

Адаптивное управление частотно-временным ресурсом космических аппаратов в сетях спутниковой связи¹

А.А. Генов, В.Н. Решетников

Аннотация. Мультисервисные бортовые цифровые платформы (МЦБП) стандарта телевидения DVB-RCS могут стать в перспективе технологическим ядром большинства современных спутников связи и вещания. Применение МЦБП существенно повышает бюджет радиолиний, снижает требования к энергетическим параметрам земных станций (ЗС) и позволяет обеспечивать новые и более качественные услуги связи. МЦБП позволяет обеспечить доступность частотно-временного ресурса космических аппаратов (КА) для большого числа малых коммерческих структур и частных пользователей.

Введение

Одним из важнейших компонентов любой сертифицированной программно-аппаратной платформы стандарта DVB-RCS, работающей в режиме множественного доступа с разделением по времени MF-TDMA, является система мониторинга и управления сетью (NMS) [5,6].

NMS обеспечивает сбор, отображение и хранение информации о составе и состоянии оборудования, загрузке каналов передачи данных и качестве предоставления сервисов.

NMS обеспечивает диагностику работы оборудования центральных земных станций (ЦЗС) и абонентских ЗС.

NMS обеспечивает сбор и обработку статистической информации по функционированию всей сети и каждой абонентской ЗС в отдельности, включая контроль состояния ЗС (регистрация и активация ЗС).

NMS контролирует состояние рабочей полосы частот на КА, в том числе спектральные характеристики сигналов.

Мониторинг сети производится в реальном масштабе времени, сообщения о сбоях в сети

поступают на монитор оператора ЦЗС не позднее 1-й минуты с момента их возникновения.

NMS обеспечивает включение в работу (активацию) зарегистрированных в сети ЗС без прерывов в функционировании NMS и сети в целом.

В итоге, система мониторинга и управления сетью стандарта DVB-RCS потенциально позволяет оператору ЦЗС, имея мгновенный (с темпом в 1 минуту) срез данных о состоянии оборудования и загрузке сети, осуществлять некое целенаправленное управление конфигурацией частотно-временного ресурса КА.

Задачей настоящего исследования является разработка критериев и алгоритмов оптимального адаптивного управления конфигурацией частотно-временного ресурса КА в сетях связи стандарта DVB-RCS с использованием в качестве исходных данных базы данных системы мониторинга и управления сетью.

Давая оператору ЦЗС достаточно большой объем информации, NMS, тем не менее, не позволяет ему принимать обоснованных оптимальных решений по управлению частотно-временным ресурсом КА по следующим трем причинам:

¹ Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант № 08-07-00025а

- оператор чисто физически не в состоянии обрабатывать и принимать оптимальные решения на основе исходных данных NMS, меняющихся с достаточно высоким темпом;

- для принятия оптимального решения оператору необходимо иметь прогноз загрузки и состояния сети на достаточно длительный период (хотя бы 30-40 минут), что человеку (без соответствующей программно-аппаратной поддержки) сделать практически не возможно;

- оператору более свойственно принимать качественные, а не количественные решения, что для обеспечения оптимального адаптивного управления не достаточно.

Учитывая вышеизложенное, решение задачи оптимального адаптивного управления использованием частотно-временного ресурса КА может быть обеспечено только автоматически (под контролем оператора ЦЗС) специальными программно-аппаратными средствами, осуществляющими обработку исходных данных NMS, формирование текущих и прогнозируемых критериев эффективности и выработку на основе оценки численных значений критериев эффективности команд управления для NMS на изменение конфигурации частотно-временного ресурса КА.

Ниже представлены результаты анализа и формирования критериев эффективности и алгоритмов оптимального адаптивного управления конфигурацией частотно-временного ресурса КА в сетях связи стандарта DVB-RCS.

1. Анализ и формирование критериев

Номинально частотно-временной ресурс КА, выделенный оператором КА для данной сети связи стандарта DVB-RCS, в конечном итоге определяется выделенной полосой радиочастот и парциальной эффективной изотропно-излучаемой мощностью (ЭИИМ КА), определенных соответствующим договором между оператором КА и оператором сети.

