Международный союз электросвязи
Центр повышения квалификации для стран Европы и СНГ, Киев, Украина

Бюро радиосвязи (БР) и радиоконтроль. Публикации БР, методы, критерии и программное обеспечение для анализа совместимости частотных присвоений и их использование для радиоконтроля

Александр Васильевич Васильев
Советник Исследовательских комиссий 3 и 7
Телефон: +41 22 730 59 24; Факс: +41 22 730 57 85
Электронная почта: alexandre.vassiliev@itu.int
Международный союз электросвязи
Бюро радиосвязи
Департамент исследовательских комиссий

Управление спектром

Управление радиочастотным спектром производится с использованием:

- **определённых методик (алгоритмов) выбора/присвоения частот;**
- **критериев электромагнитной совместимости (ЭМС);**
- **численных методов анализа ЭМС.**

Задачей данного доклада является краткий обзор роли БР в решении задач радиоконтроля, а также методов, критериев программного обеспечения, используемых в МСЭ для анализа ЭМС частотных присвоений и возможн.....

МСЭ и управление спектром

10. 2. Для этого Союз, в частности:

11. a) осуществляет распределение полос радиочастотного спектра, выделение радиочастот и регистрацию присвоений радиочастот и соответствующих позиций на орбите геостационарных спутников таким образом, чтобы избежать вредных помех между радиостанциями различных стран;

12. b) координирует усилия, направленные на устранение вредных помех между радиостанциями различных стран и на улучшение использования спектра радиочастот и орбиты геостационарных спутников для службы радиосвязи;

Устав Международного союза электросвязи

Международная система контроля

78 1 1) Функции Сектора радиосвязи заключаются, с учётом особых интересов развивающихся стран, в реализации целей Союза, относящихся к радиосвязи, как указано в статье 1 настоящего Устава, путём:

– обеспечения рационального, справедливого, эффективного и экономного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи ...

Устав Международного союза электросвязи

Международная система контроля (1)

Статья 16 Регламента Радиосвязи (РР) содержит положения, регулирующие международной системы радиоконтроля.

- Международная система контроля включает только те станции контроля, которые администрации выделяют для данной цели.
- Ответственные администрации определяют, соответствуют ли технические стандарты, соблюдаемые станциями, Рекомендациям МСЭ-R, и представляют информацию в МСЭ.
- Администрация или группа администраций при создании службы контроля, должны назначить централизующее учреждение, которое направляет информацию в БР и в которое направляются запросы.

Международная система контроля (2)

В соответствии со Статьей 20 РР Бюро радиосвязи (БР) публикует информацию о таких станциях в Списке станций международного контроля (также известном как Список VIII) вместе с названием централизующего учреждения.

В Списке публикуются функции выполняемые каждой станцией, такие как:

– измерения частоты;
– измерения напряженности поля или плотности потока мощности;
– радиопеленгационные измерения;
– измерение ширины полосы;
– автоматический контроль занятости спектра

Международная система контроля (3)

В Списке VIII также содержится раздел по станциям контроля, которые проводят измерения в отношении станций космических служб радиосвязи.

БР публикует данные радиоконтороля, полученные от администраций, вместе с другой информацией, касающейся радиоконтроля, на ИНТЕРНЕТ странице МСЭ по адресу:

http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/monitoring/index.html

Бюро радиосвязи и радиоконтроль (1)

Деятельность по контролю в рамках системы осуществляется по запросу, поступившему либо от другой администрации, либо из Бюро радиосвязи.

Данные контроля используются БР для:

- помощи в прекращении несанкционированной работы и устранении внеполосных излучений;
- помощи администрациям в случаях вредных помех;
- помощи администрациям при выборе частот;
- подготовки к конференциям радиосвязи, в частности к конференциям, которые отвечают за распределение полос частот, путем предоставления отчетов о занятости спектра.

