

## Лекция 6

# СТАНДАРТЫ СПУТНИКОВОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ DVB-S и DVB-S2

### 6.1 Общие сведения о системах и стандартах спутникового цифрового телевизионного вещания

Радиус действия передающей телевизионной станции зависит главным образом от высоты подъема передающей антенны. Желание увеличить высоту подвеса передающей антенны вызвало многочисленные технические предложения по использованию для этих целей различных летательных аппаратов. Предложения касаются как средств распределения, так и средств трансляции или совмещений этих средств. Однако практически реализуемой возможности существенного увеличения высоты подъема антенн появились лишь с запуском первого искусственного спутника Земли, когда начались интенсивные разработки различных систем ТВ вещания с использованием спутниковых ретрансляторов.

Спутниковое телевизионное вещание является самым быстрым, надежным и экономичным способом подачи ТВ сигнала высокого качества в любую точку Земли. В настоящее время все вещательные ИСЗ размещаются на геостационарной орбите (ГО) – круговой орбите высотой ~35786 км, лежащей в плоскости экватора [1-4]. Находясь на ГО, спутник неподвижен относительно поверхности Земли, т.к. вращается с той же угловой скоростью, что и Земля (см.рис.6.1). Зона видимости геостационарной ИСЗ – около одной трети земной поверхности.

В 1994г. в рамках консорциума DVB Project был создан Европейский стандарт спутниковой цифровой системы многопрограммного ТВ вещания - DVB-S, (European Standard EN 300 421 v.1.1.2, 1997-08). Для спутникового вещания выделены специальные участки радиочастотного спектра в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн. Наиболее освоен участок К<sub>U</sub>-диапазона с частотами 10,7...12,75 ГГц.



Рисунок 6.1 – Геостационарная круговая орбита ИСЗ

В октябре 1996г. был принят проект Рекомендации по общим функциональным требованиям к многопрограммным системам SAT вещания, а в октябре 1999г. был принят проект новой Рекомендации, учитывающей, что в мире существуют четыре схожие по архитектуре системы: стандарт DVB-S (Система А), DSS (Система В), G1-MPEG-2 (Система С) и ISDB-S (Система D).

Одной из особенностей применения ИСЗ является ограниченность энергетического потенциала спутникового ретранслятора, в силу чего в спутниковом вещании традиционно используют методы обработки, требующие минимального отношения несущая/шум на входе демодулятора в обмен, например, на полосу частот сигнала. В аналоговом спутниковом телевизионном вещании это был выбор частотной модуляции вместо амплитудной, а в цифровом вещании – мощное каскадное помехоустойчивое

кодирование и модуляция с невысокими кратностями (например, QPSK вместо более высокоскоростной 16 QAM).

Важной особенностью цифрового спутникового вещания является то, что многопрограммность обеспечивается за счет мультиплексирования цифровых потоков, а работа передатчика ИСЗ осуществляется только на одной несущей в нелинейном режиме, что позволяет повысить его выходную мощность на 2,5...4 дВ. Такое повышение энергетики эквивалентно уменьшению диаметра рефлектора приемной антенны в 2 раза в сравнении с приемом сигналов аналогового вещания.

## 6.2 Стандарт DVB-S

### 6.2.1 Особенности преобразования цифровых потоков в передающих и приемных системах стандарта DVB-S

Спутниковые системы стандарта DVB-S предназначены для доставки сигналов и услуг многопрограммного цифрового телевизионного вещания обычного качества (SDTV) или высокой четкости (HDTV) в частотных диапазонах фиксированной и радиовещательной спутниковой служб с их непосредственным приемом на индивидуальные приемники-декодеры или приемники, подключенные к системам кабельного телевидения при первичном и вторичном распределениях программ [5,7,10]. В настоящее время практически все спутниковое ТВ вещание на все пять континентов осуществляется по стандарту DVB-S или DVB-S2.

Структурная схема передающей части стандарта DVB-S показана на рис.5.2.

На передающей стороне выполняются следующие преобразования потока

данных для его адаптации к спутниковому радиоканалу:



Рисунок 5.2 - Структурная схема передающей части системы спутникового цифрового телевидения стандарта DVB-S

- транспортное мультиплексирование;
- адаптация и рандомизация транспортного потока;
- внешнее кодирование с помощью кода Рида-Соломона (RS);
- внешнее перемеживание;
- внутреннее сверточное кодирование и перемежение;
- формирование сигнала в основной полосе частот и его модуляция.

Входной цифровой поток имеет фиксированную длину пакетов, суммарная длина транспортного пакета MPEG-2 составляет 188 байт, из которых 1 байт синхронизации.

