



Справочник

МЕТОДЫ МСЭ-Р ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОМЕХ И СОВМЕСТНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТ

Издание 2012 года
Бюро радиосвязи



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
Radiocommunication Bureau
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Телефон: +41 22 730 5800

Факс: +41 22 730 5785

Электронная

почта: brmail@itu.int

Интернет: www.itu.int/itu-r

Размещение заказов на публикации МСЭ

Обращаем внимание на то, что заказы не принимаются по телефону.

Их следует направлять по факсу или электронной почте.

ITU
Sales and Marketing Division
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Факс: +41 22 730 5194

Электронная

почта: sales@itu.int

Электронный магазин МСЭ: www.itu.int/publications

СПРАВОЧНИК

Методы МСЭ-R по прогнозированию распространения радиоволн для исследования помех и совместного использования частот



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
Radiocommunication Bureau
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Телефон: +41 22 730 5800

Факс: +41 22 730 5785

Электронная

почта: brmail@itu.int

Интернет: www.itu.int/itu-r

Размещение заказов на публикации МСЭ

Обращаем внимание на то, что заказы не принимаются по телефону.

Их следует направлять по факсу или электронной почте.

ITU
Sales and Marketing Division
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

© МСЭ 2011

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем Справочнике приводятся техническая информация и руководство, необходимые для проведения исследований совместного использования частот и оценки влияния помех с применением моделей распространения радиоволн и методов прогнозирования, содержащихся в некоторых Рекомендациях МСЭ-R серии Р. Справочник разработан 3-й Исследовательской комиссией под руководством Рабочей группы ЗМ, возглавляемой г-жой Кэрол Уилсон (Австралия).

Вклад в разработку настоящего документа внесли следующие лица:

Клер АЛЛЕН

Дэвид БЭКОН

Лес БАРКЛЕЙ

Крис БЁМ

Ральф КЭЙДЖЕР

Алекс ЭПШТЭЙН

Гленн ФЕЛДХЕЙК

Райнер ГРОССКОПФ

Фредерик ЛЕВИЦКИ

Пол МАККЕННА

Алакананда ПОЛЬ

Патти РАУШ

Лаура РОБЕРТИ

Тереза РУЗИН

Кэрол УИЛСОН

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	iii
СОДЕРЖАНИЕ	v
ГЛАВА 1 – Введение	1
1.1 Базовая информация	1
1.2 Цель	1
1.3 Организация материала	1
ГЛАВА 2 – Основные сведения о помехах.....	3
2.1 Введение в радиопомехи	3
2.2 Параметры радиоволн.....	5
2.3 Изменчивость распространения.....	5
2.4 Координационные расстояния и зоны.....	6
2.5 Механизмы распространения.....	6
ГЛАВА 3 – Краткое руководство по эффектам и методам распространения, описанным в Рекомендациях МСЭ-R серии Р	9
3.1 Введение.....	9
3.2 Терминология в области распространения радиоволн	10
3.3 Руководство по методам прогнозирования распространения РЧ-сигналов из Рекомендаций МСЭ-R серии Р, полезным для анализа помех	10
3.4 Конкретные явления распространения РС-сигналов, описанные в Рекомендациях МСЭ-R серии Р.....	15
3.4.1 Конкретные эффекты распространения, описанные в Рекомендациях МСЭ-R серии Р	15
3.5 Требования к трассам распространения РЧ-сигналов, содержащиеся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р	19
ГЛАВА 4 – Явления распространения радиоволн	25
4.1 Введение.....	25
4.2 Статистический характер распространения радиоволн	25
4.3 Критерии защиты от помех	30
ГЛАВА 5 – Применение моделей и методов распространения, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р, для оценки совместного использования частот и помех.....	35
5.1 Введение.....	35
5.2 Рекомендация МСЭ-R Р.452	35
5.3 Рекомендация МСЭ-R Р.528	36
5.4 Рекомендация МСЭ-R Р.533	38
5.5 Рекомендация МСЭ-R Р.619	39

	<i>Стр.</i>
5.6 Рекомендация МСЭ-R P.620	41
5.7 Рекомендация МСЭ-R P.1546	43
5.8 Рекомендация МСЭ-R P.1812	45
ГЛАВА 6 – Типовые сценарии совместного использования частот для методов и моделей распространения, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р.....	49
6.1 Примеры сценариев совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.452	49
6.2 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.528	50
6.3 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.533	51
6.4 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.620	52
6.5 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.1546	53
6.6 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.1812	54
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Примеры расчетов	57
Дополнение А1 к Приложению А – Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.452	57
Дополнение А2 к Приложению А – Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.528	61
Дополнение А3 к Приложению А – Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.533	63
Дополнение А4 к Приложению А – Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.620	67
Дополнение А5 к Приложению А – Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.1546	69
Дополнение А6 к Приложению А – Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.1812	73
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Ссылки	75

ГЛАВА 1

ВВЕДЕНИЕ

1.1 Базовая информация

В рамках МСЭ-R 3-я Исследовательская комиссия несет ответственность за изучение распространения радиоволн в ионизированной и неионизированной среде и характеристик радишумов в целях совершенствования систем радиосвязи. В состав 3-й Исследовательской комиссии входят четыре Рабочие группы, каждая из которых охватывает определенные аспекты распространения радиоволн, и по состоянию на август 2011 года в ее ведении находятся 86 действующих технических Рекомендаций и 8 технических Отчетов МСЭ-R серии Р. Одни из этих документов содержат подробные данные измерений; другие предоставляют модели для конкретных явлений распространения; остальные обеспечивают методы прогнозирования распространения, то есть шаги и процедуры для объединения моделей в целях оценки общих потерь при распространении на трассе передачи.

Для обеспечения проектирования, реализации и эксплуатации большинства современных систем радиосвязи требуется точная информация о распространении. Кроме того, точная информация о распространении представляет большой интерес и важность для исследовательских комиссий МСЭ-R, изучающих воздействие одной системы радиосвязи на другие системы радиосвязи или помехи, которые она создает другим системам. 3-я Исследовательская комиссия часто получает заявления о взаимодействии с просьбой дать разъяснения относительно методов распространения, например:

- как определить, какой метод прогнозирования распространения, содержащийся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р, является наиболее подходящим или применимым для анализа помех и исследований совместного использования частот; и
- как использовать отдельные методы прогнозирования распространения, содержащиеся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р, в ходе анализа помех и исследований совместного использования частот.

В целях облегчения работы других Исследовательских комиссий и Рабочих групп в настоящем Справочнике дается общее руководство по этим вопросам.

1.2 Цель

Настоящий Справочник предназначен для использования совместно с Рекомендациями МСЭ-R серии Р в целях оказания помощи в проведении анализа помех и применении методов прогнозирования в системах служб радиосвязи. Справочник использует ту же терминологию и нотацию, что и Рекомендации МСЭ-R серии Р, и в нем описываются основные особенности выбранных методов прогнозирования распространения, взятых из Рекомендаций МСЭ-R этой серии. В него также включены подробные примеры, показывающие применение методов к конкретным сценариям анализа помех.

1.3 Организация материала

После вводного материала, содержащегося в главе 1, в главе 2 настоящего Справочника приводятся руководство по истории вопроса, вспомогательная информация и краткое описание радиопомех и механизмов распространения, используемых в отобранных для данного Справочника Рекомендациях МСЭ-R серии Р. Глава 3 содержит руководство по терминологии в области распространения радиоволн и руководство по выбору одной из этих Рекомендаций для анализа помех. В главе 4

Справочника рассматриваются методы и механизмы, с использованием которых проводится анализ помех. В главе 5 продолжается рассмотрение конкретных деталей, включая входные данные, применяемые механизмы распространения и результаты, получаемые с помощью метода, содержащегося в каждой Рекомендации. В главе 6 приводятся типовые сценарии совместного использования частот, а в дополнениях к настоящему Справочнику показаны примеры расчетов при анализе помех в типовых сценариях совместного использования частот.

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОМЕХАХ

2.1 Введение в радиопомехи

Помехи возникают, когда в приемную антенну поступают мешающие радиосигналы с уровнем мощности, достаточным для того, чтобы ухудшить качество приема полезного сигнала. Мощность каждого мешающего сигнала зависит от интенсивности мешающей радиоволны на антенне и от коэффициента усиления антенны в направлении прихода волны.

На входе приемника должны рассматриваться три вида уровней мощности: уровень мощности полезного сигнала, уровень суммы мощностей всех сигналов помех и уровень мощности радишума. Заданный уровень качества работы, обычно определяемый коэффициентом ошибок по битам в цифровой системе, требует минимального отношения мощности полезного сигнала к сумме мощностей шума и всех помех на демодуляторе. На практике это отношение обычно определяется в доступной эталонной точке приемной системы с учетом соответствующих коэффициентов шума и усиления. Данное отношение принято записывать в виде $C/(N + \Sigma I)$, где C – мощность полезного сигнала, N – мощность шума, а ΣI – сумма мощностей помех.

Это отношение мощностей, $C/(N + \Sigma I)$, обычно выражается в децибелах (дБ) в виде $10\log_{10}$ (отношение мощностей). Все использование децибелов сводится к отношению двух мощностей. Например, когда уровень мощности задается в децибелах относительно 1 Вт и записывается как дБВт, фактически рассчитывается $10\log_{10}\left(\frac{W}{1}\right)$, где W – фактическая мощность в ваттах, а 1 обозначает "относительно 1 Вт".