Бюро радиосвязи и радиоконтроль (2)

Рекомендация 36 (принятая Всемирной конференцией радиосвязи ВКР-97) предлагает МСЭ-R провести исследования и разработать рекомендации для получения глобального покрытия с целью обеспечения эффективного использования ресурсов, и предлагает администрациям:

- **прикладывать все усилия для развития средств контроля, как предусмотрено в Статье 16 РР;**
- **информировать МСЭ-R о степени их готовности сотрудничать в таких программах контроля, которые может запросить МСЭ-R;**
- **рассмотреть различные аспекты контроля излучений, создаваемых космическими станциями с тем, чтобы обеспечить возможность применения к ним положений Статей 21 и 22 РР**

Анализ ЭМС и определение координационных требований

- В соответствии с РР Бюро радиосвязи проводит анализ заявок на частотные присвоения и определяет перечень «затронутых»[1] администраций/частотных присвоений.
- Данные заявленных частотных присвоений и перечень затронутых администраций публикуются в Международном информационном циркуляре БР по частотам (BRIFIC). Существуют 2 версии: для наземных служб и для космических служб.

[1] Включение администрации/частотного присвоения в перечень «затронутых» ещё не означает наличие неприемлемых помех.

Описание элементов данных, используемых в BRIFIC

Приведено в предисловии к каждой версии BRIFIC (для наземных и космических служб) и публикуются на ИНТЕРНЕТ страницах БР:

- **PREFACE to the BR International Frequency Information Circular BR IFIC (space services) and the Space Radiocommunication Stations on CD-Rom (http://www.itu.int/ITU-R/space/preface/index.html)**
- **PREFACE to the BR International Frequency Information Circular BR IFIC (terrestrial services) (http://www.itu.int/ITU-R/publications/brific-te**

Присвоение частот станциям

4.2 Государства-Члены обязуются при присвоении частот станциям, которые способны причинить вредные помехи службам, осуществляемым станциями других стран, производить эти присвоения частот в соответствии с Таблицей распределения частот и другими положениями настоящего Регламента.

4.3 Любое новое присвоение или любое изменение частоты или другой основной характеристики существующего присвоения (см. Прил. 4) должно производиться так, чтобы избежать создания вредных помех службам, осуществляемым станциями, которые используют частоты, присвоенные им в соответствии с Таблицей распределения частот данной Главы и другими положениями настоящего Регламента, и характеристики присвоения которых занесены в Международный справочный регистр частот.

Статья 4 Регламента радиосвязи

Включение частотных присвоений в нарушение Таблицы распределения частот в Регистр частот

4.4 Администрации Государств-Членов не должны присваивать станции какую-либо частоту в нарушение либо Таблицы распределения частот, приведенной в данной Главе, либо других положений настоящего Регламента иначе как при условии, что данная станция при использовании такого частотного присвоения не должна создавать вредных помех станции, работающей в соответствии с положениями Устава, Конвенции и настоящего Регламента, и не должна требовать защиты от вредных помех со стороны этой станции.

Статья 4 Регламента радиосвязи

Включение частотных присвоений в Регистр частот при условии не создания вредных помех (1)

11.41 Если после возвращения заявки в соответствии с п. 11.38 заявляющая администрация повторно представляет эту заявку или настаивает на её пересмотре, Бюро должно внести это присвоение временно в Справочный регистр с указанием тех администраций, частотные присвоения которых стали основой для неблагоприятного заключения[16]. Эта запись впоследствии заменяется на постоянное занесение в Справочный регистр только в том случае, если в Бюро сообщается о том, что это новое присвоение в течение не менее 4 месяцев используется совместно с присвоением, которое легло в основу отрицательного заключения, без жалоб на вредные помехи (смотри пп. 11.47 и 11.49).

Включение частотных присвоений в Регистр частот при условии не создания вредных помех (2)

[16] **11.41.1 Запись должна быть определённой в случае частотного присвоения приёмной станции при условии, что заявляющая администрация приняла меры к исключению возражений в отношении любых вредных помех, которые могут создаваться этому присвоению от присвоения, приведшему к отрицательному заключению.**

Своевременное определение источника вредных помех является одной из основных задач службы радиоконтроля!!!

