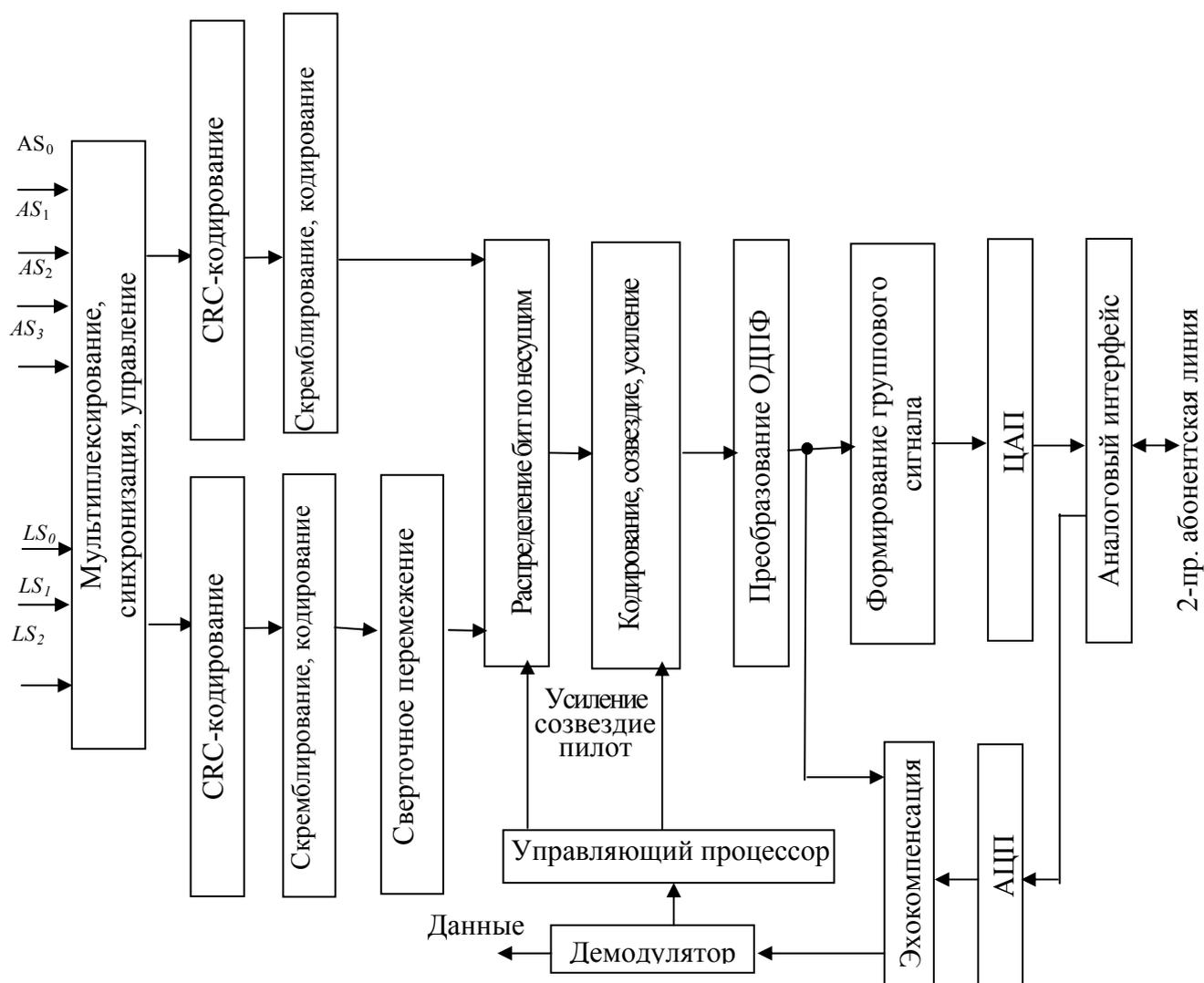


Рисунок 1 – Алгоритм преобразования сигналов в передатчике ADSL

Таблица 1 – Логические каналы ADSL

Канал	Тип	Допустимые скорости	Комментарии
AS0	Нисходящий симплексный	0 – 6,144 Мбит/с	Этот канал чаще всего используется как единственный нисходящий канал
AS1	Нисходящий симплексный	0 – 4,608 Мбит/с	
AS2	Нисходящий симплексный	0 – 3,072 Мбит/с	
AS3	Нисходящий симплексный	0 – 1,536 Мбит/с	
LS0	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении. Этот канал чаще всего используется как восходящий симплексный канал
LS1	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении
LS2	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении

Затем быстрые и перестановочные кодированные данные независимо скремблируются с целью придания передаваемым сигналам свойств статистической независимости. После скремблирования быстрые и перестановочные данные кодируются кодом Рида-Соломона, являющимся одним из наиболее эффективных линейных кодов, корректирующих ошибки. Кодированию подвергаются не биты, а байты. Поэтому арифметика выполняется в поле Галуа GF(256). Рекомендованные параметры кода позволяют исправлять до 64 одиночных ошибок в блоке максимального размера 119000 бит (минимальный блок составляет 530 бит).

