

УДК 629.7

© Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Кучеров Б.А.  
Artyushenko V. M., Abbasova T.S., Kucherov B.A.СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ  
СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

## MODERN TRENDS OF CORPORATE SATELLITE NETWORKS

**Аннотация.** Рассмотрены и проанализированы основные требования, предъявляемые к современным корпоративным сетям спутниковой связи. Показано, что при децентрализованной системе управление сетью распределено по всем станциям сети, что повышает ее живучесть, гибкость и надежность. С точки зрения оптимизации энергетических, частотных и масса-габаритных характеристик станций целесообразно использовать метод многостанционного доступа с кодовым разделением. Однако для повышения эффективности его использования необходимо применять методы регулирования мощности и скорости передачи земной станции. Получены выражения для расчета помехозащищенности, скорости передачи земных станций, работающих через ствол с обработкой сигнала на борту спутника.

**Annotation.** Considered and analyzed the basic requirements of today's corporate networks of satellite communication. It is shown that in the decentralized system, network management distributed to all stations on the network, which increases its durability, flexibility and reliability. From the point of view of optimizing the energy, frequency and mass-dimensional characteristics of the stations it is expedient to use the method of multiple access code division. However, to improve the efficiency of its use it is necessary to use methods of regulation of the power and speed the earth station. The expressions for calculation of noise immunity, transfer speed, earth stations operating through the barrel with signal handling on Board the satellite.

**Ключевые слова.** Корпоративная сеть спутниковой связи, центр управления, система передачи данных, спутник, помехозащищенность, прямая ретрансляция сигналов.

**Key words.** Corporate satellite network control center, data transmission system, satellite, immunity, direct relaying signals.

Современные тенденции развития средств телекоммуникаций характеризуются все возрастающим использованием систем спутниковой связи. Этому способствует такие преимущества спутниковых систем, как возможность передать высококачественную информацию в любую точку земного шара; гибкость сети по отношению к изменению ее конфигурации; независимость затрат на канал от расстояния; незначительное влияние атмосферы и географических особенностей окружающей местности на устойчивость приема и т.д.

Демонополизация связи привела к появлению на информационном рынке большого количества корпора-

ций и фирм, работающих через так называемые корпоративные сети спутниковой связи (КССС), обеспечивающие соединения не только внутри выделенной сети или сети общего пользования, но и международные соединения. Особенностью таких систем является построение комбинированных сетей, предназначенных для крупных корпораций и фирм, имеющих удаленные на большие территории филиалы и подразделения. Проведенный анализ показал, что на данный момент развития концепция управленческой деятельности корпоративной сети предусматривает совместное функционирование двух систем. В первой – база данных обслуживает должност-

Артюшенко Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и управляющие системы», Финансово-технологическая академия, тел: 516-99-46;

Аббасова Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и управляющие системы», Финансово-технологическая академия;

Кучеров Борис Алексеевич – аспирант, кафедра «Информационные технологии и управляющие системы» Финансово-технологическая академия.

Artyushenko Vladimir – doctor of technical sciences, professor, head of the "Information technology and control systems", Financial and technical academy, Tel: 516-99-46;

Abbasov Tatjana – Ph.D, associate professor of the department "Information technology and control systems" Financial and technical academy;

Kucherov Boris – graduate student of "Information technologies and control systems", Financial and technical academy.

ных лиц и специалистов в основном административно-управленческой и частично оперативной информацией. Во второй - осуществляется сбор, накопление и обработка оперативной информации в интересах пользователей нештатного центра управления, управления экстренного реагирования и др. Совместное функционирование этих двух систем должно осуществляться на базе единого управления, осуществляемого в Центре управления (ЦУ), на единых принципах информационного обмена.