Материалы МСЭ-Р по контролю за использованием спектра (1)

- **Резолюция Ассамблеи радиосвязи ITU-R 23-1 Extension of the International Monitoring System to a worldwide scale *(Расширение международной системы радиоконтроля до всемирного масштаба)***
- **МСЭ-Р Справочник по радио-контролю, 2002**
- **Recommendation ITU-R SM.1139 International monitoring system *(Международная система радиоконтроля)***
- **Recommendation ITU-R SM.1050-2 Tasks of a monitoring service *(Задачи службы контроля)***

Материалы МСЭ-Р по контролю за использованием спектра (2)

- **Recommendation ITU-R SM.1447 Monitoring of the radio coverage of land mobile networks to verify compliance with a given licence *(Контроль зон покрытия сетей наземной подвижной связи на соответствие выданной лицензии)***
- **Recommendation ITU-R SM.182 Automatic monitoring of occupancy of the radio-frequency spectrum *(Автоматический контроль занятости радиочастотного спектра)***
- **Recommendation ITU-R SM.328-10 Spectra and bandwidth of emissions *(Спектры и ширина полосы излучений)***

Материалы МСЭ-Р по контролю за использованием спектра (3)

- **Recommendation ITU-R SM.377-3 Accuracy of frequency measurements at stations for international monitoring *(Точность измерений частоты на станциях, используемых для международного радиоконтроля)***
- **Recommendation ITU-R SM.378-6 Field-strength measurements at monitoring stations *(Измерение напряженности поля на станциях радиоконтроля)***
- **Recommendation ITU-R SM.443-2 Bandwidth measurement at monitoring stations *(Измерение ширины полосы частот на станциях радиоконтроля)***

Материалы МСЭ-Р по контролю за использованием спектра (4)

- **Recommendation ITU-R SM.854 Direction finding and location determination at monitoring stations of signals below 30 MHz *(Пеленгация контрольными станциями сигналов ниже 30 МГц)***
- **Recommendation ITU-R SM.1537 Automation and integration of spectrum monitoring systems with automated spectrum management *(Автоматизация и интеграция систем радиоконтроля и автоматизированной системы управления использованием радиочастотного спектра)***

Материалы МСЭ-Р по контролю за использованием спектра (5)

- **Recommendation ITU-R SM.1537 Automation and integration of spectrum monitoring systems with automated spectrum management *(Автоматизация и интеграция систем радиоконтроля и автоматизированной системы управления использованием радиочастотного спектра)***

Материалы МСЭ-Р по техническим основам использования спектра (2)

- **Recommendation ITU-R SM.1055 The use of spread spectrum techniques *(Использование методов расширения спектра)***
- **Рекомендации МСЭ-Р по распространению радиоволн, по техническим характеристикам различных радиослужб и систем радиосвязи.**
- **Справочники МСЭ-Р по системам радиосвязи и распространению радиоволн**

Материалы МСЭ-Р по техническим основам использования спектра (3)

- **Report ITU-R SM.2028-1 Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems *(Использование метода Монте-Карло для исследования совместимости между различными радиослужбами и радиосистемами)***
- **Отчёты МСЭ-Р по системам радиосвязи и распространению радиоволн (смотри http://www.itu.int/ITU-R/publications/download.asp?product=repp&lang=e)**

Анализ помех

При анализе электромагнитной совместимости рекомендуется производить оценку (расчёт):

– помех по совмещённому каналу;

– помех по соседним каналам;

– уменьшения восприимчивости приёмников вследствие воздействия мощных помех (эффекта блокирования);

– вероятности возникновения помех.

Материалы МСЭ-Р по анализу помех

- **Recommendation ITU-R SM.1134 Intermodulation interference calculations in the land-mobile service *(Расчёт интермодуляционных помех в сухопутной подвижной службе)***
- **Recommendation ITU-R SM.1446 Definition and measurement of intermodulation products in transmitter using frequency, phase, or complex modulation techniques *(Определение и измерение продуктов интермодуляции в передатчике, использующем частотную, фазовую или комплексную модуляцию)***
- **Программные средства МСЭ-Р, для оценки совместимости радиосредств и/или для определения координационных требований для заявляемых частотных представлений**

Регламент радиосвязи - основные методы анализа ЭМС (1)

