

ДОБАВЛЕНИЯ 1, 2, 3 и 4

СПРАВОЧНИК

Подвижная спутниковая служба (ПСС)

ДОБАВЛЕНИЕ 1 –

Системные аспекты цифровых подвижных земных станций

ДОБАВЛЕНИЕ 2 –

Методика получения критерия помех и критерия совместного использования частот для подвижной спутниковой службы

ДОБАВЛЕНИЕ 3 –

Помехи и шумы в морских подвижных спутниковых системах, использующих частоты в области 1,5 и 1,6 ГГц

ДОБАВЛЕНИЕ 4 –

Технические аспекты координации между подвижными спутниковыми системами, использующими геостационарную спутниковую орбиту



СЕКТОР РАДИОСВЯЗИ МСЭ

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Справки по вопросам радиосвязи

Обращайтесь по адресу:

ITU
МСЭ
Radiocommunication Bureau
Бюро радиосвязи
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

| | |
|------------|-------------------|
| Тел.: | +41 22 730 5800 |
| Факс: | +41 22 730 5785 |
| Эл. почта: | brmail@itu.int |
| Веб-сайт: | www.itu.int/itu-r |

Размещение заказов на публикации МСЭ

Обращаем внимание, что заказы не принимаются по телефону. Их следует направлять по факсу или электронной почте.

ITU
МСЭ
Sales and Marketing Division
Отдел продаж и маркетинга
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

| | |
|-------------------|------------------------|
| Факс: | +41 22 730 5194 |
| Эл. почта: | sales@itu.int |

Электронный магазин МСЭ: **www.itu.int/publications**

ДОБАВЛЕНИЯ 1, 2, 3 и 4

СПРАВОЧНИК

Подвижная спутниковая служба (ПСС)

- ДОБАВЛЕНИЕ 1 – Системные аспекты цифровых подвижных земных станций**
- ДОБАВЛЕНИЕ 2 – Методика получения критерия помех и критерия совместного использования частот для подвижной спутниковой службы**
- ДОБАВЛЕНИЕ 3 – Помехи и шумы в морских подвижных спутниковых системах, использующих частоты в области 1,5 и 1,6 ГГц**
- ДОБАВЛЕНИЕ 4 – Технические аспекты координации между подвижными спутниковыми системами, использующими геостационарную спутниковую орбиту**

СОДЕРЖАНИЕ

| | <i>Стр.</i> |
|--|-------------|
| ДОБАВЛЕНИЕ 13 – Системные аспекты цифровых подвижных земных станций..... | 3 |
| <i>Источник:</i> Отчет МСЭ-R М.921-2 (Соответствующий раздел Справочника по ПСС: пп. 4.2 и 4.5) | |
| ДОБАВЛЕНИЕ 2 – Методика получения критерия помех и критерия совместного использования частот для подвижной спутниковой службы..... | 21 |
| <i>Источник:</i> Отчет МСЭ-R М.1179 (Соответствующий раздел Справочника по ПСС: пп. 2.3 и 4.5) | |
| ДОБАВЛЕНИЕ 3 – Помехи и шумы в морских подвижных спутниковых системах, использующих частоты в области 1,5 и 1,6 ГГц..... | 31 |
| <i>Источник:</i> Отчет МСЭ-R М.764-2 (Соответствующий раздел Справочника по ПСС: п. 4.5) | |
| ДОБАВЛЕНИЕ 4 – Технические аспекты координации между подвижными спутниковыми системами, использующими геостационарную спутниковую орбиту | 41 |
| <i>Источник:</i> Отчет МСЭ-R М.1185 (Соответствующий раздел Справочника по ПСС: п. 2.3) | |

ДОБАВЛЕНИЕ 1

Системные аспекты цифровых подвижных земных станций

Резюме

В настоящем Добавлении представлены характеристики цифровой телефонной подвижной земной станции и подвижной земной станции с низким значением G/T . Включено также подробное описание примера применения упреждающей коррекции ошибок (FEC) для компенсации замирания вследствие многолучевости и системы расширенного группового вызова. В пп. 4.2 и 4.5 Справочника по ПСС поясняются основы проектирования систем ПСС. Целью настоящего Добавления является изложение принципов проектирования используемых в настоящее время цифровых систем ПСС, а также описание практических примеров проектирования.

Основные примеры проектирования цифровой подвижной земной станции

1 Введение

В настоящем Добавлении затрагивается ряд технических аспектов, связанных с характеристиками системы и каналов связи применительно к стандартам цифровых судовых земных станций (СЗС), в частности компромисс между предъявляемыми к системе требованиями эффективного использования емкости космического сегмента и выдвигаемыми пользователем требованиями в отношении малых габаритов и компактности судового оборудования.

Первоначальная морская спутниковая система связи была разработана для работы с СЗС, значение G/T которых составляло $-4 \text{ дБ(К}^{-1}\text{)}$. При этом предполагалось, что во вводимых позже стандартах цифровых СЗС будут указаны такое же или меньшее значение G/T и, возможно, меньшие размеры антенны, как представлено в краткой форме в таблице для случая системы Инмарсат.

ТАБЛИЦА 1
Сводка характеристик СЗС Инмарсат, принятых для целей настоящего Добавления

| Стандарт СЗС | Усиление антенны (дБи) | G/T (дБ(К ⁻¹)) | Возможности системы |
|--------------|------------------------|------------------------------|---|
| А | от 21 до 24 | -4 | Все виды общественной корреспонденции |
| В | 21 | -4 | Все виды общественной корреспонденции и цифровая связь, базирующаяся на передаче данных |
| М | от 12 до 15 | от -13 до -10 | Все виды общественной корреспонденции и цифровая связь, базирующаяся на передаче данных |
| С | 2 | -23 | Передача сообщений с низкой скоростью обмена данными |

В направлении берег-судно при том же типе модуляции было бы возможно обеспечивать такое же качество канала для СЗС с низким G/T , как и для СЗС, значение G/T которой составляет $-4 \text{ дБ(К}^{-1}\text{)}$, путем увеличения э.и.и.м. спутника в каждом канале. Вместе с тем, такой подход привел бы к уменьшению емкости канала системы, поскольку указанные в Таблице 1 морские спутниковые системы связи ограничивались по мощности.

В направлении судно-берег то же качество канала могло обеспечиваться путем повышения мощности от СЗС с низким G/T , но это привело бы к опасности радиации и вероятности увеличения уровня помех, причиняемым другим спутникам морской связи.

Следовательно, необходимо было рассматривать более эффективные методы модулирования и кодирования, способные обеспечивать организацию каналов с более низкими значениями отношения мощности несущей к плотности шума (C/N_0).

Концепции, указанные в Стандарте В и Стандарте С, были разработаны как обеспечивающие передачу и прием сигналов на базе цифровых методов модуляции и кодирования, а система Стандарта А использует ЧМ аналоговую модуляцию для телефонии. В обоих случаях предусматривалась система управления и сигнализации, отдельная от существовавшей в это время системы и имеющая иные характеристики канала, которые, как ожидалось, обеспечивали более высокую эффективность и емкость сигнализации. В системе Стандарта В предоставление каналов по требованию базировалось на прямых линиях с временным разделением каналов (ВРК), которые могли использоваться в каждой сети для централизованного или распределенного управления доступом. Такие линии, вместе с каналами сигнализации запроса (произвольный доступ) и ответа

(МДВР) судовой земной станции, также позволяют реализовать адаптивное регулирование мощности и процедуры идентификации спутникового сфокусированного луча. В системе Стандарта С информация связи и сигнализации объединяется в прямых ВРК и обратных линиях произвольного доступа с использованием методов автоматического запроса повторной передачи (ARQ).

В разделе 2 изложены технические основы проектирования цифровой системы. В разделе 3 рассматриваются аспекты бюджета линии, а в разделе 4 представлены качественные характеристики цифровой судовой земной станции для различных случаев G/T . В разделе 5 содержится описание системы связи Стандарта С Инмарсат. В разделе 6 изложена концепция системы расширенного группового вызова.

2 Основы проектирования цифровой системы

2.1 Концепция системы и прикладные аспекты

Цель введения Стандарта В заключалась в представлении средств для обеспечения являющихся последовательным развитием Стандарта А Инмарсат судовых земных станций для всех видов общественной корреспонденции, включая:

- телефонию, базирующуюся на цифровых методах модуляции, кодирования и обработки речи, включая передачу данных в диапазоне звуковых частот;
- передачу данных для низкоскоростной службы (до примерно 9,6 кбит/с), включая телексную и факсимильную связь.

Система сигнализации и план нумерации, принятые для судовой земной станции, должны были обеспечивать в береговых земных станциях (БЗС) взаимосвязь между спутниковыми каналами и соответствующими наземными сетями для телефонии, телекса и передачи данных, включая возможность межсетевое взаимодействие с цифровыми сетями с интеграцией служб (ЦСИС).

Кроме указанных выше основных служб предполагалось также, что система Стандарта В будет по-прежнему обеспечивать прочие возможности, доступные согласно Стандарту А, такие как передача сигнала тревоги в случае бедствия по телефону и телексу, высокоскоростная передача данных в направлении судно-берег со скоростью 56 кбит/с.

Ожидалось, что основные потребности служб, выраженные в форме использования космического сегмента, будут оставаться соответствующими телефонии. Введение цифровых методов откроет возможности экономии спутниковой мощности и ширины полосы или снижения требований к значению G/T и э.и.и.м. судовой земной станции либо сочетания этих вариантов.

Для поддержания субъективного качества телефонного канала, обеспечиваемого в настоящее время Стандартом А (см. Рекомендацию МСЭ-R М.547), предполагалось, что проектной задачей по Стандарту В станет телефония хорошего качества при номинальных условиях и низких углах места

спутника. Кроме того, предполагалось, что значение э.и.и.м. спутника, требуемое для обеспечения этих целей, будет сопоставимо со значением, требуемым согласно Стандарту А. Благодаря применению голосового управления и регулирования мощности в прямых линиях среднее значение э.и.и.м. спутника на канал будет далее уменьшаться до значения, меньшего, чем требуемое согласно Стандарту А.

Цифровая реализация оборудования судовой земной станции будет поддерживать широкий диапазон видов передачи данных.

2.2 Способы кодирования речи

Цифровые способы модуляции и кодирования речи могли обеспечивать показатели качества речи более эффективно по сравнению с аналоговой модуляцией. Применение эффективных цифровых способов кодирования речи обуславливало бы снижение потребностей в ширине полосы, что в сочетании с упреждающей коррекцией ошибок (FEC) также способствовало бы уменьшению значения отношения несущая – плотность шума (C/N_0), которое определяет требования к мощности спутниковой линии в направлении берег-судно – линии, имеющей наибольшие ограничения по мощности в системе. Такие способы также способствовали бы минимизации требований к э.и.и.м. судовой земной станции в направлении судно-берег. Ожидалось, что непрерывное развитие технологии цепей LSI сделает возможной экономически эффективную реализацию необходимых цифровых методов.

Один из выводов, который следовало сделать по результатам сравнения имеющихся способов кодирования речи, заключался в том, что требуемое качество речи могло достигаться при скорости кодирования речи 16 кбит/с и коэффициенте ошибок по битам (КОБ) около $10^{-2} - 10^{-3}$ и применении в качестве способа кодирования речи адаптивного кодирования с прогнозированием (APC) или полосного кодирования (SBC). Это также могло обеспечивать возможность уменьшения разнесения каналов до 20–25 кГц в зависимости от принятого способа модуляции и кодирования с FEC.

2.3 Способы модуляции

Рассматривались различные цифровые методы модуляции, применение которых было возможно в рамках Стандарта В, и проводилось сравнение результирующих характеристик производительности КОБ, эффективности использования ширины полосы и сложности оборудования.

Для передач в направлении берег-судно эффективным способом модуляции была определена 4-позиционная фазовая манипуляция (4ФМн) с фильтрами, но в силу ее изменяющихся амплитудных характеристик для передач в направлении судно-берег на судовой земной станции требовался бы линейный усилитель (Класса А). Вместе с тем, метод модуляции 4ФМн со сдвигом, характеризующийся меньшими вариациями амплитуды, был бы совместим с существующими усилителями (Класс А) и мог бы использоваться, вызывая лишь незначительные ухудшения спектральной эффективности и производительности КОБ.

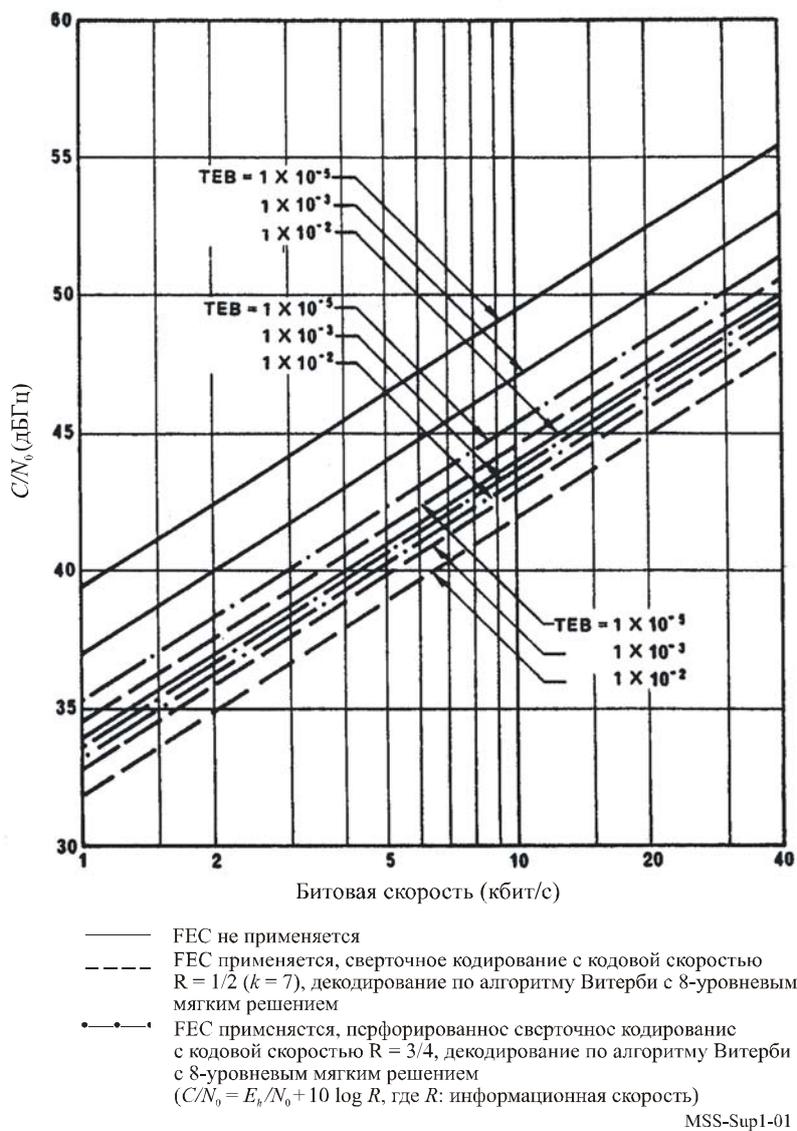
2.4 Способы FEC

Применение FEC к цифровым каналам для передачи речи в направлениях к и от судовой земной станции позволило бы существенно снизить значение C/N_0 , требуемое для удовлетворения критерия КОБ, определяемого заданным уровнем качества, независимо от принятых способов кодирования речи.

На Рисунке 1 показаны требования к C/N_0 для каналов с 2ФМн и 4ФМн при разных значениях битовой скорости, а также при применении FEC и в отсутствие FEC. Для практического применения следует включить дополнительно от 1 до 2 дБ в качестве запаса на реализацию, хотя в более поздних разработках предполагалось, что достаточным может быть запас величиной менее 1 дБ. Из рисунка следует, что способы FEC являются весьма эффективными для снижения значения C/N_0 при данной битовой скорости.

РИСУНОК 1

C/N_0 как функция битовой скорости



Сверточное кодирование со скоростью $R = 1/2$ (кодовое ограничение $k = 7$) с декодированием по алгоритму Витерби с мягкими решениями широко использовалось в спутниковых системах и являлось, вследствие этого, хорошо зарекомендовавшим себя способом; была возможна реализация в VLSI. Достижимый на практике выигрыш кодирования был близок к теоретически прогнозирувавшемуся: около 3,8 дБ при КОБ 10^{-3} на выходе и 5,2 дБ при КОБ 10^{-5} .

