

СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ

УДК 621.396.93

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАНДАРТА DVB-S2 ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

А.Б. Ефимов, начальник отдела спутникового телерадиовещания ОАО «Газком»

В.П. Белькович, руководитель дирекции спутникового телерадиовещания и Интернета ОАО «Газком», к.т.н.

Введение. Проблема острого дефицита частотного ресурса для фиксированных спутниковых систем связи и спутниковых сетей распределения телерадиовещательных программ, как и поступательно ухудшающаяся помеховая обстановка для приемных спутниковых станций, выдвигают на первый план не только оптимизацию использования частотно-энергетического ресурса спутников, но и повышенные требования к помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций модулированных сигналов для поддержания заданного качества спутниковой связи.

В соответствии с принятым в свое время решением Россия поддержала стандарт DVB (Digital Video Broadcasting), который используется с 1994—95 гг. и является набором принятых международных открытых стандартов для цифрового телевидения. Стандарты DVB поддержаны промышленным консорциумом с более чем 270 участниками. Первый стандарт DVB-S (DVB system for satellite broadcasting) используется с 1995 г., и на его основе предоставляются услуги цифрового ТВ-вещания миллионам коммерческих и индивидуальных пользователей. В настоящее время практически все цифровое спутниковое ТВ-вещание на все пять континентов осуществляется по стандарту DVB-S двумя основными способами передачи цифровых сигналов:

- передача N сжатых цифровых сигналов на N несущих;
- мультиплексирование N сжатых цифровых сигналов и их передача на одной несущей.

Для модуляции несущих DVB-S преимущественно используется четырехпозиционная квадратурная фазовая манипуляция — QPSK. Спутниковые каналы DVB-DSNG (Digital Satellite News Gathering) цифровых спутниковых систем сбора новостей организуются по схеме «точка — точка» и позволяют использовать более информационно эффективные виды модуляции — 8PSK и 16QAM. Внешнее кодирование цифрового потока осуществляется по алгоритму Рида—Соломона, а упреждающее исправление ошибок (Forward Error Correction — FEC) по методу Витерби. Перечисленные модуляционные конструкции определяют в настоящий момент «инструментарий» энергетических возможностей при создании спутниковых систем связи стандарта DVB-S.

Для развития и совершенствования систем цифрового спутникового телерадиовещания, как и в целом цифровых спутниковых каналов стандарта DVB-S, в рамках «Проекта DVB» разработан и принимается Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) стандарт DVB-S2 (Draft ETSI EN 302 307 V1.1.1), который позволит перевести системы цифрового спутникового вещания DVB-S на новый качественный уровень. Стандарт имеет следующие основные отличия: вместо используемых системой DVB-S внешнего и внутреннего кодирования соответственно применены кодирование кодом Боуза — Чоудхури — Хоквингема (BCH) и кодирование с проверкой на четность низкой плотности (LDPC — Low Density Parity Check). Стандарт обеспечивает большую гибкость при реализации цифровых спутниковых каналов, предоставляя возможно-

сти четырех видов модуляции с расширенным рядом значений FEC (см. таблицу).

Кроме того, стандарт DVB-S2 предусматривает несколько режимов модуляции и кодирования:

- CCM (Constant Coding and Modulation) — постоянные параметры кодирования и модуляции. Все фрагменты цифрового потока используют одинаковые фиксированные параметры и режимы. Кодирование/модуляция для каждой земной станции также одинаковые;

Таблица

Вид модуляции	Спектральная эффективность
QPSK 1/4	0,490243
QPSK 1/3	0,656448
QPSK 2/5	0,789412
QPSK 1/2	0,988858
QPSK 3/5	1,188304
QPSK 2/3	1,322253
QPSK 3/4	1,487473
QPSK 4/5	1,587196
QPSK 5/6	1,654663
QPSK 8/9	1,766451
QPSK 9/10	1,78861
8PSK 3/5	1,779991
8PSK 2/3	1,980636
8PSK 3/4	2,228124
8PSK 5/6	2,478562
8PSK 8/9	2,646012
8PSK 9/10	2,679207
16APSK 2/3	2,637201
16APSK 3/4	2,966728
16APSK 4/5	3,165623
16APSK 5/6	3,300184
16APSK 8/9	3,523143
16APSK 9/10	3,567342
32APSK 3/4	3,703295
32APSK 4/5	3,951571
32APSK 5/6	4,119540
32APSK 8/9	4,397854
32APSK 9/10	4,453027

● VCM (Variable Coding and Modulation) — изменяемые кодирование и модуляция. Различные потоки/услуги в составе мультимедиа кодируются различными фиксированными параметрами, соответственно для каждой земной станции устанавливаются индивидуальные фиксированные режимы кодирования/модуляции;

● ACM (Adaptive Coding and Modulation) — адаптивные кодирование и модуляция. Каждый одиночный фрагмент цифрового потока кодируется собственными уникальными параметрами, которые динамически изменяются каждым приемником в соответствии с условиями приема. Информация от периферийной станции передается на центральную по обратному каналу. Для реализации этого режима периферийные станции должны быть приемопередающими. Предполагается, что обратные каналы будут организованы по стандарту DVB-RCS (Return Channel Satellite).