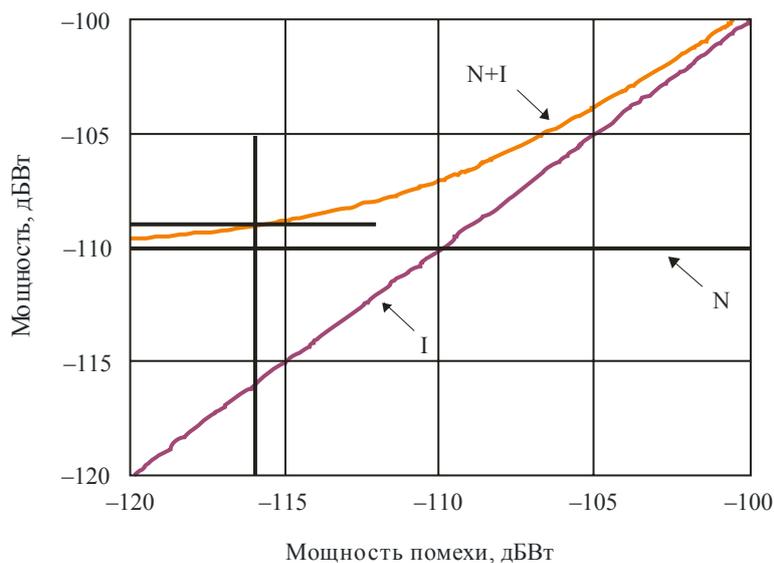
Члены C , N и ΣI в приведенном выше соотношении являются мощностями, выраженными в децибелах, например в дБВт. Это ведет к парадоксу, если рассматривать $C/(N + \Sigma I)$ как математическое выражение, поскольку в этом случае все три члена должны быть выражены в единицах линейных измерений мощности. Традиционно $C/(N + \Sigma I)$ и аналогичные выражения рассматривают, как будто каждое является простой величиной.

Использование логарифмической шкалы в выражении отношения мощностей является удобным, поскольку в расчете помех важны относительные уровни мощности разных сигналов, и большинство факторов, влияющих на мощность сигнала, являются мультипликативными. Это облегчает общую практику расчета бюджета линии для радиосистемы путем сложения соответствующих величин, выраженных в дБ. Тот же принцип можно использовать и для оценки помех.

На Рисунке 2.1 иллюстрируется суммирование N и одиночной помехи I , дающее в результате $(N + I)$. По обеим осям показаны уровни мощности в дБВт. По горизонтальной оси отсчитывается мощность одиночного сигнала помехи, I ; считается, что она меняется, как показано диагональной лиловой линией. Мощность шума, N , считается постоянной, показана горизонтальной (черной) линией.

РИСУНОК 2.1

Суммирование мощностей помехи и шума



PPM. 02.1

Несколько сигналов помех обычно комбинируются путем суммирования мощностей, то есть сложения линейных мощностей, выраженных в ваттах. Когда исходные данные заданы в дБ, требуется преобразовать мощности в линейные единицы, сложить их, а затем обратно преобразовать в децибелы. Тогда сумма N и I из Рисунка 2.1 описывается выражением

$$e(N + I) = 10 \log(10^{0,1N} + 10^{0,1I}) \text{ дБВт.} \quad (2.1)$$

Мощность полезного сигнала S на Рисунке 2.1 не показана. Для требуемого качества работы она должна оставаться на уровне заданного минимального отношения, превышающего $(N + I)$.

Ввиду того что шкала выражена в децибелах, (красная) линия, отражающая $(N + I)$, изогнута. В левой части графика, где N на 10 дБ выше I , сумма $(N + I)$ всего лишь примерно на 0,4 дБ выше N и становится асимптотической к N при более низких значениях I . В правой части графика наблюдается аналогичная картина, только сумма $(N + I)$ становится асимптотической к I . В центральной части графика, где $N = I$, объединенные шум плюс помеха на 3 дБ выше, чем N или I .

Радиосистемы могут быть спроектированы ограниченными по шуму или помехам. На пересечении тонких (черных) линий на Рисунке 2.1, при $I = -116$ дБВт, величина помехи I на 6 дБ ниже величины шума N , в результате сумма $(N + I)$ близка к величине, которая на 1 дБ выше величины N . Это представляет собой критерий ограничения по шуму, так как большая часть суммы $(N + I)$ состоит из шума. Можно сказать, что в данном примере существует запас по помехам в 1 дБ или, другими словами, отношение шум/помеха (N/I) составляет -6 дБ.

В системах, работающих в диапазоне выше ОВЧ, в общем шуме N обычно доминирует шум в канале, в отличие от внешнего шума, такого как шум неба или индустриальный шум. Эти примеры источников шума будут более подробно описаны в последующих главах. В диапазоне УВЧ и выше общий шум является довольно устойчивым, поэтому планировать системы с ограничением по шуму относительно просто.

С точки зрения эффективности использования спектра радиосистемам лучше работать в условиях ограничения по помехам, что отражено в правой части графика, представленного на Рисунке 2.1.

Однако уровни помех обычно варьируются более широко, чем уровни шума, что соответственно усложняет планирование систем с ограничением по помехам.

Рекомендации, разработанные 3-й Исследовательской комиссией, призваны предоставить данные по прогнозированию уровней мощности сигналов, включая статистические данные об изменении этих уровней, которые имеют большое значение при проведении исследований совместного использования частот. В следующих подразделах описаны параметры мощности, передаваемой радиосигналами, а также механизмы распространения, от которых зависит изменение уровней сигналов.

2.2 Параметры радиоволн

Существуют два параметра, которые обычно используются для выражения абсолютной мощности распространяющей радиоволны, – напряженность электрического поля и плотность потока мощности. Они по существу эквивалентны и связаны простым выражением:

$$E = S + 145,8, \quad (2.2)$$

где E – напряженность электрического поля в децибелах относительно 1 мкВ/м, то есть в дБ(мкВ/м), а S – плотность потока мощности в дБ относительно 1 ватта на квадратный метр, то есть в дБ(Вт/м²).

Абсолютная мощность радиоволны зависит от мощности, излучаемой передающей антенной, ее коэффициента усиления в направлении распространения и потерь при распространении. Комбинацию излученной мощности и коэффициента усиления в направлении распространения можно рассматривать как один параметр – эквивалентную изотропно излучаемую мощность (э.и.и.м.), P , задаваемую выражением

$$P = P_t + G_i \text{ дБВт}, \quad (2.3)$$

где P_t – полная мощность, излученная антенной (дБВт), и G_i – коэффициент усиления антенны в заданном направлении в дБ относительной изотропной антенны (дБи).

Как вариант, уровни сигналов можно рассчитать косвенно, путем расчета потерь при распространении в канале радиосвязи. Определение основных потерь при передаче, а также определения некоторых других видов потерь приведены в Рекомендации МСЭ-R Р.341. Попросту говоря, основные потери при передаче, L_b , – это потери между изотропными антеннами, выраженные в дБ. Основные потери при передаче используются в бюджете линии связи для расчета уровня мощности соответствующего сигнала в приемнике.

2.3 Изменчивость распространения

Уровень мощности радиосигнала обычно варьируется даже при распространении волны между стационарными антеннами. Уровень, достигаемый или превышаемый сигналом в течение половины времени, называется медианным уровнем сигнала. Различные механизмы могут вызывать снижение уровня (замирание) сигнала ниже медианного уровня или его увеличение выше медианного. Статистические данные об изменчивости обычно приводятся для процентов времени за усредненный год или худший месяц; понятие "худший месяц" описано в Рекомендации МСЭ-R Р.581.

Следует отметить, что в различных Рекомендациях обозначение $p\%$ используется в отношении либо времени в процентах, в течение которого превышаются заданное замирание сигнала или потери, либо процента времени, в течение которого превышает заданное увеличение уровня сигнала, либо времени, в течение которого не превышаются потери. Необходимо учитывать контекст, в котором указывается время $p\%$, а также то, за какой период (год или худший месяц) оно указывается.

Некоторые основные принципы, касающиеся изменчивости мешающих сигналов, описаны в пункте 1.3 Рекомендации МСЭ-R SM.1448. Изложенные критерии обычно применимы к долгосрочным и краткосрочным условиям, когда уровни мешающего сигнала превышаются в течение 20% и в пределах от 0,001% до 1,0% времени соответственно.

2.4 Координационные расстояния и зоны

Принцип, на котором основано координационное расстояние, состоит в том, что вероятность создания вредных помех находящейся на большем расстоянии станцией можно считать пренебрежимо малой.

Расчет координационного расстояния требует особого внимания. В любой Рекомендации серии Р длина трассы обычно используется в качестве исходных данных для расчета напряженности поля или потерь при распространении. Координационное расстояние можно рассчитать путем определения минимальных допустимых потерь (или, возможно, максимальной допустимой напряженности поля) мешающего сигнала и последующей итерации модели распространения для различных расстояний, пока не будет выполнено требуемое условие достижения приемлемой точности. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы модель распространения выдавала результат, который однообразно изменяется с изменением длины трассы. Поэтому вместо того чтобы проводить детальный анализ профиля трассы, следует ввести допущения по этой трассе. Эти допущения должны, как правило, завышать уровень мешающего сигнала для повышения вероятности того, что значение координационного расстояния будет соответствовать безопасному уровню.

Координационные зоны – это зоны в пределах координационных расстояний, и, в частности, в Рекомендации МСЭ-R SM.1448 дается метод построения координационных зон для международной координации земных станций. Элементы распространения, используемые в Рекомендации МСЭ-R SM.1448, взяты из Рекомендации МСЭ-R P.620.

Обе Рекомендации – МСЭ-R SM.1448 и МСЭ-R P.620 – упоминают виды распространения (1) и (2), но не описывают их, хотя и позволяют сделать заключение о различиях между ними. Эти два вида распространения описываются в Словаре данных по радиосвязи, содержащемся в Рекомендации МСЭ-R SM.1413-2, пункт 5.24. К виду (1) относятся механизмы распространения, которые могут быть учтены в анализе профиля трассы по дуге большого круга между передающей и приемной антеннами, а к виду (2) – механизмы, которые требуют изучения условий распространения вне дуги большого круга. По существу, вид (2) состоит из рассеяния в гидрометеорах, которое может привести в определенных условиях к связи между антенными лучами, включая боковые лепестки, и может способствовать повышению уровня мешающих сигналов. Вид (1) состоит из всех других механизмов распространения.

2.5 Механизмы распространения

Рекомендации серии Р, которые поддерживаются и ведутся 3-й Исследовательской комиссией, содержат методы прогнозирования напряженности и статистику изменчивости уровней принимаемых сигналов как полезных, так и мешающих, необходимые для исследований совместного использования частот и координации. Большинство методов позволяют получить основные потери при передаче с использованием различных механизмов распространения. В одном случае необходимо выдать результат в виде потерь при передаче. Различие между этими двумя определениями основных потерь при передаче дано в Рекомендации МСЭ-R P.341.