Кодирование по алгоритму Витерби со скоростью $R = 3/4$ в то время не применялось также широко, как FEC с $R = 1/2$, и требовало более сложной обработки. Получаемые на практике значения выигрыша кодирования составляли порядка 2,8 дБ при КОБ 10^{-3} на выходе и 4,3 дБ при КОБ 10^{-5} (то есть примерно на 1 дБ меньше, чем при $R = 1/2$), однако коэффициент расширения полосы был существенно уменьшен (то есть на 1,8 дБ меньше, чем при $R = 1/2$).

Кодирование со скоростью $R = 3/4$ возможно было значительно упростить при применении методов "перфорированного" кодирования к кодированию с базовой кодовой скоростью $R = 1/2$. Для этого требовалось исключение двух битов из каждых шести кодированных битов в потоке данных, кодированном со скоростью $R = 1/2$, передача оставшихся четырех битов со скоростью $R = 3/4$ и включение двух дополнительных битов в приемнике до декодирования по алгоритму Витерби со скоростью $R = 1/2$. Другим потенциальным применением являлась реализация кодеков с гибким переключением скоростей кодирования между значениями $1/2$ и $3/4$. Производительность КОБ при перфорированном кодировании была лишь немногим хуже по сравнению с методами неперфорированного кодирования, требуя дополнительных $0,2$ дБ E_b/N_0 при КОБ 10^{-5} и практически не вызывая ухудшения при КОБ 10^{-3} .

Было сделан вывод, что FEC со скоростью $3/4$ обуславливает значительные преимущества для систем Стандарта В, обеспечивая высокую спектральную эффективность и удовлетворительное использование мощности. FEC со скоростью $1/2$ могло быть пригодным для систем, имеющих большие ограничения по мощности, где уменьшение на 1 дБ требований к э.и.м. спутниковых и судовых земных станций могло быть достигнуто за счет менее эффективного использования ширины полосы.

Далее было отмечено, что после декодирования по алгоритму Витерби все ошибки, включая случайные ошибки, представляются в виде пачки ошибок. Также, поскольку ошибки в пачках и случайные ошибки по-разному воздействуют на качество передачи цифровых каналов, оно не может быть определено непосредственно с помощью КОБ.

Кроме того, в подвижной спутниковой связи возникают и случайные, и ошибки в пачках, что объясняется замиранием вследствие многолучевости. Следовательно, необходимо было оценить статистические характеристики пачки с ошибками после декодирования по алгоритму Витерби, учитывая вызываемый многолучевым распространением эффект замирания.

Характеристики ошибок на выходе после декодирования по алгоритму Витерби изучались экспериментально и статистически [Yasuda *et al.*, 1988]. По результатам исследований было выяснено, что пачка с ошибками в условиях замирания вследствие многолучевости по длине превышает период между двумя непрерывными не содержащими ошибок последовательностями, состоящими из более чем 20 битов. На Рисунке 2 показаны результаты измерений с помощью имитационных моделей, а в Таблице 2 представлены данные, не включенные в этот рисунок.

РИСУНОК 2

Измеренные значения функции распределение длины пачки с ошибками

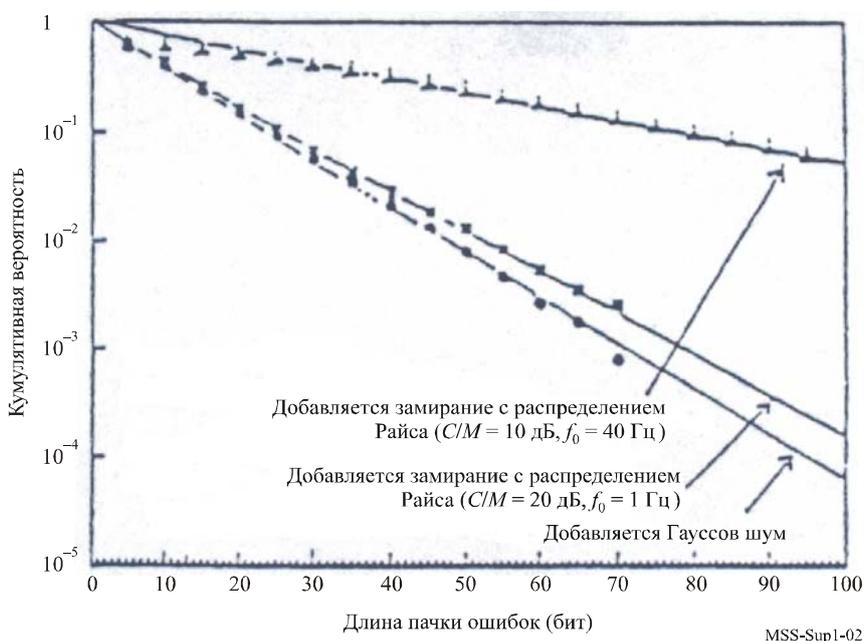


ТАБЛИЦА 2

Основные параметры измеряемой системы

| | |
|-------------------------|---|
| Информационная скорость | 16 кбит/с |
| Декодирование Витерби | – кодовое ограничение: 7 – скорость кодирования: 1/2 |

2.5 Пример проектирования по Стандарту В

В следующем ниже примере проектирования описана концепция системы Стандарта В, которая исследовалась в то время Инмарсатом.

Для обеспечения эффективной скорости 24 кбит/с в канале по спутниковой линии SCPC при условии несущих в направлении берег-судно канала со скоростью 24 кбит/с и регулировании мощности в зависимости от угла места судовой земной станции в пределах 15–16 дБВт на несущую при G/T судовой земной станции $-4 \text{ дБ}(\text{К}^{-1})$, в базовом телефонном канале используется кодирование речи типа 16 кбит/с APC с модуляцией 4ФМ со сдвигом и FEC со скоростью $R = 3/4$. Соответствующее требуемое э.и.и.м. судовой земной станции составляет 34 дБВт при работе со спутниками первого поколения Инмарсат. Для обеспечения приемлемых характеристик КОБ в канале в случае наличия помех по соседнему каналу минимальное разнесение каналов составляет 20 кГц.

В Таблице 3 показаны основные параметры канала передачи телефонных сигналов системы цифровой земной станции. В системе применяется кодирование речи со скоростью 16 кбит/с (с возможностью переключения на 9,6 кбит/с) при использовании адаптивного кодирования с прогнозированием с обеспечением минимального уровня искажений (APC-MLQ) [Yatsuzuka *et al.*, 1986], перфорированное сверточное кодирование с $R = 3/4$ (переключаемой на $R = 1/2$)/декодирование по алгоритму Витерби с мягкими решениями [Yasuda *et al.*, 1984] и 4ФМ со сдвигом (4ФМ со сдвигом, переключаемая на 4ФМ). Битовая скорость передачи составляет 24 кбит/с, что обуславливается скоростью аддитивных данных, равной 22,4 кбит/с, для кадровой синхронизации.

ТАБЛИЦА 3

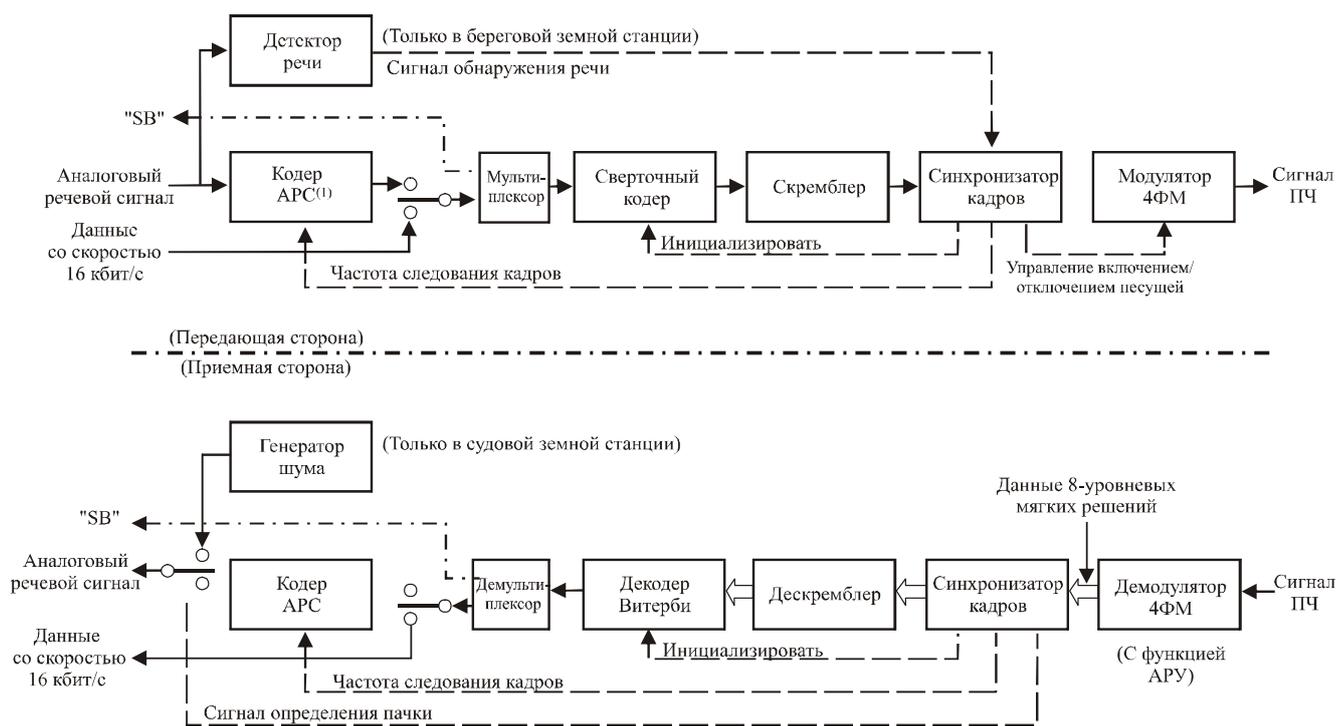
Основные параметры цифрового канала связи

| | |
|---------------------------|---|
| Информационная скорость | 16 кбит/с и 9,6 кбит/с |
| Кодирование речи | APC-MLQ (адаптивное кодирование с прогнозированием с обеспечением минимального уровня искажений) |
| FEC | Перфорированное кодирование со скоростью 3/4 и 1/2 ($k = 7$)/декодирование по алгоритму Витерби с 8-уровневым мягким решением |
| Модуляция | 4ФМ со сдвигом и 4ФМ |
| Фильтры TX/RX | Синусквадратный фильтр Найквиста с: 60% спадом для 4ФМ со сдвигом 40% спадом для 4ФМ |
| Битовая скорость передачи | 24 кбит/с |
| Разнос несущих | 20 кГц (минимум) |
| Рабочий режим | Работа с голосовым управлением в направлении берег-судно |

На Рисунке 3 представлена функциональная схема цифрового блока связи для этой системы. Кроме кодека APC-MLQ, кодека FEC и модема в составе береговой земной станции используется детектор речевого сигнала, который выполняет голосовое управление в направлении берег-судно, а в судовой земной станции предусмотрен генератор шума для обеспечения более реальных условий прослушивания. Голосовое управление позволит эффективно использовать мощность спутникового канала в направлении спутник-судно.

РИСУНОК 3

Функциональная блок-схема блока связи



⁽¹⁾ APC: адаптивное кодирование с прогнозированием

2.6 Перспективные области проектирования систем

В перспективных областях проектирования систем потребовалось проведение исследований по следующим направлениям:

- показатели качества речи для БЗС с уменьшенным G/T ;
- взаимодействие с наземными сетями;
- телеграфия и схемы сигнализации;
- дальнейшее развитие и субъективная оценка возможных способов кодирования, в частности при скорости около 9,6 кбит/с и ниже;
- воздействие возрастания замирания вследствие многолучевости с уделением особого внимания методам модуляции и кодирования;
- воздействие движения судна на характеристики качества антенны судовой земной станции.

3 Соображения относительно бюджета линии

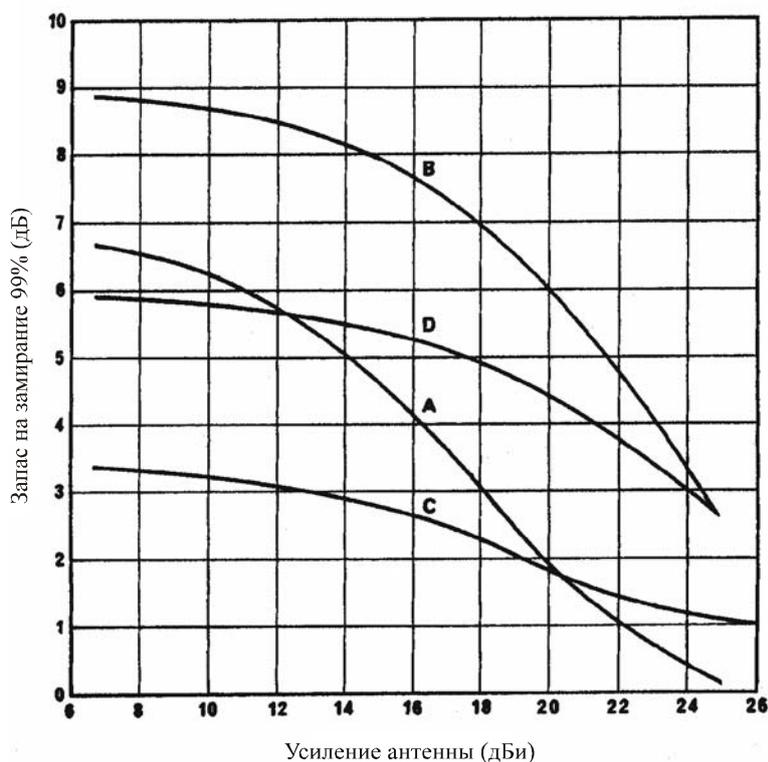
3.1 Характеристики замирания вследствие многолучевости

Концепции судовой земной станции Стандарта В и в особенности Стандарта С отражали общую в то время тенденцию к использованию систем с меньшими по размеру антеннами, которые, учитывая их ослабленную направленность, были бы более чувствительными, по сравнению с системами Стандарта А, к воздействиям замирания вследствие многолучевости.

На Рисунке 4 представлена простая модель замирания вследствие многолучевости, созданная исходя из теоретических соображений и с использованием полученных в ходе измерений данных (см. раздел 5 настоящего Добавления). Модель построена на основе антенны, направленность которой обеспечивает значения усиления в диапазоне 7–25 дБи, и показывает запасы на замирание (99% времени при замирании с распределением Райса-Найквиста) при умеренном волнении моря при угле места 5° и 10° . Также показаны возможные улучшения, обусловливаемые снижением в антенной системе уровня замирания вследствие многолучевости (метод изменения типа поляризации).

РИСУНОК 4

Характеристики замирания вследствие многолучевости
(99% времени при замирании с распределением Райса-Найквиста)



- Кривые A: угол места 10°
B: угол места 5°
C: угол места 10° с уменьшением замирания вследствие многолучевости (изменение вида поляризации)
D: угол места 5° с уменьшением замирания вследствие многолучевости (изменение вида поляризации)

MSS-Sup1-04

3.2 Характеристики ошибок наведения/слежения

Ошибки наведения/слежения для антенны судовой земной станции с пассивной схемой стабилизации, вызываемые движением судна, исследовались в Японии. Эти данные могли использоваться при определении потерь бюджета линии для типичных антенных систем.

3.3 Примеры бюджета линии

Примеры бюджетов мощности линии для обеспечения требуемого КОБ = 10^{-3} канала телефонной связи приведены для судовой земной станции Стандарта В (Случай 1: $G/T = -4$ дБ(К⁻¹)) и системы Стандарта М (Случай 2: $G/T = -10$ дБ(К⁻¹)), работающих через спутник Инмарсат второго поколения. В последнем случае показаны также потенциальные возможности улучшения качества линии (C/N_0) благодаря снижению уровня замирания вследствие многолучевости (изменение типа поляризации).

Несмотря на то что эти примеры бюджетов линии не строго соответствуют методу, описанному в Отчете МСЭ-R М.760, они показывают, что цифровые способы модуляции и кодирования открывают возможность существенной экономии мощности передачи спутниковой и/или судовой земной станции по сравнению с системой Стандарта А.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения в скобках для Случая 2 характеризуют случай применения способов снижения уровня замирания вследствие многолучевости.

4 Характеристики качества цифровой телефонной судовой земной станции

В данном разделе представлен пример концепции такой судовой земной станции, в которой используются эффективные способы обеспечения цифровой связи [Hirata *et al.*, 1984], и ее характеристики качества на основе эксперимента в полевых условиях с применением двух типов антенных систем (среднее усиление и высокое усиление).

4.1 Результаты эксперимента в полевых условиях [Yasuda *et al.*, 1987]

Эксперимент в полевые условия проводился с использованием спутника Инмарсат над Индийским океаном (INTELSAT V MCS-A) и следующей земной станции [Kashiki *et al.*, 1985]. Оборудование судовой земной станции было установлено на парусном судне водоизмещением 701 тонна.