- «запретительный» метод - предельные мощности «помехи» - при превышении возврат заявки без дополнительной обработки;
- метод «координационной» дуги;
- метод «предельных расстояний»
- метод определения координационной зоны вокруг земной/наземной станции (Прил. 7 РР);
- метод расчёта увеличения эквивалентной шумовой температуры (Прил. 8 РР);
- методика расчёта плотности потока мощности;
- метод расчёта суммарной плотности потока мощности от негеостационарных сетей;

Регламент радиосвязи - основные методы анализа ЭМС (2)

- метод оценки эквивалентной плотности потока мощности (ЭППМ) от негеостационарных сетей;
- расчёт отношения сигнал/помеха (единичная и/или суммарная помеха) - используется в основном в Планах наземных и космических служб (для неплановых космических служб - по специальному запросу Администрации на помощь со стороны Бюро радиосвязи, например по п. 9.63 Статьи 9 РР может быть применён п.11.32А).

Метод предельных расстояний

- Самый простой метод определения совместимости, а точнее необходимости координации частотных присвоений.
- Базируется на оценке уровня помехи при заданных условиях распространения.
- Используется для присвоений наземных служб (в частности в Планах).

Пример: ***В Региональном Плане телевизионного вещания для Европейской радиовещательной зоны (41-68, 87,5-100 и 470-960 МГц) расстояния (ТВ передатчик 1 кВт, эффективная высота антенны 300м):***

частота 600 МГц, трасса над землёй – 220 км

частота 600 МГц, трасса над холодным морем – 980 км

Если меньше – нужна координация

Расчёт плотности потока мощности (ППМ) (1)

- Самый простой расчётный метод определения совместимости частотных присвоений.
- Базируется на определении плотности потока мощности помехи, «приходящей» в данную точку на поверхности Земли от анализируемой спутниковой станции.
- Расчёт производится в случае перекрытия полос частот мешающего и полезного сигналов или защищаемой службы и при условии, что защищаемая станция (точка зоны обслуживания) видна с данной орбитальной позиции.

Расчёт плотности потока мощности (ППМ) (2)

В расчёте учитываются:

- **максимальное значение плотности потока мощности на выходе передатчика космической станции;**
- **модель диаграммы направленности передающей антенны космической станции;**
- **модель «эталонной» антенны приёмной станции (в некоторых случаях просто пороговое значение ППМ);**
- **потери распространения в свободном пространстве;**
- **координаты анализируемой точки.**

Расчёт плотности потока мощности (ППМ) (3)

Исходя из всех этих параметров и требуемых уровней защиты приёмного устройства службы, были определены разрешенные уровни ППМ, включенные в различные Статьи и Приложения Регламента радиосвязи, с которыми и сравниваются значения, рассчитанные для заявляемого частотного присвоения.

Если рассчитанный уровень ППМ превышает разрешённый, защищаемое частотное присвоение считается *вероятно* затронутым

Недостатки метода расчёта плотности потока мощности (ППМ)

Не учитываются:

- реальная диаграмма направленности и поляризация антенны приёмной станции;
- спектральные характеристики мешающего и полезного сигналов;
- реальная мощность мешающего сигнала, попадающего на вход приёмника (перекрытие полос полезного сигнала и помехи);
- характеристики среды распространения (например, затухание в атмосфере).

Результат → низкая точность. Метод в значительной степени является индикативным.