В этом подразделе приводится описание характеристик механизмов распространения, учитываемых в Рекомендациях серии Р.

- a) **Потери в свободном пространстве.** Эти потери иногда называются потерями на расширение, когда происходит уменьшение плотности потока мощности по мере расширения фронта волны. Использование термина "потери в свободном пространстве" должно ограничиваться случаями распространения радиоволн в трехмерной однородной среде. Это можно аппроксимировать к условиям передачи в тропосфере. В Рекомендациях серии Р, когда это необходимо, учитываются потери на расширение.
- b) **Затухание в атмосферных газах.** На более высоких частотах затухание за счет атмосферных газов может быть значительным как на наземных трассах, так и на трассах Земля-космос. В типичных условиях на уровне моря погонное затухание превышает 0,01 дБ/км на частоте около 6 ГГц и 0,1 дБ/км – на частоте около 20 ГГц. Подробные методы расчета затухания в атмосферных газах приведены в Рекомендации МСЭ-R P.676. Затухание

в атмосфере вызывается присутствием кислорода и паров воды. Процентное содержание кислорода в атмосфере является стабильным, но количество паров воды меняется. Изменение содержания паров воды в атмосфере особенно заметно на пике затухания на частотах около 22 ГГц и выше 70 ГГц. Статистические данные о содержании проб воды приведены в Рекомендации МСЭ-R P.836.

- e) **Дифракция.** Этот вид затухания вызывается наличием препятствий распространению волны. В частности, следует учитывать препятствия, обусловленные рельефом местности, например холмистой местностью в сочетании с кривизной земной поверхности. Дифракция на рельефе местности наблюдается главным образом на наземных трассах, но может быть значительной на трассе Земля-космос при низких углах места. Дифракционные потери на заданной частоте являются постоянными при неизменной геометрии препятствий. Однако изменение атмосферной рефракции с изменением высоты может быть эквивалентно изменению эффективного радиуса Земли с последующим изменением потерь от дифракции. Этот вид изменений, связанный с нормальными, хотя и переменными атмосферными условиями, может вызвать изменения в потерях от дифракции на рельефе местности, превышаемых в течение процента времени, составляющего от 10 до 90%, то есть вызывать как увеличение, так и ослабление уровня сигнала. Данный механизм не связан с более существенными изменениями, превышаемыми в течение менее 10% времени.
- d) **Структуры атмосферной рефракции.** Определенные структуры атмосферной рефракции могут вызывать сходимости и расходимости, которые иногда называют фокусированием и расфокусированием. Эти эффекты могут вызывать как медленное, так и быстрое усиление и замирание сигнала на наземных трассах и трассах Земля-космос, особенно на более протяженных трассах в тропосфере. Быстрые изменения называют сцинтилляцией (мерцанием). Неравномерность рефракции в апертуре антенны может также способствовать снижению эффективного коэффициента усиления из-за некогерентности фаз; этот эффект называется связью апертуры со средой распространения.
- e) **Распространение в атмосферном волноводе и отражение в слоях.** Отличное от нормальной атмосферной структуры расслоение может вызывать существенные изменения в уровнях сигнала. В частности, волна, попавшая в атмосферный волновод, может распространяться с меньшими потерями, чем потери в свободном пространстве. Это может вызывать значительное увеличение уровня сигнала, когда распространение по волноводу эффективно избегает потерь от дифракции на рельефе местности. В зависимости от относительных высот антенн и слоев, или атмосферных волноводов, этот тип атмосферной структуры может также вызывать глубокие замирания, и когда это происходит, затухание становится плоским, то есть неизбирательным по частоте.

Атмосферные волноводы и отражение в слоях над сушей обычно не связаны с наличием осадков или ветра. Распространенность таких механизмов в глобальном масштабе варьируется от 3 до 50%. Эти механизмы оказывают незначительное влияние на сигнал на коротких трассах порядка нескольких километров, но на трассах длиной свыше 10 км их влияние может быть велико, в частности может вызывать значительное увеличение уровня сигналов помех. Поэтому они являются важной частью исследований совместного использования частот на трассах длиной свыше 10 км.

Над морями или большими водными пространствами существуют другие условия. Из-за испарения воды с их поверхности волновод существует в течение всего или по крайней мере в течение большей части времени распространения сигнала над водой. Ветер и высокое волнение моря могут влиять на такие волноводы, не давая им возможность оказать существенное воздействие на распространение, но в спокойных условиях влияние может быть значительным. На низкой частоте в диапазоне ОВЧ частота сигнала может быть также ниже критической частоты канала, сформированного поверхностным волноводом. Но на более высоких частотах поверхностный волновод обычно существует в течение более чем половины времени распространения, а в некоторых местах – большую часть времени. Как и в случае с каналом волноводного распространения над препятствиями, обусловленными рельефом местности, влияние зависит от относительной геометрии высоты антенны и

высоты волновода, что оказывает влияние на попадание сигнала в волновод и на выход из него.

Распространение в атмосферном волноводе и отражение в слоях затрагивают трассы вблизи горизонта и, следовательно, относятся к вопросам распространения по наземным трассам.

- f) **Тропосферное рассеяние.** Данный эффект обусловлен атмосферной неоднородностью, которая вызывает рассеяние радиоволн. При наличии сильного сигнала, как, например, на трассах прямой видимости или загоризонтных трассах с малыми дифракционными потерями, тропосферное рассеяние обычно не является значительным. Наиболее распространенный эффект – это обеспечение "заполнения" того, что иначе стало бы глубокой дифракционной тенью. Таким образом, тропосферное рассеяние может ограничить защиту мешающего сигнала, которую обычно обеспечивают потери от дифракции.
- g) **Влияние ионосферы.** В нижней части диапазона ОВЧ действуют различные механизмы, присущие ионосфере, включая отражение в спорадическом слое E, которые способны вызывать увеличение уровня сигнала на подземных трассах. Такие эффекты, как правило, редко наблюдаются в течение длительных периодов времени, но имеют региональные и сезонные колебания. Ионосферные эффекты, в том числе поворот линейной поляризации и ионосферное мерцание, а также фокусирование и расфокусирование, также имеют большое значение на трассах Земля-космос в диапазоне ниже 1 ГГц.
- h) **Осадки.** Дождь и мокрый снег могут вызывать замирание сигнала как на наземных трассах, так и на трассах Земля-космос. Для целей исследования совместного использования частот замирание обычно рассматривается для полезного сигнала. При расчете запаса на замирание необходимо учитывать то, что перерыв связи из-за замирания не должен превышать допустимого процента времени. Вызванная дождем деполяризация также имеет значение тогда, когда поляризационная избирательность является частью разнесения радиосистем. Осадки также могут вызвать связывание антенных лучей из-за рассеяния, являющегося механизмом распространения вида (2), который особенно влияет на координацию между земными станциями и линиями прямой видимости.
- i) **Многолучевое распространение.** Несколько одновременных трасс распространения могут возникать из-за неоднородности атмосферы, отражений от земной поверхности и отражений от объектов, таких как здания. Связанные с этим изменения уровня сигнала являются избирательными по частоте. Атмосферное многолучевое распространение может быть быстрым из-за мелких неоднородностей, это называется мерцанием. Более медленные изменения многолучевого распространения наблюдаются в основном на наземных трассах прямой видимости с низким наклоном. Многолучевое распространение за счет отражения от земной поверхности может быть иногда довольно устойчивым, хотя редко является постоянным, и изменения связаны в основном с высотой антенны. Отражения от зданий могут вызвать образование множественных лучей. В городских условиях движение транспорта и т. д. приводит к изменчивости во времени, а также к изменчивости в пространстве. Вся изменчивость уровня сигнала в связи с многолучевым распространением характеризуется широким, но небольшим увеличением уровня сигнала и узкими, но более глубокими замираниями, при этом термины "широкий" и "узкий" относятся к изменчивости и во времени, и в пространстве, и по частоте.
- j) **Затенение.** Терминалы в условиях с множеством препятствий, например в городских районах или лесной местности, а также терминалы на высоте ниже высоты препятствий испытывают особую изменчивость уровня сигнала на расстояниях, сравнимых с шириной препятствующих объектов.

Ссылаясь на приведенные выше пункты i) и j), а также учитывая обычно доступную метеорологическую и топографическую информацию, непрактично прогнозировать уровень сигнала как точку многолучевого распределения. Целью большей части модели является прогнозирование медианного уровня многолучевого распределения. Где это целесообразно, с помощью метода можно прогнозировать позицию в распределении затенения на статистической основе и применять результаты прогнозирования для корректировки медианного уровня многолучевого распределения.

ГЛАВА 3

**КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО ЭФФЕКТАМ И МЕТОДАМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ,
ОПИСАННЫМ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ МСЭ-R СЕРИИ P****3.1 Введение**

Выбор применимых моделей распространения РЧ-сигналов и методов прогнозирования для использования в ходе технического анализа зависит от различных эффектов распространения, необходимых для определенной трассы распространения. Модели и методы прогнозирования, изложенные в Рекомендациях МСЭ-R серии P, охватывают широкий диапазон этих эффектов. В данной главе содержится краткое руководство по этим моделям и методам с учетом конкретной применимости для исследований совместного использования частот и анализа помех.

Основным мерилom воздействия на радиосигнал при его распространении является его мощность. Механизмы распространения, смоделированные в Рекомендациях МСЭ-R серии P, представляют определенные эффекты, которые могут либо увеличить, либо уменьшить потери радиосигнала, а следовательно, и потенциал радиопомех со стороны одной системы другой системе. Механизмы распространения, которые могут потенциально увеличить помехи, включают отражение/рефракцию, многолучевое распространение, распространение в атмосферном волноводе, ионосферные эффекты, тропосферные эффекты и рассеяние в дожде. К механизмам распространения, которые могут уменьшить помехи между системами радиосвязи, относятся дифракция и различные эффекты затухания.