Функции управления ЦУ КС образуют функциональный комплекс, который должен обеспечить основные режимы функционирования: режим повседневной деятельности; режим повышенной готовности; режим чрезвычайной ситуации. Функциональные задачи ЦУ КС разрабатываются для ситуационного центра ЦУ КС; региональных информационно-управляющих центров (РИУЦ); областных (республиканских, краевых) информационно – управляющих центров (ОИУЦ); городских (районных) абонентских пунктов (АП). На ЦУ управления КС дополнительно возлагаются следующие основные функции: решение комплекса функциональных задач федерального уровня; создание и ведение центрального банка данных большого объема, в том числе базы данных картографической информации; обеспечение взаимодействия ЦУ КС с функциональными и ведомственными подсистемами; организация связи между ЦУ КС и звеньями системы с использованием коммутируемых и выделенных каналов связи, а также коммерческих телекоммуникационных сетей; подготовка и ввод информации, поступающей в неформализованном виде.

Для обеспечения эффективного функционирования корпоративных сетей объекты, входящие в сеть, должны быть связаны не только коммутируемыми, но и разнесенными выделенными каналами передачи данных (основными и резервными). Однако при использовании выделенных каналов возрастают удельные затраты. Добиться относительно низких расходов на передачу данных при выполнении достаточно жестких требований по оперативности и готовности к передаче в настоящее время можно за счет использования в КС услуг телекоммуникационных сетей, работающих в режиме коммутации пакетов. Такие системы передачи данных (СПД) за счет применения цифровой обработки сигналов и временно-го уплотнения обеспечивают эффективное использование магистральных каналов связи, что позволяет заметно снизить удельные расходы на передачу данных, а автоматизация процессов оперативной маршрутизации пакетов позволяет свести к минимуму задержки в этих системах.

Системы передачи данных, базирующиеся на тех-

нике пакетной коммутации, специально ориентированы на многочисленные хаотичные связи, типичные для многоабонентских распределенных информационно-управляющих систем. Подключение абонентов к центрам коммутации пакетов таких СПД возможно обычными абонентскими линиями, а при больших удалениях - выделенными или коммутируемыми каналами. Протяженность таких линий и каналов будет относительно небольшой, что и позволит обеспечить требования по оперативности и готовности к передаче при достаточно низких удельных затратах. Особый интерес для КС представляют спутниковые СПД, позволяющие решить проблемы развертывания информационно-управляющих центров (ИУЦ) и АП в удаленных регионах и на мобильных объектах. Для этого корпоративная сеть спутниковой связи должна обеспечить глобальность.

Следующим функциональным параметрам при выборе спутниковой СПД является неукоснительное соответствие канальных протоколов международным стандартам. Другим важным аспектом функционирования глобальной СПД является уровень оперативно-технического управления сетью. Управление должно обеспечить эффективное использование ресурса ретранслятора (РТР) и предотвратить несанкционированный доступ к нему. Передаваемая по КС информация носит в основном конфиденциальный характер, поэтому необходимо обеспечить линейное шифрование передаваемой информации с целью предотвращения несанкционированного доступа к данным. Каналы КССС должны иметь соответствующий уровень помехозащиты и разведзащиты.

Спутниковые СПД находят все более широкое распространение в зарубежной практике построения географически распределенных систем благодаря совершенствованию и удешевлению их компонент, в частности, терминалов спутниковой связи с очень малой апертурой, получивших название VSAT (Very Small Aperture Terminal). Главными признаками VSAT являются небольшие антенны, малая средняя мощность излучения сигнала и относительно невысокая скорость передачи информации, достаточная для обслуживания одного или небольшой группы пользователей и, как следствие, низкая стоимость. Зарубежными фирмами выпускаются модификации VSAT, способные обеспечить скоростной обмен данными и передачу телевизионных изображений. Средства VSAT для информационного обмена между собой поддерживают специфические канальные протоколы (например, протокол со свободным доступом ALOHA), а для связи с абонентскими установками поддерживают протокольные соглашения типа X.25 и TCP/IP, соответ-

ствующие международным и промышленным стандартам. Благодаря этому спутниковые СПД легко интегрируются с другими СПД. Все это дает возможность сделать однозначный вывод о перспективности и необходимости широкого использования в КССС услуг современных СПД спутникового базирования [1, 2].