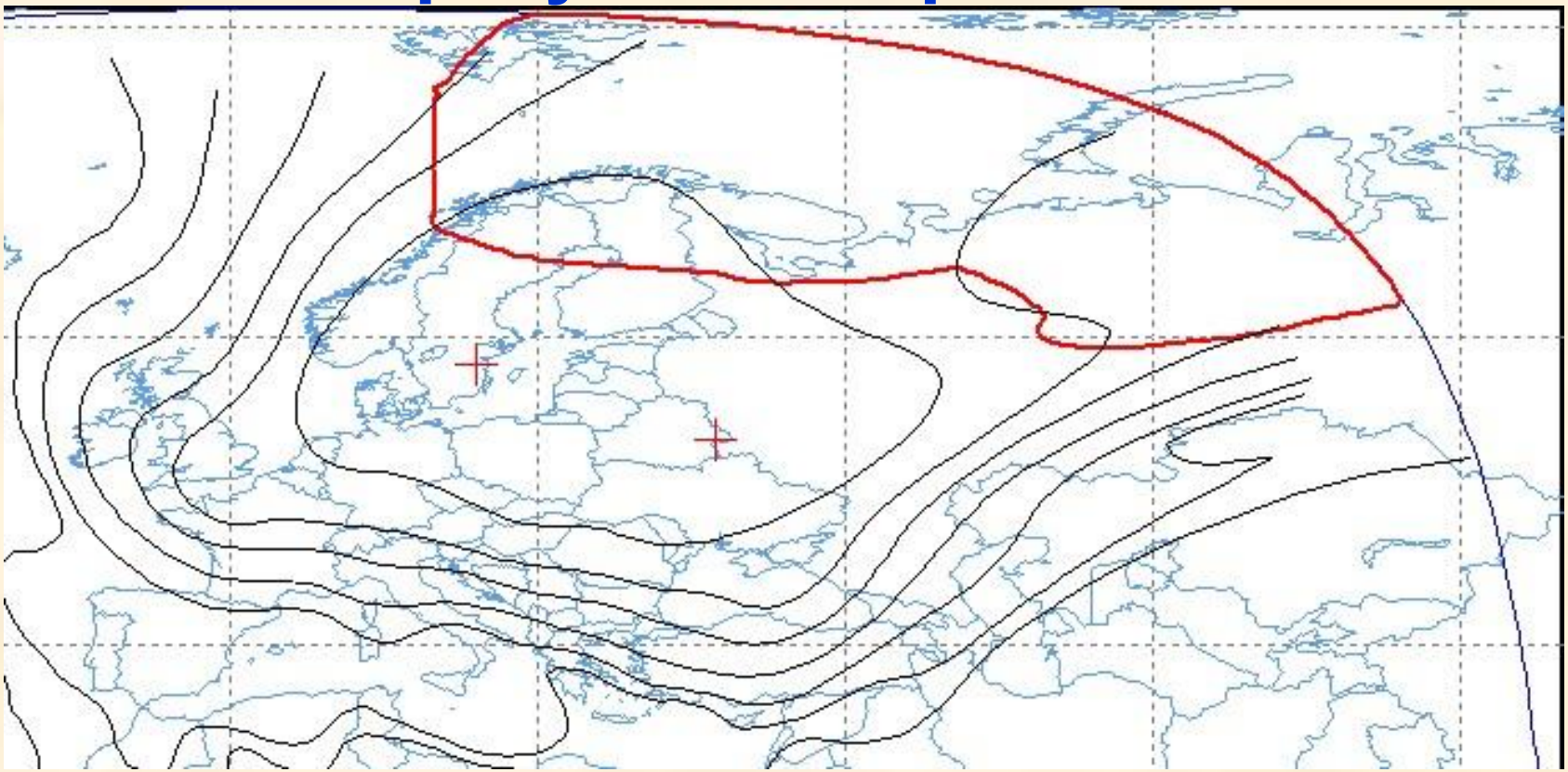
Программное обеспечение для расчёта ППМ

Используются две программы:

- **интерактивная система GIMS;**
- **программный комплекс GIBC, работающий в пакетном режиме.**

GIMS это программный комплекс подготовки, проверки, отображения и обработки графических данных космических служб, производящий также расчёт плотности потока мощности

Графическое отображение системой GIMS результатов расчёта ППМ



Контур, обведённый жирной линией, это зона, в которой превышен пороговый уровень ППМ (возможны помехи наземным службам). Тонкие линии - контуры усиления антенны.

Использование GIBC для расчёта ППМ

GIBC использует базу данных космических служб БР. Пакет применяется при анализе ЭМС модификации с другими средствами и службами.

Существует два режима расчёта ППМ:

- режим PFD, когда система генерирует проверочные точки на поверхности Земли в пределах заданной зоны обслуживания, используя внутренний алгоритм;
- режим PXT, когда расчёт только для априорно заданных «контрольных» точек.