В связи с тем что с помощью модели распространения можно вычислить воздействие лишь одного механизма распространения на трассе распространения радиоволн, методы прогнозирования, содержащиеся в Рекомендациях МСЭ-R серии P, учитывают несколько механизмов распространения, с тем чтобы можно было рассчитать потери радиосигнала по мере его прохождения через среду передачи. Методы распространения из Рекомендаций МСЭ-R серии P, обсуждаемые в настоящем Справочнике, предоставляют базовую информацию об ухудшениях механизма распространения на трассе, используемую в рамках каждого метода прогнозирования, требуемые рабочие характеристики системы, подробные сведения о конфигурации системы и дополнительную информацию, полезную для применения модели в целях прогнозирования трассы или анализа помех. По возможности методы прогнозирования оцениваются путем тестирования с применением данных измерений из банков данных 3-й Исследовательской комиссии, и результаты используются для указания точности методов прогнозирования и изменчивости данных измерений.

В Рекомендациях серии P содержится ряд различных моделей и методов для двух взаимодополняющих типов анализа. Модели и методы для проектирования линий или трасс используются для планирования системы радиосвязи и оценки потерь при распространении сигнала между передатчиком и связанным с ним приемником(ами). Модели/методы прогнозирования помех для линии или трассы используются для оценки радиопомех между двумя или более системами или службами.

Модели распространения обычно используются для определения наихудшего сценария для того или иного механизма распространения. В моделях для проектирования систем внимание акцентируется на сценариях с высоким затуханием (ослаблением). Анализ помех меняется в зависимости от изменяющихся условий, включая несколько механизмов распространения. Изменяющиеся условия при анализе помех приводят к статистическим описаниям в моделях прогнозирования помех. Поэтому в моделях для помех упор делается на сценариях с низким затуханием (ослаблением).

3.2 Терминология в области распространения радиоволн

МСЭ создал Координационный комитет по терминологии (ККТ), которому поручена задача по удовлетворению значительных потребностей МСЭ в терминологии. ККТ ведет и обновляет онлайн-базу данных, содержащую термины и определения, которая находится по адресу:

<http://www.itu.int/ITU-R/go/terminology-database>

Обращение к этой базе данных является предпочтительным методом поиска определений для любых терминов, встречающихся в Рекомендациях МСЭ.

Имеется несколько все еще действующих Рекомендаций серии V. В Таблице 3.2-1 перечислены Рекомендации, имеющие наибольшее отношение к настоящему Справочнику. У этих Рекомендаций есть обозначение МСЭ-R, но в настоящее время они находятся в ведении ККТ.

ТАБЛИЦА 3.2-1

**Терминология в области распространения радиоволн,
представленная в Рекомендациях серии V**

Рекомендация МСЭ-R	Тема	Название	Цель
V.573	Радиосвязь	Словарь по радиосвязи	Общие термины, относящиеся к распространению радиоволн
V.662	Общее распространение	Термины и определения	Общие термины, относящиеся к распространению радиоволн

ТАБЛИЦА 3.2-2

**Терминология в области распространения радиоволн,
представленная в Рекомендациях серии P**

Рекомендация МСЭ-R	Тема	Название	Цель
P.310	Общее распространение	Определения терминов, относящихся к распространению радиоволн в неионизированной среде	Общие термины, относящиеся к радиоволнам, влиянию земной поверхности при распространении радиоволн и влиянию тропосферы при распространении радиоволн
P.313	Общее распространение	См. электронную версию	Терминология и нотация для описания различных потерь, связанных с линией радиосвязи

3.3 Руководство по методам прогнозирования распространения РЧ-сигналов из Рекомендаций МСЭ-R серии P, полезным для анализа помех

Приводимая ниже Таблица 3.3-1 служит руководством по выбранным методам прогнозирования распространения, взятым из Рекомендаций МСЭ-R серии P. Для представленных методов факторы

применимости включают характеристики трассы, радиочастотные и эксплуатационные параметры/параметры местоположения системы, статистические критерии времени и требования к входным данным модели. Таблица 3.3-1 – это модифицированная версия таблицы, приведенной в Рекомендации МСЭ-R P.1144-4 "Руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией".

Каждый из методов прогнозирования распространения, показанных в Таблице 3.3-1, подробно описан в Рекомендациях МСЭ-R серии Р. Следует отметить, что все Рекомендации подлежат пересмотру или могут быть заменены и что должна использоваться самая последняя версия действующей Рекомендации.

К выбранным Рекомендациям относятся:

- a) **МСЭ-R P.452** – Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц.
- b) **МСЭ-R P. 528** – Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ.
- c) **МСЭ-R P.533** – Метод для прогнозирования рабочих характеристик ВЧ-линий.
- d) **МСЭ-R P.619** – Данные о распространении радиоволн, необходимые для оценки помех между станциями, находящимися в космосе и на поверхности Земли.
- e) **МСЭ-R P.620** – Данные о распространении радиоволн, требующиеся для оценки координационных расстояний в диапазоне частот от 100 МГц до 105 ГГц.
- f) **МСЭ-R P.1546** – Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц.
- g) **МСЭ-R P.1812** – Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб "из пункта в зону" в диапазонах УВЧ и ОВЧ.

Перечисленные выше Рекомендации были выбраны потому, что в них рассматривается наиболее полный поднабор всех механизмов распространения и полос частот, применимых для сценариев совместного использования частот или анализа помех.

ТАБЛИЦА 3.3-1
**Методы прогнозирования распространения радиоволн
из выбранных Рекомендаций МСЭ-R серии Р**
(модифицированная версия таблицы из Рекомендации МСЭ-R Р.1144-6)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% место-положений	Высота терминала	Важные входные данные
Рек. МСЭ-R Р.452	Службы, использующие станции на поверхности Земли; помехи	Из пункта в пункт	Потери на трассе	От 100 МГц до 50 ГГц	Не уточняется, но до радиогоризонта	От 0,001 до 50 среднего года и худшего месяца	Неприменимо	Ограничения не установлены, в пределах приземного слоя атмосферы (не подходит для применений воздушной службы)	Данные профиля трассы Частота Процент времени Высота передающей антенны Высота приемной антенны Ширина и долгота передатчика Ширина и долгота приемника Метеорологические данные
Рек. МСЭ-R Р.528	Оценка основных потерь при передаче, которые наиболее вероятны в воздушных службах	Из пункта в зону	Потери на трассе	От 125 МГц до 15,5 ГГц	От 0 до 1800 км (для применений воздушной службы горизонтальное расстояние в 0 км не означает длины трассы 0 км)	От 1 до 95	Неприменимо	Н1: от 1,5 м до 20 км Н2: от 1 км до 20 км	Расстояние Высота передатчика Частота Высота приемника Процент времени
Рек. МСЭ-R Р.533	Метод прогнозирования рабочих характеристик для прогнозирования распространения волн	Из пункта в пункт	Основные МПЧ Напряженность поля пространственной волны Номинальная мощность приемника Отношение сигнал/шум МПЧ Надежность линии связи	2–30 МГц	До 40 000 км	Все проценты	Неприменимо	Неприменимо	Ширина и долгота передатчика Ширина и долгота приемника Число солнечных пятен Месяц Время суток Частота Мощность передатчика Тип передающей антенны Тип приемной антенны

ТАБЛИЦА 3.3-1 (окончание)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% местоположений	Высота терминала	Важные входные данные
Рек. МСЭ-R.P.619	Оценка помех между станциями, находящимися в космосе и на поверхности Земли	Из пункта в пункт	Уровень мощности помех	От 100 МГц до 30 ГГц	Не установлено	Не установлен	Неприменимо	Пределы не установлены	Данные профиля трассы Частота Процент времени Высота передающей антенны Высота приемной антенны Ширина и долгота передатчика Ширина и долгота приемника Метеорологические данные
Рек. МСЭ-R.P.620	Координация частоты земной станции	Координационное расстояние	Расстояние, при котором достигаются требуемые потери при распространении	От 100 МГц до 105 ГГц	До 1200 км	От 0,001 до 50	Неприменимо	Ограничения не установлены, в пределах приземного слоя атмосферы (не подходит для применений воздушной службы)	Минимальные основные потери при передаче Частота Процент времени Угол места земной станции Ширина главного лепестка антенны на уровне 3 дБ
Рек. МСЭ-R.P.1546	Наземные службы радиоканалы над сухопутными трассами, морскими трассами, смешанными сухопутными/морскими трассами	Из пункта в зону	Напряженность поля	От 30 до 3000 МГц	От 1 до 1000 км	От 1 до 50	От 1 до 99	<i>Передатчик/базовая станция:</i> эффективная высота от менее 0 м до 3000 м <i>Приемник/подвижная станция:</i> > 1 м	Высоты местности и наземный покров (факультативно) Классификация трассы Расстояние Высота передающей антенны Частота Процент времени Высота приемной антенны Угол просвета местности Процент местоположений Градиент рефракции
Рек. МСЭ-R.P.1812	Наземные службы	Из пункта в пункт, из пункта в зону	Напряженность поля	От 30 МГц до 3 ГГц	Не уточняется, но до радиогоризонта и далее	От 1 до 50	От 1 до 99	Ограничения не установлены, в пределах приземного слоя атмосферы (не подходит для применений воздушной службы)	Данные профиля трассы Частота Процент времени Высота передающей антенны Ширина и долгота передатчика Ширина и долгота приемника Метеорологические данные

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для каждой из Рекомендаций МСЭ-R в Таблице 1 имеются соответствующие столбцы со следующей информацией:

Применение: служба(ы) или приложение, для которых предназначена Рекомендация.

Тип: ситуация, к которой применяется Рекомендация, например, "из пункта в пункт", "из пункта в зону", линия прямой видимости и т. д.

Результат: значение выходного параметра, полученное с помощью метода Рекомендации, например потери на трассе.

Частота: применяемый в Рекомендации диапазон частот.

Расстояние: применяемый в Рекомендации диапазон расстояний.

% времени: применяемые в Рекомендации значения или диапазон значений процента времени; под % времени понимается процент времени, для которого в течение среднего года превышает прогнозируемый уровень сигнала.