Текущая конфигурация частотно-временного ресурса определяется текущей частотно-временной матрицей (ЧВМ) сети, которая может изменяться во времени в зависимости от состава и интенсивности передаваемого в сети мультимедийного трафика по решению оператора сети.

На Рис.1, в качестве примера, представлена расчетная ЧВМ в час наивысшей нагрузки (ЧНН) в стандартном стволе КА «Экспресс-АМ» [7] для сети связи стандарта DVB-RCS, включающей одну ЦЗС и 15 «активных» абонентских ЗС. Состав мультимедийного трафика, передаваемый в сети, представлен в таблице.

1.	Телевидение	Число циркулярно-транслируемых на сеть ЗС ТВ программ: 00 ⁰⁰ – 06 ⁰⁰ (2 ТВ программы); 06 ⁰⁰ – 12 ⁰⁰ (4 ТВ программы); 12 ⁰⁰ – 20 ⁰⁰ (8 ТВ программ); 20 ⁰⁰ – 24 ⁰⁰ (6 ТВ программ)
2.	Телефония (ЦС - ЗС)	15 мин/ч на каждую ЗС; ЧНН - 12 ⁰⁰ ; ТЛФ – 16 кбит/с
3.	Несимметричная видеоконференцсвязь (ЦС - ЗС)	10 мин/ч на каждую ЗС; ЧНН - 16 ⁰⁰ ; прямой канал ВКС – 364 кбит/с, обратные каналы ВКС – 64 кбит/с
4.	Служебная телефония (ЗС – ЗС)	10 мин/ч на каждую ЗС; ЧНН - 12 ⁰⁰ ; ТЛФ – 9,6 кбит/с
5.	Передача данных (ЦС - ЗС)	Циркулярная ПД: 1,5 Гбит/сутки; ЧНН - 14 ⁰⁰ ; Обратные каналы: 100 Мбит/сутки на каждую ЗС; ЧНН - 16 ⁰⁰
6.	Передача данных (ЗС - ЗС)	100 Мбит/сутки на каждую ЗС; ЧНН - 18 ⁰⁰
7.	Интернет	Интернет канал: 2,048 Мбит/с; Запросные каналы: 10 мин/ч на каждую ЗС; ЧНН - 18 ⁰⁰

Таким образом, ЧВМ данной сети DVB-RCS в ЧНН включает:

- прямой канал с информационной скоростью, равной 38,4 Мбит/с.

- 6 обратных каналов с информационной скоростью, равной 256 кбит/с.

Суммарная полоса радиочастот, выделенная для функционирования сети (с учетом рекомендуемых оператором КА [7] защитных интервалов), в ЧНН должна составлять 19,73 МГц, а парциальная ЭИИМ равна 46 дБВт.

Число «активных» станций в сети стандарта DVB-RCS относительно ЗС, «зарегистрированных» в сети, может меняться в достаточно широких пределах [5,6]. Текущая интенсивность различных компонент трафика также может существенно отличаться от интенсивности в ЧНН. Значительное увеличение числа активных ЗС или интенсивности трафика относительно

расчетных величин для фиксированной ЧВМ может приводить к резкому снижению качества обслуживания отдельных компонент мультимедийного трафика.

Динамика изменения интенсивности практически всех компонент мультимедийного трафика имеет либо регулярный (ТВ), либо достаточно плавный (ТЛФ, ВКС, ПД, Интернет) характер и может легко прогнозироваться по исходным данным NMS. Качество обслуживания всех компонент мультимедийного трафика имеет определенные нормативными документами [8,9] вероятностно-временные параметры.

ЧВМ номинально рассчитывается на обеспечение для заданного числа «активных» ЗС (НАЗС) минимально допустимых вероятностно-временных характеристик обслуживания всех компонент (m) мультимедийного трафика $W=(W_1, \dots, W_m)$, при этом все виды статистического трафика ЦЗС и ЗС рассматриваются как простейшие потоки типа М/М/1 [1,2,3].