Выбор режима осуществляется пользователем.

Метод определения необходимости координации между геостационарными спутниковыми сетями, совместно использующими одни и те же полосы частот - Приложение 8 РР ($\Delta T/T$) (1)

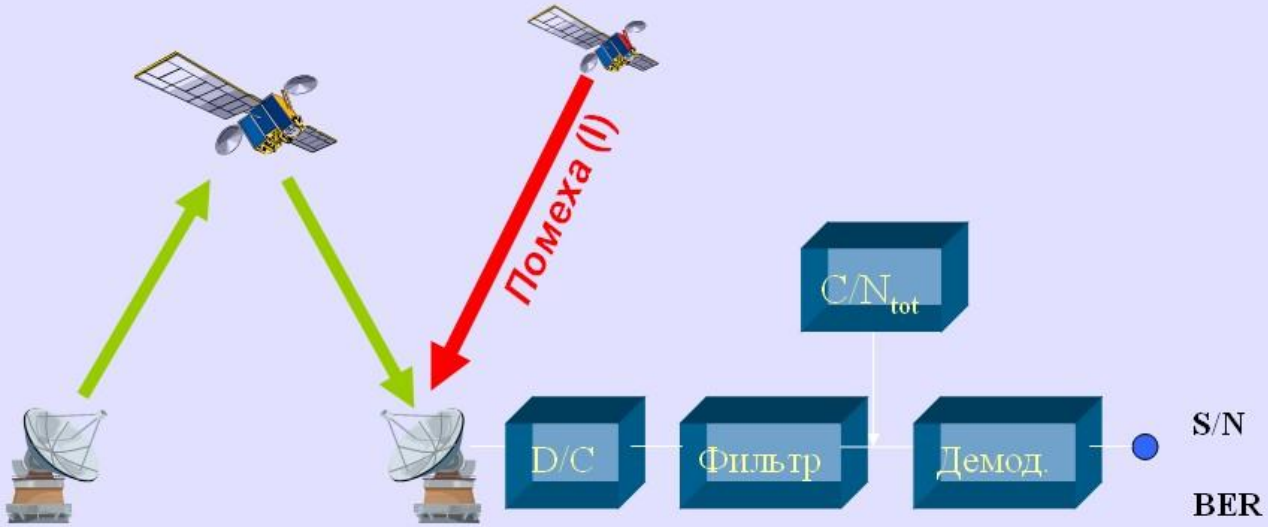
- Основан на представлении, что по мере возрастания уровня мешающего воздействия увеличивается шумовая температура системы, подвергающейся помехам.
- Может применяться независимо от характеристики модуляции спутниковых сетей и точных значений используемых частот.

Расчёт ΔT/T (2)

Рассматривается 2 случая:

- **Случай I: полезная и мешающая сети совместно используют одну или несколько полос частот, причём направления передачи каждой сети совпадают;**
- **Случай II: полезная и мешающая сети совместно используют одну или несколько полос частот, причём передача в каждой сети ведётся в противоположных направлениях (реверсивное использование частот).**

Расчёт ΔT/T (3)
Теоритическое представление



Цель:
Сохранить
I/N < Порогового значения

Ntot= N + I
Где:
N_{tot} - Общая мощность шума
N -Термальный шум
I - Мощность помехи

Если I << N настолько, что I/N < Порога
То , нет ухудшения качества работы системы

Обычно пороговое значение равно 6%

Расчёт ΔT/T (4)

- Может производиться как отдельно для линий вверх и линий вниз, так и для обеих одновременно с целью оценки суммарного эффекта воздействия помех на данный транспондер.
- По решению ВКР-2000 БР производит оценку увеличения шумовой температуры отдельно для линий вниз и вверх (без оценки суммарного эффекта).
- Анализ производится только в случае перекрытия полос частот мешающего и полезного излучений.
- Если ΔT/T>6%, то защищаемое частотное присвоение считается *вероятно* затронутым.

Недостатки метода расчёта ΔT/T (1)

Расчёт ΔT/T более точен, чем методики расчёта ППМ.