После этого данные только перестановочного потока с целью декорреляции порождаемых при передаче ошибок подвергаются специальной операции сверточному перемежению. Этот алгоритм изменяет на передаче по определенному закону порядок следования данных, а на приеме восстанавливает изначальный порядок следования. В результате, если возникает пакет ошибок в принятой последовательности, то после операции, обратного сверточного перемежения, ошибки распределяются равномерно по принятой последовательности и будут рассматриваться как одиночные. Эта процедура повышает эффективность коррекции ошибок линейным кодом.

Результирующие последовательности данных быстрого и перестановочного буферов объединяются в кадр, передаваемый в течение длительности единичного элемента группового сигнала ADSL, равной 17/69 мс.

Сигнал кадров ADSL объединяются в сверхкадр. Сверхкадр имеет длительность 17 мс и состоит из 68 информационных кадров, нумеруемых от 0 до 67, и одного символа синхронизации. Символ (или кадр) синхронизации имеет ту же самую длительность, что и кадр данных, и он может рассматриваться как кадр, не переносящий пользовательских данных.

Каждый кадр ADSL, включая и кадр синхронизации, соответствует одному ADSL-символу.

Частота следования символов составляет  $\frac{69 \text{ кадров}}{17 \text{ мс}} \approx 4,0588 \text{ кГц}$ . Так как информационных кадров

за 17 мс передается всего 68 (символ синхронизации является служебным и здесь не учитывается), то

скорость передачи информационных символов составляет  $\frac{68 \text{ кадров данных}}{17 \text{ мс}} = 4 \text{ кГц}$ .

Структура кадра и сверхкадра передатчика ATU-C приведена на рис. 2. Все информационные кадры имеют аналогичную структуру. Каждый кадр разбивается на две части: полукадр, содержащий передаваемые данные быстрого буфера, – «буфера быстрых данных», и полукадр, содержащий данные перестановочного буфера, – «буфера перестановочных данных».

Полукадры, в свою очередь, разбиваются на байты. Каждый полукадр содержит точно определенное количество байт данных, относящихся к каждому из активных информационных логических каналов. В каждом полукадре данных содержатся также и байты служебной информации; однако эти служебные байты различны для разных номеров кадров. На рис. 3 изображена общая структура информационного кадра ADSL, соответствующая выходу блока CRC или входу скремблера.

Из-за того, что распределение информации по кадрам (а информационные кадры следуют друг за другом с частотой 4 кГц) происходит байтами, а не частями байт, скорость передачи данных по информационному каналу кратна величине 4 кГц x 8 бит = 32 кбит/с.

Общее число бит в кадре, распределение их между быстрым и перестановочным буфером изменяются в соответствии с условиями передачи. Двоичные данные передаваемого кадра распределяются по несущим (каналам) передатчика и определяют значения амплитуд  $A_{ki}$  и  $B_{ki}$  из формулы. При этом адаптивно задается не только вид созвездия КАМ (число бит по каждой координате), но и коэффициент усиления в каждом канале.

Значение коэффициента усиления и вид созвездия определяются в приемнике в процессе тестирования канала, которое осуществляется на этапе инициализации ПП. При инициализации передатчик стационарного ПП передает немодулированные несущие. Приемник противоположного ПП принимает эти сигналы, измеряет их уровень и защищенность от помех, с помощью специальных алгоритмов вычисляет коэффициент усиления и вид сигнального созвездия для каждой несущей и передает эту информацию на передающую сторону. В результате число бит передаваемой информации распределяется таким образом, что скорость передачи данных по каналу связи максимизируется для данных условий передачи. Если какая-либо несущая не может быть использована для передачи данных, она выключается, мощность передатчика перераспределяется между оставшимися несущими и таким образом использование доступной полосы частот оптимизируется. Энергия и количество передаваемых бит для различных несущих перераспределяются в зависимости от отношения сигнал/шум в используемой части полосы частот.

Иллюстрация, приведенная на рис. 4, показывает зависимость информационной скорости передачи по несущим СП ОГС от АЧХ линии передачи  $|K(f)|$  и сосредоточенных по спектру помех (ССП).

Для повышения помехозащищенности ПП ADSL рекомендуется использовать решетчатый Wei-код с 16-ю состояниями, позволяющий получить выигрыш 2–3 дБ. Общий выигрыш за счет кодирования составляет около 5 дБ.