Реально все виды статистического трафика имеют нестационарный характер и только в первом приближении могут рассматриваться как простейшие. Тем не менее, усредненные по данным NMS значения интенсивностей поступления и обслуживания статистических потоков дают достаточно хорошие результаты для оценки вероятностно-временных характеристик их обслуживания на период порядка 30-40 минут для заданной структуры ЧВМ [4]. Критерием эффективности адаптивного управления ресурсом в этом случае может служить такой параметр, как максимально допустимое число «активных» ЗС.

Таким образом, в качестве критерия эффективности системы оптимального адаптивного управления частотно-временным ресурсом КА

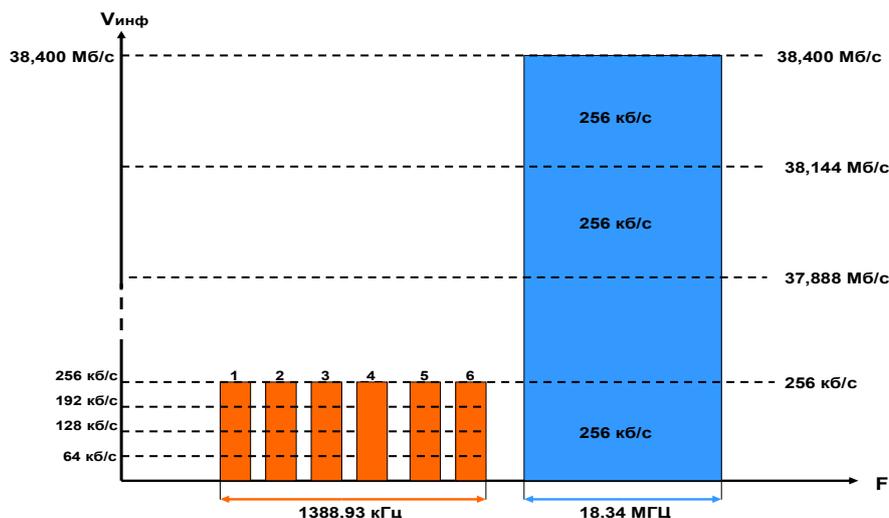


Рис. 1. Частотно-временная матрица DVB-RCS

в сетях спутниковой связи стандарта DVB-RCS примем следующую функцию:

$$\Phi = N_{\max}(NA_{ЗС}, W=(W_1, \dots, W_m), S_{чвм}), \quad (1)$$

где: N_{\max} – максимально допустимое число «активных» ЗС;
 $NA_{ЗС}$ – число активных ЗС, принятое при расчете номинальной ЧВМ;
 $W=(W_1, \dots, W_m)$ – минимально допустимые вероятностно-временные характеристики (ВВХ) обслуживания мультимедийного трафика;
 $S_{чвм}$ – структура ЧВМ;
 m – число компонент мультимедийного трафика.

2. Алгоритмы оптимального адаптивного управления структурой

Исходной информационной базой для работы алгоритмов оптимального адаптивного управления структурой ЧВМ являются:

- структура номинальной ЧВМ ($S_{чвм}$, ном);
- минимально допустимые ВВХ обслуживания $W=(W_1, \dots, W_m)$ компонент мультимедийного трафика;
- база данных системы мониторинга и управления сетью (БД NMS).

Общая структурная схема таких алгоритмов представлена на Рис.2.