% местоположений: применяемый в Рекомендации диапазон процентных долей местоположений; под % местоположений понимается процентная доля местоположений в пределах, например, квадрата со сторонами 100×200 м, в которой превышает прогнозируемый уровень сигнала.

Высота терминала: применяемый в Рекомендации диапазон высот антенны терминала.

Входные данные: список параметров, используемых методом, содержащимся в Рекомендации; список составлен в порядке важности параметров, и в некоторых случаях могут использоваться значения по умолчанию.

3.4 Конкретные явления распространения РЧ-сигналов, описанные в Рекомендациях МСЭ-R серии Р

Рекомендации серии Р содержат многочисленные модели для конкретных эффектов распространения. Некоторые из этих моделей включены в методы прогнозирования распространения, перечисленные выше. Другие модели автономны и полезны при оценке конкретного явления распространения. Все модели регулярно проверяются и обновляются 3-й Исследовательской комиссией на основе новых концепций, таких, например, как корреляция с измерениями распространения. Последние версии Рекомендаций серии Р доступны на веб-сайте МСЭ.

3.4.1 Конкретные эффекты распространения, описанные в Рекомендациях МСЭ-R серии Р

В Таблице 3.4-1 кратко изложены эффекты распространения в различных диапазонах частот, а также приведен список применений в каждом диапазоне.

Таблица 3.4-2 содержит краткую обобщающую информацию об определенных Рекомендациях серии Р, то есть тех, в которых рассматриваются некоторые свойства или механизмы распространения, влияющие на радиоволны. Эти таблицы могут использоваться заинтересованными Исследовательскими комиссиями для получения дополнительной информации и конкретных расчетов в отношении любого доминирующего механизма распространения, обсуждаемого в настоящем Справочнике, или для другого сценария моделирования, определяемого механизмом распространения.

ТАБЛИЦА 3.4-1
Эффекты распространения в различных диапазонах частот

Диапазон частот	Влияние атмосферы	Наземное влияние	Применения	Комментарии
КНЧ <3 кГц	Волноводно-резонаторное распространение с ионосферой в качестве верхней границы волновода	Земля образует нижнюю границу волновода, волны распространяются глубоко в землю или море	Дальняя связь с подводными лодками, шахтами, подземное дистанционное зондирование и т. д.	Очень большие антенны, очень низкая скорость передачи данных
ОНЧ 3–30 кГц	Волноводное распространение с D-слоем в качестве верхней границы	Земля образует нижнюю границу	Глобальные службы телеграфной связи с судами, службы фиксированной дальней связи, навигационные службы, эталоны времени	Очень большие антенны, низкая скорость передачи данных
НЧ 30–300 кГц	Волны ниже слоя D до 100 кГц, распространяющиеся волны, отличные от земных волн, выше 100 кГц	Земные волны следуют за поверхностью Земли	Дальняя связь с судами, навигационные системы среднего радиуса действия	Большие антенны, которые трудно сделать направленными
СЧ 300–3000 кГц	Пространственные волны для более длинных расстояний и более высоких частот	Поверхностные волны для более коротких расстояний и более низких частот, отражения от земной поверхности	Радиовещательная служба, навигационные службы, другие подвижные и фиксированные службы	Большие, но эффективные антенны, зона обслуживания приблизительно 100 км в течение дня, более длинные расстояния возможны ночью
ВЧ 3–30 МГц	Ионосферная волна вне зоны молчания (6–30 МГц)	Поверхностные волны только на коротком расстоянии (3–6 МГц), отражение, рассеяние	Фиксированная связь "из пункта в пункт", сухопутная, морская и воздушная подвижная служба, вещание на дальние расстояния	Многовибраторные антенные решетки, вертикальные штыревые, логопериодические антенные решетки
ОВЧ 30–300 МГц	Тропосферные волны и спорадический слой E вызывают помехи	Наземные трассы прямой видимости и за пределами прямой видимости с дифракцией, эффекты многолучевого распространения из-за отражений	Радиовещательная служба, сухопутная, воздушная и морская подвижная служба, беспроводные телефоны, радионавигация	Используются антенны Яги, щелевые и спиральные антенны
УВЧ 300–3000 МГц	Преломление, отражение на нижних частотах и распространение в атмосферном волноводе на более высоких частотах, тропосферное рассеяние на частотах выше приблизительно 500 МГц	Наземные трассы и трассы Земля-космос в пределах прямой видимости и немного за ее пределами, экранирование возвышенностями и зданиями	Телевизионное вещание, радары, фиксированная связь "из пункта в пункт", подвижная связь, ФСС, РСС, ПСС, сотовая радиосвязь, беспроводные телефоны	Используются как широкополосные антенны, так и антенны с высоким усилением

ТАБЛИЦА 3.4-1 (окончание)

Диапазон частот	Влияние атмосферы	Наземное влияние	Применения	Комментарии
СВЧ 3–30 ГГц	Рефракция и распространение в атмосферном волноводе, ослабление в дожде и т. д., мерцание, распространение в атмосферном волноводе может вызывать помехи, многолучевость вызывает замирания, поглощение в дожде, снеге, тумане, облаках и газах	Наземные трассы и трассы Земля-космос прямой видимости, дифракция и экранирование зданиями, рассеяние и отражение от зданий, рельефа местности, деревьев и моря	Фиксированные наземные и спутниковые службы, подвижные службы, будущая ПСС, радиолокационное дистанционное зондирование	Параболические и рупорные антенны с высоким усилением
КВЧ (миллиметровые волны) 30–300 ГГц	Градиент индекса рефракции, дождь и т. д. вызывают затухание и рассеяние, поглощение в водяных парах и кислороде, мерцание	Наземные короткие трассы прямой видимости, экранирование зданиями и листвой	Фиксированные и подвижные системы ближней связи, спутниковые применения, дистанционное зондирование, радары	Малые параболические антенны
СУБМИЛЛИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ 300–3 000 ГГц	Локализованный градиент индекса рефракции, дождь и т. д. вызывают сильное затухание, поглощение в газах, мерцание	Трассы прямой видимости очень малой протяженности, экранирование деревьями	Ближняя связь, дистанционное зондирование	Зеркальные или линзовые антенны, недостаток оборудования
ИНФРАКРАСНЫЙ И ОПТИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН 3–430 ТГц и 430–860 ТГц	Локализованный градиент индекса рефракции, дождь и т. д. вызывают очень сильное затухание, поглощение в газах, мерцание	Трассы прямой видимости, экранирование малыми объектами	Связь на короткие расстояния и внутренняя связь в дальнем ИК-диапазоне, аварийная сигнализация, детекторы дыма, дистанционное управление и спектрометрия ближнего ИК-диапазона, оптические линии прямой видимости	Зеркала и линзы для антенн

ТАБЛИЦА 3.4-2

**Модели для конкретных эффектов распространения,
описанные в Рекомендациях МСЭ-R серии Р**

Рекомендация МСЭ-R	Тема	Название	Цель
P.525	Распространение в свободном пространстве	Расчет ослабления в свободном пространстве	Фундаментальная формула для расчета основных потерь при передаче в свободном пространстве. Этот расчет часто используется 3-й Исследовательской комиссией в качестве эталонной точки при других расчетах потерь при распространении сигнала
P.453	Рефракция	Индекс рефракции радиоволн: его формула и данные о рефракции	Определение индекса рефракции и процедура для вычисления этого индекса
P.834	Рефракция	Влияние тропосферной рефракции на распространение радиоволн	Методы и расчеты для крупномасштабных рефракционных явлений в атмосфере
P.531	Ионосферные эффекты	Данные об ионосферном распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования спутниковых служб и систем	Методы и расчеты для оценки ионосферных эффектов на трассах Земля-космос на частотах 0,1–12 ГГц
P.532	Ионосферные эффекты	Ионосферные эффекты и эксплуатационные соображения, связанные с искусственной модификацией ионосферы и радиоканала	Методы и расчеты для оценки влияния радиосигналов и других явлений, таких как химические продукты, на ионосферу
P.844	Ионосферные эффекты	Факторы ионосферного распространения, влияющие на совместное использование частот в ОВЧ- и УВЧ-диапазонах (30 МГц – 3 ГГц)	Информация относительно ионосферы, которая должна быть принята во внимание, при планировании систем в ОВЧ- и УВЧ-диапазонах
P.1239	Ионосферные эффекты	Эталонные характеристики ионосферы, разработанные МСЭ-R	Общая эталонная информация для расчетов ионосферных характеристик
P.676	Атмосферные газы	Затухание в атмосферных газах	Описывает влияние атмосферных газов на радиоволны и обеспечивает соответствующие расчеты
P.833	Отражение от препятствий	Ослабление сигналов растительностью	Содержит модель и описывает влияние различной растительности на радиоволны
P.837	Осадки	Характеристики осадков, используемые при моделировании распространения радиоволн	Карты метеорологических параметров для выполнения расчетов ослабления
P.838	Осадки	Модель погонного ослабления в дожде, используемая в методах прогнозирования	Метод расчета ослабления в дожде на трассах радиосвязи
P.840	Осадки	Ослабление из-за облачности и тумана	Содержит описание и метод расчета ослабления из-за облачности и тумана на трассах радиосвязи
P.1815	Осадки	Дифференциальное ослабление в дожде	Метод расчета дифференциального ослабления в дожде на спутниковых трассах

3.5 Требования к трассам распространения РЧ-сигналов, содержащиеся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р

Радиоволны проходят через много различных сред передачи ввиду разнообразия служб, которые они поддерживают. Хотя доминирующими параметрами при моделировании помех являются конкретные механизмы распространения радиоволн, рассматриваемые в пункте 3.6.1, важно знать, какую именно трассу распространения использует определенная линия, чтобы можно было применить надлежащую модель, учитывающую все соответствующие эффекты распространения. В Таблице 3.6-1 приводится краткая обобщающая информация о Рекомендациях МСЭ-R серии Р, в которых подробно рассматриваются аспекты распространения радиоволн и данные, требуемые для анализа трасс распространения, используемых определенными службами радиосвязи. Эта таблица может использоваться заинтересованными сторонами для получения дополнительной информации и любых конкретных расчетов в отношении характеристик распространения, зависящих от трассы, которые обсуждаются в настоящем Справочнике, или для других сценариев моделирования, определяемых трассой.