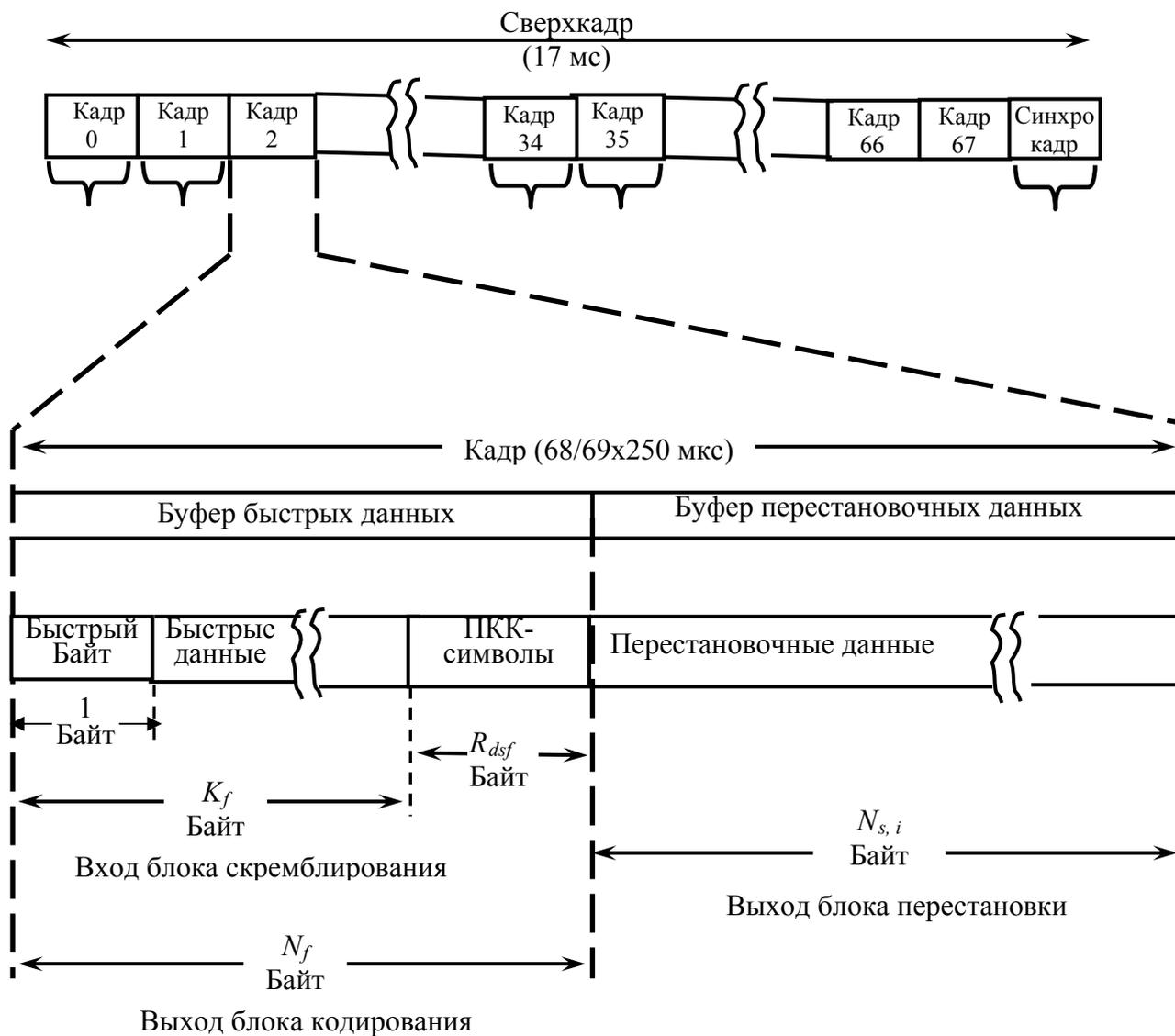


Рисунок 2 – Структура сверхкадра ADSL

Служебная информация быстрого тракта	Данные (полезные) быстрого тракта	Служебная информация быстрого тракта	Служебная информация перестановочного тракта	Данные перестановочного тракта	Служебная информация перестановочного тракта
--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------	--

Рисунок 3 – Структура кадра, включающая компоненты быстрого и перестановочного трактов (выход блока CRC)

Максимальное число несущих, которое может быть использовано для передачи «вниз», равно 255, «вверх» – 31. Несущие с номерами 64 и 16 (276 и 69 кГц) рекомендованы в качестве пилот-сигналов для передачи соответственно «вниз» и «вверх».

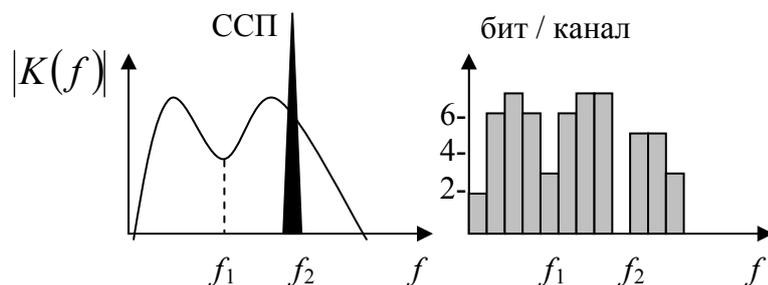


Рисунок 4 – Зависимость скорости передачи от затухания канала связи и помех

На выходе кодера созвездий формируется дискретный комплексный вектор размерностью 256, который преобразуется процессором обратного ДПФ (ОДПФ) в отрезок дискретного группового сигнала, содержащий 512 отсчетов. В блоке формирования группового сигнала полученная последовательность отсчетов сигнала дополняется первыми 32-мя отсчетами, соответствующими периодическому продолжению группового сигнала на защитный интервал. Дополненный групповой сигнал последовательно считывается из буфера с тактовой частотой  $2,208 \times 10^6$  Гц и преобразуется в аналоговую форму посредством ЦАП. Аналоговый интерфейс обеспечивает фильтрацию сигнала и согласование с линией связи.

Разделение сигналов встречных направлений передачи в соответствии с рекомендацией может осуществляться либо с помощью фильтров, либо с помощью эхокомпенсатора.

На рис. 5 изображены полосы частот, занимаемые сигналами нисходящего и восходящего направлений для варианта разделения сигналов встречных направлений передачи с помощью эхокомпенсатора.