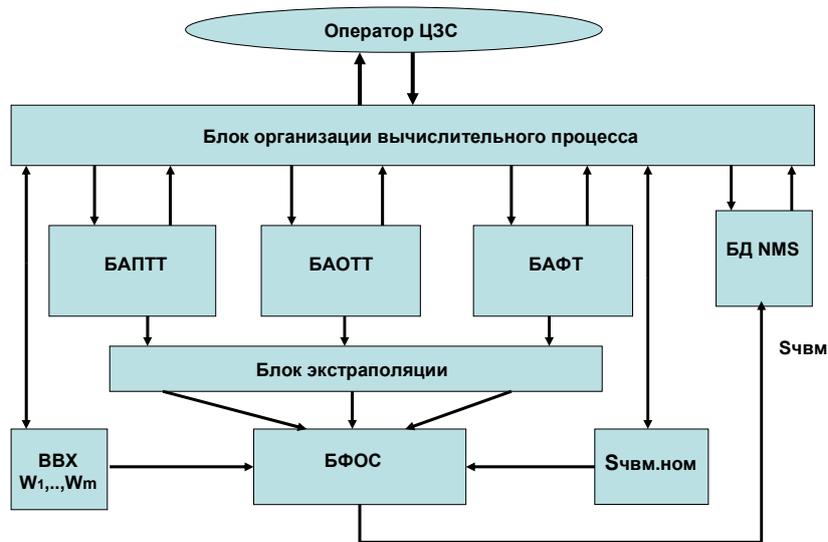


Рис.2. Общая структурная схема алгоритмов оптимального адаптивного управления структурой ЧВМ

В качестве входного параметра для работы алгоритма оптимального адаптивного управления структурой ЧВМ оператор ЦЗС задает темп ($\Delta T_{чвм}$) коррекции ЧВМ, который может изменяться в пределах от 5 до 60 минут.

В блоке анализа поступления текущего трафика (БАПТТ) по исходным данным БД NMS формируются усредненные за период $\Delta T_{чвм}$ значения текущих интенсивностей поступления заявок по всем видам статистического трафика $\lambda_{П} = (\lambda_{П,1}, \dots, \lambda_{П,m})$. Далее в блоке экстраполяции осуществляется ступенчатая экстраполяция на последующий период $\Delta T_{чвм}$ значений интенсивностей поступления заявок $\lambda_{ЭП} = (\lambda_{ЭП,1}, \dots, \lambda_{ЭП,m})$ с учетом усреднения соответствующих $\lambda_{ЭП} = (\lambda_{ЭП,1}, \dots, \lambda_{ЭП,m})$ за последние трое суток.

Аналогично в блоке анализа обслуживания текущего трафика (БАОТТ) по исходным данным БД NMS формируются усредненные за период $\Delta T_{чвм}$ значения текущих интенсивностей обслуживания заявок по всем видам статистического трафика $\lambda_{О} = (\lambda_{О,1}, \dots, \lambda_{О,m})$. Далее в блоке экстраполяции осуществляется ступенчатая экстраполяция на последующий период $\Delta T_{чвм}$ значений интенсивностей обслуживания заявок $\lambda_{ЭО} = (\lambda_{ЭО,1}, \dots,$

$\lambda_{ЭО,m})$ с учетом усреднения соответствующих $\lambda_{ЭО} = (\lambda_{ЭО,1}, \dots, \lambda_{ЭО,m})$ за последние трое суток.

В блоке анализа поступления фиксированного трафика (БАФТ) по исходным данным БД NMS формируются на текущий период $\Delta T_{чвм}$ значения информационных скоростей (Сф) передачи фиксированного трафика в составе прямого канала ЦЗС. Далее в блоке экстраполяции осуществляется ступенчатая экстраполяция на последующий период $\Delta T_{чвм}$ значений СЭ,ф с учетом усреднения соответствующих СЭ,ф за последние трое суток.

В блоке формирования оптимальной структуры ЧВМ (БФОС) на основе анализа и обработки выходной информации блоков: БАПТТ ($\lambda_{ЭП} = (\lambda_{ЭП,1}, \dots, \lambda_{ЭП,m})$), БАОТТ ($\lambda_{ЭО} = (\lambda_{ЭО,1}, \dots, \lambda_{ЭО,m})$), БАФТ (СЭ,ф) формируется оптимальная структура ЧВМ (Счвм) на последующий период $\Delta T_{чвм}$.