В прессе и на выставках широко рекламировался ряд отечественных проектов спутниковых СПД («Банкир», «Гонец», «Курьер», «Сокол», «Ямал», «Зеркало», «Руслан», «Звезда», «Марафон» и др.). Однако анализ возможностей этих систем показывает, что пока они не в полной мере удовлетворяют требованиям, предъявляемым к КССС. Для решения перечисленных выше задач КССС наиболее полно подходит единая система спутниковой связи второго этапа (ЕССС-2), созданная для обеспечения военной связи как в мирное, так и в военное время. Разработка базовых станций ЕССС-2 «Ливень» и «Легенда» была завершена еще в 1989 г, а с мая 1995 г. ЕССС-2 находилась уже в опытной эксплуатации [3].

Учитывая актуальность решения задачи связи с подвижными объектами наземного базирования планируется создание сети подвижной спутниковой связи на основе использования космических аппаратов (КА), ретрансляторов ЕССС-2 «Глобус», «Глобус-1» и «Меридиан», а также нового парка малогабаритных низкоэнергетических станций сантиметрового диапазона волн (СМВ) «Ливень-Л», «Легенда-МД», миллиметрового диапазона волн (ММВ) «Окуляр-У», «Окуляр-М», «Окуляр-Д», носимых станций «Барьер-Т», «Барьер-ТМ», «Легенда-2П», вертолетных станций «Винт-КС», работающих с коротких остановок и в движении [1, 3]. Для этих станций разрабатывался специальный комплекс интегральной аппаратуры помехозащиты, временного уплотнения, разуплотнения каналов и радио-АТС «Пакет». Аппаратура помехозащиты в составе комплекса «Пакет» обеспечивает режим помехозащищенной связи с использованием сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) и широкополосных сигналов (ШПС). Станции ЕССС-2 обеспечивают работу в стволах с обработкой сигналов на борту ретранслятора (ОСБ) и в режиме с прямой ретрансляцией (ПР) сигналов, включая связь по перекрестным схемам со станциями в стволах СМВ, ММВ и дециметрового диапазона волн (ДМВ).

Модернизированные станции «Ливень», а также станции ММВ диапазона «Окуляр» обеспечивают засекреченную телефонную, телеграфную, фототелеграфную связь и передачу данных, включая межмашинный обмен. Они могут работать в качестве узловых или конечных станций при передаче информации в одном из ство-

лов ОСБ в диапазонах 6, 8 ГГц или 40 ГГц и приеме в одно-двух стволах сигнала на отдельной несущей, модулированной по методу ФМ ШПС, или же передаваемого методом ППРЧ в диапазонах 4, 7, 20 ГГц. Во всех режимах работы узловые и конечные станции обеспечивают возможность приема специальных сигналов канала управления (КУ). В станциях реализованы новые, не используемые ранее режимы работы, такие как режим пакетной передачи при ППРЧ, режим сеансной связи и режим обмена в сетях передачи данных. Для обеспечения связи в режиме ПР через стволы 2, 3 КА «Глобус-1», а также в стволах РТР КА «Горизонт», «Экспресс» и «Ямал» разработана малогабаритная низкоэнергетическая станция «Легенда-2П».

Малогабаритные низкоэнергетические станции работают в системе, как правило, по принципу предоставления канала связи по требованию (ПКТ) или, еще говорят, радио-АТС. Анализ обобщенных требований КС показывает, что с точки зрения оперативно-тактических требований наиболее применима сеть, обеспечивающая реализацию принципа «каждый с каждым». В данной сети возможны все виды связи между корреспондентами. С точки зрения управления сетью связи с ПКТ типа «каждый с каждым» возможны варианты с централизованным и децентрализованным управлением. В централизованной сети ПКТ управление осуществляется с центральной станции, обеспечивающей управление ресурсом пропускной способности сети путем его распределения между абонентскими станциями, а также канальными модемами центральной станции. При такой организации управления снижается устойчивость, надежность и живучесть сети связи.

