

СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ДЕЛОВОЙ СВЯЗИ

В индустриально развитых странах неотъемлемой частью национальных систем связи становятся системы спутниковой связи. Отдельным направлением последних в настоящее время являются спутниковые системы деловой связи на базе земных станций с малым диаметром зеркала антенны (VSAT - Very Small Aperture Terminal). В докладе обсуждаются вопросы построения отечественной деловой системы спутниковой связи на базе малых земных станций с использованием спутника связи "Горизонт".

Спутники связи, размещаемые в космическом пространстве, представляют уникальную возможность взаимной связи земных станций, находящихся в зоне видимости спутника. Это обстоятельство позволяет отказаться от традиционной архитектуры сети связи с использованием коммутационных центров для организации каналов связи. Системы связи на базе спутников позволяют не только организовать прямые каналы связи между земными станциями, но и с применением новых технологий обеспечить динамичный многостанционный доступ. В сетях, архитектура которых использует возможности спутниковой связи и многостанционного доступа, взаимная связь, обычно обеспечиваемая посредством коммутации, может быть обеспечена без дополнительных затрат за счет только архитектуры сети.

Итак, для организации системы связи через космический ретранслятор необходима только одновременная видимость ИСЗ земными станциями - абонентами сети. При этом наиболее простые вопросы организации связи решаются при работе всех станций сети в одном луче. Именно такую возможность представляет ИСЗ "Горизонт", антенна которого с раскрытием $6^\circ \times 12^\circ$

обеспечивает освещение всей территории Союза от его западной границы до 140° в. д. на востоке. Для организации, например, информационно-вычислительной сети Украины могут быть использованы бортовые антенны с раскрывом $5^\circ \times 5^\circ$.

Энергетический расчет системы связи

Оценим энергетические параметры системы связи и ее пропускную способность для различных типов земных станций при использовании в качестве космического ретранслятора ИСЗ "Горизонт" с раскрывом антенны $5^\circ \times 5^\circ$ в диапазоне частот 14ГГц (прием) / 11 ГГц (передача), т. е. применительно к территории Украины.

Известны энергетические параметры космического ретранслятора "Горизонт" в диапазоне 14/11 :

добротность приемной системы - минус 7 дБ;

эквивалентная изотропноизлучаемая мощность - 36,2 дБ/Вт.

Параметры земных станций представлены в табл. 1.

Таблица 1

Диаметр антенны, м	7	4,5	2,5	1,8
Усиление антенны передача/прием, дБ	57/55,6	53,4/52	48,4/47	45,6/44,2
Мощность передатчика, Вт	100	100	5	5
Шумовая температура приемника, К	200	200	700	700

Потери сигнала в свободном пространстве между ретрансляторами на стационарной орбите и земной станции (расстояние 36 тыс. км) составляют:

на трассе ЭС - ИСЗ - 206,4 дБ;

на трассе ИСЗ - ЭС - 206,0 дБ.

С использованием известных уравнений связи получаем результаты, представленные в таблицах. В табл. 2 приведены результаты расчета линии вверх (ЭС - ИСЗ).

Таблица 2

Диаметр антенны ЭС,	м	7	4,5	2,5	1,8
Коэффициент усиления антенны,	дБ	57	53,4	48,4	45,6
Число каналов		10	10	1	1
Мощность на канал,	дБ Вт	7	7	7	7
Мощность сигнала на входе приемника ИСЗ,	дБ Вт	-118,4	-122	-127	-129,8
отношение сигнал/спектральная плотность,	дБ/Гц	78,6	75	70	67,2

Примечание: потери распространения 206,4 дБ; усиление антенны ИСЗ 26,6 дБ; потери в тракте ИСЗ 2,5 дБ; спектральная плотность шума приемника ИСЗ - 197 дБ Вт/Гц.

В табл. 3 представлены результаты расчета линии вниз (ИЗ - ЭС).

Таблица 3

Диаметр антенны ЭС,	м	7	4,5	2,5	1,8
Усиление антенны ЭС,	дБ	55,6	52	47	44,2
Мощность сигнала на входе приемника ЭС,	дБ Вт	-126,2	-129,8	-134,8	-137,5
Спектральная плотность шума приемника ЭС,	дБ Вт	-205,6	-205,6	-200,2	-200,2
отношение сигнал/спектральная плотность шума,	дБ/Гц	79,4	75,8	65,4	62,6

Примечание: мощность одной несущей от ИСЗ - 3,8 дБВт; усиление антенны ИСЗ 27 дБ; потери распространения 205 дБ.