Разработанные новшества определили возможность увеличения объема передаваемых данных по сравнению с системой DVB-S в режиме CCM на 30% или сокращения на 30% полосы частот, требуемой для передачи информации. В режиме DVB-S2 VCM выигрыш может составлять более 65%, а в режиме DVB-S2 ACM при использовании модуляции не ниже 16APSK 5/6 — более 131%. Примеры сигнально-кодовых созвездий 8PSK и 16APSK приведены на рис. 1.

Применение технологии DVB-S2 при передаче цифровых информационных потоков по спутниковому радиоканалу позволяет максимально близко подойти к пределу Шеннона для дискретных каналов с аддитивным белым гауссовым шумом. Это достигается во многом благодаря использованию модуляции с увеличенной в разы (по сравнению с BPSK и QPSK) спектральной эффективностью: 8PSK — 3 бит/Гц, 16APSK — 4 бит/Гц, 32APSK — 5 бит/Гц. На рис. 2 представлено требуемое отношение C/N при различной спектральной эффективности, полученное компьютерным моделированием канала с аддитивным белым гауссовым шумом (AWGN) при идеальном демодуляторе. Все эти кодовые конструкции сигналов в широком диапазоне FEC от 1/2 до 9/10 уже аппаратно реализованы и активно поддерживаются производителями спутникового телекоммуникационного оборудования.

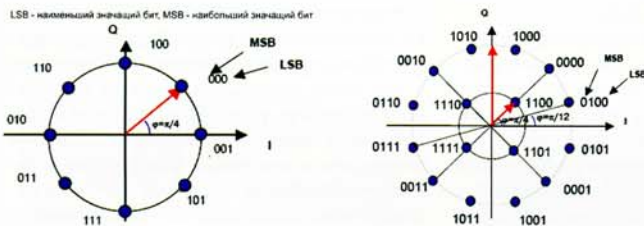


Рис. 1

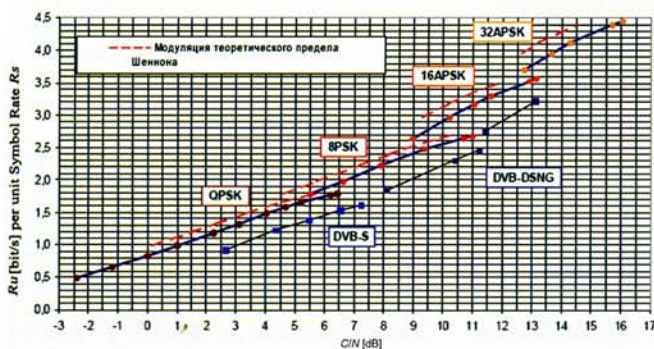


Рис. 2

Тестирование. Для практической оценки технологических возможностей российским спутниковым оператором ОАО «Газком» были проведены испытания перспективной технологии DVB-S2 на оборудовании компании Newtec — одного из лидеров спутниковых коммуникационных технологий. Для тестирования использовались спутники «Ямал», что явилось важным принципиальным моментом, поскольку они загружены в настоящий момент более чем на 93%.

Главной задачей при этом была проверка энергетических параметров спутниковых линий стандарта DVB-S2, оценка эффективности использования спутникового ресурса DVB-S2-сигналами цифрового телевидения и передачи данных при различных видах модуляции, а также получение исходных данных для экономических расчетов перспективных сервисов.

Для испытаний использовались спутники орбитальной группировки ОАО «Газком» «Ямал 200» №1 90° в.д. и «Ямал 200» №2 49° в.д. Формирование несущих в формате DVB-S2 осуществлялось модуляторами серии AZIMUTH, модель NTC/2263 — для диапазона Ku и модель NTC/2277 — для диапазона С.

В транспондере №1 (Ku-диапазон) спутника «Ямал-200» 90° в.д. обеспечивалась загрузка полосы 5 МГц сигналом цифровой ТВ-программы в формате кодирования MPEG-2, на отдельной несущей при работе транспондера в линейном режиме, ОВО = -6 дБ. В этом же транспондере в режиме передачи данных обеспечивалась загрузка полосы 5 МГц сигналом встроенного в модулятор генератора тестовой цифровой последовательности.

В транспондере №6а (С-диапазон) спутника «Ямал-200» 49° в.д. обеспечивалась загрузка полосы 5 МГц сигналом цифровой ТВ-программы в формате кодирования MPEG-2, на отдельной несущей при работе транспондера в линейном режиме, ОВО = -6 дБ.