ТАБЛИЦА 3.5-1

Рекомендуемые требования к данным о распространении радиоволн для определенного анализа службы

Метод	Тип трассы	Название	Цель
МСЭ-R P.679	Космос-земля	Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования спутниковых радиовещательных систем	Аспекты распространения радиоволн, которые должны быть приняты во внимание при проектировании или анализе спутниковой радиовещательной системы
МСЭ-R P.680	Земля-космос	Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования морских подвижных систем электросвязи Земля-космос	Аспекты распространения радиоволн, которые должны быть приняты во внимание при проектировании или анализе морских подвижных систем связи
МСЭ-R P.681	Земля-космос	Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования сухопутных подвижных систем связи Земля-космос	Аспекты распространения радиоволн, которые должны быть приняты во внимание при проектировании или анализе подвижных систем связи Земля-космос
МСЭ-R P.682	Земля-космос	Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования воздушных подвижных систем связи Земля-космос	Аспекты распространения радиоволн, которые должны быть приняты во внимание при проектировании или анализе воздушных подвижных систем связи Земля-космос
МСЭ-R P.530	Линия прямой видимости	Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости	Аспекты распространения радиоволн и расчеты при проектировании или анализе систем прямой видимости
МСЭ-R P.1407	Многолучевая	Многолучевое распространение и параметризация его характеристик	Аспекты распространения радиоволн, которые должны быть приняты во внимание при проектировании или анализе многолучевой системы электросвязи

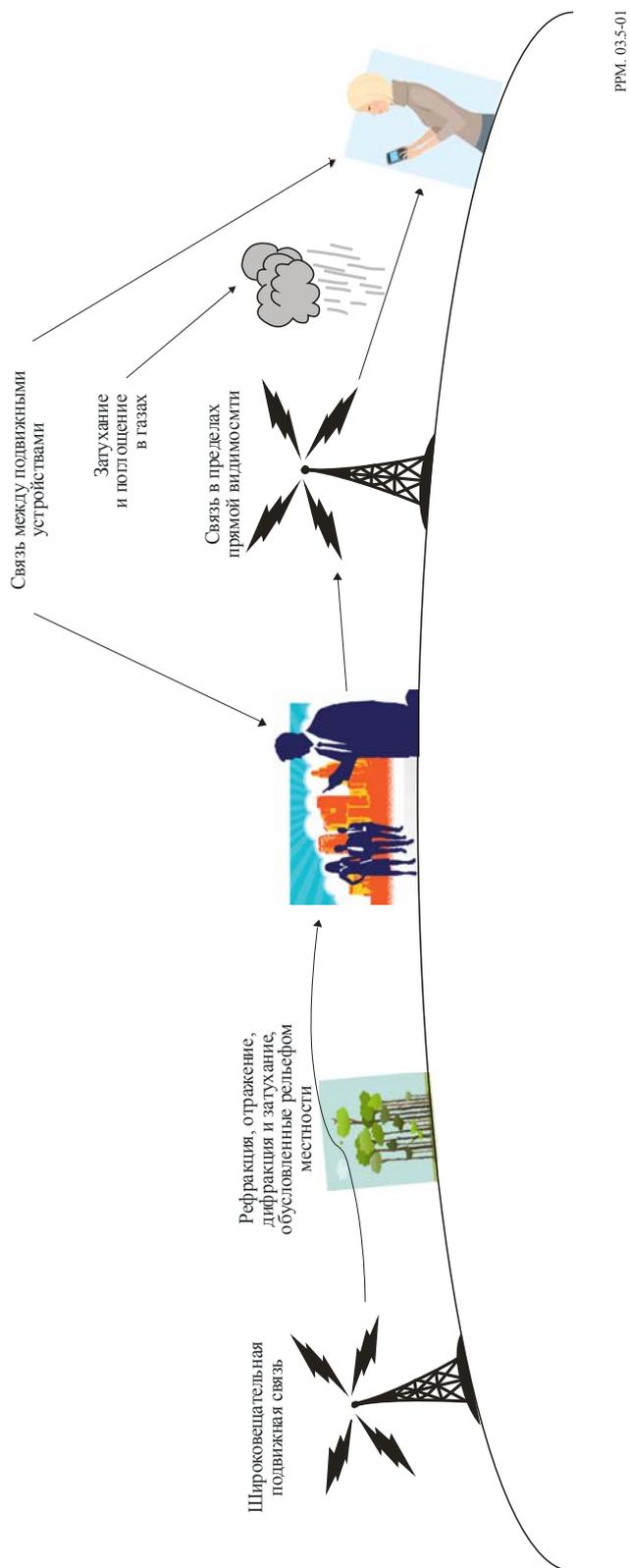
Тракт связи может также включать много линий от передающей сигнал станции до определенного приемника. Линии могут включать как наземные участки (скачки), так и участки спутниковой связи Земля-космос. Линии могут иметь множество форм, включающих несколько передающих станций, наземные повторители, наземные усилители или даже линию спутниковой связи в середине наземной трассы. Одним из примеров такой многоскачковой передачи может служить связь между одним подвижным устройством и другим подвижным устройством. Передающее подвижное устройство может быть не в состоянии прямо связаться с намеченным приемным подвижным устройством из-за

расстояния или других факторов. Вместо этого передающее подвижное устройство должно связаться с приемным устройством посредством промежуточной радиомачты или многих промежуточных радиомачт. Радиомачте, возможно, тогда придется передать сигнал другой радиомачте, прежде чем будет установлена связь с намеченным приемником. Эта линия связи может также включать спутниковую трассу, если приемное устройство связи находится на значительном расстоянии от передающего устройства.

К эффектам распространения, которые могут влиять на наземные трассы, относятся отражение, рефракция, потери в свободном пространстве и дифракция на местности, а также на физических препятствиях, которые могут находиться на трассе распространения радиоволн, как обсуждено в Таблице 3.5-1. Поглощение в атмосферных газах также может вызвать эффекты распространения на наземных трассах. На Рисунке 3.5-1 иллюстрируются различные трассы распространения и механизмы распространения, которые применяются к каждой трассе. Эти иллюстрации могут использоваться для содействия в определении соответствующего сценария моделирования распространения радиоволн, который будет применен для конкретных сценариев помех при совместном использовании частот.

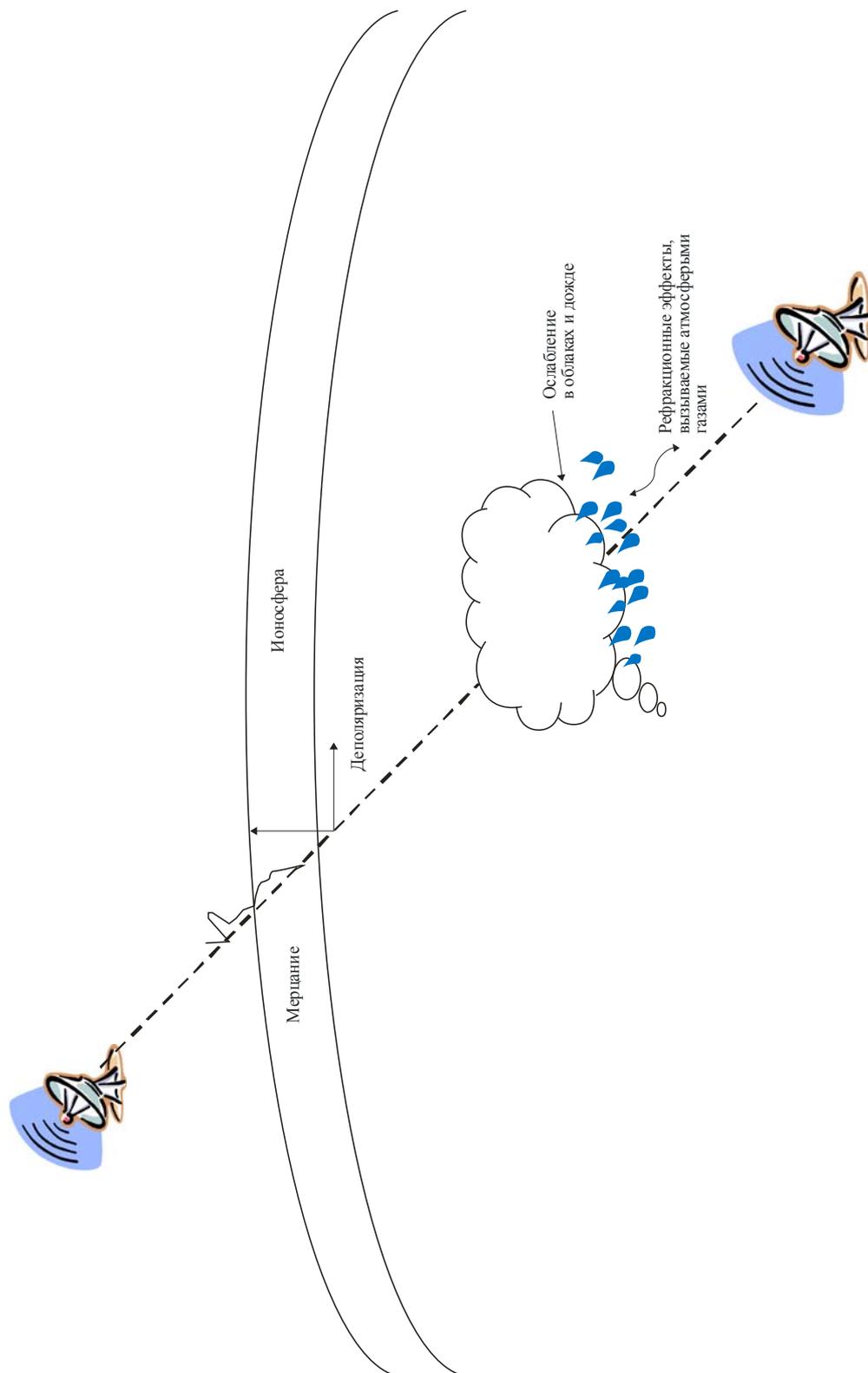
РИСУНОК 3.5-1

Влияние механизмов распространения радиоволн на наземной трассе



Трассы Земля-космос и космос-земля пересекают атмосферу Земли. На линию радиосвязи могут потенциально оказать влияние многие эффекты распространения. Сигнал, передаваемый земной станцией, может подвергнуться дифракции, если окружающее пространство содержит препятствия. По мере продвижения вверх сигнал может встретиться с затуханием (ослаблением) в атмосферных газах, облаках или гидрометеорах. По мере распространения сигнала через ионосферу он может подвергнуться мерцанию, дальнейшему затуханию (ослаблению) и деполяризации из-за фарадеевского вращения. Сигнал, передаваемый из космоса, встретится с затуханием в атмосфере и ионосфере, а затем с дифракцией и влиянием Земли по мере приближения к поверхности Земли. На Рисунке 3.5-2 показана трасса распространения радиоволн космос-земля и различные эффекты распространения, которые могут влиять на радиосигнал по мере его продвижения по трассе.