Для определения пропускной способности станции заданной требуемой вероятностью ошибки и потерями на реализацию демодулятора фазоманипулированного сигнала.

Требуемая вероятность ошибки при передаче данных должна составлять 10^{-8} - 10^{-9} . При кодировании с исправлением ошибок, что сегодня является обязательным элементом современной линии связи, энергетический выигрыш составляет от 3 до 5 дБ (сверхточное кодирование с относительной скоростью $K = 1/2$ и декодирование по алгоритму Витерби).

С учетом потерь на реализацию демодулятора четырехпозиционного фазоманипулированного сигнала не более 1,5 дБ отношение энергии бита к спектральной плотности шума E_b/N_0 должно быть в пределах 6 - 8,5 дБ. Принимая $E_b/N_0 = 8,0$ дБ и суммируя шумы линий вверх и вниз, получим для каждой из станций пропускные способности, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Диаметр антенны ЗС, м	7	4,5	2,5	1,8
Результирующее отношение сигнал/спектральная плотность шума, дБ/Гц	76	72	64	61
Пропускная способность, МГц/с	10,5	4,16	666	333
		(10 каналов)		

* При приеме сигнала ЗС с антенной 2,5 м.

Результаты расчета показывают, что при условии незначительных осадков спутниковая система деловой связи может быть построена на базе малых ЗС с диаметром зеркала 1,8 м. Для облегчения решения вопросов энергетики и организации работы сети в целом целесообразно такую сеть построить с использованием звездообразной топологии с центральной станцией имеющей большее зеркало антенны и более высокие энергетические параметры. Центральная станция при этом исполняет роль коммутатора пакетов. При этом в системе обеспечивается передача информации со скоростью до 64 кГц/с (скорость в канале учетом кодирования составит 128кГц/с), что в свою очередь позволяет организовать все виды деловой связи: телефон, факсимиле, межмашинный обмен данными, электронную почту и пр. вплоть до медленного телевидения.

Для надежной работы системы связи при наличии осадков (энергетический запас на осадки 7 дБ) следует ориентироваться на использование антенны с диаметром зеркала 2,5 м.

Управление обменом информацией

Архитектура рассматриваемой сети связи и протоколы микростанционного доступа будут определяться конкретным количеством абонентов сети и интенсивностью их графиков.

Эффективный обмен информацией внутри системы деловой связи можно осуществлять с помощью специального протокола с уведомлением.

Протокол доступа с уведомлением в качестве базового использует протокол тактированная АЛОЖА, отличающийся, как известно, склонностью к нестабильности при увеличении коэффициента загрузки спутникового канала. В предлагаемом варианте протокола проблема нестабильности решается следующим образом.

В канале передачи данных имеются два типа слотов: случайного доступа (РА) и резервирование (РЕ). Все конфликтные и ошибочные пакеты не допускаются для повторной передачи в РА-слотах, в то время как вновь организованные пакеты используют РА-слоты при первой попытке передачи. По отдельному каналу сигнализации каждая малая станция извещает центральную станцию о количестве пакетов, переданных малой станцией в данном кадре. Если пакет испытывает столкновение, то малая станция осознает, что число успешно принятых пакетов в кадре меньше, чем то число, о котором было извещено. Поэтому центральная станция планирует необходимое число слотов для каждой малой станции, в которых на бесконфликтной основе будут вторично переданы искаженные пакеты. Центральная станция также контролирует общую скорость данных в спутниковом канале и с учетом требований ко времени задержки рассчитывает ключевой параметр протокола, а именно, соотношение числа РА и РЕ - слотов в кадре. Когда уровень трафика превысит определенную степень интенсивности, центральная станция дает команду всем малым станциям перейти к протоколу с явным резервированием. Если же уровень трафика упадет до приемлемого уровня, то часть слотов выделяется для случайного доступа.

Таким образом протокол обладает следующими особенностями организации спутниковой линии связи.

1. Каналы связи формируются методом временного уплотнения. Каждый канал содержит кадры, а кадр разбит на слоты.
2. Связь от центральной станции к множеству малых станций осуществляется по бесконфликтному каналу.
3. Связь от малых станций к центральной станции осуществляется по каналам двух типов, которые могут быть на одной и той же частоте или на разных частотах.