Измерения отношения энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума (E_b/N_0) проводились на контрольной приемной станции Центра спутниковых телевизионных систем ОАО «Газком» (г. Москва) и на телепорте «Медвежий озеро» (Моск. обл.). Тестовые сигналы принимались на DVB-S2 спутниковый приемник Scorpus серии IRD 2961 и приемный модуль модема AZIMUTH NTC/2215.

Результаты измерений. Контрольная приемная станция телепорта «Медвежий озеро». Для различных видов модуляции и кодирования с коэффициентом скругления огибающей спектра (Roll off factor) $\alpha = 0,2$, удалось увеличить скорость цифрового потока ТВ-программ по сравнению со стандартом DVB-S на 81% (канал с модуляцией 8 PSK, FEC 3/4, $E_b/N_0 = 7,0$ дБ, качество изображения отличное).

Параметры E_b/N_0 фиксировались по показаниям контрольных тюнеров, прием на антенны $D = 2,0$ м (С), LNB California Amplifier $NF = 17$ К и $D = 1,8$ м (Ku), LNB NJRc. Загрузка транспондеров 100%, режим работы линейный.

По результатам аналогичных измерений с $\alpha = 0,35$ удалось увеличить скорость цифрового потока ТВ-программ через спутник «Ямал-201» 90° в.д. на 28% (канал с модуляцией QPSK, FEC 8/9, $E_b/N_0 = 8,0$ дБ, качество изображения отличное) и на 91% через спутник «Ямал-200» 49° в.д. (канал с модуляцией 16 APSK, FEC 2/3, $E_b/N_0 = 8,5$ дБ).

Параметры E_b/N_0 фиксировались по показаниям контрольных тюнеров, прием на антенны $D = 2,0$ м (С), LNB California Amplifier $NF = 17$ К и $D = 1,8$ м (Ku), LNB NJRc. Загрузка транспондера спутника «Ямал-200» 49° в.д. 95%, режим работы линейный.

Контрольная приемная станция Центра спутниковых телевизионных систем. По результатам испытаний оборудования стандарта DVB-S2 и измерений отношения энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума (E_b/N_0) для различных видов модуляции и кодирования с $\alpha = 0,35$, удалось увеличить скорость цифрового потока ТВ-программ через спутники «Ямал-201» 90° в.д. и «Ямал-202» 49° в.д. на 91% (каналы с модуляцией 16 APSK, FEC 2/3, $E_b/N_0 = 8,0$ дБ).

Параметры E_b/N_0 фиксировались по показаниям контрольных тюнеров, прием на антенну $D = 1,8$ м (C), ориентированную на спутник «Ямал-200» 49° в.д., LNB California Amplifier $NF = 17$ К и на антенну $D = 1,8$ м (Ku), ориентированную на спутник «Ямал-200» 90° в.д., LNB Norsat $NF = 0,6$ дБ.

Измерения канала передачи данных на контрольной приемной станции телепорта «Медвежьи озера». По результатам измерений значений порогового превышения (margin) для различных видов модуляции DVB-S2 при передаче данных с $\alpha = 0,2$ удалось увеличить скорость цифрового потока данных на 109% по сравнению со стандартом DVB-S.

Параметры порогового превышения сигнала фиксировались по показаниям приемного модуля модема AZIMUTH NTC/2215, прием на антенну $D = 1,8$ м (Ku), ориентированную на спутник «Ямал-200» 90° в.д., LNB NJRc.

Выводы.

● Результаты проведенных испытаний показали возможность увеличения по сравнению со стандартом DVB-S информационной скорости цифровых потоков стандарта DVB-S2, компрессированных в формате MPEG-2, на 25% — 80% при неизменном частотном ресурсе.

● В канале передачи данных в стандарте DVB-S2 в условиях использования типовых приемных земных станций ($D = 1,8$ м, Ku, карточка SkyStar 4) и предельной загрузки Ku-транспондера спутника подтверждена возможность увеличения информационной скорости до 80%.

● Проверка показала отсутствие технических проблем совместимости сигналов DVB-S2 с несущими в других стандартах

в полосе спутникового транспондера с предельной технологической загрузкой и возможность перевода действующих сервисов DVB-S на стандарт DVB-S2.

● Оборудование спутниковой связи стандарта DVB-S2 позволяет достичь 50%-ной экономии частотного ресурса для новых сетей телерадиовещания или увеличить информационную скорость цифровых потоков действующих сервисов при неизменном частотном ресурсе.

● Оборудование спутниковой связи стандарта DVB-S2 на 90—100% повышает пропускную способность каналов связи и значительно увеличивает эффективность предоставления услуг спутникового Интернета и передачи данных.

● Тесты подтвердили ресурсосберегающие свойства стандарта DVB-S2 и его реальные возможности по повышению эффективности использования спутникового ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications. Draft ETSI EN 302 307 V1.1.1
2. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite. EN 301 210 V1.1.1
3. Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems. ETSI EN 301 790 V1.3.1

Получено 16.10.08