Тем не менее не учитываются:

- **поляризационные характеристики антенн;**
- **спектральные характеристики мешающего и полезного сигналов;**
- **перекрытие полос частот;**
- **характеристики среды распространения (ослабление в атмосфере, дожде и т.д.).**

Имеют место случаи, когда шумовая температура повышается на тысячи градусов, а анализ отношения сигнал/помеха показывает, что присвоение не затронуто. Метод также является индикативным (хотя и в меньшей степени по сравнению с расчётом ППМ).

Программное обеспечение для расчёта ΔT/T (1)

Для расчёта применяется программный комплекс GIBC, поставляемый на SRS-on-CD.

GIBC работает в пакетном режиме и использует базу данных космических служб Бюро радиосвязи.

GIBC позволяет производить:

- общий анализ - определение затронутых Администраци и сетей;
- детальный анализ - определение затронутых частотных присвоений.

Выбор режима осуществляется пользователем.

Метод определения координационной зоны вокруг земной станции в полосах частот 100 МГц и 105 ГГц (Прил. 7 РР)

1.171 *координационная зона*: При определении необходимости координации: зона вокруг *земной станции*, работающей совместно с *наземными станциями* в одной полосе частот, или вокруг передающей *земной станции*, работающей совместно с приёмными *земными станциями* в одной полосе частот, распределённой в двух направлениях, за пределами которой уровень *допустимых помех* не будет превышаться и, таким образом никакой координации, не требуется.

Метод определения координационной зоны (2)

Рассматривается 2 случая:

1) **случай передающей земной станции, могущей создать помехи приёмным наземным или земным станциям;**
2) **случай приёмной земной станции, которая может быть поражена помехами передающих наземных или земных станций.**

Методика определения координационной зоны, включая алгоритм, параметры и критерии, изложена в Приложении 7 Регламента радиосвязи.

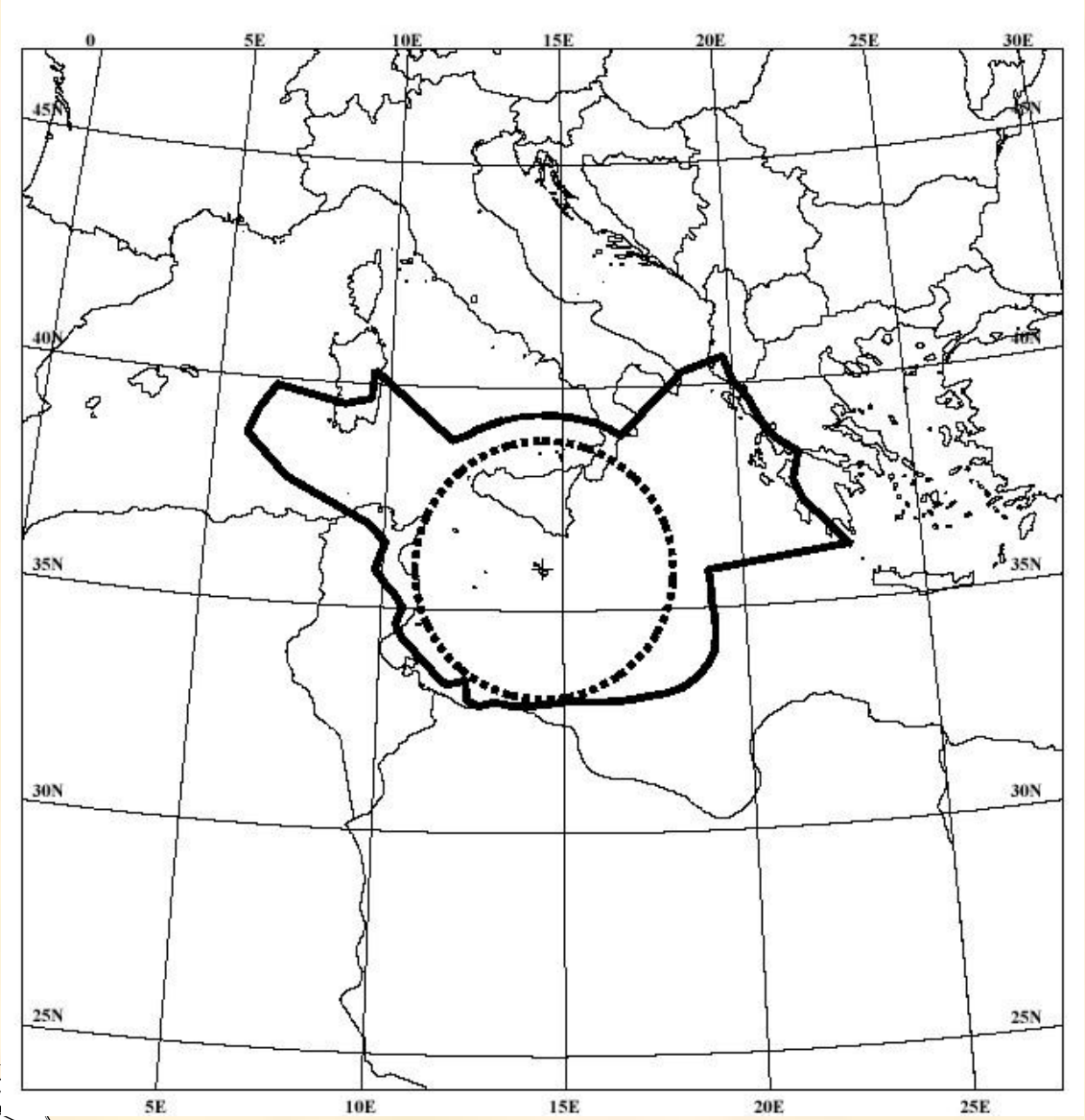
Метод определения координационной зоны (3)