В канале извещения передаются управляющие пакеты, при этом каждая малая станция должна иметь один свободный слот

конфликтов слот извещения, предоставляемый ей в каждом кадре

В канале данных передается трафик абонентов, при этом пакеты данных с первой позиции передаются в РА-слотах, а со второй и последующей только в РЕ-слотах.

Процесс передачи от малой станции

После того, как пакет данных поступает на вход, он передается в ближайшем по времени слоте, если последний является РА-слотом. Если ближайший слот относится к группе РЕ-слотов, то пакет данных будет передан в одном из случайно выбранных слотов следующей группы РА-слотов, исключая конечно те из РА-слотов, которые были уже запланированы для передачи ранее поступивших пакетов.

Малая станция сохраняет полную копию пакета данных вместе с записью номера кадра и номера слота, использованного для передачи. Эта запись позволяет малой станции решить проблему в том случае, когда некоторые пакеты испытывают конфликт или теряются вследствие ошибок. Основываясь на информации, полученной от главной станции, об успешно принятых пакетах, их номерах кадров и слотов, малая станция может определить, какие пакеты следует передать вторично. Передача пакетов в РА-слотах сопровождается соответствующим извещением в слоте сигнализации, при этом извещение, посылаемое малой станцией в данном кадре, сообщает главной станции число пакетов, переданных в РА-слотах предыдущего кадра. После получения от главной станции сообщения о правильном приеме пакета последний исключается из буфера вторичной передачи. Если же этого сообщения нет, то пакет должен быть передан в выделенных малой станцией РЕ-слотах.

Обработка каналов данных и извещений на центральной станции

Центральная станция информируется в каждом кадре по каналу извещений о числе переданных пакетов каждой станцией в предыдущем кадре. Истинное число принятых пакетов в кадре она определяет самостоятельно. Потом центральная станция сравнивает эти два числа для расчета числа потерь пакетов для каждой малой станции, и планирует распределение РЕ-слотов для их вторичной передачи. Такое планирование учитывает любые задержки обработки и распространения сигналов, которые

могут потребоваться прежде, чем малая станция сможет использовать информацию о необходимости вторичной передачи.

Центральная станция по бесконфликтному возвратному каналу передает следующую необходимую для малой станции сигнальную информацию:

- подтверждение о успешно принятых пакетах, содержащие номера слотов и кадров, в которых эти пакеты были обнаружены;
- планируемое распределение PE-слотов для вторичной передачи.

Эти два вида сигнализации достаточны для малой станции, чтобы определить, какие пакеты были потеряны и какие PE-слоты могут быть использованы для их повторной передачи. Сами PE-слоты располагаются в кадре так, что сообщение об их распределении принимается станцией раньше, чем они сами начинаются, включая некоторый запас времени на декодировку и обработку сообщений сигнализации.

Проведенный анализ внутреннего протокола спутниковой связи позволяет сформулировать основные характеристики рекомендуемого комбинированного варианта доступа.

1. Для передачи данных от центральной станции к малым применяется метод временного уплотнения информационных и служебных пакетов. В состав служебных пакетов включается периодически передаваемые синхронизирующие пакеты, которые обеспечивают привязку временных шкал всех малых станций сети. Последовательность синхронизирующих пакетов задает период кадров в сети, что необходимо при организации любой схемы резервирования. Длительность кадра во всяком случае должна превышать двойную задержку распространения сигнала через спутник, равную 0,4 с, с тем, чтобы обеспечить корректность процедур резервирования. С учетом дополнительных задержек, связанных с обработкой сигнала в аппаратуре наземных станций, рекомендуемая минимальная длительность кадра предлагается равной 600 мс.

Промехутки между отдельными пакетами обязательно заполняются холостыми символами, что обеспечивает непрерывность модулированного сигнала на входах демодуляторов малых станций. Благодаря этому, никаких специфических требований к приемному демоделирующему и декодирующему оборудованию спутникового канала не предъявляется.

Исходя из ожидаемой симметрии трафика на направлениях центр - периферия и периферия - центр, а также, принимая во внимание общую пропускную способность ретранслятора, таковая скорость на выходе малой станции составит 64 Кбит/с.