При децентрализованной системе управления сетью распределено по всем станциям сети, тем самым повышается ее живучесть, гибкость и надежность. Однако такая схема управления требует усложнения программно-аппаратных средств и радиотехнического оборудования на каждой станции. Так, в станциях, работающих в стволах с ПР сигналов с многостанционным доступом (МД), использующим частотное разделение (ЧР) сигналов, для реализации децентрализованного режима с ПКТ на всех станциях необходимо иметь автоматически по программе перестраиваемые по заданным частотам приемники, анализирующие состояние занятости выделенных для сети частот и наличие передачи на этих частотах вызовов, установку нескольких по числу приоритетов в сети приемных устройств и т.д., что оказывается неприемлемым для простых абонентских станций (АС).

С точки зрения оптимизации энергетических,

частотных и масса-габаритных характеристик станций целесообразно использовать метод многостанционного доступа с временным разделением (МД ВР). Однако при таком режиме требуется синхронизация в целом всей сети. Поэтому наиболее приемлем МД в режиме с кодовым разделением (КР). При такой организации МД не требуется анализ занятости частот, так как станции работают в одной выделенной полосе. При МД КР автоматически регулируется число работающих в полосе станций за счет того, что при превышении допустимого числа работающих станций снижается качество связи более слабых в энергетическом отношении станций. При воздействии помех, за счет уменьшения числа абонентов сети возможно обеспечить помехозащищенность оставшимся абонентам. ШПС имеют малую спектральную плотность мощности, что увеличивает их разведзащищенность и уменьшает вредное воздействие на соседние станции. Кроме того, станции, работающие с ШПС, в меньшей степени подвержены помехам от других радиоэлектронных средств. При кодовом разделении каждой станции сети легко назначить свой код, являющийся частью ШПС, так объем ансамбля ШПС, как правило, очень большой. При использовании аperiodических ШПС обеспечивается шифрация передаваемых сообщений.

Кодовое разделение каналов совместимо с частотным разделением. Возможна работа станций с ШПС и узкополосными сигналами в одной полосе частот, что обеспечивает включение в сеть станций различных разработчиков. При необходимости возможно разделение ШПС и по частоте путем выделения для отдельных групп станций своей полосы частот, в которой они работают с кодовым уплотнением сигналами меньшей базы. Однако при всей привлекательности МД КР с использованием ШПС он проигрывает по энергетике МД ВР. Поэтому для повышения эффективности применения РТР при использовании МД КР необходимо применять методы регулирования мощности и скорости передачи земной станции (ЗС).

**Расчет помехозащищенности направлений связи с прямой ретрансляцией сигналов**

Для разработки принципов регулирования мощности и скорости передачи информации земной станции, работающих через один ствол в режиме многостанционного доступа с кодовым разделением, рассмотрим основные энергетические соотношения в такой системе. Рассмотрим общий случай, когда через нелинейный ретранслятор с выходной мощностью  $P_o$  работают ЗС с частотным и кодовым уплотнением [5]. На вход бортового ретранслятора может воздействовать внешняя поме-

ха в любой части его входной полосы частот. Тогда выходная мощность ретранслятора может быть представлена в виде суммы

$$P_{о.вых.ртр} = P_{с.вых} + P_{н.вых} = P_{с.вых} (1 + P_{н.вых} / P_{с.вых}), \quad (1)$$

где  $P_{с.вых}$  – мощность сигнала рассматриваемой станции на выходе РТР;

$P_{н.вых}$  – мощность всех помех для данной станции, включая сигналы других своих станций и шум приемника РТР.