В качестве критерия эффективности системы оптимального адаптивного управления Счвм используется функция $\Phi = N_{\max}(NA_{ЗС}, W=(W_1, \dots, W_m), S_{чвм})$, определяющая максимально допустимое число «активных» ЗС в сети для заданных в блоке (BBX) минимально допустимых вероятностно-временных характеристик обслуживания $W=(W_1, \dots, W_m)$.

При этом предполагается, что все виды статистического трафика, имеющие нестационарный характер, в первом приближении могут рассматриваться как простейшие потоки типа М/М/1.

Таким образом, на основе представленных выше результатов исследований следует, что при обслуживании неоднородного по составу мультимедийного трафика адаптивное управление структурой ЧВМ сети стандарта DVB-RCS, работающей в режиме MF-TDMA, позволяет в среднем на 10-20% увеличить число «активных» ЗС в сети.

При обслуживании трафика, неоднородного по составу, времени и зоне обслуживания, число «активных» ЗС в сети может быть дополнительно увеличено в среднем на 10-25% и существенно зависит от распределения абонентских ЗС по различным часовым поясам.

Введение непрерывного (с темпом 5 мин) адаптивного управления структурой ЧВМ дает в среднем выигрыш относительно варианта почасовой адаптации не более чем на 5%.

3. Оценка эффективности

Практически все действующие в России в настоящее время КА на геостационарной орбите (ГСО) созданы по принципу «прямой ретрансляции» с частным (FDMA) разделением каналов. Несмотря на простоту построения, такие КА имеют ряд существенных недостатков: несанкционированный (пиратский) доступ к ресурсам КА, высокую стоимость центральных ЗС (HUB), невозможность организации каналов прямой связи абонентских ЗС друг с другом, низкую эффективность использования частотно-временного и энергетического ресурса КА в сетях связи стандарта DVB-RCS.

Основными потребителями ресурса таких КА являются, как правило, крупные корпоративные пользователи, имеющие собственные дорогостоящие центральные ЗС. Стандарт DVB-RCS с многостанционным частотно-временным доступом (MF-TDMA) в сетях спутниковой связи с «прямой ретрансляцией» реализуется наземной программно-аппаратной платформой DVB-RCS в составе центральных ЗС (HUB) [8,9].

Мультимедийная бортовая цифровая платформа (БЦП) в сочетании с многолучевой антенной (МЛА) позволяет реализовать стандарт DVB-RCS с многостанционным пространственно-частотно-временным доступом (MSF-TDMA), разместив программно-аппаратную платформу DVB-RCS на борту КА. Ресурс КА с МЦБП и МЛА становится доступным любому зарегистрированному в сети DVB-RCS пользователю, исключается пиратский доступ к КА, существенно повышается бюджет радиолиний, снижаются требования к энергетическим параметрам земных станций (ЗС), обеспечивается возможность организации прямой связи абонентских ЗС друг с другом.

4. Космические аппараты с приемно-передающей МЛА и БЦП

Типовая зона обслуживания действующих в РФ связанных КА на ГСО имеет существенно вытянутую с Запада на Восток форму. Так, например, зона обслуживания КА «Ямал-200» в орбитальной позиции 90E представляет собой вытянутый с Запада на Восток фрагмент глобальной зоны обслуживания КА на ГСО.

Такие зоны обслуживания могут реализовываться МЛА с линейным расположением парциальных лучей и шириной луча порядка 5-6 градусов. Причем МЛА по приему и передаче дает более равномерное покрытие зоны обслуживания по добротности и ЭИИМ соответственно.

С целью снижения затрат на модернизацию действующих связанных КА на ГСО предлагается использовать в приемно-передающем тракте для обеспечения покрытия территории РФ гибридные МЛА [2,3] с фиксированной ориентацией в пространстве четырех линейно расположенных парциальных лучей. Ширина парциального луча может быть принята равной 6-ти градусам.

При линейном расположении парциальных лучей для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) между лучами по приему в каждом стволе достаточно выделения двух смежных полос радиочастот ΔF_1 и ΔF_2 . При этом в сети DVB-RCS будет обеспечиваться многостанционный доступ MSF-TDMA.