Область частот в нижней части спектра – это полоса телефонной сети общего пользования, используемая для традиционной передачи голоса. Эта полоса остается закрытой для восходящего и нисходящего сигналов ADSL путем неиспользования первых семи несущих в обоих направлениях передачи (при разделении сигналов встречных направлений с помощью эхокомпенсатора). Исключение первых семи несущих в обоих направлениях достигается назначением несущим в этой области частот значений амплитуд  $R_k = 0$  и использованием аналоговой фильтрации в выходном каскаде передатчика, чтобы отфильтровать эти частоты. Установка в нули комплексных выходов кодеров созвездий  $R_k = 0$  «выключает» соответствующую несущую или канал. Область частот спектра сигнала от 30 до 138 кГц (рис. 5) используется восходящим сигналом. Нисходящий сигнал может не использовать эту область частот, если в нем «отключены» несущие с 8-й по 32-ю. Верхняя область частот спектра сигнала (рис. 5) используется исключительно нисходящим каналом.

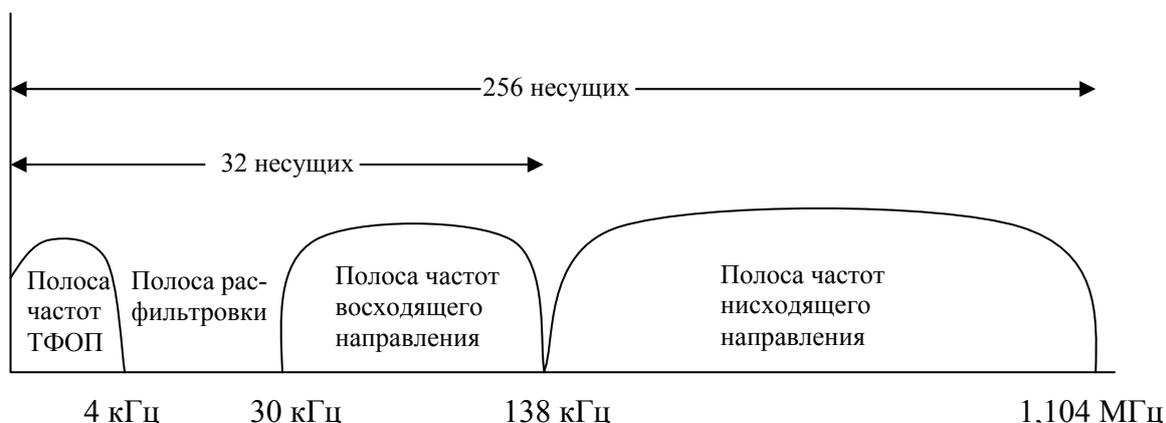


Рисунок 5 – Расположение полос частот сигналов восходящего и нисходящего направлений передачи ADSL с FDM

Этот вид ПП ADSL получил название ADSL с DMT и частотным разделением каналов (frequency division multiplex – FDM) или DMT с частотным дуплексным разделением (frequency division duplex – FDD). Эти названия обязаны своим происхождением использованию отдельных полос частот для нисходящего и восходящего направлений передач. В этом случае при параллельной работе множества ADSL-линий в одном кабеле имеют место переходы на дальнем конце. Но более опасных переходов на ближнем конце в этом случае нет.

Существует другой режим работы ADSL с DMT. Он называется DMT с эхокомпенсацией (echo-canceled – EC). Для режима EC в нисходящем направлении также передаются все несущие выше 30 кГц, в результате чего спектр сигналов нисходящего направления передачи перекрывается со спектром передаваемого сигнала ATU-R в полосе частот от 30 до 138 кГц. Работа в режиме EC позволяет повысить скорость передачи в нисходящем направлении по сравнению с работой в режиме FDM.

Работа в режиме EC имеет два недостатка. Во-первых, и в ATU-C, и в ATU-R присутствуют переходы на ближнем конце, так как оба передатчика используют полосу частот от 30 до 138 кГц. Надо заметить, что в ATU-R переходы на ближнем конце присутствуют только в полосе 30 – 138 кГц; более высокочастотная часть полосы нисходящего сигнала не подвержена этому явлению. Во-вторых, и аналоговая, и цифровая части ПП становятся более сложными. Аналоговая часть должна иметь больший динамический диапазон, а в цифровой части должен быть реализован высокоточный эхокомпенсатор. Хотя в некоторых реализациях ADSL используется EC-режим, обычно предпочитают режим FDM из-за отсутствия в нем переходов на ближнем конце.

В целях электромагнитной совместимости Рекомендацией G.992.1 предусмотрены ограничения на максимальную спектральную плотность мощности на каждой частоте передаваемого в линию связи сигнала, называемые маской мощности. Маска мощности ограничивает мощность передаваемого сигнала не только в полосе передачи сигнала ADSL, но и вне этой полосы. Маски мощности для нисходящего и восходящего направлений передачи (эхокомпенсационный метод разделения сигналов встречных направлений) изображены на рис. 6 и 7 соответственно.