В ходе эксперимента испытание прошли два типа судовой земной станции – с антенной высокого усиления и с антенной среднего усиления. В качестве антенны с высоким усилением использовалась параболическая антенна диаметром 85 см и усилением 20 дБи, которая обеспечивала $G/T -4$ дБ(К⁻¹) (аналогично СЗС Стандарта А Инмарсат). В качестве антенны со средним усилением использовалась модифицированная короткая антенна обратного осевого излучения диаметром 40 см с усилением 15 дБи, обеспечивавшая $G/T -10$ дБ(К⁻¹), которая была оборудована функцией снижения уровня замирания на основе изменения типа поляризации [Shiokawa *et al.*, 1982].

ТАБЛИЦА 4

Примеры бюджета линии для цифровых телефонных судовых земных станций

Угол места БЗС: 5°
Угол места СЗС: 10°

| Линия берег-судно | | |
|---|-----------------|-----------------|
| Стандарты СЗС | Случай 1 | Случай 2 |
| <i>Берег-спутник (6,42 ГГц):</i> | | |
| – Номинальное э.и.и.м. БЗС (дБВт) | 52,0 | 60,0 |
| – Потери в свободном пространстве (дБ) | 200,9 | 200,9 |
| – Атмосферное поглощение (дБ) | 0,4 | 0,4 |
| – G/T спутника (дБ(К ⁻¹)) | -14,0 | -14,0 |
| – C/N_0 на линии вверх (дБГц) | 65,3 | 73,3 |
| – C/IM_0 спутника (дБГц) | 60,5 | 68,5 |
| <i>Спутник-судно (1,54 ГГц):</i> | | |
| – Номинальное э.и.и.м. спутника (дБВт) | 13,0 | 21,0 |
| – Потери в свободном пространстве (дБ) | 188,9 | 188,4 |
| – Атмосферное поглощение (дБ) | 0,2 | 0,2 |
| – G/T БЗС (дБ(К ⁻¹)) | -4,0 | -10,0 |
| – C/N_0 на линии вниз (дБГц) | 49,0 | 51,0 |
| Общее C/N_0 без замирания (дБГц) | 48,6 | 50,9 |
| Потери на замирание (дБ) | 2,0 | 4,4 (2,7) |
| Общее C/N_0 с замиранием (дБГц) | 46,6 | 46,5 (48,2) |
| Линия судно-берег | | |
| Стандарты СЗС | Случай 1 | Случай 2 |
| <i>Берег-спутник (6,42 ГГц):</i> | | |
| – Номинальное э.и.и.м. БЗС (дБВт) | 31,0 | 26,0 |
| – Потери в свободном пространстве (дБ) | 188,9 | 188,9 |
| – Атмосферное поглощение (дБ) | 0,2 | 0,2 |
| – G/T спутника (дБ(К ⁻¹)) | -12,5 | -12,5 |
| – C/N_0 на линии вверх (дБГц) | 58,0 | 53,0 |
| – C/IM_0 спутника (дБГц) | 69,0 | 69,0 |
| <i>Спутник-судно (1,54 ГГц):</i> | | |
| – Номинальное э.и.и.м. спутника (дБВт) | -7,4 | -2,4 |
| – Потери в свободном пространстве (дБ) | 197,2 | 197,2 |
| – Атмосферное поглощение (дБ) | 0,4 | 0,4 |
| – G/T БЗС (дБ(К ⁻¹)) | 32,0 | 32,0 |
| – C/N_0 на линии вниз (дБГц) | 55,6 | 60,6 |
| Общее C/N_0 без замирания (дБГц) | 53,5 | 52,2 |
| Потери на замирание (дБ) | 2,0 | 4,4 (2,7) |
| Общее C/N_0 с замиранием (дБГц) | 51,5 | 47,8 (49,5) |

В Таблице 5 представлены основные параметры антенн с высоким и средним усилением.

ТАБЛИЦА 5
Основные параметры антенн с высоким и средним усилением

| | Антенна с высоким усилением | Антенна со средним усилением |
|-------------------------------------|---|--|
| Тип антенны | Параболическая, диаметр 85 см | Модифицированная короткая антенна обратного осевого излучения, диаметр 40 см |
| <i>G/T</i> | -4 дБ(К ⁻¹) | -10 дБ(К ⁻¹) |
| э.и.и.м. (максимальное значение) | 34 дБВт для случая усилителя мощности Класса С 31 дБВт для случая линейного усилителя мощности | 26 дБВт |
| Усиление антенны | 20,5 дБи | 15 дБи |
| Ширина луча антенны по уровню -3 дБ | 14° | 32° |
| Осевое отношение (луч-центр) | 1,8 дБ | 1 дБ |
| Выходная мощность передатчика | 25 Вт (усилитель мощности Класса С) 15 Вт (линейный усилитель мощности) | 20 Вт (линейный усилитель мощности) |

В качестве усилителя мощности передатчика земной станции для случая антенны с высоким усилением использовались либо усилитель мощности Класса С с возможностью регулирования мощности, либо линейный усилитель мощности на GaAs полевых транзисторах [Okinaka *et al.*, 1985], для антенны со средним усилением использовался линейный усилитель. Если использовался усилитель мощности Класса С, применялась 4ФМ со сдвигом, с тем чтобы избежать вторичного роста спектра модулированного сигнала в силу нелинейности усилителя мощности.

В заключение, результаты продемонстрировали эффективность цифровых способов с упреждающей коррекцией ошибок и кодированием речи для систем, в которых используются антенны со средним усилением, а также для использования антенн с высоким усилением.

4.2 Качественные характеристики экспериментальной судовой земной станции с низким *G/T*

В данном разделе представлена информация об условиях проведения испытаний с экспериментальной БЗС с малым *G/T*, составляющим -13 дБ(К⁻¹), Стандарта М, в которой используется антенна с широким лучом и цифровые способы модуляции.

Эта работа выполнялась совместно Министерством внутренних дел Соединенного Королевства (в настоящее время – Министерство торговли и промышленности), компанией British Telecom International (BTI) и Германской организацией аэрокосмических исследований (DFVLR).

Целью данных испытаний была демонстрация практичности этого типа БЗС и оценка их качественных характеристик при работе с битовой скоростью 2400 бит/с через морской спутник современного поколения как в условиях, преобладающих при больших углах места, то есть в основном без замирания, так и в условиях возникновения замирания вследствие многолучевости, преобладающих при малых углах места.

Некоторые результаты этих испытаний представлены в работе Hagenauer *et al.* [1984].

5 Системы связи Стандарта С Инмарсат

5.1 Обзор

Система связи Стандарта С была разработана с целью обеспечения возможности установки на борту самых малых судов системы двусторонней спутниковой связи. Она была также принята в качестве альтернативы БЗС Стандарта А для удовлетворения требований, содержащихся в поправках 1988 года к Конвенции СОЛАС 1974 года в отношении ГМБДД, в пределах зоны покрытия спутников Инмарсат. Терминалы Стандарта С, устанавливаемые на судах, к которым применима Конвенция СОЛАС 1974 года, должны соответствовать стандартам ИМО для рабочих характеристик БЗС Стандарта С Инмарсат, способных осуществлять связь с буквопечатающим оборудованием в обоих направлениях, (резолюция А663(16) Ассамблеи ИМО).

Система обеспечивает приложение двусторонней связи, базирующейся на передаче сообщений, которое было разработано с возможностью взаимодействия с Международной телексной сетью и широким диапазоном наземных сетей передачи данных. Кроме того, единственное приложение радиовещания на территории мирового океана, известное как расширенный групповой вызов, работает по каналам связи Стандарта С.

5.1.1 Кратко систему Стандарта С можно описать следующим образом

- a) G/T составляет -23 дБ(K^{-1}) при использовании малой всенаправленной антенны, позволяющей разработку оборудования с очень малыми габаритами;
- b) используются цифровые способы пакетной передачи с ВРК в направлении берег-судно и МДВР в направлении судно-берег как для данных сигнализации, так и данных сообщений;
- c) ожидаемой является хорошая производительность функции исправления ошибок при низких значениях отношения несущей к плотности шума благодаря использованию сверточного кодирования с $R = 1/2$ и перемежения;
- d) линия межстанционной (БЗС и сетевая координационная станция) связи обеспечивает обмен данными для целей управления системой;
- e) работе с использованием сфокусированного луча способствует автоматическая идентификация сфокусированного луча спутника при первом включении.

5.1.2 Эти методы обеспечивают работу следующих применений

- a) международный телекс;
- b) широковещательная передача текста
- c) интерактивный обмен данными и запросы к базе данных;
- d) приоритетное соединение для целей операций в случае бедствий.

5.2 Последствия принятых проектных решений

Принятие G/T на уровне -23 дБ(K^{-1}), накладывает ограничения на систему, создаваемую для работы с очень низкими скоростями передачи данных, и обуславливает следующие основные последствия принятых проектных решений:

- a) скорость передачи данных в прямом и обратном направлениях ограничивается значением 600 бит/с, которое при применении сверточного кодирования с $R = 1/2$ и перемежения обеспечивает достижение высокого коэффициента успешной доставки пакетов;
- b) в направлении берег-судно необходимо относительно высокое значение э.и.и.м. спутника, составляющее 21 дБВт.

5.3 Бюджеты линии

Анализ линии Стандарта С отличается от анализа типичной линии спутниковой связи, поскольку функционирование системы Стандарта С построено на базе ARQ. В обычной системе существует определенный пороговый уровень C/N_0 , обуславливающий качество обслуживания и считающийся пределом приемлемости; процент времени, в течение которого этот порог превышает, определяет готовность. В Стандарте С C/N влияет только на число повторных передач и, следовательно, на задержку сообщений и пропускную способность системы.

Варианты бюджета линий, представленные в Таблице 6 и Таблице 7 называются "худшим случаем", который определяется следующими параметрами:

- угол места БЗС и СЗС составляет 5° ;
- минимальные значения G/T и э.и.и.м.;
- худший случай загрузки приемопередатчика (то есть полностью загруженный приемопередатчик и канал, имеющий низшее значение отношения несущая/интермодуляционные помехи);
- 99% времени – приемлемость.

Следует отметить, что значение C/N_0 будет лучше для большинства случаев в течение большей части времени.

ТАБЛИЦА 6

**Бюджет "худшего случая" прямой линии
Прямая линия: 99% времени**

| | | |
|--|------------------|-------|
| э.и.и.м. БЗС | (дБВТ) | 60,4 |
| Потери на трассе | (дБ) | 200,9 |
| Потери вследствие поглощения | (дБ) | 0,4 |
| G/T спутника | (дБ(K^{-1})) | -15,0 |
| Среднее C/N_0 в линии вверх | (дБГц) | 72,7 |
| Среднее C/I_0 спутника | (дБГц) | 54,8 |
| Среднее э.и.и.м. спутника | (дБВТ) | 20,4 |
| Потери на трассе | (дБ) | 188,5 |
| Потери вследствие поглощения | (дБ) | 0,4 |
| G/T БЗС | (дБ(K^{-1})) | -23,0 |
| Среднее C/N_0 в линии вниз | (дБГц) | 37,1 |
| Номинальное C/N_0 в отсутствие замирания | (дБГц) | 37,0 |
| Потери вследствие помех | (дБ) | 0,5 |
| Общие случайные потери, RSS (99%) | (дБ) | 2,0 |
| Общее значение C/N | (дБГц) | 34,5 |
| Требуемое значение C/N_0 | (дБГц) | 34,5 |
| Запас | (дБ) | 0,0 |

ТАБЛИЦА 7

Обратная линия: 99% времени

| | | MCS | MARECS |
|--|------------------------|-------|--------|
| э.и.и.м. СЗС | (дБВт) | 12,0 | 12,0 |
| Потери на трассе | (дБ) | 189,0 | 189,0 |
| Потери вследствие поглощения | (дБ) | 0,4 | 0,4 |
| G/T спутника | (дБ(К ⁻¹)) | -13,0 | -11,0 |
| Среднее C/N_0 в линии вверх | (дБГц) | 38,2 | 40,2 |
| Среднее C/I_0 спутника | (дБГц) | 49,0 | 49,0 |
| Усиление приемопередатчика | (дБ) | 150,9 | 150,9 |
| Среднее э.и.и.м. спутника | (дБВт) | -26,5 | -26,5 |
| Потери на трассе | (дБ) | 197,2 | 197,2 |
| Потери вследствие поглощения | (дБ) | 0,5 | 0,5 |
| G/T БЗС | (дБ(К ⁻¹)) | 32,0 | 32,0 |
| Среднее C/N_0 в линии вниз | (дБГц) | 36,4 | 36,4 |
| Номинальное C/N_0 в отсутствие замирания | (дБГц) | 34,1 | 34,7 |
| Потери вследствие помех | (дБ) | 0,5 | 0,5 |
| Общие случайные потери, RSS (99%) | (дБ) | 1,7 | 1,7 |
| Общее значение C/N | (дБГц) | 31,9 | 32,5 |
| Требуемое значение C/N_0 | (дБГц) | 31,5 | 31,5 |
| Запас | (дБ) | +0,4 | +1,0 |

5.4 Система обработки сигнала

5.4.1 Особенности обработки сигнала

Вследствие применения для БЗС антенн с низким усилением обе – прямая и обратная – линии имеют ограничения по мощности, что следует из бюджетов линии. Для реализации прямого исправления ошибок, которое может обеспечить выигрыш кодирования порядка 5 дБ в линии при отсутствии замирания, используется сверточное кодирование с половинной скоростью (кодовое ограничение $k = 7$).

Каждый данный бит информации, проходя через кодирующее устройство, единственно влияет на группу из 14-ти идущих подряд символов, а поскольку ширина полосы замирания очень узкая, все 14 символов будут равным образом подвергаться воздействию замирания. Для разрешения описанной выше ситуации закодированные символы перед передачей собираются в блок. Затем они передаются в порядке, отличающемся от того, в котором они были собраны. Целью этого процесса является расширение передачи 14 символов, связанных с данным битом данных, до периода времени, превышающего длительность замирания.

Следовательно, поврежденными вследствие типичного замирания могут оказаться только некоторые из этих 14-ти символов, а предусматриваемая в передаваемом потоке символов избыточность позволяет восстановить исходный поток данных.

Вышеизложенное справедливо для каналов, работающих в непрерывном режиме с прямым ВРК, и для каналов передачи сообщений БЗС, работающих в квазинепрерывном режиме. Для канала сигнализации БЗС в пакетном режиме перемежение не применяется, поскольку пакеты слишком коротки, для того чтобы получить сколько-нибудь полезный результат.

Скремблирование данных применялось во всех каналах. Хотя оно и не требуется для рассеивания энергии вследствие низкой битовой скорости, оно необходимо в целях обеспечения нормальных переходов символов для восстановления синхронизации демодулятора. Сообщения с насыщенным содержимым (например, данные в табличной форме) могут взаимодействовать в устройстве перемежения для создания значительно более длинных последовательностей без переходов символов, чем те, которые могут ожидать в случае произвольных данных.

5.4.2 Результаты обработки сигналов

Для обеспечения возможности применения декодирования по методам максимального правдоподобия (таких, как алгоритм Витерби) было выбрано относительно небольшое кодовое ограничение ($k = 7$).

Свойством сверточных декодеров является генерирование ошибок в форме пачек, и разные результаты работы разных алгоритмов декодеров могут обуславливать широкий диапазон характеристик пачек ошибок.

Поскольку система Стандарта С по существу является пакетной системой с ARQ, основным параметром качества служит коэффициент ошибок по пакетам. На практике коэффициент ошибок по пакетам весьма сильно зависит от коэффициента ошибок по пачкам, но почти независим от количества битов в пачке. По этой причине коэффициент ошибок по битам не представляется пригодной мерой измерения для каналов подвижной связи Стандарта С.

В качестве основы для определения пределов качественных характеристик было принято, что декодер Витерби работает с 3-х битовыми выборками мягких решений.

5.5 Производительность FEC

Измерение производительности FEC с антенными системами Стандарта С служит средством компенсации воздействия замирания вследствие многолучевости. Эти измерения показывают, что для улучшения характеристик качества по ошибкам канала в линиях с замиранием системы Стандарта С потребуется применение FEC с перемежением. Производительность кодированной передачи с DECPSC (дифференциально-кодированная когерентная фазовая манипуляция) по морскому каналу Стандарта С измерялась с помощью испытательной установки, имитирующей канал DFVLR и оборудованной модемом новой конструкции с использованием петли Костаса, объединенной с петлей АПЧ в целях восстановления несущей и данных каналов передачи сигналов DECPSC (канал Рэлея, канал Райса-Накагами с $C/M = 6,3$ дБ), а также для репрезентативного выбора каналов, включая худший случай угла места, составляющего 4° , для всех протестированных антенн С3, С5, С11, С14 и испытаний при угле места 19° для антенн С3 и С11 (антенны Стандарта С со значениями усиления в дБ, как указано). Подробные сведения представлены в Отчете МСЭ-R М.762 и [Hagenauer *et al.*, 1984].