РИСУНОК 3.5-2
Влияние механизмов распространения на трассе космос-земля или Земля-космос



РРМ. 03.5-02

ГЛАВА 4

ЯВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

4.1 Введение

В настоящей главе описываются некоторые основные принципы распространения радиоволн, включая свойства среды, а также терминология о распространении, применимая к анализу помех с использованием моделей и методов, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р.

4.2 Статистический характер распространения радиоволн

Существует множество явлений, которые влияют на распространение радиосигналов. Поскольку весьма трудно проконтролировать или учесть все возможные влияющие факторы даже на одной, четко определенной фиксированной линии системы радиосвязи, наблюдаемые уровни мощности сигнала флуктуируют во времени. Вообще говоря, у этих флуктуаций может быть два масштаба времени: первый, который изменяется приблизительно ежечасно, и второй, почти мгновенный масштаб времени, определяемый различиями во времени прибытия лучей из центров рассеяния в окружающей среде, которые складываются как конструктивно, так и деструктивно, что часто называется многолучевостью. Второй тип флуктуаций выходит за рамки настоящего Справочника. С другой стороны, если предположить, что измеряются почасовые медианные уровни мощности сигнала и таким образом усредняются флуктуации из-за многолучевости, тогда можно охарактеризовать колебания этих почасовых медианных уровней, измеренных, например, за несколько лет. Хотя у этих колебаний почасовых медиан есть детерминированные причины, в целом ни данные наблюдений, ни модели и методы Рекомендаций серии Р не обладают достаточной сложностью, необходимой для учета этих влияний. В частности, модели не могут достоверно использоваться для прогнозирования временных рядов колебаний почасовых медианных уровней. Ввиду этого мы здесь применяем подход, при помощи которого можно охарактеризовать долгосрочную медиану этих почасовых медиан и значений, превышаемых в течение заданных промежутков времени, что эквивалентно описанию кумулятивной функции распределения воображаемой случайной переменной – почасового медианного уровня сигнала. Выражения типа "На этой трассе уровень сигнала 41 дБ(мкВ/м) превышает в течение 10% времени" являются результатом нашей модели изменчивости во времени.

В Рекомендациях МСЭ-R Р.452, Р.1546 и Р.1812 пользователи найдут, что изменчивость во времени зависит от расстояния и радиоклиматических зон, в частности от близости к большим водоемам. Вторая из этих зависимостей не удивительна, поскольку предполагается, что изменения в атмосфере, а конкретнее – в индексе рефракции атмосферы и его вертикальном градиенте, определяют большую часть изменчивости во времени, которая интересует нас здесь. Зависимость от расстояния также не слишком удивительна, если вспомнить, что при тропосферном распространении на различных расстояниях, как правило, доминируют различные механизмы, и это, как можно разумно предположить, приводит к различным кумулятивным функциям распределения.

Если затем обратиться к вопросу о долгосрочных измерениях на различных трассах в одной и той же ситуации, то есть при тех же системных параметрах, трассах, выбранных одинаковым образом в пределах какой-либо одной зоны, и параметрах среды, как можно более близких к тому, чтобы быть одинаковыми, то можно убедиться, что долгосрочные статистические данные изменчивости во времени (то есть кумулятивные функции распределения) изменяются от трассы к трассе. Это изменение от трассы к трассе в долгосрочной статистике изменчивости во времени называется изменчивостью (в зависимости от) местоположения. Одна возможная причина такой изменчивости состоит в том, что хотя профили этих трасс кажутся неотличимыми в статистическом смысле, детальные различия влияют на их долгосрочную изменчивость во времени. Таким образом, имеются кумулятивные распределения кумулятивных распределений, и можно сказать так: "В этой ситуации в

30% местоположений трассы уровень сигнала 41 дБ(мкВ/м) превышает в течение не менее 10% времени".

В такой Рекомендации, как МСЭ-R P.452, в которой рассматриваются только одна четко определенная трасса, нецелесообразно говорить о различных трассах или вносить поправки для изменчивости местоположения. Однако в методах прогнозирования для трасс "из пункта в зону", описанных в Рекомендациях МСЭ-R P.1546 и МСЭ-R P.1812, безусловно, необходимо рассматривать различные трассы и поэтому надлежит вносить коррективы для изменчивости местоположения. Изменчивость местоположения не зависит от расстояния и радиоклиматических зон, но зависит от частоты и ситуации. В Рекомендации МСЭ-R P.1812 изменчивость местоположения также зависит от высоты приемной антенны.

В качестве первого шага к последующему обсуждению полезно ввести понятие отклонения. Мы хотим вычислить квантили основных потерь при передаче на расстоянии x , $L_b(q_T, q_L, x)$. Рассматриваемые распределения почти нормальны, поэтому выражение частей в виде нормального стандартного отклонения упрощает вычисление. Дополнительное нормальное распределение определяется выражением

$$Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} e^{-t^2/2} dt = q, \quad (4.1)$$

а нормальное стандартное отклонение, z , получается из обратной функции:

$$z(q) = Q^{-1}(q). \quad (4.2)$$

Если напряженность поля, E (дБ), является нормально распределенной случайной величиной со средним значением (также равным ее медианному значению) E_0 и стандартным отклонением σ , то ее квантили определяются выражением

$$E(q) = E_0 + \sigma \cdot z(q). \quad (4.3)$$

Следует обратить внимание на соглашение, что положительное направление отклонения ($0 \leq q \leq 0,5$) соответствует увеличению напряженности поля, а следовательно, ведет к уменьшению потерь. Чтобы получить двукратный квантиль основных потерь при передаче $L_b(q_T, q_L, x)$, запишем формулу:

$$L_b(q_T, q_L, x) = L_b(0,5, 0,5, x) - Y_T(q_T) - Y_L(q_L), \quad (4.4)$$

где общее медианное значение, $L_b(0,5, 0,5, x) = L_{bu}(0,5)$ и отклонения, Y_L и Y_T , могут быть записаны следующим образом:

$$Y_L(q_L) = \sigma_L \cdot z(q_L), \quad (4.5a)$$

$$Y_T(q_T) = \sigma_{T+} \cdot z(q_T) \text{ для } z(q_T) \geq 0, \quad (4.5b)$$

и где "псевдостандартное отклонение" изменчивости во времени, σ_{T+} , является функцией расстояния, x . Метод вычисления "псевдостандартного отклонения" изменчивости во времени, σ_{T+} , приводится ниже, поскольку он не задан явно в Рекомендациях.

Для некоторых исследований помех и/или совместного использования частот, охватывающих подвижные службы, может быть необходимо вычислить объединенную изменчивость в зависимости от времени и местоположения. В этих случаях для расчета объединенной изменчивости может использоваться приближение на основе квадратного корня из суммы квадратов. Чтобы получить "псевдостандартное отклонение" изменчивости во времени, σ_{T+} , используют 10-процентные и 50-процентные квантили напряженностей поля [дБ]:

$$\sigma_{T+} = \frac{E(0,1, 0,5) - E(0,5, 0,5)}{1,282} \quad (4.6a)$$

или, выражая через соответствующие квантили основных потерь при передаче в дБ, следующую формулу:

$$\sigma_{T+} = \frac{L_{bu}(0,5) - L_{bu}(0,1)}{1,282}. \quad (4.6b)$$

Как отмечалось выше, "псевдостандартное отклонение" изменчивости во времени зависит от протяженности трассы, поэтому оно должно быть вычислено для каждого представляющего интерес расстояния.

Совокупное стандартное отклонение изменчивости в зависимости от времени и местоположений, σ_{tl} , тогда определяется квадратным корнем из суммы квадратов стандартных отклонений изменчивости во времени, σ_{T+} , и изменчивости местоположения, σ_L :

$$\sigma_{tl} = \sqrt{\sigma_{T+}^2 + \sigma_L^2}. \quad (4.7)$$

Оценка служб и помех

Во многих службах радиосвязи требуется повторное использование частот для эффективного применения распределенной службе полосы частот. Кроме того, если ширина спектра распределенной полосы превышает необходимую для поддержки работы одного канала, могут работать передатчики в соседнем канале с некоторым смещением частоты относительно частоты полезного сигнала данного передатчика. Важной проблемой, которая может при этом возникнуть, являются помехи по совмещенному или соседнему каналу, появление которых возможно при наличии нескольких передатчиков, работающих в этой полосе. Когда какая-либо полоса совместно используется различными службами, существует также потенциальная возможность возникновения помех между службами, даже если каждая из служб сама по себе не подвержена помехам.

- *D/U в пределах службы*

При рассмотрении помех внутри службы один используемый общий метод оценки влияния помех состоит в применении отношения уровня полезного сигнала к уровню мешающего (то есть помехи), независимо от того, возникает помеха в совмещенном или в соседнем канале. Обычно, но не всегда, помехи по совмещенному каналу более нежелательны из этих двух видов помех и служат фактором,

ограничивающим повторное использование частот внутри службы. Исходным положением здесь является то, что полезный сигнал должен быть достаточно сильным, чтобы его доступность с точки зрения долей времени была достаточно большой, чтобы работу службы можно было считать приемлемой или адекватной. Если представить службу радиовещательного типа с ненаправленной зоной покрытия, естественно распространить доступность сигнала также на различные доли местоположений и говорить о зоне покрытия.