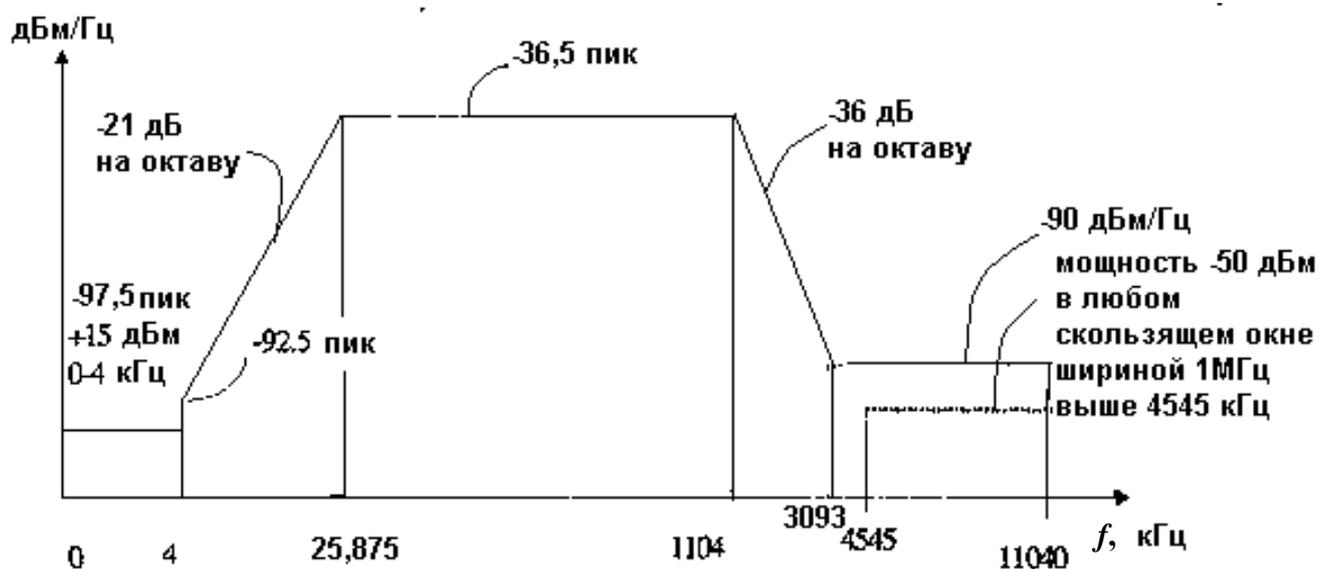


Рисунок 6 – Маска мощности для нисходящего направления передачи

На рис. 8 изображена схема фрагмента сети абонентского доступа на базе ADSL-оборудования. На абонентской и станционной сторонах для разделения сигналов ТФОП и сети передачи цифровых сигналов применяются разделители (сплиттеры), представляющие собой вилку НЧ и ВЧ фильтров.