6 Система расширенного группового вызова

6.1 Обзор

Система расширенного группового вызова (РГВ) – это система глобальной широковещательной передачи данных для осуществления коммерческих групповых вызовов, глобального радиопоиска (FleetNET™) и распространения информации безопасности на море (SafetyNET™). Система является частью системы Стандарта С Инмарсат, и для передачи сообщений в направлении берег-судно в ней используется методы ВРК общего канала Стандарта С.

Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС) 1974 года с внесенными в 1988 году поправками требует, чтобы каждое судно было снабжено средствами радиосвязи для приема информации безопасности на море, передаваемой системой расширенного группового вызова Инмарсат, если судно перемещается в любом районе покрытия Инмарсат, но в котором не обеспечивается международное приложение NAVTEX. Приложение SafetyNET обеспечивает информацию безопасности на море, включая сигналы тревоги в случае бедствия в направлении берег-судно; навигационные и метеорологические предупреждения NAVAREA, а также обычные прогнозы погоды могут избирательно приниматься судовыми средствами. Приемники РГВ, установленные на борту судов, к которым применяется Конвенция СОЛАС 1974 года, должны удовлетворять стандартам рабочих характеристик ИМО для оборудования РГВ (Резолюция А. 664)16) Ассамблеи ИМО).

Система FleetNET™ позволяет коммерческим пользователям берегового базирования избирательно вызывать группы судов или отдельные суда, имеющие заранее присвоенные ID.

6.2 Описание системы

Сообщения РГВ передаются по общему каналу Стандарта С при использовании ВРК вместе с трафиком сигнализации Стандарта С. Это позволяет создавать терминалы РГВ на базе компактных недорогих приемников с низким G/T , благодаря используемым в них очень надежных способов модуляции и кодирования, применяемых для системы Стандарта С. Приемники могут быть функционально завершенными автономными блоками или встраиваемыми в БЗС Стандарта С или Стандарта А. Интеграция в БЗС Стандарта С необязательно требует второго приемника, поскольку приемник Стандарта С контролирует общий канал с ВРК, когда он не участвует в трафике. Сообщения РГВ направляются от наземной сети к сетевой координирующей станции Стандарта С через БЗС Стандарта С.

Эксплуатационная ширина полосы системы РГВ расширяется с 1530 до 1545 МГц при разнесении каналов 5 кГц. Соседние океанские районы будут иметь разные частоты для несущих РГВ. Частоты этих несущих хранятся приемником, так что они могут быть автоматически повторно настроены, если судно покидает один океанский район и входит в другой. Приемники имеют возможность хранить большое число частот для целей расширения и совместимости с будущими вариантами полезной нагрузки спутников со сфокусированным лучом.

6.3 Способы адресации

Существуют три следующих базовых метода адресации приемников РГВ:

- адресация по уникальному ID (FleetNET™);
- адресация по групповому ID (FleetNET™); и
- адресация по району (SafetyNET™).

Приемники РГВ, способные принимать коммерческие сообщения FleetNET™, имеют уникальный 24-битовый идентификатор и ряд 24-битовых идентификаторов группы. Идентификаторы группы могут загружаться и удаляться через спутниковую линию. Адресация в рамках приложения SafetyNET™ выполняется исключительно на основе географического района. Возможна адресация двух типов географических районов:

- a) заранее определенные географические районы, такие как районы NAVAREA, ИМО, области покрытия NAVTEX и области SAR;
- b) абсолютные районы определяются в форме координаты и расширения по широте и долготе (адресация прямоугольного района), или координаты и радиуса в морских милях (адресация кругового района).

Приемники могут автоматически настраиваться с помощью внешнего навигационного измерительного прибора, а операторы могут выбирать другие представляющие интерес районы, такие как лежащие вдоль расчетного курса судна.

6.4 Резюме

Система РГВ обеспечивает эффективные средства распространения информации безопасности на море и передачи коммерческих групповых вызовов в направлении берег-судно и сообщений системы поискового вызова. Судам, оборудуемым для приема сообщений РГВ, необходим лишь простой недорогой приемник или, как альтернатива, может использоваться соответствующим образом укомплектованная БЗС Стандарта А или Стандарта С Инмарсат.

Справочная литература

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRABEL, LOTS, PAPKE, W., PLOCHINGER and SCHWEIKERT, R. [November 1984] Multipath fading effects and data transmission for small ship earth stations (Standard C). DFVLR Final Report, 223 pages (in German). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, Federal Republic of Germany. Prepared under ESA/ESTEC Contract No. 5323/82/NL/JS.
- HIRATA, Y., YASUDA, Y., OKINAKA, H. and KASHIKI, K. [November 1984] A digital transmission system for global maritime satellite communications. *Proc. IEEE*, Vol. 72, 11, p. 1620-1626.
- KASHIKI, K., OKINAKA, H., YASUDA, Y., SHIOKAWA, T. and HIRATA, Y. [23 June 1985] Field test results on a digital transmission system for global maritime satellite communications. IEEE International Conference on Communications (ICC '85), 23-26 June, Chicago, ILL, United States of America, Conf. Record, Vol. 1, p. 16.5.1-16.5.7.
- OKINAKA, H. *et al.* [June 1985] A 1.6-GHz GaAs FET linear power amplifier for ship earth stations. p. 24.6.1-24.6.6, Chicago, ILL, United States of America.
- SHIOKAWA, T. and KARASAWA, Y. [May 1982] Ship borne antennas suppressing multi path fading in maritime satellite communication. IEEE/Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Albuquerque, NM, United States of America, p. 390-393.
- YASUDA, Y., KOMAGATA, H. and HAGIWARA, E. [1988] An experimental study on VITERBI decoder output error characteristics (in Japanese). *Trans. IEICE Japan*, J71-B, 2, p. 229-237.
- YASUDA, Y. *et al.* [March 1984] High-rate punctured convolution codes for soft decision Viterbi decoding. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-32, 3, p. 315-319.
- YASUDA, Y. *et al.* [November 1987] Performance characteristics of a digital voice-grade ship earth station. (submitted to the IEEE GLOBECOM '87 Conference, Tokyo).
- YATSUZUKA, Y. *et al.* [May 1986] 16 kbit/s high quality voice encoding for satellite communication networks. 7th Int. Conf. Digital Satellite Common., Munich, p. 271-278.

ДОБАВЛЕНИЕ 2

Методика получения критерия помех и критерия совместного использования частот для подвижной спутниковой службы

Резюме

В настоящем Добавлении представлена методика получения критериев помех и совместного использования частот для подвижной спутниковой службы. Учитывая, что уровни полезного сигнала и помехи меняются под воздействием многих факторов, критерий помех выводится для двух процентных значений времени: для долговременного периода работы и кратковременного периода работы. В разделе 3 настоящего Добавления поясняется принцип, лежащий в основе критерия, учитывающего общие помехи. Также в данном Добавлении описываются критерии помех как для служебных линий, так и для фидерных линий. Кроме того, приводятся обуславливающие распространение факторы, которые следует учитывать при определении критерия помех. Описан ряд элементов, относящихся к пороговым уровням, обуславливающим необходимость координации, и координационным расстояниям.

Метод получения критериев помех и совместного использования частот для подвижной спутниковой службы

1 Введение

Для обеспечения служб, удовлетворяющих различные потребности в связи подвижных земных станций воздушных судов, судовых или сухопутных подвижных земных станций, в подвижной спутниковой системе (ПСС) может использоваться широкий спектр каналов. Могут создаваться каналы передачи данных управления сетью, каналы факсимильной связи, каналы передачи видео и речи. Связанные с этими каналами показатели качества и характеристики линии могут различаться и, следовательно, может различаться устойчивость каждого вида связи к помехам. В настоящем Добавлении предлагается структурированный подход к разработке критериев помех и совместного использования частот для подвижной спутниковой службы. Рассматриваются статистические аспекты и приводится описание методик определения максимальных допустимых уровней мощности суммарной и единичной помехи.

2 Статистические аспекты

Уровни мощности полезного сигнала и шума меняются в ПСС под воздействием эксплуатационных и внешних условий таким образом, что характеристика качества системы наилучшим образом описываются как статистический параметр. Уровни мощности сигналов помехи меняются по аналогичным причинам. Следовательно, критерий помех должен определяться по двум компонентам:

- a) пороговый уровень, который определяет предел мощности сигнала помехи; и
- b) процент времени, а для сухопутной подвижной спутниковой службы (СПСС) – процент местоположений, определяющие вероятность превышения порогового уровня помех. Критерий должен разрабатываться для по крайней мере двух процентных значений времени и местоположений, с тем чтобы контролировать изменчивость помехи и абсолютные уровни качества.

"Долговременный" критерий используется для установления максимального допустимого уровня помехи, который не должен превышать в течение более чем $X\%$ времени и, если применимо, в случае СПСС – в более чем $Y\%$ местоположениях. Доля времени (и местоположений) соответствуют значениям для долговременного показателя качества (например, 10%–50%). Эти уровни помех и долговременные уровни мощности полезного сигнала и шума определяют долговременный показатель качества системы.

"Кратковременный" критерий используется для установления максимального допустимого уровня помехи, который не должен превышать в течение малого процентного значения ($M\%$) времени (а в случае СПСС – в $N\%$ местоположений).

Долговременный и кратковременный критерии помех должны разрабатываться как для общей помехи (то есть помехи от всех источников), так и для единичной помехи (то есть помехи от одного источника).

3 Принцип, лежащий в основе критерия, учитывающего общие помехи

Показатели качества для цепей связи выражаются в пороговых значениях качества групповой полосы и связанных с ними процентах времени и местоположений, для которых эти пороговые уровни могут превышать. Эти показатели могут быть преобразованы в отношения значения мощности полезного сигнала к сумме значений мощности шума и эквивалентного шумоподобного сигнала помехи. Бюджеты мощности линий системы, которые связаны с долями времени и местоположений, определенными в показателях качества, могут рассчитываться для типичных систем, с тем чтобы определить достижимое качество в отсутствие межсистемных помех (например, согласно Отчету МСЭ-R М.760). Кроме того, допустимые уровни межсистемных помех должны статистически

включаться в бюджеты мощности этих линий в целях сравнения требуемых и достигаемых уровней качества. Это взаимоотношение определяется следующим уравнением при предположении, что суммарное воздействие множественных сигналов помех является шумоподобным.

$$\frac{C}{(N+I)_t}(p) = \left[\left(\frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{mob} + \left(\frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{fdr} \right]^{-1} (p), \quad (1)$$

где символы "mob" и "fdr" означают параметры служебной линии (то есть линии 1,5/1,6 ГГц) и фидерной линии, соответственно, и:

$C/(N+I)_t(p)$: отношение (числовое) мощности полезного сигнала к мощности суммарного шума плюс суммарной помехи, которое должно превышать всегда и везде кроме доли p времени и местоположений:

N/C : отношение (числовое) общей мощности межсистемного шума к мощности полезного сигнала (относится к качеству, достигаемому в отсутствие межсистемных помех);

I/C : отношение (числовое) мощности суммарного сигнала помехи к мощности полезного сигнала.

Качество системы в отсутствие межсистемных помех (то есть, значения N/C в уравнении (1)) ограничивается различными внутрисистемными ухудшениями качества (то есть тепловой шум приемника, интермодуляционный шум и т. д.). Дополнительные внутрисистемные ухудшения возникают в системах с повторным использованием частоты (например, между сфокусированными лучами спутниковой антенны). Следовательно, аналогично случаю фиксированной спутниковой службы, к системам с повторным использованием частоты могут применяться разные критерии помех. В любом случае в целях обеспечения возможности для разработчика и оператора системы удовлетворительно контролировать качество ухудшение качества, связанное с допустимым уровнем помех, не должно превышать некоторой части внутрисистемного ухудшения.

В спутниковой службе исследования Земли и метеорологической спутниковой службе существует прецедент установления долговременного допуска для помех, составляющего 25% или более от общего уровня мощности шума плюс помех. В фиксированной спутниковой службе (ФСС), где наблюдается высокий спрос на интенсивно используемые ресурсы орбиты и спектра, разрешается 35% долговременного общего шума в телефонном канале ЧРК/ЧМ в результате межсистемных помех, или 30% в случае систем с повторным использованием частоты (Рекомендации МСЭ-R S.353 и МСЭ-R S.466). Эти процентные значения образуют: до 10% – помехи наземной фиксированной сети, а остаток величиной от 20% до 25% – помехи фиксированной спутниковой сети. Вместе с тем, рассматривая использование таких отношений мощности помех к общей мощности шума плюс помех для подвижных спутниковых служб, следует тщательно оценивать воздействие на качество и пропускную способность системы (для данного уровня качества).

Качество линии может ухудшаться до уровней, относящихся к порогу качества, вследствие замирания полезных сигналов или возрастания уровней сигналов помех. Запасы качества должны проектироваться так, чтобы помехи не приводили к ухудшению линии ниже показателей качества.

4 Разработка бюджета помех

4.1 Распределение бюджета между фидерными и служебными линиями

Распределения фиксированной спутниковой службы обычно используются для фидерных линий; следовательно, на каждую половину канала (линия вверх или линия вниз) воздействуют разные помехи, и к ним могут применяться разные критерии помех.

Соображения относительно долговременных помех затрагивают также требования к C/N и C/I цепей подвижной спутниковой связи. Кратковременное экранирование и явления многолучевости могут определять бюджеты C/N и C/I линий в полосах 1,5/1,6 ГГц, особенно для сетей в сухопутной подвижной спутниковой службе. Кроме того, если используются фидерные линии выше 10 ГГц, кратковременное замирание вследствие затухания в дожде может воздействовать на бюджеты шума и помех фидерной линии.

Базовым соображением при разработке подвижных спутниковых систем является то, что чистое значение C/N (включая составляющие C/I) должно в основном устанавливаться служебными линиями, то есть фидерные линии должны вносить лишь незначительное ухудшение (компромиссы при проектировании системы, например, учет весьма низкого э.и.и.м. фидерной линии в направлении космос-Земля в ранних системах обязательно затрагивает данный аспект проектирования).

4.2 Критерий для служебных линий

Уровни мощности полезного сигнала при частоте 1,5/1,6 ГГц обычно претерпевают быстрые изменения в широком диапазоне значений. То же справедливо в отношении сигналов помех на этих частотах, которые, как правило, изменяются независимо от полезных сигналов. Следовательно, при данном требовании к качеству для служебной линии (то есть выведенном с использованием уравнения (1), показателей качества и распределения бюджета между фидерными и служебными линиями), допустимый уровень совокупной помехи может быть определен методами статистического анализа полезных сигналов и сигналов помех. Далее, исходя из принятого числа источников помех, можно выполнить статистический анализ для определения допустимых уровней единичной помехи. В Приложении 1 к Отчету МСЭ-R М.1179 содержится описание порядка определения этих бюджетов помех. Описание пороговых уровней, обуславливающих необходимость координации, представлено в разделе 7.

4.3 Критерии для фидерных линий

В фидерной линии вниз уровень мощности полезного сигнала, как правило, претерпевает те же изменения, что и сигнал служебной линии вверх, если приемопередатчик используется в квазилинейной области. Следовательно, для фидерных линий вниз должна использоваться та же методика, что и для служебных линий вверх.

В фидерных линиях вверх, где уровень полезного сигнала находится в пределах порядка 1 дБ от его среднего значения в течение большого процента времени (например, >95%), при определении критерия помех можно использовать упрощенные допущения. В частности, допустимые "долговременные" уровни мощности общей помехи могут базироваться на анализе качества, ожидаемого для среднего значения полезного сигнала. "Кратковременные" критерии помех могут устанавливаться на основании анализа качества в отсутствие затухания, что объясняется малой суммарной вероятностью повышения уровней помех до значений, наблюдаемых только для малых процентов времени, при замирании полезного сигнала до уровней, существующих только для малых процентов времени. В разделе 6 представлен способ определения критерия помех на основе этих допущений.

5 Определение критерия помех

В данном разделе настоящего Добавления рассматривается определение критерия помех для служебных линий, работающих в полосах частот 1,5/1,6 ГГц и фидерных линий вниз.