Введем обозначения:

$$\rho = P_{н.вх.1} / P_{с.вх} = (P_{н.вх.1} / P_{с.вх}) + (P_{н.вх.2} / P_{с.вх}) = \rho_1 + \rho_2, \quad (2)$$

где  $P_{н.вх.1}$  – мощность помехи на входе ретранслятора в полосе частот сигнала;

$P_{н.вх.2}$  – мощность помехи на входе ретранслятора вне полосы частот сигнала;

$\rho_1 = (P_{н.вх.1} / P_{с.вх})$  – отношение мощности помехи, попадающей в спектр сигнала к мощности сигнала ЗС на входе РТР;

$\rho_2 = (P_{н.вх.2} / P_{с.вх})$  – отношение мощности помехи на входе РТР вне полосы частот сигнала к мощности сигнала ЗС.

Влияние нелинейности борта принято оценивать числом, показывающим во сколько раз изменяется отношение сигнал/помеха (ОСП) при прохождении РТР

$$\gamma = [P_{с.вых} / P_{н.вых}] / [P_{с.вх} / P_{н.вх}] < 1. \quad (3)$$

Из (1) с учетом (2) и (3) можно получить, что

$$P_{с.вых} = P_{о.вых.ртр} [\gamma / (\rho + \gamma)]. \quad (4)$$

Отсюда

$$P_{н.вых} = P_{н.вх.1} + P_{н.вх.2} = P_{о.вых.ртр} [\rho / (\rho + \gamma)] = P_{о.вых.ртр} [(\rho_1 + \rho_2) / (\rho_1 + \rho_2 + \gamma)], \quad (5)$$

где  $P_{н.вх.1}$  и  $P_{н.вх.2}$  – мощности помехи на выходе ретранслятора, соответственно, в полосе частот и вне полосы частот сигнала.

Из (5) имеем:

$$P_{н.вх.1} = P_{о.вых.ртр} [\rho_1 / (\rho_1 + \rho_2 + \gamma)];$$

$$P_{н.вх.2} = P_{о.вых.ртр} [\rho_2 / (\rho_1 + \rho_2 + \gamma)]. \quad (6)$$

Таким образом, с выхода РТР на вход наземного приемника поступают сигнал (4) и помеха (6).

Известно, что качество приема дискретных широкополосных сигналов наземным приемником при условии малой нестабильности несущей частоты определяется отношением энергии сигнала  $E_{с.вх}$  к сумме спектральных плотностей мощности шума и помехи на входе решающего устройства демодулятора ЗС [6, 7]:

$$h_{зс} = E_{с.вх} / [N_{0.3} + (E_{н.вх.1} / B) + (E_{н.вх.ш} / B)] = P_{с.вх} T / l_{с-3} / [kT_{0.3} + (P_{н.вх.1} T / l_{с-3} B) + (P_{н.вх.ш} T / B)], \quad (7)$$

где  $E_{с.вх}$  и  $E_{н.вх.1}$  – соответственно, энергия сигнала и помехи, попадающей с выхода РТР в спектр сигнала;

$T$  – длительность сигнала;

$B=П_c T$  – база сигнала;

$П_c$  – полоса частот сигнала;

$l_{c-3}$  – затухание участка спутник – Земля, включающее в себя затухание в свободном пространстве, дополнительные потери, усиление передающей антенны спутника и приемной антенны наземной станции;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T_{03c}$  – температура шума приемника ЗС;

$E_{п.вх.вн}$  – энергия внешних помех, дополнительно действующих на вход ЗС.

Помеха, не попавшая в спектр сигнала в выражении (7), не учитывалась, так как она будет подавлена при фильтрации.