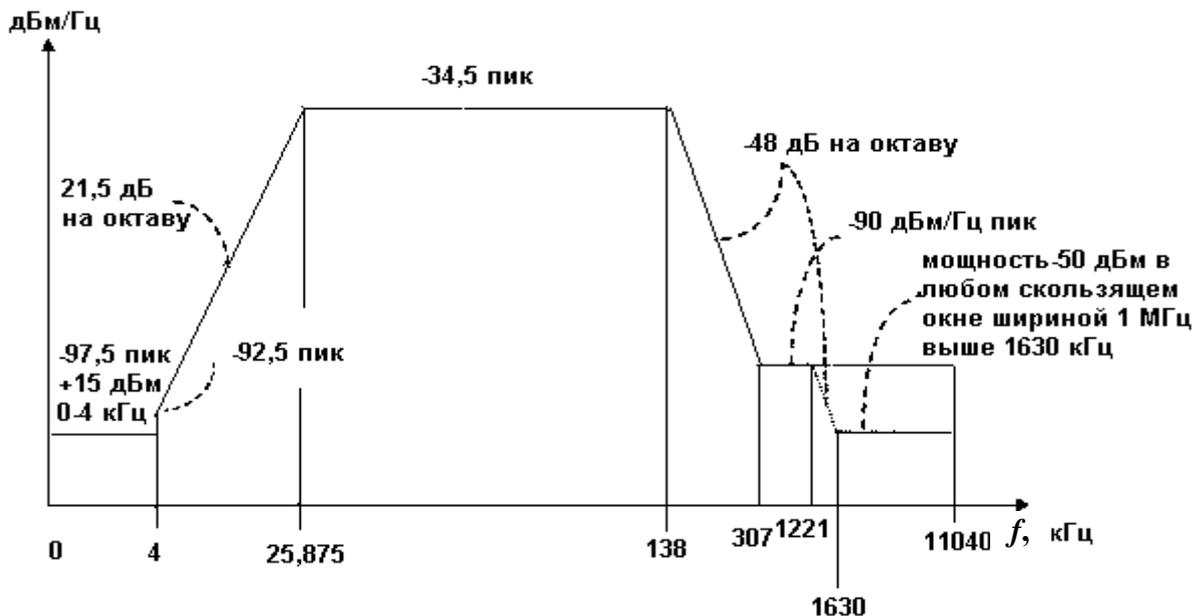


Рисунок 7 – Маска мощности для восходящего направления передачи

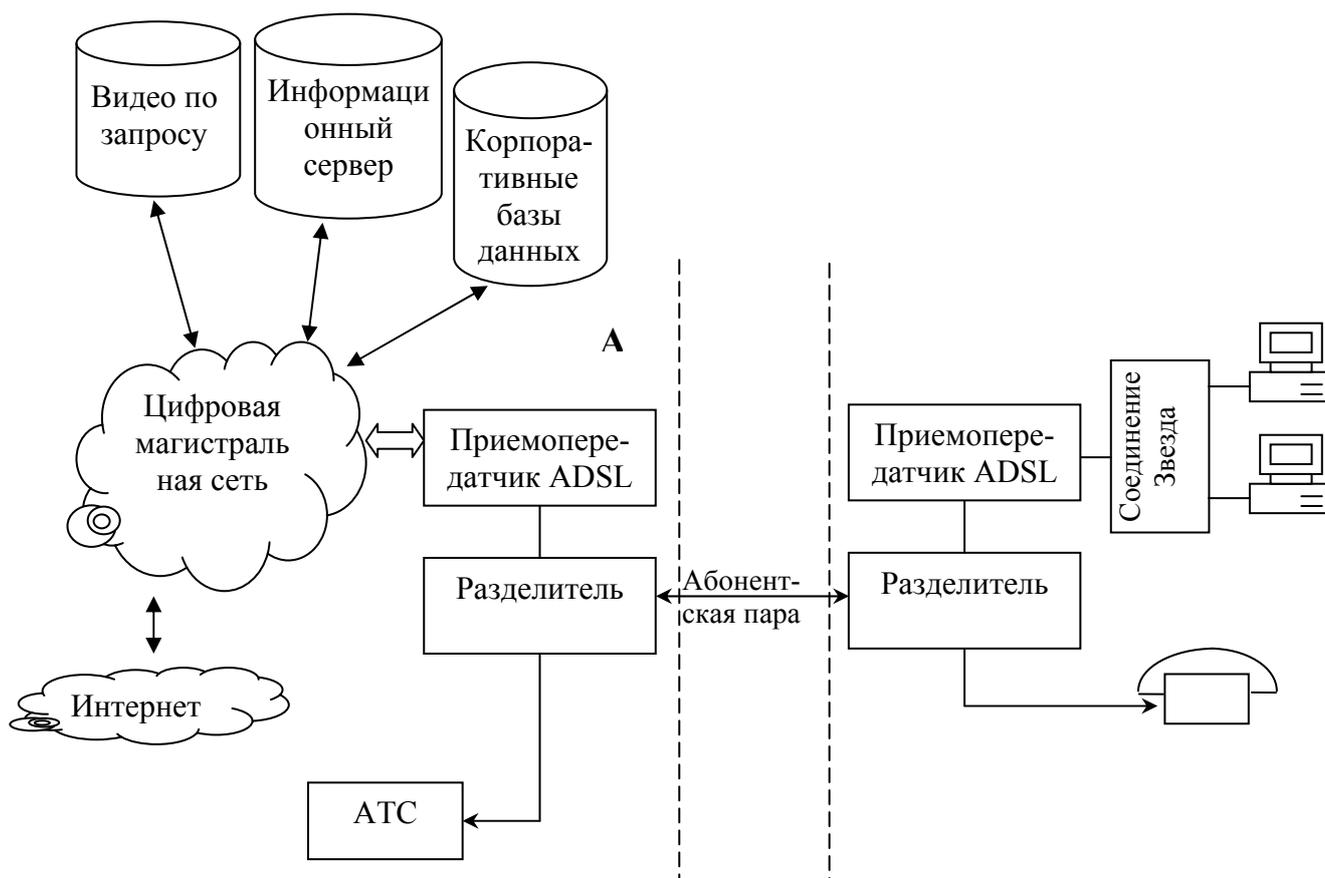


Рисунок 8 – Сопряжение ADSL с телефонным терминалом

**2. Цифровая абонентская линия по технологии G-Lite ADSL.** В настоящее время рекомендацией G.992.2 [3] регламентированы характеристики так называемой «облегченной» (G-Lite) ADSL, предназначенной для индивидуальных пользователей. Основным отличием от полной ADSL, определяющим ее характеристики, является снижение максимальной скорости передачи к абоненту до 1,536 Мбит/с, а от абонента – до 512 кбит/с. Это позволило упростить ПП и удешевить его, что важно для массового пользователя. Основные алгоритмы обработки сигналов в G-Lite ADSL остались в основном такими же, как и в полной версии.

Главным отличием передатчика G-Lite ADSL от ADSL является наличие только одного перестановочного тракта. Кроме того, на вход блока мультиплексирования поступает только один симплексный канал AS0 и один дуплексный канал LS0. Остальные отличия передатчика G-Lite ADSL от ADSL связаны с различным количеством несущих: 128 в нисходящем направлении и 32 в восходящем в G-Lite ADSL и 256 в нисходящем направлении и 32 в восходящем направлении в ADSL.

Маски мощности для нисходящего и восходящего направлений передачи (эхокомпенсационный метод разделения сигналов встречных направлений) изображены на рис. 9 и 10 соответственно.