Процесс рандомизации аналогичен используемому в стандарте DVB-T. Инициализирующая последовательность 100101010000000 загружается в регистр псевдослучайной двоичной последовательности в начале каждого восьмого транспортного пакета. Период псевдослучайной последовательности составляет 1503 байта.

Структурная схема блоков адаптации к каналу стандарта DVB-S на передающей и приемной сторонах показаны на рис.5.3.

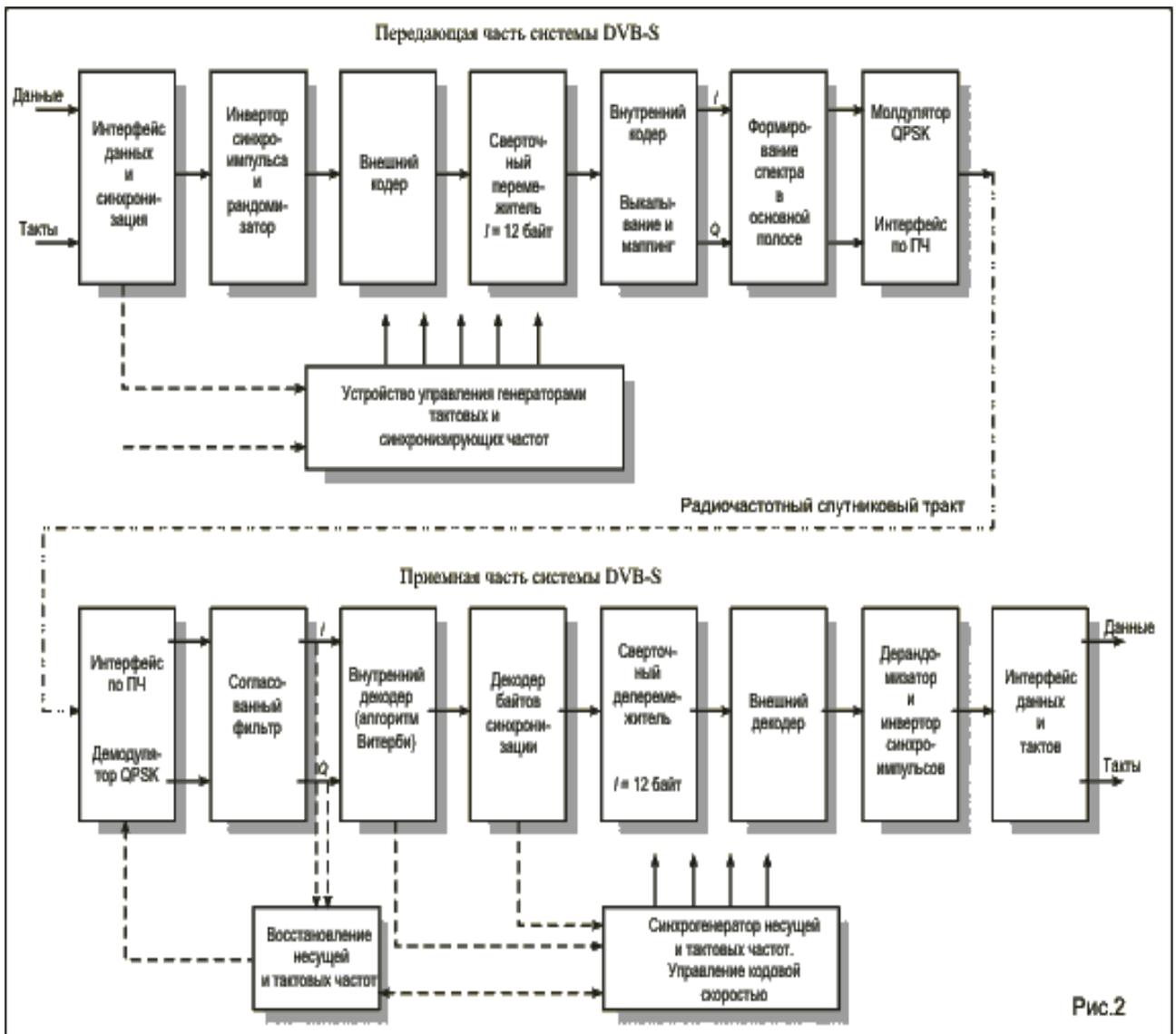


Рисунок 5.3 – Структурная схема блоков адаптации к спутниковому каналу на передающей и приемной стороне

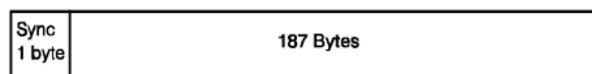
### 5.2.2 Методы модуляции и помехоустойчивого кодирования

Основным видом модуляции в стандарте DVB-S принята QPSK, хотя в отдельных случаях могут использоваться 8PSK и даже 16 QAM. Применение помехоустойчивого кодирования позволяет значительно снизить требуемое для работы демодулятора отношение энергии в одном бите информации к мощности шума  $E_b/N_0$  (см. табл.5.1).