С учетом выражений (4) и (6) формулу (7) можно представить в виде

$$h_{3c} = Л / \{V_c k T_{03c} [1 + (A/BV_c k T_{03c}) + (P_{п.вх.вн} / k T_{03c} П_c)]\} = \\ = \partial_{c-3} V_c^{-1} \{[\gamma / (\rho_1 + \rho_2 + \gamma)] / [1 + \\ + [\rho_1 / (\rho_1 + \rho_2 + \gamma)] (\partial_{c-3} / П_c) + \rho_3 / (\partial_{c-3} / П_c)]\}, \quad (8)$$

где  $Л = P_{овыхртр} [\gamma / (\rho_1 + \rho_2 + \gamma)]$ ;

$\rho_3 = P_{п.вх.вн} / P_{овыхртр} l_{c-3}$  – превышение внешней помехи на входе приемника ЗС над сигналом РТР;

$V_c = 1/T$  – скорость передачи информационных символов в бодах;

$\partial_{c-3}$  – энергетический параметр участка спутник-Земля

$$\partial_{c-3} = P_{овыхртр} / l_{c-3} k T_{03c} \quad (9)$$

Далее найдем величину допустимого превышения внешней помехи над сигналом на входе РТР. Для этого из общей помехи выделим тепловой шум приемника РТР и сигналы других станций:

$$P_{п.вх.1} = P_{п.вх.вн.1} + \rho_{см.1} P_{свхртр} + k T_{ортр} П_c; \\ P_{п.вх.2} = P_{п.вх.вн.2} + \rho_{см.2} P_{свхртр} + k T_{ортр} (П_{ртр} - П_c), \quad (10)$$

где  $P_{п.вх.вн.1}$  и  $P_{п.вх.вн.2}$  – соответственно, мощность внешних помех в полосе и вне полосы сигнала на входе РТР;

$P_{свхртр}$  – мощность сигнала ЗС на входе РТР;

$\rho_{см.1}$  – отношение суммы мощностей сигналов станций, работающих в одной полосе частот с рассматриваемой станцией, к мощности сигнала этой же станции;

$\rho_{см.2}$  – то же для станций, работающих вне полосы частот с рассматриваемой станцией;

$T_{ортр}$  – температура шума приемника РТР;

$П_{ртр}$  – ширина полосы пропускания РТР.

Соотношения  $\rho_1$  и  $\rho_2$  с учетом (10) можно представить в виде

$$\rho_1 = P_{п.вх.1} / P_{свхртр} = (P_{п.вх.вн.1} + \rho_{см.1} P_{свхртр} + k T_{ортр} П_c) / P_{свхртр} = \\ = \rho_{п.вн.1} + \rho_{см.1} + (k T_{ортр} П_c / P_{свхртр}) = \rho_{п.вн.1} + \rho_{см.1} + П_c / \partial_{3-с}; \quad (11)$$

$$\rho_2 = P_{п.вх.2} / P_{свхртр} = (P_{п.вх.вн.2} + \rho_{см.2} P_{свхртр} + k T_{ортр} П_c) / P_{свхртр} = \\ = \rho_{п.вн.2} + \rho_{см.2} + (k T_{ортр} П_c / P_{свхртр}) = \rho_{п.вн.2} + \rho_{см.2} + П_c / \partial_{3-с} \quad (12)$$

где  $P_{перзс}$  – мощность передатчика ЗС;

$l_{c-3}$  – затухание на линии Земля-спутник, включающее

в себя затухание в свободном пространстве, дополнительные потери, усиление передающей антенны наземной станции и приемной антенны РТР;

$\rho_{п.вн.1} = P_{п.вх.вн.1} / P_{свхртр}$  – превышение внешней помехи, попадающей в спектр сигнала, над сигналом ЗС на входе РТР;

$\rho_{п.вн.2} = P_{п.вх.вн.2} / P_{свхртр}$  – превышение внешней помехи, действующей вне полосы частот сигнала, над сигналом ЗС на входе РТР;

$\partial_{3-с}$  – энергетический параметр участка Земля – спутник, определяющийся из выражения

$$\partial_{3-с} = P_{перзс} / l_{c-3} k T_{ортр} \quad (13)$$

Из (8) с учетом (11) и (12) получим следующее общее выражение для допустимого отношения мощностей внешней помехи на входе РТР, попадающей в спектр сигнала, и сигнала в зависимости от требуемого качества приема, определяемого параметром  $h_{3c}$  и остальных параметров линии спутниковой связи

$$\rho_{п.вн.1} = [A - \rho_{п.вн.2} - \rho_{см.2} - (П_{ртр} - П_c) / \partial_{3-с} - \rho_3 B(\partial_{c-3} / П_c)] \times \\ \times [(\partial_{c-3} / П_c) + 1 + \rho_3 B(\partial_{c-3} / П_c)]^{-1} - \rho_{см.1} - (П_c / \partial_{c-3}), \quad (14)$$