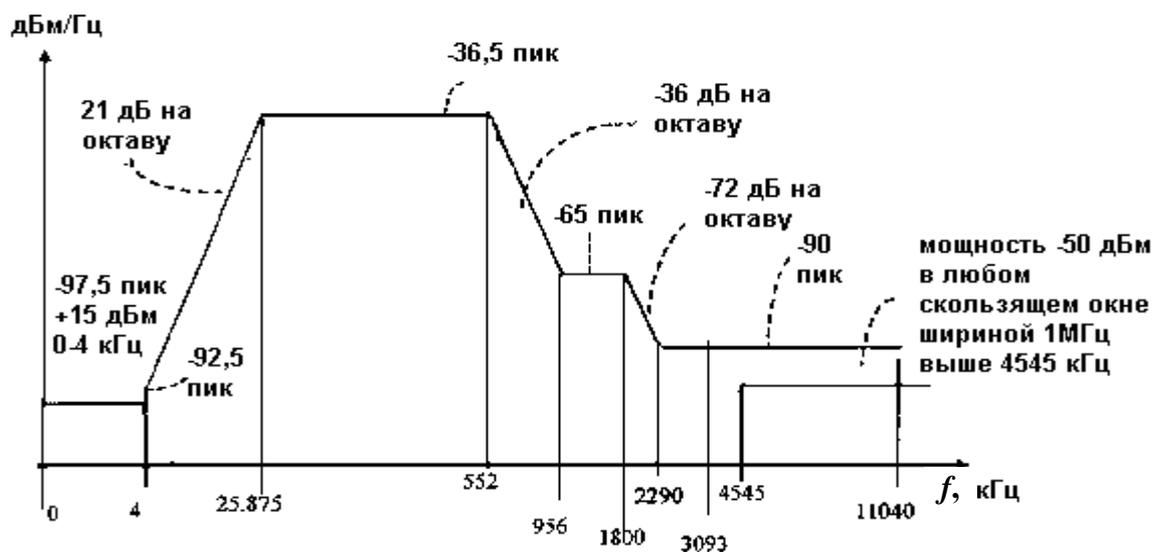


Рисунок 9 – Маска мощности для нисходящего направления передачи G-Lite ADSL

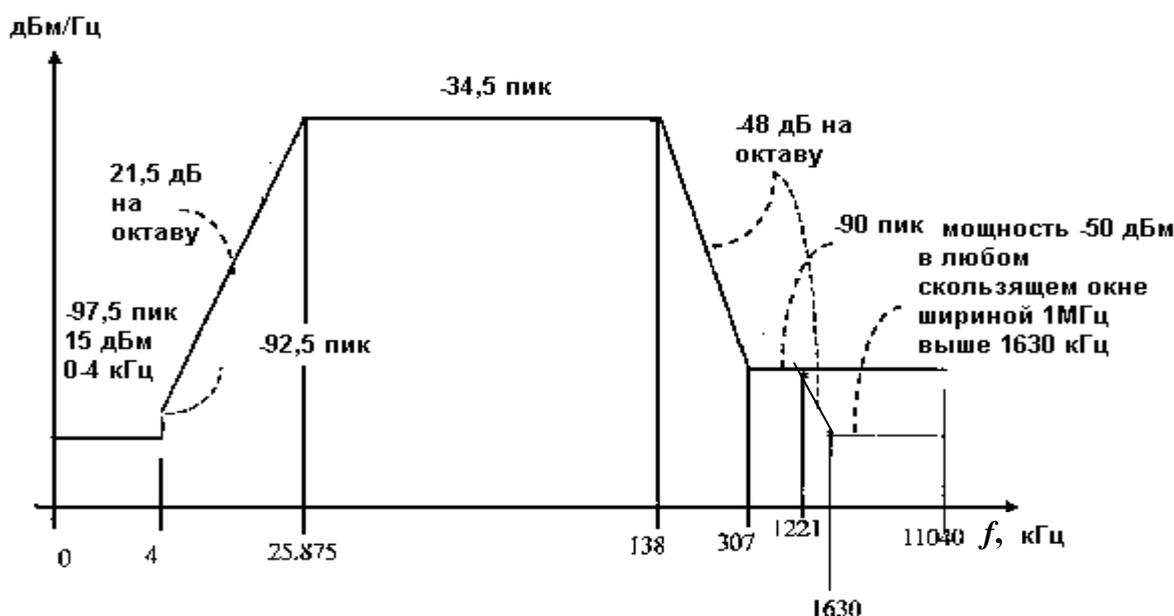


Рисунок 10 – Маска мощности для восходящего направления передачи G-Lite ADSL

**3. Цифровая абонентская линия по технологии ADSL2.** Согласно Рекомендации ITU G.992.3 [4], технология ADSL2 позволяет передавать более 8 Мбит/с в направлении к абоненту, а от абонента – 800 кбит/с. Функциональная схема передатчика, а также характеристики линейного сигнала (в частности, маски спектральной плотности мощности) практически не отличаются от тех, которые были приведены для ADSL. Основные отличия от ADSL состоят в следующем:

- более гибкое построение кадров;
- структура кадров позволяет более эффективно использовать выигрыш кодирования Рида-Соломона;
- обновлены процедуры диагностики линии;
- повышена устойчивость к присутствию мостовых отводов;
- добавлена поддержка однобитных кодовых созвездий;
- улучшены процедуры и технологии управления передачей.