Таблица 5.1– Требуемое для работы демодулятора отношение  $E_b/N_0$

Модуляция	Скорость внутреннего кода	Спектральная эффективность, бит/Гц	Запас на реализацию модема, dB	$E_b/N_0$
QPSK	1/2	0,92	0,8	4,5
	2/3	1,23	0,8	5
	3/4	1,38	0,8	5,5
	5/6	1,53	0,8	6
	7/8	1,61	0,8	6,4
8PSK	2/3	1,84	1	6,9
	5/6	2,3	1,4	8,9
	8/9	2,46	1,5	9,4
16-QAM	3/4	2,76	1,5	9
	7/8	3,22	2,1	10,7

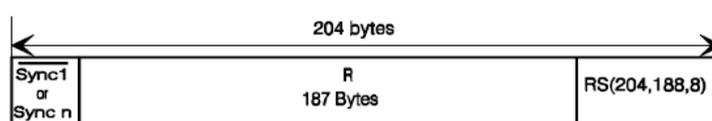
Пакеты транспортного потока MPEG-2 по 188байт каждый (рис.5.3а) после рандомизации (рис.5.3б) поступают в систему внешнего кодирования. На первом этапе внешнего кодирования используется укороченный код Рида-Соломона RS, который добавляется к каждому транспортному пакету из 188 байт (рис.5.3в) для защиты пакетов от кратковременных (локальных) ошибок.



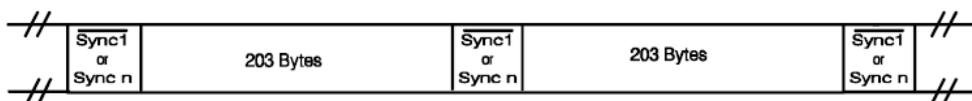
а) Пакет MPEG-2 транспортного потока



б) Рандомизированный пакет транспортного потока



в) Кодированный кодом Рида-Соломона пакет RS (204,188,Т=8)



г) Фрейм после перемежения, глубина перемежения 12 bytes.

Рисунок 5.3 – Операции RS кодирования и перемежения

Далее следует внешнее перемежение с глубиной 12 байт, обеспечивающее возможность использования RS кода и в условиях медленных замираний. Фрейм после перемежения показан на рис.5.3г. После перемежения фрейм состоит из совмещенных пакетов с защитой от ошибок разделенных инвертированным или неинвертированным MPEG-2 синхронизирующими байтами.

Внешний перемежитель состоит из  $I=12$  ветвей с различной задержкой, циклически подключаемых с помощью входного и выходного коммутаторов. Каждая ветвь соответствует задержке обслуживания очереди сдвигового регистра, с глубиной ячейки  $M_j$  (где  $M_j = 17 = N / I$ ,  $N = 204$  – длина фрейма с защитой от ошибок,  $I=12$  – глубина перемежения,  $j$  – индекс ветви). Ячейки содержат 1 байт, вход и выход переключателей синхронизованы. Для целей синхронизации байты синхронизации должны быть направлены в ветвь “0” перемежителя с нулевой задержкой.