где  $A = (\partial_{c-3} / h_{3c} V_c) \gamma$ ;

$$B = \rho_{п.вн.2} + \rho_{см.2} + (П_{ртр} - П_c) / \partial_{c-3} + \gamma.$$

Если сигнал занимает всю ширину полосы пропускания РТР, т.е.  $П_c = П_{ртр}$ , то

$$\rho_{п.вн.1} = [(\partial_{c-3} / h_{3c} V_c - 1) \gamma - \rho_3 \gamma (\partial_{c-3} / П_c)] \times \\ \times [(\partial_{c-3} / П_{ртр}) + 1 + \rho_3 B(\partial_{c-3} / П_{ртр})]^{-1} - \rho_{см.1} - \\ - (П_{ртр} / \partial_{c-3}). \quad (15)$$

При отсутствии внешней помехи на участке спутник – Земля  $P_{п.вх.вн}$  выражение (14) примет вид

$$\rho_{п.вн.1} = [(\partial_{c-3} / h_{3c} V_c - 1) \gamma] \times \\ \times [(\partial_{c-3} / П_{ртр}) + 1]^{-1} - \rho_{см.1} - (П_{ртр} / \partial_{c-3}). \quad (16)$$

Допустимую величину превышения внешней помехи, действующей на вход наземного приемного устройства  $P_{п.вх.вн}$  над сигналом РТР  $P_{овыхртр} / l_{c-3}$  найдем из выражения (15), решив его относительно  $\rho_3$

$$\rho_3' = P_{п.вх.вн} l_{c-3} / P_{овыхртр} = [\gamma П_c - h_{3c} M] \times \\ \times [(M - \gamma) h_{3c} V_c]^{-1} - П_c / \partial_{c-3} \quad (17)$$

где  $M = \rho_{п.вн.1} + \rho_{см.1} + П_c / \partial_{c-3}$

Воспользовавшись полученной формулой (14), можно выразить скорость передачи информации через другие параметры линии спутниковой связи

$$V_c = \gamma \partial_{c-3} [(D + \rho_{п.вн.2} + \rho_{см.2} + (П_{ртр} - П_c) / \partial_{c-3} + \\ + \rho_3 B(\partial_{c-3} / П_c) h_{3c} + \gamma h_{3c}]^{-1}, \quad (18)$$

где

$$D = (\rho_{п.вн.1} + \rho_{см.1} + П_c / \partial_{c-3}) (\partial_{c-3} / П_c + 1 + \rho_3 \partial_{c-3} / П_c).$$

Таким образом, полученные выражения для расчета помехозащищенности, скорости передачи ЗС через прямой ствол РТР показывают, что они зависят от многих параметров самого РТР, параметров среды распро-

странения и параметров других ЗС, работающих через этот ствол.

**Расчет помехозащищенности направлений связи при обработке сигналов на борту ретранслятора**

При обработке сигналов на борту (ОСБ) ретранслятора с принятием решения о значении информационных импульсов радиолинию ЗС-РТР-ЗС можно рассматривать как две самостоятельные линии связи [5]: ЗС-РТР и РТР-ЗС. Общая вероятность ошибки при этом будет, очевидно, равна

$$W_{ош} = W_{РТР}(1 - W_з) + W_з(1 - W_{РТР}), \quad (19)$$

где  $W_{РТР}$  – вероятность ошибки приема символа на борту;

$W_з$  – вероятность ошибки приема символа на Земле.