**4. Система передачи ADSL 2 без сплиттера.** Получила развитие и технология ADSL G.Lite – Рекомендацией ITU G.992.4 [5] регламентированы характеристики технологии ADSL2 без сплиттера. Алгоритмы преобразования сигналов в передатчике и характеристики передаваемого линейного сигнала практически не претерпели изменений. Усовершенствования по сравнению с ADSL G.Lite состоят в следующем:

- улучшена поддержка цифровых служб и передачи голоса;
- обновлены процедуры диагностики линии;
- улучшена возможность изменения характеристик «на ходу» – в процессе передачи;
- добавлена поддержка однобитных кодовых созвездий;
- улучшены процедуры управления спектром передачи.

**5. Цифровая абонентская линия по технологии ADSL2+.** Главным отличием ADSL2+ от ADSL2 является двукратное увеличение полосы частот, используемой при передаче к абоненту. Согласно Рекомендации ITU G.992.5 [6] такое увеличение позволяет достичь скорости 16 Мбит/с в нисходящем направлении (downstream) и до 800 кбит/с – в восходящем (upstream). Оборудование ADSL 2 некоторых производителей перешагнуло и этот рубеж скорости, которая может достигать 24 Мбит/с в нисходящем направлении.

Основные принципы формирования сигнала в передатчике остались теми же: используется модуляция DMT с разносом между несущими частотами, как и прежде, 4,3125 кГц. В связи с двукратным увеличением ширины полосы по сравнению с ADSL и ADSL2 число несущих возросло до 512.

Маска спектральной плотности мощности сигнала передаваемого ПП ADSL2 сигнала в нисходящем направлении приведена на рис. 11. Суммарная передаваемая мощность в нисходящем направлении не должна превышать 20,4 дБм. Маска мощности сигнала для восходящего направления передачи схожа с соответствующей маской ADSL2 и ADSL.

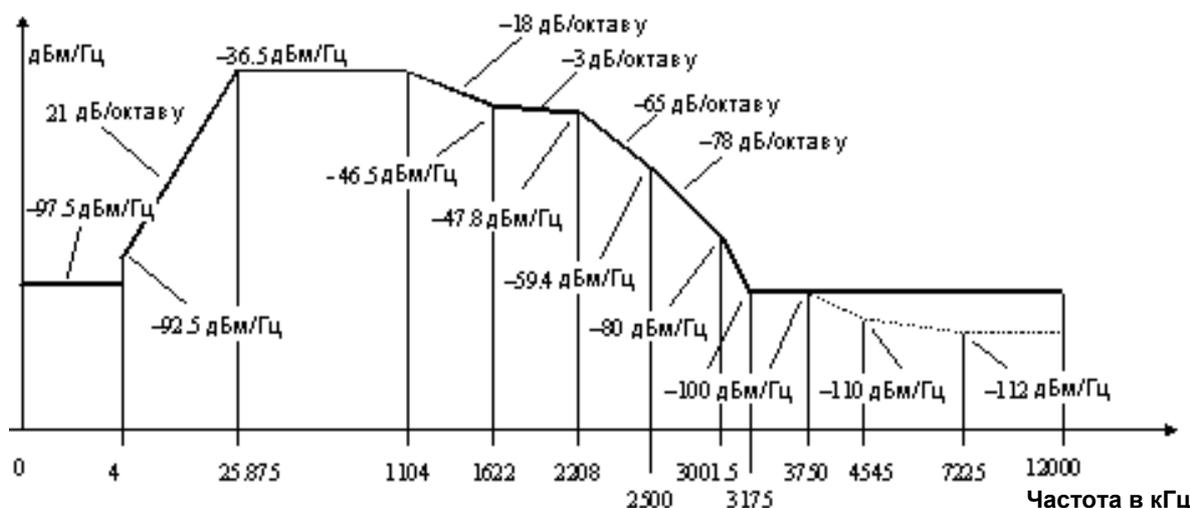


Рисунок 11 – Маска мощности для нисходящего направления передачи ADSL2+

По сравнению с ADSL2 добавлены следующие возможности:

- поддержка более высокоскоростных служб;
- поддержка до 3-х кодовых слов кода Рида-Соломона на один DMT-символ;
- полоса частот нисходящего направления расширена до 2,208 МГц;
- усовершенствованы процедуры управления спектром передачи.

В настоящее время Рекомендациями ITU G.992.1-5 регламентированы характеристики пяти систем передающего оборудования, предназначенного для построения цифровых абонентских линий с асимметричной скоростью передачи. Очевидно, что этими системами список не будет исчерпан и не за горами то время, когда появятся новые разновидности систем передачи этого класса. В этой связи важно усвоение общих принципов построения и функционирования оборудования связи этого класса. Этой цели и служит представленная статья. В следующей статье «Моделирование характеристик цифровых абонентских линий, построенных по ADSL-технологии», приведены результаты моделирования характеристик цифровых абонентских линий с учетом характеристик отечественных телефонных кабелей и характеристик ADSL-оборудования связи по Рекомендациям ITU G.992.1-5.

### **Литература**

1. Всемирная встреча на высшем уровне по вопросам информационного общества. 10-12 декабря, Женева. План действий.
2. Рекомендация ITU-T G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL)).
3. Рекомендация ITU-T G.992.2 Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии без сплиттера).
4. Рекомендация ITU-T G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии 2).
5. Рекомендация ITU-T G.992.4 Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии без сплиттера 2).
6. Рекомендация ITU-T G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии – Расширенная полоса частот ADSL2).