5.1 Введение

В подвижных спутниковых системах работающих в части спектра 1,5/1,6 ГГц, потребуется совместить большое число разнообразных эксплуатационных требований, которые включают оба способа модуляции (аналоговый и цифровой), различные значения ширины полосы и скорости передачи данных, а также разнообразные уровни мощности передатчика. В разных каналах, используемых в служебных линиях в подвижных спутниковых системах, значения э.и.и.м., ширины полосы и запасов по характеристикам существенно меняются. Каждый тип линии должен оцениваться отдельно. Вместе с тем, ожидается, что будет определен ряд типов линий, имеющих аналогичные критерии помех.

5.2 Создающие помехи службы, которые следует рассматривать

Помехи служебным линиям подвижной спутниковой системы, работающей в полосах 1,5/1,6 ГГц, возникают вследствие излучений космических станций и подвижных земных станций, работающих в других подвижных спутниковых системах. Помехи служебным линиям, работающим в определенных частях полос частот 1,5/1,6 ГГц, возникают также вследствие излучений систем фиксированной службы, функционирующих в конкретных географических областях. Помехи фидерным линиям вниз могут создаваться другими службами, работающими в этих полосах.

5.3 Факторы распространения

На сигналы служебных линий подвижных спутниковых систем негативное воздействие оказывают в основном отражение и рассеяние, обусловливаемые особенностями окружающей местности (например, земля, океаны и здания), экранирование, создаваемое препятствиями (например, здания и деревья) вдоль трассы Земля-космос, и дифракция от близко расположенных предметов. На эти линии также воздействуют, но в значительно меньшей степени на частотах 1,5/1,6 ГГц, ионосфера, тропосфера и поглощение. В Рекомендациях МСЭ-R P.680 и МСЭ-R P.681 описаны эффекты распространения, возникающие в морской и сухопутной среде на частотах выше 100 МГц, соответственно. Воздушная среда рассматривается в Рекомендации МСЭ-R P.682. Наиболее жестко, сравнивая эти три среды, эффекты распространения проявляются в сухопутных подвижных спутниковых линиях.

Статистика потерь при распространении зависит от условий в данной местности. Теоретические исследования и измерения этих линий показывают, что многолучевые сигналы подчиняются закону распространения Рэля. Средняя мощность многолучевых сигналов относительно мощности сигналов, распространяющихся по линии прямой видимости (LoS) без затухания, зависит от диаграммы направленности антенны, угла места антенны и характеристик физической среды, обуславливающей рассеяние многолучевых сигналов. Если приемная антенна способна различать сигнал в условиях многолучевости, а сигнал LoS не испытывает чрезвычайного замирания, распределение огибающей принимаемого сигнала можно моделировать по функции распределения

Райса-Накагами. Измерения показывают также, что распределение мощности сигнала LoS в условиях экранирования (например, деревьями или иными препятствиями) хорошо аппроксимируется с помощью логарифмически нормального распределения. Следовательно, для всех условий статистическое отклонение огибающей принимаемого сигнала может моделироваться как сложный процесс. Флуктуации мгновенных значений мощности принимаемого сигнала могут моделироваться как процесс Райса-Накагами, в котором распределение амплитуды "постоянного" сигнала принимается соответствующим логарифмически нормальному распределению. Довольно детальное описание математических аспектов этого сложного процесса представлено в Рекомендации МСЭ-R P.1057.

Вместе с тем, следует отметить, что эти математические модели могут оказаться недостаточно точными, особенно при чрезвычайно высоких и низких уровнях сигналов, когда вероятность возникновения таких уровней весьма мала.

На уровне сигналов помех будут воздействовать те же факторы распространения. Тем не менее, уровень сигнала помехи прямой видимости (LoS) может использоваться в качестве представительного значения для большего периода времени в случаях, когда мы рассматриваем помехи от других подвижных спутниковых сетей, при условии что угол места трассы полезного сигнала и трассы сигнала помехи не слишком мал (например, $<5^\circ$).

При рассмотрении кратковременного критерия помех следует принимать в расчет краткие увеличения уровней помех вследствие механизмов многолучевости, особенно в случаях, когда подвижная земная станция находится над морем. В таких условиях возможны увеличения до 5 дБ выше уровня LoS.

Проводя анализ, следует учитывать влияние разницы между углами места полезного сигнала и сигнала помехи или избирательности антенны земной станции и являющейся следствием разницы функций распределения полезного сигнала и сигнала помехи. Углы места следует учитывать, если применяется критерий совместного использования частот, однако влияние избирательности антенны земной станции может быть учтено в критерии помех. Кроме того, необходимо включать в анализ воздействие внутрисистемного шума.

Общие уровни помех могут определяться путем конволюции функций плотности вероятности принятой отдельной помехи. Эти соотношения требуемого качества и уровней суммарной и единичной помехи могут использоваться для определения допустимых уровней помех, создаваемых служебными линиями.

6 Определение критерия допустимой единичной помехи для фидерной линии вверх

6.1 Распределение критериев помех между космическими и наземными службами

Распределение частот Земля-космос для подвижной спутниковой службы, как правило, требует совместного использования частот с подвижными спутниковыми системами, с системами наземных служб и в некоторых случаях – с системами других космических служб. Может быть выполнено начальное деление на кратковременный (усиленный) и долговременный (близкий к медиане) критерии помех для установления бюджетов помех для космической службы и наземной службы. Эта процедура упрощает определение соответствующего критерия совместного использования частот и обуславливающих необходимость координации пороговых значений для космической и наземной систем, которые, как правило, представлены различными числами и которые могут создавать вероятность помех разной интенсивности.

Для проведения такого деления могут использоваться следующие уравнения:

$$I_s(x) = I(x) \cdot \frac{A_s}{100} \quad (2)$$

$$I_t(x) = I(x) - I_s(x), \quad (3)$$

где:

- I_s : бюджет помех (W) для космической службы;
- I_t : бюджет помех (W) для наземной службы
- A_s : процентная доля всего бюджета мощности помех, распределенного космической службе;
- $I(x)$: общий допустимый уровень мощности помех (W), который не должен превышать в течение более чем $x\%$ времени, где значение x связано с долговременным показателем качества.

$$I_s(p_s) = I(p) - I_t(x) \quad (4a)$$

$$I_s(p_t) = I(p) - I_s(x) \quad (4b)$$

$$p_s = p(a_s / 100) \quad (5a)$$

$$p_t = p - p_s, \quad (5b)$$

где:

- p : процентная доля времени, связанная с кратковременным критерием помех;
- p_s : процентная доля времени, в течение которого космические службы могут превышать пороговый уровень помех;
- p_t : процентная доля времени, в течение которого наземные службы могут превышать пороговый уровень помех;
- a_s : часть (%) процентной доли времени p , распределенного космическим службам;
- $I(p)$: общая мощность помех (W), превышение которой возможно не более чем на $p\%$ времени (то есть, кратковременный критерий помех).

В уравнениях (2) и (3) долговременный критерий помех разделяется на основе мощности по категориям помех для космической и наземной служб. Основанием является тот факт, что можно ожидать одновременного наличия этих уровней долговременных помех космической и наземной служб.

Кратковременный критерий помех разделяется в уравнениях (4) и (5) на основании процентной доли времени для категорий помех космической и наземной служб. Маловероятно, что кратковременные усиленные уровни помех будут возникать одновременно и для космической, и для наземной служб вследствие некоррелированных механизмов, обуславливающих эти усиления. Вместе с тем, при установлении для наземных служб бюджета кратковременных помех должны учитываться помехи от

космических служб на их долговременном уровне; аналогично в отношении помех от наземных служб космическим службам. Таким образом, в уравнениях (4а) и (5а) долговременные помехи, связанные с космической службой, принимаются являющимися аддитивными с кратковременными помехами, связанными с наземной службой.

Значения для определения пропорций мощности помех (I_s и I_t) и пропорций времени (p_s и p_t) в уравнениях (2)–(5) должны выбираться таким образом, чтобы обеспечивалось соответствие относительным уровням помех, которые могут ожидать от типичного оборудования, являющегося источником помех наземных и космических служб, с тем чтобы минимизировать ограничения, накладываемые вследствие принятия критерия совместного использования частот.

6.2 Соображения относительно установления критерия совместного использования частот

6.2.1 Критерий единичной помехи

Для установления соответствующих допустимых уровней помех от отдельных источников помех (то есть "единичных" помех) можно осуществить деление допусков, относящихся к общему уровню помех и времени, для космических и наземных источников помех. Для этой цели можно использовать приведенные ниже уравнения (6) и (7):

$$I_{x'}(x) = \frac{I_x(x)}{n} \quad (6)$$

$$I_{x'}(p_{x'}) = \frac{I_x(p_x)}{y_n} - \left(I_{x'}(20) \cdot \frac{1-y}{y} \right) \quad (7a)$$

$$p_{x'} = \frac{p_x}{y_n}, \quad (7b)$$

где основные (') параметры являются значениями единичных помех и:

$I_x(x)$: общий допустимый уровень мощности помех (W), составляющий бюджет космической или наземной службы, который не должен превышать в течение более чем X% времени;

$I_x(p_x)$: общий допустимый уровень мощности помех (W), составляющий бюджет космической или наземной службы, который не должен превышать в течение более чем p_x % времени;

n : эффективное число космических или наземных источников помех;

y : часть источников помех на повышенном уровне, $0 < y < 1$.

Уравнения (6) и (7) аналогичны по сути уравнениям (2)–(5). Допуски на долговременные помехи разделяются, исходя из допусков на мощность и кратковременные помехи, на основании процентной доли времени. В уравнении (7) только некоторые помехи принимаются имеющими повышенный, относительно своих кратковременных значений, уровень, и, следовательно, некоррелированными. В то время как эти помехи имеют повышенный уровень, все остальные помехи принимаются имеющими свои долговременные уровни. Сумма этих долговременных уровней принимается равной $(n - y_n)$ раз допуску на одиночную долговременную помеху.

7 Пороговые значения, обуславливающие необходимость координации, и критерий совместного использования частот для линий в полосах 1,5/1,6 ГГц

7.1 Координация между спутниковыми системами

Потенциальные помехи между спутниковыми системами исследуются в ходе процесса координации согласно Статье 11 РР в целях определения, какие необходимы (если таковые имеются) проектные и эксплуатационные ограничения для обеспечения непревышения допустимых уровней помех. Допустимые уровни одиночной помехи определяют минимальные допустимые уровни помех для использования в процессе координации. В Статье 8 РР описывается метод определения необходимости проведения такой координации. Координация становится необходимой, когда прогнозируется малое повышение шумовой температуры линии в условиях худшего случая (то есть повышение на 6%). На практике низкая избирательность антенн подвижной земной станции на частоте 1,5/1,6 ГГц почти всегда обуславливает необходимость координации согласно данной процедуре, при условии, что подвижная земная станция одной системы находится на линии прямой видимости на спутник другой системы. Таким образом, это условие видимости формирует, по-видимому, практический подход к определению необходимости координации между подвижными спутниковыми системами, работающими на частоте 1,5/1,6 ГГц, за исключением случая, когда зоны покрытия спутников полностью разнесены.

7.2 Помехи, создаваемые наземными станциями спутниковому приемнику

Критерий совместного использования частот около 1,6 ГГц передающими станциями наземных служб и приемными космическими станциями может быть определен на основании суммарного долговременного допустимого уровня помех, предусмотренного в бюджете для данного взаимодействия (см. Приложение 1 к Отчету МСЭ-R М.1173).

Координация не используется в качестве способа управления взаимодействием этих помех. Напротив, применимый критерий совместного использования частот выражается в форме э.и.и.м. и мощности на входе антенны и определяет ограничения, накладываемые на наземные станции. Возможно предположить, что суммарные помехи от наземных станций будут иметь низкую временную изменчивость, что обеспечивает преобладание относительно жесткого критерия долговременных помех над критерием совместного использования частот, в случае если применяется метод Приложения 1. Этот критерий совместного использования частот разработан для других полос частот на основе допущений относительно развертывания и характеристик наземных станций.

7.3 Координационные расстояния

Критерий совместного использования частот подвижными земными станциями и наземными станциями может разрабатываться в соответствии с концепцией области защиты. Высокая временная изменчивость потерь при распространении на наземных трассах сигнала в общем требует применения как критерия долговременных, так и критерия кратковременных помех. Координационные зоны могут рассчитываться для сухопутных и морских подвижных земных станций с использованием метода Приложения 7 РР. Для земных станций воздушного судна координационные зоны могут быть построены с использованием координационных расстояний на основании трасс распространения по линии прямой видимости между воздушным судном и наземной станцией. Принимая, что земная станция воздушного судна может функционировать на высотах до 12 км и что преломление в атмосфере обуславливает значение эффективного радиуса Земли $4/3$, расстояния LoS относительно других станций на земле или на воздушном судне составят 450 км и 900 км, соответственно. Предусматривая несколько более высокую преломляющую способность атмосферы, координационные расстояния для воздушного судна для целей совместного использования частот с наземными станциями, расположенными на земле и на воздушном судне, должны приниматься равными 500 км и 1000 км, соответственно. Требуется проведение дальнейших исследований координационных расстояний.

ДОБАВЛЕНИЕ 3

Помехи и шумы в морских подвижных спутниковых системах, использующих частоты в области 1,5 и 1,6 ГГц

Резюме

В настоящем Добавлении проводится анализ потенциальных помех и шумов в морских подвижных спутниковых системах в полосе частот 1,5/1,6 ГГц на основе теории, а также практических измерений и экспериментов. В разделе 2 определяются разные виды источников помех для морских подвижных спутниковых систем. В остальных разделах приводятся описания помех, создаваемых судовыми морскими спутниковыми передатчиками разным затрагиваемым системам.

Помехи и шумы в морских подвижных спутниковых системах, использующих частоты в области 1,5 и 1,6 ГГц

1 Введение

Находящиеся в эксплуатации морские подвижные спутниковые системы будут использовать, во всяком случае, частоты в области 1,5 и 1,6 ГГц для линий спутник-судно и судно-спутник, соответственно. В настоящем Добавлении изложены результаты теоретического исследования потенциальных помех, создаваемых морской подвижной спутниковой системе разными источниками, и помех, создаваемых морской подвижной спутниковой системой другим системам на этих частотах. В сводной форме представлены результаты практических измерений электромагнитных шумов (ЭШ) в гавани и на судах на море. В заключение приводятся соображения относительно других источников шумов на этих частотах, таких как внеземной шум и шумовая температура приемника.

2 Помехи морским спутниковым системам

2.1 Помехи от радиолокационных высотомеров

Радиолокационные высотомеры могут создавать помехи судовым спутниковым приемникам, когда воздушное судно с работающим высотомером попадает в луч судовой антенны. Вместе с тем, число радиолокационных высотомеров, работающих в этой полосе, сокращается. Для уменьшения вероятности и длительности воздействия таких помех эксплуатация радиолокационных высотомеров может быть ограничена верхней частью распределенной полосы.

2.2 Помехи от воздушных спутниковых систем

Не ожидается, что передатчик воздушного судна, входящий в состав воздушной спутниковой системы, будет создавать помехи судовому терминалу морской спутниковой системы, даже при излучении в пределах главного лепестка судовой антенны.

2.3 Помехи от внеполосных излучений радаров

Радиолокаторы обнаружения воздушных целей, такие как AN/SPS-29, могут рассматриваться как потенциальный источник радиопомех. ЭМ шум от этого источника может быть подавлен путем введения в состав передатчика простого серийно выпускаемого РЧ коаксиального фильтра. Аналогично помехи от радиолокаторов обнаружения наземных целей 10-сантиметрового диапазона могут быть подавлены с помощью простого серийно выпускаемого волноводного фильтра, установленного на выходе передатчика. Не было отмечено факта создания шума в полосе 9 радиолокаторами обнаружения наземных целей 3-сантиметрового диапазона, используемыми государственными и торговыми судами.

2.4 Помехи от существующего судового оборудования связи и связанных с ним высоковольтных изоляторов

Излучения бортового КВ передатчика могут стать причиной возникновения помех в спутниковых радиоканалах СЗС. Результаты теоретических и экспериментальных оценок этого воздействия представлены ниже

2.4.1 Теоретические аспекты

Критерием для определения того, в какой степени излучения КВ передатчика могут затрагивать работу судовой земной станции, является порог чувствительности приемника судовой земной станции. Порог чувствительности принимается соответствующим уровню чувствительности приемника, рассчитанному для соответствующих частот, f_{SR} , на которых возможно создание побочных каналов приема, и может быть описан следующим выражением:

$$f_{SR} = \frac{pf_{LO} \pm f_{IF}}{q} \pm \frac{B_R}{2q}, \quad (1)$$

где:

f_{LO} : частота гетеродина (МГц);

f_{IF} : первая промежуточная частота (МГц);

B_R : ширина полосы, дБ, на первой промежуточной частоте (МГц);

p, q : номер гармоник гетеродина и сигналов помехи, соответственно ($p, q = 0, 1, 2, \dots$ и т. д.).