При малых вероятностях ошибки

$$W_{ош} = W_{РТР} + W_з. \quad (20)$$

Вероятность ошибки на участке ЗС-РТР будет определяться отношением энергии сигнала к спектральной плотности всех помех

$$h_{ртр} = E_c / [kT_{о,ртр} + (E_n + \sum_{i=2}^n E_{c,i} / B)] =$$

$$= (\partial_{3,c} / V_c) [1 + (\rho_{вх,ртр} + \rho_{см,1}) (\partial_{3,c} / BV_c)]^{-1}. \quad (21)$$

Отсюда допустимое превышение мощности помехи над мощностью сигнала на входе РТР можно вычислить как

$$\rho_{вх,ртр} = (B / h_{ртр}) - \rho_{см,1} - (BV_c / \partial_{3,c}) =$$

$$= (\Pi_c / V_c h_{ртр}) - \rho_{см,1} - (\Pi_c / \partial_{3,c}). \quad (22)$$

Считаем, что помехи и сигналы станций, не попавшие в полосу частот рассматриваемой ЗС, полностью отфильтровываются.

В случае воздействия преднамеренных помех

только на вход приемника ЗС вероятность ошибки в радиолинии РТР-ЗС будет определяться отношением энергии сигнала к спектральной плотности мощности всех помех

$$h_{зс} = (P_{овых,ртр} / L_{с-з} V_{вРТР-ЗС}) / [kT_{о,зс} + P_{пвх,вн} / \Pi_c], \quad (23)$$

где  $V_{вРТР-ЗС} = V_c n$  – групповая скорость передачи информации на участке РТР-ЗС при временном уплотнении в бодах.

Решая (24) относительно  $P_{пвх,вн}$ , поделив затем на мощность сигнала с РТР ( $P_{овых,ртр} / L_{с-з}$ ), получаем допустимое превышение внешней помехи  $\rho_з$ , действующей на вход приемника ЗС, над сигналом при использовании временного уплотнения на РТР  $N$  станций:

$$\rho_з = P_{пвх,вн} L_{с-з} / P_{овых,ртр} = \Pi_c (\partial_{3,c} - V_c N h_{зс}) / V_c N h_{зс} \partial_{3,c} \quad (24)$$

При одновременном воздействии преднамеренных помех на вход РТР и вход ЗС следует вычислять вероятность  $W_{РТР}$  и  $W_з$ , пользуясь, соответственно, параметрами (21) и (23), и складывать их согласно (20).

**Выводы**

Таким образом, полученные выражения для расчета помехозащищенности ЗС, работающих через ствол с обработкой сигнала на борту, показывают, что помехозащищенность ЗС также зависит от многих параметров ретранслятора, параметров линии связи и других ЗС, работающих через один ствол. Однако в силу того, что параметры ретранслятора при обработке сигнала на борту определяются реализацией аппаратуры ОСБ, параметры системы в целом в меньшей степени поддаются регулированию.

*Литература*

1. *Спутниковая связь и вещание: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. / В.А. Бартнев, Г.В. Болотов, В.Л. Быков и др; Под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.*
2. *Артюшенко В.М., Кучеров Б.А. Информатизация управления группировкой космических аппаратов. // Прикладная информатика. – 2013. – №6 (48). – С.6–14.*
3. *Кантор Л.Я., Поволоцкий И.С. Системы персональной подвижной связи через низкоорбитальные ИСЗ // Вестник связи. – 1994. – №11.*
4. *Кириллов Н.Е. Помехоустойчивая передача сообщений по линейным каналам со случайно изменяющимися параметрами. – М.: Связь, 1971. – 256 с.*
5. *Пахомов И.С., Постюшков В.П. Непрерывное управление мощностью излучения передатчика в радиолинии с замираниями сигналов. // Радиотехника. Т. 36, N 4, 1981, С. 89 – 93.*
6. *Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.*
7. *Адаптивные фильтры: Пер. с англ./ Под ред. К. Ф. Н. Коуэна и П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.*

Материал поступил в редакцию 19. 05. 2014 г.