Каждый парциальный луч гибридной МЛА позволит обеспечить покрытие зоны диаметром порядка 5000 км и повысить добротность стволов КА по приему и ЭИИМ стволов КА по передаче на 9 дБ относительно глобального луча.

Общая структура приемно-передающего тракта ствола КА с БЦП и МЛА представлена на Рис. 3.

По входу приемной МЛА в каждом из четырех парциальных лучей данного ствола реализуется принятый в стандарте DVB-RCS метод многостанционного доступа MF-TDMA. Доступ абонентских ЗС к КА в режиме одночастотной MF-TDMA может обеспечиваться со скоростями от 64 кбит/с до 2,048 Мбит/с. Доступ центральных ЗС к КА в режиме многочастотной MF-TDMA может обеспечиваться со скоростями от 2,048 Мбит/с до 28,672 Мбит/с.

Для сравнительного анализа вариантов реализации стандарта DVB-RCS в качестве исходных параметров используются частотно-энергетические параметры стандартного ствола КА «Экспресс-АМ» [8]:

- ЭИИМ ствола в режиме «насыщения» = 50 дБВт;
- добротность ствола $G/T = 3$ дБ/°К;
- полоса ствола $\Delta F = 54$ МГц.

В сетях DVB-RCS [6,7], работающих в режиме MF-TDMA без БЦП и МЛА, на линии ЗС – КА – ЦС принимаем:

- кодирование/декодирование по «Витерби», $FEC = 3/4$;
- кодирование/декодирование Рида Соломона, $PC = 47/51$;
- метод модуляции/демодуляции - QPSK.

На линии ЦС – КА – ЗС принимаем соответственно:

- кодирование/декодирование по «Витерби», $FEC = 7/8$;
- кодирование/декодирование Рида Соломона, $PC = 47/51$;
- метод модуляции/демодуляции - 16PSC.

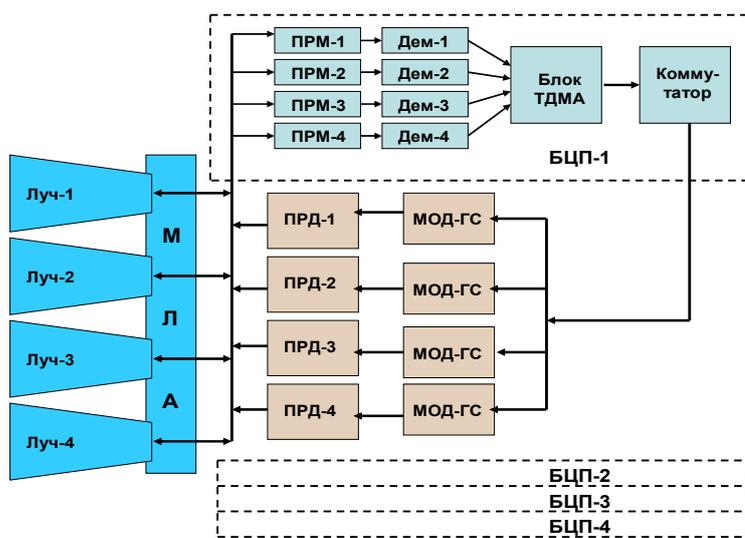


Рис. 3. Общая структура приемно-передающего тракта

В сетях DVB-RCS, работающих в режиме MSF-TDMA с МЛА и БЦП, на линии ЗС (ЦС) – КА принимаем:

- кодирование/декодирование по «Витерби», $FEC = 3/4$;
- кодирование/декодирование Рида Соломона, $PC = 47/51$;
- метод модуляции/демодуляции - QPSK.

На линии КА – ЗС (ЦС) принимаем соответственно:

- кодирование/декодирование по «Витерби», $FEC = 7/8$;
- кодирование/декодирование Рида Соломона, $PC = 47/51$;
- метод модуляции/демодуляции – 16PSC.