Порог чувствительности приемника по побочному каналу на входе приемника, $P_R(f_{SR})$, может быть описан следующим образом:

$$P_R(f_{SR}) = P_R(f_{OR}) + I \log \frac{f_{SR}}{f_{OR}} + J, \quad (2)$$

где:

$P_R(f_{OR})$: основная чувствительность приемника (дБм);

f_{OR} : основная частота приемника (МГц);

I, J : постоянные для характеристики подавления в отсутствие настройки (дБ/декада и дБ, соответственно).

Мощность сигнала помехи, создаваемой излучениями КВ передатчиков на входе приемника судовой земной станции, $P_1(f_{SR})$, определяется для основных гармоник передатчика согласно следующему уравнению:

$$P_1(f_{SR}) = P_T(f_{OT}) + A \log n + B - L_c, \quad (3)$$

где:

$P_T(f_{OT})$: основная мощность (дБм);

n : номер гармоники частоты передатчика (f_{OT}) относительно частоты побочного канала приемника (f_{SR}), $n = f_{SR}/f_{OT}$;

A, B : постоянные для характеристики уровней гармонических излучений передатчика (дБ/декада и дБ, соответственно);

L_c : потери соединения (дБ), включая воздействие распространения, антенны приемника и антенны передатчика.

Более точно L_c можно описать следующим образом:

$$L_c = 10 \log \eta_{af} + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi r} + 10 \log \gamma + 10 \log \beta + 10 \log G(\theta, \varphi, \lambda) + 10 \log \eta_f, \quad (4)$$

где:

η_{af} : постоянная передачи фидерной линии антенны передатчика;

λ : длина волны (для соответствующей гармоники) (м);

r : расстояние между антенной БЗС и антенной КВ передачи (м);

$G(\theta, \varphi, \lambda)$: усиление антенны приемника БЗС относительно азимута, θ , и угла места, φ ;

η_f : эффективность фидера приемника I ;

β, γ : постоянные для характеристики воздействия рассогласования по поляризации и физических препятствий.

Уравнения (1) и (2) применялись для расчета порога чувствительности приемника по частотам побочного канала приема, наиболее близких к рабочим частотам КВ передатчика. В вычислениях использовались следующие исходные данные:

$$\begin{aligned} f_{OR} &= 1538 \text{ МГц} & f_{LO} &= 1351 \text{ МГц} \\ f_{IF} &= 187 \text{ МГц} & P_R(f_{OR}) &= -139 \text{ дБм} \\ B_R &= 8,5 \text{ МГц} & I &= -20 \text{ дБ/декада} \\ P &= 0 & J &= 80 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Результаты расчетов представлены в Таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Пороги чувствительности по побочному каналу приема

| q | f_{SR} (МГц) | $P_R(f_{SR})$ (дБм) |
|-----|-------------------|------------------------|
| 8 | $13,37 \pm 0,53$ | -22,6 |
| 10 | $18,70 \pm 0,42$ | -20,7 |
| 11 | $17,00 \pm 0,39$ | -19,9 |
| 5 | $37,00 \pm 0,85$ | -26,7 |
| 7 | $26,71 \pm 0,61$ | -23,8 |

Частотами побочного канала приема, приведенными в Таблице 1, являются первые субгармоники ПЧ приемной системы судовой земной станции.

Используя уравнение (3), была рассчитана мощность помех на частотах побочного канала приема и проведено сравнение с полученными значениями порога чувствительности приемника. Вычисления были выполнены для тех частот КВ передатчика, f_{OT} , которые способны создавать помехи на частотах побочного канала приема приемника. Было сделано допущение, что $P_T(f_{OT}) = 500$ Вт, $A = -70$ дБ/декада (см. Примечание 1), $B = -20$ дБ, а для L_c использовалось значение потерь в свободном пространстве для расстояния 10 м.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение A в будущих расчетах может приниматься равным -60 дБ/декада без ухудшения качества приема.

Результаты расчетов представлены в Таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Мощность помех по побочному каналу приема

| f_{OT} (МГц) | n | $P_1(f_{SR})$ (дБм) | $P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR})$ (дБ) |
|----------------------|-----|------------------------|-----------------------------------|
| $4,670 \pm 0,1062$ | 5 | -27,0 | -4,4 |
| $6,2333 \pm 0,1417$ | 3 | -9,5 | +11,2 |
| $17,00 \pm 0,3864$ | 1 | +24,7 | +44,6 |
| $8,50 \pm 0,1932$ | 2 | +3,6 | +23,5 |
| $12,4666 \pm 0,2833$ | 3 | -15,5 | +11,2 |
| $13,3571 \pm 0,3035$ | 2 | -0,3 | +23,5 |

ТАБЛИЦА 3

Мощность помех на основной частоте приемника БЗС $P_1(f_{OR})$

| f_{OR} (МГц) | N | $P_1(f_{OR})$ (дБм) | $P_1(f_{OR})/P_R(f_{OR})$ (дБ) |
|-------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|
| от 6,2 до 13,2 | от 248 до 124 | от -102 до 82 | от -11 до 9 |

Вышеприведенные значения частоты – это значения только для первой субгармоники ПЧ судовой земной станции. Следует отметить, что в уравнениях (2) и (3) не учитываются нелинейности в активном приемнике, компоненты передатчика, которые могут ухудшить относительную чувствительность, и уровни излучения для других гармоник.

2.4.2 Результаты экспериментов

В ходе эксперимента измерялись уровни $(I + N)/N$ для определения воздействия излучений КВ передатчика. Помехи создавались излучениями КВ передатчика на частотах, выбранных в пределах полосы, показанной в Таблице 2. Уровни шумов и уровни помехи-плюс-шумы определялись для ширины полосы 20 кГц в первом канале ПЧ судовой земной станции.

Антенна судовой земной станции была направлена на антенну КВ передатчика, расположенного на расстоянии 8,6 м. Передатчик работал в режиме излучений А1А, излучаемая мощность составляла 1,5 кВт.

В Таблице 4 представлены результаты обработки измеренных значений $(I + N)/N$.

ТАБЛИЦА 4

Среднее $(I + N)/N$ в зависимости от рабочей частоты КВ передатчика

| | | | | | | |
|------------------|------|------|------|-------|------|-------|
| <i>при</i> (МГц) | 4,68 | 6,23 | 8,35 | 12,51 | 13,2 | 16,75 |
| $(I + N)/N$ (дБ) | 0 | 20 | 18 | 23 | 17 | 16 |

Измеренные значения помех в Таблице 4 не соответствуют напрямую рассчитанным значениям помех в Таблице 2. Отклонения значений обуславливаются рядом факторов, которые не принимались во внимание при расчета значений, представленных в Таблице 2, например частотно-зависимые эффекты на L_c .

Помехи в канале приема были по своему характеру узкополосными, их уровень зависел от направления антенны судовой земной станции на антенну КВ передатчика.

В течение всего эксперимента оценивалось воздействие излучений КВ передатчика на качество приема телефонных и телексных сообщений на частоте $f_{OT} = 12,502$ МГц, вызывающих помехи на частоте приема 1537,75 МГц (спутниковый канал). Определялись значения $(I + N)/(C + N)$.

Не возникало затруднений при приеме эталонных телексных сообщений при $(I + N)/(C + N) \leq -1$ дБ. Следует отметить, что при низких углах места это отношение может достигать значения 15 дБ.

Качество приема телефонных сообщений было признано удовлетворительным при $(I + N)/(C + N) \sim 2$ дБ,

где:

I : уровень помех;

N : шум;

C : уровень несущей полезного сигнала.

В случае если значение $(I + N)/(C + N)$, измеренное в первом канале ПЧ, равно или превышает 5 дБ, воздействие помех приводит к полному блокированию телефонного канала.

3 Потенциальные помехи от судовых передатчиков морских спутниковых систем

3.1 Помехи воздушным спутниковым системам

Одно из исследований показало, что помехи от судового передатчика морской спутниковой системы могут возникать, только если спутниковый приемник воздушного судна находится в пределах 4 морских миль от судна и в границах главного лепестка передатчика морской спутниковой системы.

3.2 Помехи системе предупреждения столкновений

Побочные излучения судовых передатчиков могут создавать помехи экспериментальным системам предупреждения столкновений. Для подавления, насколько это практически возможно, помех от этого источника должны быть установлены пределы для побочных излучений.

3.3 Внеполосные помехи другим службам радиосвязи

Передатчики судовых терминалов спутниковых систем могут создавать перекрестную модуляцию, гармоники и другие формы побочных излучений, которые могут стать причиной вредных помех другим службам, работающим выше, в границах и ниже полос морской подвижной спутниковой службы – 1,5 и 1,6 ГГц. Для подавления, насколько это практически возможно, этих помех должны быть установлены пределы для побочных излучений судовых спутниковых терминалов. В ходе исследований значений пределов должны быть определены практически возможные ограничения на оборудование.

3.4 Внутриполосные помехи фиксированной службе

Согласно положениям п. 5.359 Регламента радиосвязи полоса 1540–1660 МГц распределена также фиксированной службе определенных администраций в Районах 1 и 3.

Вопрос о потенциальных помехах, создаваемых судовыми передатчиками фиксированной службе, рассматривается в Отчете МСЭ-R М.917, Приложение I.

4 Электромагнитная совместимость

Исследование электромагнитной совместимости в гавани и в открытом море было проведено на борту судна *American Alliance* для судового терминала морской спутниковой системы, работающего в полосе от 1500 до 1600 МГц.

4.1 Напряженность поля

Измерения напряженности поля, проводившиеся на расстоянии 1 м от стоек радиолокационных передатчиков в помещении для оборудования, показали, что излучение стоек не является чрезмерным.

Измерения напряженности поля в надпалубных участках показали, что уровни излучения являются либо эквивалентными уровням, измеренным в помещении для оборудования, либо ниже этих уровней.

Радиолокационные помехи судовым терминалам зависели от относительного местоположения антенн. На борту *American Alliance* разнос между антенной морской спутниковой службы и антенной работающего в полосе 9 радиолокатора составлял 9,2 м, а для антенн полосы 10 он составлял 7,4 м. Меньшее расстояние может обуславливать требование установки дополнительного фильтра нижних частот.

4.2 Помехи радиолокаторам

Испытания по определению помех от судовых спутниковых терминалов радиолокаторам в полосе 9 и полосе 10, которые были установлены на *American Alliance*, показали, что при мощности судового спутникового передатчика 15 Вт помехи возникать не должны. Использовалась одна параболическая антенна диаметром 1,2 м (4 фута) с облучателем с круговой поляризацией. Усиление антенны составляло 24 дБ на частоте 1559 МГц.

5 Внеземной шум

В Таблице 5 приведены данные о воздействии внеземных источников радишума на систему на частоте 1500 МГц.

ТАБЛИЦА 5

Характеристики внеземных источников радишумов на частоте 1500 МГц

| Источник | | Солнце | Луна | Юпитер | Кассиопея | Галактический центр |
|--|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--|
| Размер источника (ср) | | $1,35 \times 10^{-4}$ | $1,07 \times 10^{-4}$ | точечный источник | точечный источник | $1,9 \times 10^{-3}$ ($2,6 \times 1,4^\circ$) |
| Плотность потока мощности (Вт/(м ² · Гц)) | | $9,3 \times 10^{-21}$ | – | – | $2,2 \times 10^{-23}$ | |
| Эффективная температура (К) | | 10^{-5} | 250 | 2×10^3 | – | 162 |
| Шумовая температура антенны (К) | усиление антенны 20 дБ | 107 | 0,21 | <1 | 0,24 | 15 |
| | усиление антенны 10 дБ | 11 | $2,1 \times 10^{-2}$ | < 10^{-1} | $2,4 \times 10^{-2}$ | 7 |
| | усиление антенны 3 дБ | 2 | $2,1 \times 10^{-3}$ | < 2×10^{-2} | $4,8 \times 10^{-3}$ | 2 (оценочное) |

6 Атмосферный шум, обусловливаемый поглощением

Поглощающая среда, такая как кислород и водяной пар в атмосфере, создает тепловой шум, который может быть описан в единицах эффективной эквивалентной температуры неба. На частоте 1600 МГц эта температуры изменяется от 80 К до 2 К при углах места от 0° до 90°. При угле места 10° температура неба составляет порядка 10 К.

7 Шум приемника судового спутникового терминала

Шумовая температура приемника судового спутникового терминала в основном будет определяться типом каскада предусилителя и потерями в фидере между антенной и предусилителем. Как правило, предусилитель устанавливается непосредственно за антенной для минимизации потерь в фидере. В такой конфигурации транзисторный предусилитель может создавать шумовую температуру приемника порядка 225 К, а неохлаждаемый параметрический усилитель – порядка 55 К.

8 Промышленные помехи

В гавани и в открытом море были зарегистрированы данные для примерно десяти разных классов судов. Все источники измеренных значительных помех в полосе 9 (от 1535 до 1660 МГц) были определены как широкополосные по характеру относительно значений ширины полосы линии, предполагаемых для проектирования будущих морских подвижных спутниковых систем. Широкополосный шум был перемежающимся и по длительности значительно короче длины типового элемента сообщения, предназначенного для морской спутниковой системы.

Было выявлено, что основные источники значительного электромагнитного шума в полосе 9 связаны с электрооборудованием, периодически работающим в портах или непосредственной близости. По характеру эти шумы, как правило, являются широкополосными. Значительная доля этих периодически действующих помех возникала как широкополосные импульсные помехи от цепей зажигания, входящих в состав доковых и судовых разгрузочных устройств. Те же категории шумов часто создавались автомобилям и грузовым транспортом на магистралях и мостах, расположенных рядом с гаванями, портами и каналами. Также в портах присутствует компонент городского фонового шума, амплитуда которого меняется в зависимости от порта, и зависит также от времени суток. Эти шумы меняются также по интенсивности до 20 дБ в зависимости от того, измерялись ли они в течение рабочего дня или выходных и праздничных дней, когда интенсивность этих шумов ниже. Периодически регистрировались вблизи портов или в портах создаваемые радиочастотными помехами уровни плотности мощности шумов, на 20–30 дБ превышающие фоновый уровень плотности мощности шума приемника относительно приемника, коэффициент шума которого составляет 3 дБ. Такое увеличение эффективного уровня фонового шума может серьезным образом затрагивать пороговые значения линий. За пределами линии прямой радиовидимости любого порта радиочастотные помехи не должны затрагивать чувствительность приемников, особенно на новых судах.

8.1 Помехи от автомобилей на скоростных автомагистралях

Пиковая амплитуда шума, создаваемого на бруклинской скоростной автомагистрали в условиях интенсивного транспортного потока, была зарегистрирована на уровне порядка –150 дБ(мВт/Гц) в пределах полосы 9. Для этого испытания использовалась рупорная антенна с усилением 20 дБ, ориентированная в направлении на источник шумов. При определенных эксплуатационных условиях промышленные шумы, создаваемые автотранспортным потоком, могут ухудшить уровень чувствительности приемника.

8.2 Судостроительная верфь

Чрезвычайно высокое значение пиковой амплитуды шумов, –141 дБ(мВт/Гц), было зарегистрировано от военно-морской верфи в Бостоне, которая во время измерений работала с полной нагрузкой. Эти шумы представляют собой комбинацию фонового шума и широкополосных электромагнитных шумов, создаваемых производственным оборудованием. Использовалась рупорная антенна с усилением 20 дБ, ориентированная в направлении на источник шумов. При определенных эксплуатационных условиях шумы судостроительной верфи могут ухудшить уровень чувствительности приемника в полосе 9.

8.3 Доковые шумы

Широкополосные импульсные помехи, создаваемые цепями зажигания двигателей внутреннего сгорания в составе докового разгрузочного оборудования, как было выявлено, существуют во всех портах. Рекордная пиковая амплитуда помех, порядка –137 дБ(мВт/Гц) в пределах полосы приема морской подвижной спутниковой системы, была зарегистрирована в заливе Наррагансет, в пяти милях от Портсмута, Род-Айленд (Соединенные Штаты Америки). Уровни помех порядка –150 дБ(мВт/Гц) создавали суда-краны. Использовалась рупорная антенна с усилением 20 дБ, ориентированная в направлении на источник шумов.

Справочная литература

CLARKE, J. M., CANTOR., S. R., WINCHUS., J. J. and CAPORALE., A. L. [December 1974] Measurement and analysis of L-band (1 535-1 660 MHz) electromagnetic (EM) noise on ships. Final Report No. CG-D-50-75. US Department of Transportation, Washington, DC 20590, United States of America.

HAAKINSON, E. J. [October 1974] Spectrum resource assessment for the 1 535-1 660 MHz bands (Addendum). OT Technical Memorandum 74-165-2, US Department of Commerce, Washington, DC, United States of America.