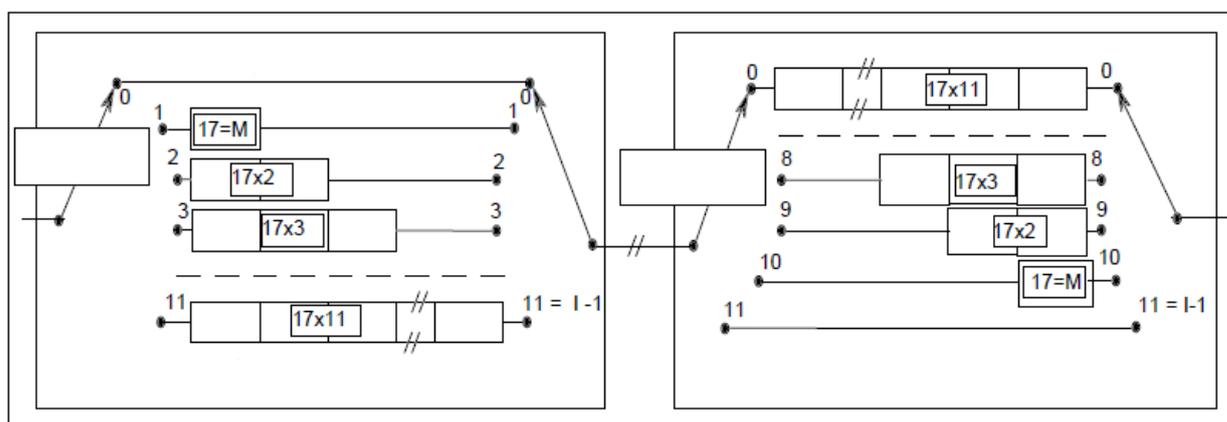


Рисунок 5. 4 – Структурная схема перемежителя/деперемежителя

Принцип работы деперемежителя приемника такой же, как и перемежителя, но индексы ветвей реверсированы ( $j = 0$  соответствует наибольшей задержке).

В стандарте DVB-S используется внутреннее сверточное кодирование с кодовым ограничением  $K=7$  и возможностью гибкого изменения относительной скорости кодирования ( $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$  и  $7/8$ ). Конкретное значение относительной скорости кодирования выбирается с учетом уровня мощности сигнала и ширины полосы частот радиоканала. Это позволяет выбирать наиболее подходящее качество коррекции ошибок для данного сервиса или скорости передачи данных.

В приемном устройстве используется универсальный декодер сверточного кода с автоматическим выбором нужной скорости. Кодек сверточного кода по терминологии стандарта DVB-S относится к внутренней системе кодозащиты модема. Декодер сверточного кода осуществляет первый уровень кодозащиты и должен работать при коэффициенте ошибок входного сигнала в пределах  $10^{-2} \dots 10^{-1}$ , снижая коэффициент ошибок в выходном потоке до  $2 \cdot 10^{-4}$  или меньшего значения. БИС, необходимые для реализации сверточных кодеров и декодеров с тактовыми частотами до 45 МГц, выпускаются серийно.

Модуляция и демодуляция производится на промежуточной частоте 70 или 140 МГц. В стандарте DVB-S используется технически достаточно простой и хорошо зарекомендовавший на спутниковых линиях четырехпозиционный когерентный фазовый модем с манипуляцией в коде Грея. Такой модем обеспечивает хорошую защищенность от помех, эффективное использование энергетических возможностей линии, прост в технической реализации.



Рисунок 5.5 – Структурная схема модулятора с внутренней системой кодозащиты

При 4-позиционной фазовой манипуляции (QPSK) фаза несущей может принимать 4 фиксированных значения в зависимости от комбинаций двоичных символов на I (синхронном) и Q (квадратурном) входах модема. Для обеспечения совместимости модуляторов и демодуляторов разных фирм производителей эти значения стандартизированы. Комбинации двоичных символов 00 на входах I и Q модема соответствует фаза несущей  $45^\circ$ , а комбинации двоичных символов 10 фаза  $135^\circ$ . Отображение битов в сигнальном пространстве представлено на рис.5.5

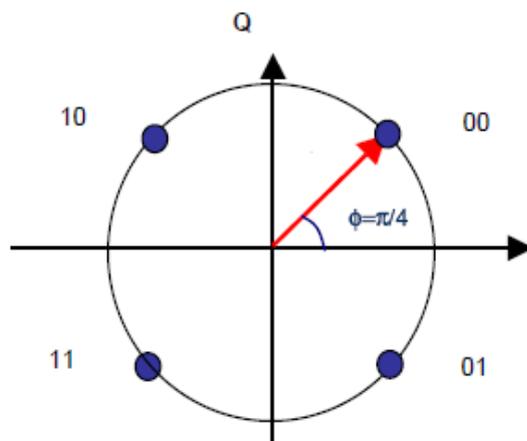


Рисунок 5.6 – Отображение битов в QPSK созвездии

Перед модуляцией сигналы фильтруются с коэффициентом сглаживания  $\alpha = 0,35$ . При этом полоса пропускания фильтра определяется выражением:

$$\begin{aligned}
 H(f) &= 1 && \text{для } |f| < f_N(1-\alpha); \\
 H(f) &= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[ \frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} && \text{для } f_N(1-\alpha) < |f| < f_N(1+\alpha); \quad (5.1) \\
 H(f) &= 0 && \text{для } |f| > f_N(1+\alpha),
 \end{aligned}$$

где  $f_N = 1/2T_s$  частота Найквиста.

Начальная неопределенность фазы в системе синхронизации несущей устраняется после демодулятора по результатам декодирования стартовых синхрогрупп в системе цикловой синхронизации демодулятора с учетом периодического модификации полярности этих сигналов через каждые 8 пакетов.