Для варианта с МЛА и БЦП используются параллельно четыре одновременно работающих ствола, БЦП каждого ствола КА имеет 4 приемные линейки с полосой $\Delta F1$ или $\Delta F2$, где $\Delta F1 = \Delta F2 = 27$ МГц, а добротность приемных линеек $G/T = (3 + 9) = 12$ дБ/°К.

Соответственно каждый блок БЦП включает 4 линейки групповых конвейерных демодуляторов (по одной линейке на каждый парциальный луч МЛА) и блок формирования суммарного группового сигнала TDMA. Дополнительные потери за счет конвейерной демодуляции определяются числом одновременно демодулируемых сигналов.

С выхода блока формирования группового сигнала TDMA данного ствола групповой сигнал поступает на вход синхронно управляемого цифрового коммутатора и далее после кодирования и модуляции на один из четырех ствольных передатчиков КА «Экспресс-АМ» с полосой $\Delta F = 54$ МГц, постоянно работающих в режиме «насыщения» на один из четырех парциальных лучей МЛА.

В итоге, групповой сигнал с выхода каждого блока БЦП (с периодом порядка 5мс) с помощью синхронно-управляемого цифрового коммутатора последовательно коммутируется на один из 4-х передающих парциальных лучей МЛА. Одновременно с коммутацией группового сигнала меняется частота гетеродина и соответственно несущая частота передатчика, работающего на данный парциальный луч.

5. Сравнительный анализ эффективности использования

Для принятых выше исходных данных в сетях DVB-RCS, работающих в режиме MF-TDMA без МЛА и БЦП, в стволе КА с полосой 54 МГц [14], может быть организовано 20 обратных каналов от ЗС со скоростью по 2,048 Мбит/с и прямой канал от ЦС со скоростью 40,096 Мбит/с.

Таким образом, пропускная способность стандартной сети DVB-RCS в пересчете на один ствол КА «Экспресс-АМ» в дуплексном режиме составит 40,096 Мбит/с.

Для сетей DVB-RCS, работающих в режиме MSF-TDMA с МЛА и БЦП, в каждом луче по приему в режиме MF-TDMA в полосе 27 МГц [14] может быть организовано 14 обратных каналов от ЗС и ЦС со скоростью 2,048 Мбит/с.

Соответственно суммарный групповой сигнал TDMA на выходе БЦП каждого ствола будет иметь скорость 114,688 Мбит/с и может быть передан в полосе 54 МГц [8].

В итоге, пропускная способность сети DVB-RCS (в пересчете на один ствол КА «Экспресс-АМ»), работающей в режиме MSF-TDMA с МЛА и БЦП, в дуплексном режиме составит 114,688 Мбит/с, что в 2,86 раза выше относительно стандартной сети DVB-RCS.

Сравнительная оценка энергетики двух вариантов показывает, что в радиолинии ЗС – КА режим MSF-TDMA с БЦП и МЛА дает выигрыш

$$W_{зс-ка} = P_z + P_{мла} + P_{кон} = 7\text{дБ} + 9\text{дБ} - 11,46\text{дБ} = 4,54\text{дБ},$$

где: P_z – стандартный запас в радиолинии ЗС – КА для режима «прямой ретрансляции»; $P_{мла}$ – выигрыш за счет приемной МЛА; $P_{кон}$ – проигрыш за счет конвейерной демодуляции сигналов ЗС и ЦС в БЦП.

Соответственно в радиолинии КА – ЗС режим MSF-TDMA с БЦП и МЛА дает выигрыш

$$W_{ка-зс} = P_{нас} + P_{мла} + P_{ск} = 3\text{дБ} + 9\text{дБ} - 4,56\text{дБ} = 7,44\text{дБ},$$

где: $P_{нас}$ – стандартный выигрыш за счет перевода передатчика КА из «линейного» режима в режим «насыщения»; $P_{мла}$ – выигрыш за счет «зонального» обслуживания в передающей МЛА; $P_{ск}$ – проигрыш за счет увеличения в 2,86 раза суммарной групповой скорости сигнала TDMA на выходе передатчика КА.