HAAKINSON, E. J. and KIMBALL, H. G. [March 1974] Spectrum resource assessment for the 1 535-1 660 MHz band. Phase II – Analysis. OT Technical Memorandum 74-165, US Department of Commerce, Washington, DC, United States of America.

RCA [August 1974] In-harbour and at-sea electromagnetic compatibility survey for maritime satellite L-band shipboard terminal. RCA service Corp. Contract NASS – 24035. National Aeronautics and Space Administration. Washington, DC, United States of America.

Библиография

DUFF, W. C. and WHITE, D. R. J. [1972] *EMI Prediction and Analysis Techniques*. A Handbook Series on *Electromagnetic Interference and Compatibility*, Vol. 5, Germantown, Maryland, United States of America.

ДОБАВЛЕНИЕ 4

Технические аспекты координации между подвижными спутниковыми системами, использующими геостационарную спутниковую орбиту

Резюме

В настоящем Добавлении поясняются различные технические аспекты координации между подвижными спутниковыми системами, использующими спутник на геостационарной орбите. В пункте 1.2 приводится резюме процедур координации, описанных в Статье 9 РР. Поясняется значение для координации разных этапов разработки спутниковой системы. В разделе 2 приводятся различные параметры, актуальные для процесса координации спутниковых систем. В Добавлении также представлена методика координации двух спутниковых систем для случаев совпадения и несовпадения зон покрытия. В заключение, проводится краткий анализ воздействия технического прогресса на процесс координации в будущем.

Технические аспекты координации между подвижными спутниковыми системами, использующими геостационарную спутниковую орбиту

1 Введение

1.1 Цели и сфера применения

Прежде чем администрация известит Бюро радиосвязи (БР) о новых или пересмотренных частотных присвоениях для подвижной спутниковой системы, она должна выполнить обязательные процедуры предварительной публикации и координации, определенные в Статье 9 Регламента радиосвязи (РР). Целью этих процедур является обеспечение того, что предлагаемые присвоения не будут создавать неприемлемых помех существующим и планируемым космическим и наземным системам или испытывать неприемлемые помехи от этих систем.

В процедурах Статьи 9 РР описана последовательность взаимодействий между заявляющей и затронутой администрациями и с БР, в них не затрагиваются технические аспекты координации. Целью настоящего отчета является рассмотрение технических аспектов координации путем описания проектных и эксплуатационных параметров этих систем, которые могут корректироваться для достижения цели процедур Статьи 9 РР, и иллюстрации того, как эти параметры могут корректироваться на практике.

Описание и примеры относятся к системам, которые проектируются для использования распределений подвижной спутниковой службы (ПСС) в полосах частот 1525–1559 МГц (линия вниз) и 1626,5–1660,5 МГц (линия вверх), и не касаются координации таких систем с наземными станциями.

1.2 Резюме Статьи 9 РР – процедуры предварительной публикации и координации

Процедура предварительной публикации, описанная в разделе I Статьи 9 РР, выполняется до выполнения официальной процедуры координации, описанной в разделе II этой Статьи. В рамках этой процедуры требуется, чтобы администрация, предлагающая новое или пересмотренное частотное присвоение для спутниковой системы, представила в БР информацию о характеристиках сети, указанную в Приложении 4 РР, так чтобы эта информация могла быть опубликована для изучения и представления любой администрацией замечаний в отношении воздействия на ее космические службы радиосвязи.

В РР предусматривается, что если такие замечания получены в течение четырех месяцев после публикации, администрация, предлагающая новое или пересмотренное присвоение, обязана сначала использовать все возможные средства для уменьшения помех до приемлемых уровней, изменяя проектные решения и размещение предлагаемой системы. Если таких средств не находится, администрация может обратиться к потенциально затронутым администрациям с просьбой о сотрудничестве в поиске решения.

Процедура координации и условия, при которых она должна применяться, описаны в разделе II Статьи 9 РР. Основным условием является то, что необходимость координации возникает, если помехи от новой системы приводят к повышению эквивалентной шумовой температуры T в другой спутниковой системе на величину ΔT в условиях худшего случая, определенную в Приложении 8 РР.

Пороговое значение мощности помех, обуславливающее требование проведения координации согласно Приложению 8 РР, может быть ниже значения, рассматриваемого отдельным поставщиком услуг как приемлемое. Следовательно, может не возникать необходимости в изменении проектных решений и эксплуатационных характеристик этой системы для обеспечения снижения уровня принимаемых помех.

Если для соблюдения критерия приемлемого уровня помех, согласованного участвующими администрациями, внесение изменений в систему оказывается необходимым, в процессе координации в этом случае определяются возможные варианты. Они включают изменение местоположения одной или нескольких спутниковых станций или изменение режима их излучения, использования частот или иных технических и эксплуатационных характеристик системы, которые описаны в разделе 2.

1.3 Значение этапа разработки спутниковой системы

Прежде чем описывать, каким образом корректирование проектных решений и эксплуатационных параметров системы может снизить уровень межсистемных помех, следует заметить, что возможная степень изменения параметров данной системы определяется конкретными характеристиками этой системы и решениями, заложенными на этапе ее разработки. Разработку спутниковой системы можно разделить на четыре этапа:

- *Начальная концепция и проектирование:* План проектирования системы завершается моментом принятия решений о предпочтительных значениях технических параметров, требуемых согласно Приложению 4 РР, включая орбитальную позицию и частоту.
- *Реализация:* Этот этап включает детальное проектирование и конструирование спутника и связанных с ним земных станций и завершается с запуском спутника. Обычно для этого этапа требуется несколько лет.
- *Эксплуатация:* На этом этапе спутник, который был создан и запущен, функционирует на определенной орбитальной позиции со связанными с ним наземными средствами.
- *Второе поколение или система с запасным спутником:* В течение полезного срока службы спутника первого поколения в системе обычно осуществляется проектирование и создание запасного спутника. К моменту его запуска развернута широкая сеть земных станций и вероятно, что ряд параметров передачи должны быть сохранены для обеспечения бесперебойной работы.

Наиболее широкие возможности внесения каких-либо изменений в проект и эксплуатационные параметры существуют на этапе начальной концепции и проектирования. Зачастую сеть, на которую подается заявка, уже находится на этапе реализации, а процесс координации еще не достиг той стадии, когда возможно достижение согласия. Другие потенциально затронутые системы могут находиться в любой точке четвертого этапа.

В системе на стадии реализации еще возможно изменение ее планируемых проектных решений и эксплуатационных параметров в целях снижения уровня помех, но по мере приближения даты запуска спутника эти возможности становятся все более ограниченными.

В системе на стадии эксплуатации многие параметры либо являются постоянными, либо могут быть изменены только при условии значительных затрат. Однако некоторые системы проектируются с обеспечением определенной гибкости в процессе эксплуатации, такой как изменение ориентации луча, установка значения усиления ретрансляторов, программируемая ширина полосы и т. д. В целом подвижные спутниковые системы обладают значительной гибкостью для разрешения связанных с помехами проблем путем внесения изменений в частотные планы, как минимум, независимо от того, на каком этапе разработки – от концепции до эксплуатации – находится эта система.

Запасные спутники существующей системы имеют определенную гибкость трех предыдущих этапов. Несмотря на то что ряд параметров передачи должны быть сохранены, существует реальная возможность внесения проектных изменений для уменьшения уровня потенциальных помех. Внесение изменений в земные станции практически возможно осуществить только в течение значительного периода времени, совмещая эти работы с графиками технического обслуживания, модернизации либо замены или завершения использования устаревших служб.

1.4 Неоднородность линий в подвижных спутниковых системах

Корректировка параметров системы для обеспечения соответствия критерию помех может быть существенно затруднена в случае значительной неоднородности рассматриваемых линий. Например, линии, работающие со спутниковыми антеннами глобального покрытия, и линии, работающие со спутниковыми антеннами со сфокусированным лучом.

Кроме этих неоднородностей линий в подвижных спутниковых системах может существовать необходимость приема многих ВЧ несущих, отражающих разницу в типах сообщений, скорости передачи сообщений данных или ширины полосы модулирующих частот, способах модуляции, методах множественного доступа и других параметрах.

2 Параметры координации

Проектные решения и эксплуатационные параметры системы, подлежащие рассмотрению в процессе координации, включают практически все параметры, которые могут повлиять на помехи между системами. В данном разделе рассматриваются следующие параметры:

- критерии для допустимой и приемлемой помехи;
- планы частот и поляризации ретранслятора;
- планы несущих частот;
- покрытие спутниковой антенны и зоны обслуживания;
- избирательность антенны земной станции;
- регулирование мощности земной станции;
- усиление ретранслятора и э.и.и.м. спутника;
- позиции спутника;
- график эксплуатации.

2.1 Критерии для допустимой и приемлемой помехи

В РР определены два уровня помех, которые используются при координации частотных присвоений между администрациями. "Допустимая помеха" – это помеха, удовлетворяющая количественным критериям помехи и критериям совместного использования частот, содержащимся в РР или в Рекомендациях МСЭ-R либо в специальных соглашениях, которые предусмотрены РР. "Приемлемая помеха" – это помеха с более высоким уровнем, чем та, которая определяется как допустимая помеха, и которая согласована между двумя или несколькими администрациями без ущерба для других администраций. В Отчете МСЭ-R М.1179-1 изложен метод определения допустимых уровней помех.

При использовании "нормы помехи" при общем планировании системы, соответствующий критерий помехи применяется к общим или суммарным помехам от всех источников, как внутри системы, так и между системами. Однако, поскольку координация выполняется, как правило, на двусторонней основе, используемым при координации является критерий единичной помех между системами. Критерии единичной помехи должны выбираться такими, чтобы в случае их выполнения всеми создающими помехи системами по отдельности, общие помехи не превышали уровней, определенных критерием суммарных помех для межсистемных помех.

В отсутствие Рекомендаций МСЭ-R, определяющих критерий единичной помехи для допустимых межсистемных помех, каждая участвующая в процессе координации администрация может сама определять уровни допустимых и приемлемых помех, которые она считает подходящими для защиты каналов своей системы. Вместе с тем, эти уровни могут пересматриваться в ходе координации. Координации будет способствовать гибкость в двух областях: отношение уровня суммарной к уровню единичной помехи и разница между критерием приемлемой помехи и критерием допустимой помехи.

Может оказаться возможным сделать менее жестким критерий единичной помехи в ситуациях, когда предполагаемое отношение мощности суммарной к единичной помехе является высоким, до тех пор пока выполняется критерий суммарных помех.

В случае приемлемой по сравнению с допустимой помехи, реальные линии в некоторых системах могут обеспечивать большие запасы по характеристикам, чем представительные линии, на которых базируется критерий допустимых помех. Это может позволить принимать впоследствии более высокие уровни суммарных помех, соблюдая при этом требуемое качество линии. Однако в случае спутников, имеющих ограничения по мощности, при возрастании суммарных помех снижается максимальная пропускная способность и энергетический запас линии. Принятие менее жесткого критерия мощности суммарных помех является, безусловно, исключительно вопросом, решаемым в процессе координации и не зависящим от этапа планирования системы до проведения координации.

2.2 План частот и поляризации ретранслятора

План частот и поляризации ретранслятора для спутниковой системы описывает полосы пропускания ретранслятора и поляризацию приемной и передающей антенн, к которым подключается или может подключаться каждый ретранслятор. Полосы пропускания ретранслятора могут частично перекрываться (например, для не перекрывающихся лучей в спутнике со многими лучами). В принципе, планы частот ретранслятора/поляризации могут выбираться для упрощения повторного использования частот как внутри системы, так и между системами.

На практике, однако, не существует обычного или стандартного плана частот/поляризации ретранслятора для ПСС. Кроме того, даже при том, что в определенных случаях развязка по поляризации способна обеспечить некоторое снижение уровня помех, это теоретическое улучшение, как правило, не может использоваться при проектировании подвижных земных станций в силу ряда факторов, включая ухудшение качества работы антенны, деполяризацию, связанную с многолучевостью, и требования к обеспечению функциональной совместимости систем.

Тем не менее, на этапе предварительной публикации и координации администрации имеют возможность переопределить план ретранслятора системы, с тем чтобы снизить уровень помех, создаваемых другим системам. Аналогично, может оказаться возможным провести переговоры относительно ограничений на использование существующего плана ретранслятора эксплуатируемой системы в целях соблюдения критерия приемлемой помехи.

Например, когда прогнозируется, что мешающий сигнал от другой системы может создавать неприемлемую нагрузку для передатчиков фидерных линий вниз, вероятно возможно обсудить ограничения на план несущих частот (см. п. 2.3) создающей помехи системы или ограничения на планы ретрансляторов испытывающих помехи систем, с тем чтобы найти решение проблемы. Статистика уровня нагрузки может прогнозироваться и использоваться для определения масштабов необходимых ограничений на планы несущих частот или частот ретранслятора.

Для случая ретранслятора с программируемой полосой пропускания может оказаться возможным принять ограничения на установки полосы пропускания, с тем чтобы устранить проблему нагрузки ретранслятора. Этот метод особенно перспективен для спутников со многими лучами, поскольку ограничения могут потребоваться только для некоторых лучей. Другое преимущество заключается в том, что программируемые полосы пропускания позволяют менять план ретранслятора даже на этапе эксплуатации.

2.3 План несущих частот

План несущих частот спутниковой системы определяет, какие частоты в пределах полосы пропускания ретранслятора должны использоваться для каждого типа несущей, обеспечиваемой системой. В подвижных спутниковых системах используется, как правило, несколько типов земных станций. Следовательно, если выявляется создание помех между двумя такими системами, необходимо рассматривать большое число комбинаций линий.

Например, некоторые спутники будут поддерживать более десяти разных типов несущих, часть которых будет передаваться несколькими типами подвижной земной станции. Данная задача оценки взаимодействия между всеми линиями может быть упрощена с помощью программного компьютерного обеспечения.

В типичной ситуации совместного использования частот ряд возможных взаимодействий между линиями в совмещенном канале могут нарушать критерий приемлемых уровней помех. Если число проблемных линий невелико (например, одна или две), следует более тщательно анализировать планирование несущих частот.

Например, рассмотрим возникающие в совмещенном канале сложности совместного использования частот единичной линией и некоторыми линиями другой системы. Может быть принято простое эксплуатационное ограничение, предусматривающее недопущение создающих проблему взаимодействий путем соглашения о соблюдении необходимых ограничений в отношении частотных присвоений канала. Это может быть реализовано в системах с помощью метода многостанционного доступа с предоставлением каналов по требованию (DAMA) путем введения в программное обеспечение DAMA соответствующих мер защиты частотных присвоений.

Линии, которые не могут совместно использовать частоты на базе совмещенного канала, обусловят необходимость выполнения планов несущих частот, допускающих предписанное число случаев ухода частоты относительно своих пар, между которыми возникает конфликт. И опять решение может быть найдено с помощью контрольных функций программного обеспечения частотных присвоений канала в рамках частотного плана системы.

2.4 Покрывание спутниковой антенны и зоны обслуживания

Зоны обслуживания спутниковой системы представляют собой географические зоны, в пределах которых предполагается, что земные станции, связанные с системой, работают с определенным показателем сигнал-шум и определенной защитой от помех со стороны других станций. Зона покрытия – это географическая зона, где показатель сигнал-шум соответствует спецификациям. В случае спутниковых систем с одним лучом зона покрытия, как правило, охватывает полную зону обслуживания. В случае систем с несколькими лучами зоны покрытия отдельных лучей будут меньше зоны обслуживания, но суммарно будут ее охватывать.

Избирательность, которую способны обеспечить спутниковые антенны в случае систем с не перекрывающимися зонами обслуживания, может оказаться достаточной для обеспечения совместного использования частот в совмещенном канале без наложения ограничений. В иных случаях взаимодействия между каждым лучом одной системы и различными типами линий и подвижными земными станциями в другой системе должны рассматриваться индивидуально. Луч(и) спутниковой антенны одной системы рассматриваются относительно зон(ы) обслуживания другой системы.

Для анализа помех часто используются эталонные диаграммы направленности представительных антенн, однако, во многих случаях реальные диаграммы направленности могут обеспечивать, по сравнению с эталонными, более высокий уровень избирательности. Во многих случаях возможно проектировать спутниковые антенны, имеющие существенно уменьшенные уровни боковых лепестков в направлении не пересекающихся зон обслуживания других систем.