2. При передаче данных от малых станций к центральной, используются пакеты, формируемые блоком КСС, в соответствии с протоколом комбинированного доступа. Выбор конкретных параметров протокола доступа зависит от множества причин и факторов, поэтому окончательное решение можно принять только на этапе совместной реализации контроллера спутниковой связи (КСС), сетевого интерфейса (СИ) и коммутаторов пакетов аппаратно-программными средствами на базе микропроцессорных комплектов аналогов INTEL 286/386. Программные средства обеспечивают известную гибкость при выборе вариантов протокола, что необходимые коррективы могут быть внесены на более поздних стадиях разработки. С другой стороны, оборудование спутникового канала разрабатывается без применения программных средств на основе элементов с жесткой логикой. Следовательно уже на этом этапе целесообразно определить параметры стыка между контроллером спутниковой связи и радиотехническим оборудованием так, чтобы обеспечивалась прозрачность канала по отношению к возможным вариациям протокола коллективного доступа. В этих условиях при предполагаемой тактовой скорости 64 Кбит/с достаточно задаться форматом пакетов в канале спутниковой связи, чтобы гарантировать его прозрачность.

Состав системы спутниковой связи

Как всякая система спутниковой связи, планируемая система состоит из космического и земного сегментов. Космический сегмент системы представлен искусственным спутником Земли "Горизонт" с размещенными на нем ретрансляторами. Назначением ИСЗ "Горизонт" является обеспечение передачи сигналов телевидения и телефонии как в аналоговой, так и в цифровой форме, а также передачи любых видов другой информации, преобразованной в цифровую форму.

Земной сегмент планируемой системы состоит из сети малых станций и одной центральной станции при работе в одном луче космического ретранслятора. Поскольку сроки создания многолучевого спутника связи не определены, а перспективный спутник связи "Экспресс" по своей энергетике и организации

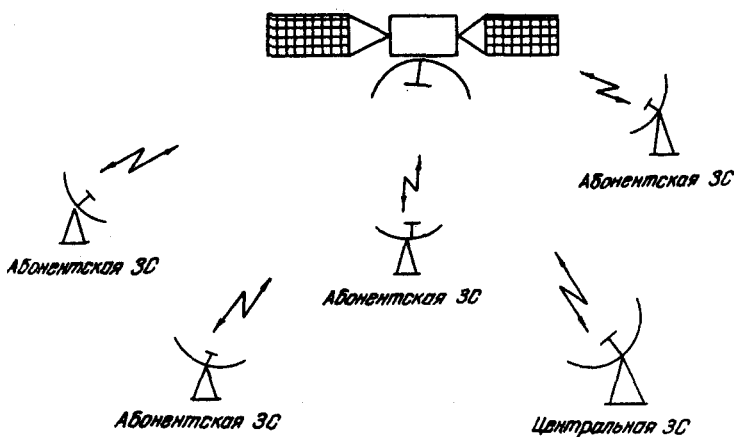


Рисунок. Структурная схема деловой системы спутниковой связи

инчем не отличается от ИСЗ "Горизонт", то сегодня целесообразно планировать работу сети в одном луче (см. рисунок).

Сеть малых станций представляет собой от 100 до несколько тысяч (1 - 4 тыс.) станций, взаимодействующих в одной системе с центральной станцией и между собой через центральную станцию. Количество станций в сети определяется их среднесуточным трафиком, т. е. в основном, количеством передаваемой информации, а в общем случае также количеством принимаемой информации, адресованной конкретной станции. Совершенно естественно, что пропускная способность канала прежде всего ограничит количество станций в сети.

Пропускная способность канала при известных энергетических параметрах ИСЗ "Горизонт" и известных характеристиках, существующих сегодня маломощных усилителей и передатчиков, определяется только диаметром антенны земной станции. При выборе же диаметра антенны широкой сети земных станций существеннейшим моментом является стоимость антенной системы.

В диапазоне диаметра зеркала антенны 1,5 - 2,5 м стоимость ее меняется незначительно. Поэтому предпочтительным является размер зеркала с диаметром 2,5 м, с точки зрения энергетики. При этом размере отсутствуют проблемы размещения земной станции в непосредственной близости от потребителя, даже на крыше здания.

Одна проблема возникает при использовании антенны с диаметром зеркала 2,5 м - необходимость использования автосопровождения из-за заметной неустойчивости положения ИСЗ на орбите. Учитывая, однако, незначительное увеличение стоимости из-за введения системы автосопровождения при заметном увеличении пропускной способности предпочтение следует отдавать использованию антенны 2,5 м.

Центральная земная станция является сердцем системы связи, так как только с ней или через нее могут работать малые станции. Энергетические показатели ее должны быть заметно выше параметров малых ЗС.

Управляющая станция или станция управления ИСЗ, как правило, не входит в систему связи и здесь обсуждаться не будет.