Алгоритм в большей степени, чем предыдущие использует характеристики среды распространения:

- характеристики подстилающей поверхности (суша, прибрежные зоны, тёплое море, холодное море);
- климатические (дождевые зоны);
- рассеяние за счёт гидрометеоров;
- рельеф местности вокруг земной станции (при представлении данных заявляющей Адм.).

Самый используемый - многие Администрации, не имеющие спутниковых сетей, располагают земными станциями или же обязаны обеспечить защиты земных станций от помех наземных

Пример координационной зоны



Для расчёта координационной зоны используется программа R1448, разработанная в БР и поставляемая на SRS-on-CD.

Программа работает в режиме DOS.

Расчёт отношения сигнал/помеха (C/I)

- Метод является наиболее точным и практически полностью свободным от всех перечисленных ранее недостатков.
- Описан в Рекомендации ITU-R S.741-2.
- Реализован в полном объёме в Планах Радиовещательной спутниковой службы.
- Применяется для «неплановых» сетей только в случаях запросов Администраций на помощь БР.

Расчёт отношения сигнал/помеха (C/I) (2)

В общем случае алгоритм расчёта C/I для РСС учитывает:

- мощности полезного и мешающего сигналов;
- спектральные характеристики и типы модуляции сигналов;
- большинство орбитальных параметров космической станции (точность удержания на орбите, масимальный угловой поворот антенн, точность прицеливания и т. д.);
- различные модели антенн «защищаемого» и мешающего лучей (по желанию пользователя);
- реальные характеристики антенн «защищаемого» и мешающего лучей;

Расчёт отношения сигнал/помеха (C/I)

... учитывает:

- развязку антенн по поляризации;
- параметры среды распространения (потери в свободном пространстве, ослабление в атмосфере, дожде и т. д.). В разных случаях используются различные комбинации этих параметров;
- деполяризацию в дожде;
- полосы частот и перекрытие полезного и мешающего сигналов (с соответственным уточнением мощности мешающего сигнала);
- и другие.

Программное обеспечение для расчёта C/I

Расчёт отношения C/I как часть алгоритма оценки эквивалентого защитного отношения осуществляется программой MSPACEg, входящей в систему анализа электромагнитной совместимости «плановых» спутниковых сетей SPS (Space Plans' System) и публикуется на SRS-on-CD.

MSPACEg с некоторыми ограничениями (такими, как «неучёт» поляризации) используется и для оценки C/I «неплановых» сетей.

ВОПРОСЫ???