Таким образом:

1. Приведенные выше результаты показывают, что даже минимальная обработка сигналов ЗС на борту КА (конвейерная демодуляция) в сочетании с введением гибридных приемно-передающих МЛА позволяют существенно повысить эффективность использования частотно-временных и энергетических ресурсов современных КА связи.

2. К сожалению, пока остаются за кадром вопросы практической реализации полученных результатов для отечественных КА, хотя вопросы создания перспективных КА с МБЦП стандарта DVB-RCS уже неоднократно обсуждались [4,5] и нашли практическую реализацию в ряде зарубежных проектов [10, 11].

3. Следует отметить, что для практической реализации указанных выше предложений наибольшую сложность представляет создание быстроедействующих цифровых коммутаторов, являющихся ключевым элементом БЦП. Необходимо создание практически абсолютно надежных (срок активного существования (САС) порядка 15-20 лет) цифровых коммутаторов на скорости передачи информации до 200-300 Мбит/с.

4. Дальнейшее развитие БЦП – «Мультисервисные бортовые цифровые платформы» стандарта DVB-RCS в сочетании с гибридными приемно-передающими МЛА, которые могут стать в перспективе технологическим ядром большинства современных спутников связи и вещания.

Литература

1. А.Генов, В.Голованов, «Методика моделирования систем спутниковой связи», «Вопросы радиоэлектроники», ТРС, Москва, 1975.
2. А. Генов, «Исследование вопросов выбора канальной емкости пучков СПСС двойного назначения», НТК «Оптические, сотовые и спутниковые сети и системы связи», Псков, 1996.
3. A. Genov, N. Ivanchuk, «The conception of constructing global spread-spectrum CDMA mobile telecommunication «Global-SS» system», «Forum of the ITA Proceedings», Moscow, 1997.
4. А. Генов и др. «Гибридные МЛА», Авторские свидетельства №236135, №236179, Москва, 1986.
5. А. Генов и др. «Бортовые цифровые платформы – технологический прорыв в повышении эффективности спутников связи и вещания», «Broadcasting», №3, Москва, 2002.
6. А. Генов и др. «Мультисервисные БЦП - технологический прорыв в повышении эффективности ССС», НТК «К 75-летию академика В.А. Мельникова», Москва, 2003.
7. A. Genov, «The conception of constructing FDMA telecommunication system», «Forum of the IT Proceedings», Spain, 1988.
8. «DVB-RCS - Product Description», EMC TECHNOLOGIES, Канада, 2004.
9. «Sky Edge - Product Description », GILAT, Израиль, 2004.
10. «Регламент», ФГУП «Космическая связь», Москва, 2004.
11. «Euro Sky Way», <http://www.euroskyway.it>, 2003.
12. «Astro Link», <http://www.Astrolink.com>, 2003.
13. РД 45.093-97 «Общие технические требования на ЗС для линий спутниковой связи, работающие с КА на ГСО в диапазонах частот 6/4 ГГц и 14/11-12 ГГц».
14. «Регламент», ФГУП «Космическая связь», Москва, 2004.
15. МСЭ, «Регламент радиосвязи», ВАКР, Стамбул, 2003.

Генов Анатолий Анатольевич. Заведующий отделом спутниковых информационных технологий НИИСИ РАН. Окончил Московский физико-технический институт в 1969 году. Доктор технических наук, профессор. Автор более 30 научных работ. Область научных интересов: радиолокация, космическая связь, мультимедийные системы передачи информации.

Решетников Валерий Николаевич. Директор Центра визуализации и спутниковых информационных технологий НИИСИ РАН. Окончил механико-математический факультет Московского государственного университета в 1965 году. Доктор физико-математических наук, профессор. Автор более 60 научных публикаций. Область научных интересов: компьютерная графика, информационные технологии, виртуальные студии, телекоммуникации. Специалист в области обработки информации в системах управления.