На спутниках с несколькими лучами также вероятно достижение более высокого уровня избирательности спутниковой антенны в целях содействия координации. Повышенная избирательность систем может достигаться следующими путями:

- изменение размещения или ориентации лучей, до тех пор пока результирующая зона обслуживания остается надлежащим образом покрытой;
- уменьшение размеров лучей так, чтобы сделать более крутым спад усиления при увеличении внеосевого угла;
- изменение ориентации всей антенной решетки путем корректировки угла сканирования или угла поворота;
- изменение ориентации лучей и уменьшение их количества, возможно ценой некоторого ухудшения качества на внешней границе зоны обслуживания;
- минимизация усиления, в частности в направлении затронутых(ой) зон(ы) обслуживания другой системы путем оптимизации проектного решения антенны.

2.5 Избирательность антенны земной станции

Для координации часто используются эталонные диаграммы направленности представительных антенн земных станций. Однако могут использоваться измеренные диаграммы направленности, но с определенной осторожностью, поскольку должны приниматься в расчет нарушения диаграммы направленности в дальней зоне, причиной которых могут быть расположенные рядом с антенной объекты (например, автомобили и грузовики). Выполняя координацию, необходимо рассматривать зону обслуживания подвижной земной станции каждого типа относительно луча(ей) другой системы.

2.6 Регулирование мощности земной станции

В некоторых подвижных земных станциях может быть предусмотрено регулирование мощности таким образом, что уровни э.и.и.м. их линий вверх контролируются системой, в которой они функционируют. К системам, в которых также используются линейные ретрансляторы, возможно применение определенных ограничений в алгоритмах для управления уровнями мощности подвижной земной станции. В некоторых случаях для компенсации этого ограничения может регулироваться усиление ретранслятора. Может оказаться возможным определение умеренных ограничений на э.и.и.м., которые смогут уменьшить помехи как создаваемые, так и принимаемые. Такие оценки должны выполняться для каждой отдельной частоты и для каждого отдельного луча.

2.7 Усиление ретранслятора и э.и.и.м. спутника

В случаях, когда общие уровни мощности мешающих сигналов от подвижных земных станций, работающих в других системах, могут вызывать нагрузку спутниковой обратной линии вследствие перекрытия в планах несущих частот, вероятно возникновение необходимости ограничения установок усиления ретранслятора, с тем чтобы минимизировать утечку мощности вследствие этой нагрузки. Однако принятая практика регулирования усиления ретранслятора может исключить вариант осуществления специальных регулировок.

Аналогично, для обеспечения адекватного приема на подвижных земных станциях уровни спутникового э.и.и.м., используемого в служебных линиях вниз в прямом направлении, должны поддерживаться на predetermined уровнях или на более высоких. Вместе с тем, если уровень трафика через спутник значительно ниже пикового уровня пропускной способности системы, могут возникать излишне высокие уровни э.и.и.м. в линиях вниз. Помехи в линии вниз могут быть ограничены путем регулировки установок усиления, с тем чтобы ограничить максимальное э.и.и.м., используемое для несущих в линии вниз. Для данного типа линии вниз диапазон между минимальным и максимальным э.и.и.м. не может сокращаться ниже определенного значения, поскольку необходимы допуски при управлении уровнями э.и.и.м. фидерной линии вверх и усилением ретранслятора.

2.8 Позиции спутника

При увеличении расстояния разноса между спутниками помехи в линиях к и от подвижных земных станций уменьшаются незначительно, до тех пор пока разнос не начнет превышать половину ширины луча по уровню половинной мощности земных станций. Однако существует возможность устранить создающие проблемы взаимодействия между антеннами земных станций со средним и высоким усилением путем корректировки орбитального разноса. Для случая земных станций с низким усилением эта возможность, безусловно, имеет значительно более ограниченный характер.

Орбитальный разнос может также улучшить развязку спутников при следующих особых обстоятельствах:

- для случая спутника с лучом антенны, осуществляющим глобальное покрытие, возможно сохранять покрытие зоны обслуживания из альтернативных орбитальных позиций, сокращая при этом перекрытие зоны и зон(ы) обслуживания другой системы;
- для случая планируемых спутников с несколькими лучами возможно уменьшить или устранить перекрытия между зоной(ами) покрытия одной системы и зоной(ами) обслуживания другой системы, таким образом, что покрытие может изменяться при изменении позиции спутника.

2.9 График эксплуатации

Если нагрузки пикового трафика не создаются одновременно в двух системах, может оказаться возможным установить доступ к общим сегментам спектра по принципу разделения времени. Этому может способствовать применение сопряженных линий связи между двумя данными системами.

3 Методика проведения координации

Как отмечалось ранее, в содержащихся в Статье 9 РР процедурах предварительной публикации и координации описаны только методы определения того, когда должны применяться процедуры, какие администрации считаются затронутыми, какой информацией следует обмениваться, а также последовательность и временные рамки этих обменов информацией. Методика определения того, требуется ли корректировать технические и эксплуатационные параметры систем, между которыми осуществляется координация, оставлена на усмотрение участвующих администраций. В данном разделе представлены методики, которые могут применяться в процессе технической координации.

3.1 Допущения

Делается допущение, что по крайней мере несколько частотных присвоение, предлагаемых для новой подвижной спутниковой системы "В", должны пройти координацию с присвоениями подвижной спутниковой системы "А", которая уже участвует в процессе координации или находится в эксплуатации. Несмотря на то, что вероятно необходимость координации системы "В" с более чем одной системой и иногда могут проводиться многосторонние встречи по координации, процесс координации, как правило, выполняется на двусторонней основе.

Предполагается также, что оба вида информации – обязательная и более подробная – о системных характеристиках, перечисленных в Приложении 4 РР, уже представлены по системе "А" и что соответствующая информация по системе "В" уже опубликована. Гибкость корректирования характеристик этих систем в процессе координации будет определяться решениями, принятыми на стадии разработки системы, описанном в п. 1.3, выше.

Предполагается, что система "В" находится либо на завершающей стадии этапа разработки концепции и проектирования, либо на начальной стадии этапа реализации, а система "А" – либо на завершающей стадии этапа реализации, либо на этапе эксплуатации. Следовательно, администрация, отвечающая за систему "В" ("заявляющая администрация"), в целом будет обладать большей гибкостью в отношении корректирования параметров, чем администрация, отвечающая за систему "А" ("затронутая администрация"). И, тем не менее, затронутая администрация обязана выполнить практически осуществимые регулировки.

3.2 Процесс координации

Как и в случае фиксированной спутниковой службы (ФСС), процесс координации систем ПСС можно разделить на три этапа:

Этап 1 – Оценка взаимодействия передач участвующих систем ("А" и "В") относительно определенного заранее критерия помех: если ожидаются неприемлемые уровни помех, необходимо переходить к этапу 2; в противном случае администрации могут достичь согласия об отсутствии необходимости корректировать проектные параметры системы.

Этап 2 – Корректирование технических и эксплуатационных параметров системы, которые могут способствовать полному или частичному разрешению проблемы создания помех, выявленных на этапе 1. Однако любые корректировки, выполняемые на этом этапе, не должны требовать ни ограничения текущего или планируемого режима эксплуатации системы, ни ее типа, размещения или качества служб.

Этап 3 – Рассмотрение и обсуждение дальнейших корректировок или ограничений параметров системы какой-либо одной системы или обеих систем, если проблемы создания помех не были решены на этапе 2. Эти изменения могут ограничивать эксплуатационную гибкость и дальнейшее развитие какой-либо одной системы или обеих систем.

3.3 Выявление значительных взаимодействий

Для выполнения первого этапа координации необходимо выявить, где наиболее вероятно возникновение помех между системами "А" и "В". Каждая полоса частот или сегмент полосы, общие для обеих систем, должны быть проанализированы по каждому спутниковому лучу в двух космических сегментах. Следует учитывать все возможные варианты конфигурации.

При анализе различных линий в двух системах, определенных в п. 1.4, желательно вначале сравнить их относительную помехоустойчивость и сравнительное воздействие на уровни помех корректирования параметров линий.

3.3.1 Фидерные линии по сравнению со служебными линиями

В принципе, координация может включать изменение различных параметров фидерных линий и служебных линий. В целом желательно вначале заняться координацией служебных линий. Это объясняется тем, что фидерные линии обычно работают с относительно крупными по размерам антеннами земных станций с большей избирательностью по соседнему спутнику, и помехи в значительно большей степени зависят от параметров служебных линий.

3.3.2 Прямые служебные линии по сравнению с обратными служебными линиями

В силу большой разницы между характеристиками приема и передачи спутника и подвижной земной станции, корректирование большинства описанных в разделе 2 параметров может по-разному воздействовать на прямые и обратные служебные линии. Некоторые затрагивают только прямые (космическая станция – подвижная земная станция) или обратные (подвижная земная станция – космическая станция) линии.

3.4 Корректирование технических и эксплуатационных параметров

В Таблице 1 сведены общие данные по практической применимости и достоинствах корректирования параметров и ограничений, принимаемых в процессе координации. Практическая применимость показана для этапа разработки, а преимущества описаны отдельно для прямых и обратных линий двух систем.

Для иллюстрации того, как могут корректироваться параметры служебных линий на втором и третьем этапах координации, рассматриваются два базовых случая:

- случай несовпадения покрытия: спутниковые сети обслуживают разные географические зоны;
- случай совпадения покрытия: существует перекрытие зон обслуживания спутниковых сетей.

Исходя в основном из того, какой из этих случаев применим для систем "А" и "В", и где в принципе ожидается возникновение помех – в прямой или обратной линии, можно провести грубую оценку практической применимости и преимуществ различных вариантов регулирования параметров системы.

3.4.1 Случай несовпадения покрытия

Если система "А" и система "В" обеспечивают покрытие разных зон обслуживания и было определено, что, тем не менее, будут создаваться помехи, администрация "В" может пожелать вначале рассмотреть проектное решение антенны космического аппарата. Цель этого будет заключаться в изменении или ограничения покрытия спутниковой антенны так, чтобы оно более точно соответствовало зоне обслуживания системы "А". Практически это возможно только на этапе проектирования и, вероятно, на самой ранней стадии этапа реализации системы "В". Корректирование покрытия антенны космического аппарата системы "А", спутник которой, как было принято, находится на завершающей стадии этапа реализации или на этапе эксплуатации, практически осуществимо в основном только в том случае, если на спутнике используется программируемые или управляемые сфокусированные лучи.

ТАБЛИЦА 1

Общие данные о практической применимости и преимуществах ограничения или корректирования параметров системы

| Корректируемый параметр | Практическая применимость относительно этапа разработки | | | | Снижение уровня помех | |
|--|---|------------|--------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------|
| | Концепция и проектирование | Реализация | Эксплуатация | 2-е поколение/запасной спутник | Прямая линия | Обратная линия |
| Критерий приемлемых помех | М-Н | М-Н | М-Н | М-Н | М | М |
| Полосы пропускания ретранслятора | М-Н | М | L* | М-Н | L | М |
| Поляризация | М-Н | М | L | L | L | L |
| Планы частот несущих | Н | Н | М | М | Н | Н |
| Покрывание спутниковой антенны | Н | М | L | Н | СС:L NCC:М-Н | СС:L NCC:М-Н |
| Зоны обслуживания спутника | L | L | L | L | СС:L NCC:М | СС:L NCC:М |
| Избирательность антенны подвижной земной станции | М | L-М | L | L | L | L-М |
| э.и.и.м. земной станции (регулирование мощности) | М | М | L-М | М | М | М |
| Усиление ретранслятора и э.и.и.м. спутника | М | М | М | М | М | L |
| Поляризация спутника | М | L-М | L | L | СС:L NCC:L-М | СС:L NCC:L-М |
| График эксплуатации | L-М | L-М | L-М | L-М | Н | Н |

Обозначения: Н = высокий уровень; М = средний уровень; L = низкий уровень или отсутствует;
 СС = совпадение покрытия; NCC = несовпадение покрытия

* Только в случае использования программируемых полос пропускания.

В случаях несовпадения покрытия создание неприемлемых помех системой "В" системе "А" прогнозируется только в прямой линии, в одной или обеих может быть изменено их э.и.и.м. спутника, с тем чтобы обеспечить удовлетворительные отношения несущая-шум плюс мощность помех без излишнего ухудшения качества.

В некоторых случаях несовпадения покрытия может быть улучшена избирательность путем изменение предлагаемой позиции спутника "В" или существующей позиции спутника "А", с тем чтобы увеличить орбитальной разнос между ними. Учитывая ограниченную направленность большинства антенн подвижных земных станций, этот вариант окажет умеренное воздействие на уровень помех между системами "А" и "В" и будет поэтому рассматриваться в качестве последней возможности. Вместе с тем для преодоления проблемы создания помех перемещение спутника может быть привлекательным в том, что оно оказывает минимальное воздействие на стоимость разработки или график системы "В".

Для случая несовпадения покрытия некоторые из описанных в разделе 2 вариантов могут не потребоваться, если основная степень требуемой изоляции может достигаться за счет избирательности спутниковой антенны. Если вместе с тем сохраняется вероятность значительных помех, администрации могут прибегнуть к частотному перемежению или другим вариантам.

3.4.2 Случай совпадения покрытия

В случае совпадения покрытия общая достижимая изоляция между системами по служебным линиям очевидно меньше, чем в случае несовпадения покрытия, поскольку обе системы, "А" и "В", обсуживают тот же географический регион (или часть региона). Если система "В" находится еще на этапе проектирования и прогнозируются неприемлемые межсистемные помехи, можно принять решение рассмотреть изменения плана частот/поляризации, с тем чтобы, например, обеспечить перемежение полос пропускания ретранслятора и системы "А".

Также для снижения уровня межсистемных помех можно рассматривать внесение изменений в планы несущих частот. Перемежение каналов может уменьшить требуемое защитное отношение между системами, а размещение несущих может планироваться так, чтобы снизить перекрестную модуляцию. Перемежение каналов двух систем (возможно в сочетании с корректировкой э.и.и.м. спутника) может оказаться достаточным для решения проблемы создания помех.

В случае совпадения покрытия внесение изменений в проектные решения, затрагивающих покрытие спутниковой антенны, имеет малую практическую ценность или вовсе ее не имеет как для прямых, так и для обратных служебных линий, если только какая-либо из администраций не приняла решения об ограничении или изменении своей зоны обслуживания в случае частичного совпадения зон покрытия. Преимущества этого варианта незначительны.

4 Воздействие технического прогресса на будущие процедуры координации

Многие из достижений, вводимых в целях улучшения качественных характеристик подвижных спутниковых систем, могут также повышать степень совместимости подвижных спутниковых систем и положительно сказываться на результатах координации. Следовательно, потенциал ресурсов орбиты/спектра для удовлетворения будущих требований в целом наращивается.

Методы модуляции, эффективные в спектральном отношении, и низкоскоростные кодеки должны привести к уменьшению значений ширины полосы или к большей помехоустойчивости, что обеспечит большую гибкость планирования частот. Методы множественного доступа, такие как многостанционный доступ с кодовым разделением (МДКР), в которых применяется спектральная модуляция, могут обеспечить большую помехоустойчивость подвижных спутниковых систем.

Линеаризация ретранслятора уменьшит уровень внутрисистемного шума (то есть взаимной модуляции), а являющееся следствием увеличение допусков может открыть возможность разрешения более высоких уровней мощности помех. Спутниковые антенны с несколькими лучами, имеющие более узкие лучи и меньшие уровни боковых лепестков, будут обеспечивать большее соответствие зон покрытия зонам обслуживания, в результате чего будет увеличиваться межсистемная изоляция. Будущие концепции гибкого планирования сфокусированных лучей должны сделать возможным динамическое распределение частот и мощности между лучами, увеличивая таким образом эффективность использования спектра.

Широкое применение в подвижных земных станциях антенн со средним до высокого усилением будет способствовать большей совместимости, при которой возможен адекватный разнос спутников. Несмотря на то что эти достижения необязательно направлены на совершенствование процесса координации, они могут обеспечивать преимущества в аспекте возрастания межсистемной совместимости. В результате процессы координации будут упрощаться.

5 Выводы

На этапе предварительной публикации и координации частотных присвоений подвижных спутниковых системы детальный анализ может выявить вероятные взаимодействия, создающие неприемлемые помехи. Для уменьшения выявленных помех на разных этапах разработки могут корректироваться некоторые проектные параметры и/или эксплуатационные параметры; вместе с тем, следует отметить, что определенные параметры спутников существующих систем могут быть изменены только на стадии замены спутника.

Ожидается, что новые технологии будут создавать значительные преимущества в аспекте пропускной способности и могут также повышать уровень межсистемной совместимости и снижать необходимость для администраций проведения корректировок во время координации. Все операторы подвижных спутниковых систем обязаны по-прежнему предусматривать гибкость своих проектных решений и порядка эксплуатации, с тем чтобы упростить процесс координации.



* 3 1 0 0 0 *

Отпечатано в Швейцарии
Женева 2008 г.
ISBN 92-61-12164-0