Есть два идеализированных сценария развертывания, которые связаны с планированием службы. Если мощность изолированно используемого передатчика, обеспечивающего полезный сигнал, очень мала, можно увеличить его зону покрытия, повысив мощность передатчика без изменения всех других системных параметров. Это служба с ограниченным уровнем шума. (Аналогично, на одной четко определенной трассе повышение мощности передатчика увеличивает долю времени, в течение которого полезный сигнал доступен.) Единственным ограничением размера зоны покрытия в таком случае являются практические ограничения на мощность передачи.

Однако если повторное использование частот требует, чтобы передатчик не был изолирован, а осуществлял передачу на той же частоте одновременно с другими передатчиками, находящимися на некотором удалении, каждый из которых может, когда ему угодно и сколько угодно, повышать свою мощность, тогда ясно, что увеличение мощности передатчиков в конечном счете становится пагубным. Это происходит потому, что помехи от удаленных передатчиков вторгаются в зоны покрытия других передатчиков, и никакое дальнейшее увеличение мощности не приводит к увеличению размеров зон покрытия с повышением мощностей передатчиков. Отношение уровня полезного сигнала к уровню мешающего, требуемое для обеспечения адекватной или удовлетворительной работы службы (то есть доступности службы в течение необходимых долей времени и в необходимых долях местоположений), определяет размер зоны покрытия любого данного передатчика. Это служба, ограниченная помехами. Интересным следствием ограниченной помехами службы является то, что никакое преимущество не может быть получено путем обеспечения более высокого уровня, чем уровень полезного сигнала по критерию *ограничения по шуму*, на границе *ограниченной помехами* зоны покрытия.

В целях иллюстрации возможностей использования наших моделей распространения для определения свободного от помех расстояния для данного передатчика в ограниченной помехами службе начнем с формулировки необходимой надежности. Сначала мы говорим, что отношение уровня полезного сигнала к уровню мешающего, R , превышает значение R_0 в течение не менее $q_T \times 100\%$ времени. Затем мы говорим, что этот временной квантиль должен превышать R_0 для $q_L \times 100\%$ местоположений. Если принять точку зрения пользователя полезного сигнала, то естественная интерпретация адекватной или удовлетворительной работы службы подразумевает неравенство $q_T, q_L \geq 0,5$. Тогда количественное выражение для вышеупомянутого принимает вид

$$R(x) = R(0,5, 0,5, x) + Y_{TR}(q_T) + Y_{LR}(q_L) \geq R, \quad (4.8)$$

где x – расстояние до передатчика полезного сигнала, а отклонения определяются выражениями:

$$Y_{TR}(q_T) = R(q_T, q_L, x) - R(0,5, q_L, x); \quad (4.9a)$$

$$Y_{LR}(q_L) = R(0,5, q_L, x) - R(0,5, 0,5, x). \quad (4.9b)$$

Если отношение R измеряется в дБ, оно включает разность между двумя независимыми случайными переменными, уровнем полезного сигнала в местоположении x относительно передатчика полезного сигнала и уровнем мешающего сигнала в местоположении x' относительно передатчика мешающего сигнала. (Например $x' = s - x$, где s – расстояние разнесения между полезным и мешающим передатчиками.) Если пренебречь пока постоянным членом уравнения, который явился бы

результатом различных мощностей передатчиков, усилений передающей и приемной антенн и т. д., общий медианный член уравнения принимает вид

$$R(0,5, 0,5, x) \approx L_{bU}(0,5, 0,5, x') - L_{bD}(0,5, 0,5, x), \quad (4.10)$$

а соответствующие отклонения получаются псевдосверткой:

$$Y_{TR}(q_T) = -[Y_{TD}^2(q_T) + Y_{TU}^2(1 - q_T)]^{\frac{1}{2}}; \quad (4.11a)$$

$$Y_{LR}(q_L) = -[Y_{LD}^2(q_L) + Y_{LU}^2(1 - q_L)]^{\frac{1}{2}}, \quad (4.11b)$$

где нижние индексы D и U относятся к полезной и мешающей станциям соответственно и общий знак "минус" в правой части уравнений появляется потому, что мы предполагаем, что $q_T, q_L \geq 0,5$, и используем дополнительные квантили для мешающих сигналов, так как если квантили y_U – это $Y_U(q)$, то квантили $-y_U$ – это $-Y_U(1 - q)$. Отдельные отклонения определяются выражениями:

$$Y_{TD}(q_T) = L_{bD}(q_T, q_L, x) - L_{bD}(0,5, q_L, x); \quad (4.12a)$$

$$Y_{TU}(1 - q_T) = L_{bU}(1 - q_T, 1 - q_L, x') - L_{bU}(0,5, 1 - q_L, x'); \quad (4.12b)$$

$$Y_{LD}(q_L) = L_{bD}(0,5, q_L, x) - L_{bD}(0,5, 0,5, x); \quad (4.12c)$$

$$Y_{LU}(1 - q_L) = L_{bU}(0,5, 1 - q_L, x') - L_{bU}(0,5, 0,5, x'). \quad (4.12d)$$

Если основные потери при передаче монотонно увеличиваются с расстоянием, то свободное от помех расстояние составляет $x \leq r$, где $R(r) = R_0$ вдоль линии, соединяющей местоположения полезного и мешающего передатчиков.

- Совместное использование частот службами (например, C/I)

В предыдущем примере мы рассматривали помехи внутри службы, наблюдавшиеся в местоположениях, которые могли быть местами, где предпринимались попытки приема полезного сигнала в присутствии мешающего сигнала. Практическим примером могло бы стать определение оптимального расстояния разнесения радиовещательных передатчиков, работающих в одном канале, чтобы максимизировать беспомеховое покрытие большой территории, например территории страны.

Еще одним сценарием, при котором возможны помехи, является сценарий, когда две или более различных служб совместно используют спектр. При этом сценарии регуляторный орган, возможно, должен разработать правила для каждой службы, чтобы гарантировать беспомеховое сосуществование. Как и прежде мы считаем, что определение "беспомеховый" связано с формулировкой необходимой надежности для отношения уровней сигналов, то есть отношения уровня полезного сигнала, C , к уровню мешающего сигнала, или сигнала помехи, I , и мы можем использовать метод предыдущего раздела для анализа такого помехового сценария. Однако ввиду того что если отношение измеряется в дБ, оно включает разность двух независимых случайных переменных, формулировка надежности должна применяться как к полезным, так и к мешающим сигналам непротиворечивым способом.

Например, формулировка надежности, включающая только процент времени, которая могла бы применяться к линии связи с фиксированным местоположением обоих терминалов, должна быть обобщена при рассмотрении помех, создаваемых подвижной станцией фиксированной линии связи. В этом случае дополнительный квантиль отклонения для мешающего сигнала должен применяться к *объединенной изменчивости* в зависимости от времени и местоположения. Для помех в противоположном направлении, то есть помех со стороны фиксированной линии связи подвижной станции, формулировка надежности для полезного сигнала должна включать процент времени в сочетании с местоположениями. Дополнительный квантиль мешающего сигнала должен включать *объединенные* изменчивости в зависимости от времени и местоположения вместо одной только изменчивости во времени.

В качестве второго примера рассмотрим случай совместного использования частот радиовещательной и подвижной станциями. В случае помех, создаваемых подвижной станцией радиовещательному приемнику, надежность полезного сигнала будет выражаться двукратным квантилем изменчивости в зависимости от местоположения и времени. Дополнительный квантиль для мешающего сигнала подвижной станции также должен быть выражен двукратным квантилем. Для помех в противоположном направлении, то есть со стороны радиовещательного передатчика подвижной станции, формулировка надежности для полезного сигнала должна быть выражена в виде квантиля *объединенной доли* времени и местоположений, таким образом дополнительный квантиль для мешающего радиовещательного сигнала должен быть выражен *объединенной долей* времени и местоположений.

В некоторых случаях, в которых рассматривается только изменчивость мешающих сигналов, внимание сосредоточено исключительно на дополнительных квантилях. Например, для радиоастрономической станции можно заявить, что помехи должны превышать указанный порог только в течение $q_T \times 100\%$ времени. В этом случае значение беспомеховой службы соответствует $(1 - q_T) \times 100\%$ времени доступности/надежности полезного сигнала, а естественная интерпретация адекватной или удовлетворительной работы службы – $q_T \leq 0,5$.

4.3 Критерии защиты от помех

Критерием защиты от помех (IPС) является относительный или абсолютный уровень мешающего сигнала, определенный на входе приемника при указанных условиях, с тем чтобы допустимое ухудшение характеристик не превышалось. Он обычно определяется как абсолютный уровень мощности помехи I , отношение мощности помехи к мощности шума (I/N) или отношение мощности несущей к мощности сигнала помехи (C/I). IPС определяется для суммарных мешающих сигналов, то есть всех сигналов помех, или единичного сигнала помехи. IPС для суммарных мешающих сигналов обычно выводится из показателей качества и может использоваться для определения среды мешающего сигнала при проектировании системы. IPС для единичной помехи получают из IPС для суммарных мешающих сигналов и используют в качестве некоторой формы критериев совместного использования, например совместного использования спектра.

IPС зависит от конкретного типа мешающего сигнала и обычно определяется для нескольких видов общих типов сигналов, таких как незатухающая волна (CW), шумоподобный сигнал, импульсный сигнал. Они также определяются как короткие, длительные и подобные полезному сигналу. Имеется несколько других параметров, обычно необходимых для полного определения IPС. К этим параметрам относятся порог мощности, эталонная ширина полосы, процент времени и местоположений и другие специальные условия, если они необходимы. Обзор IPС, определенных для различных типов служб, свидетельствует о следующей тенденции: IPС, выраженные как I/N в диапазоне от -12 до -6 дБ, и IPС, выраженные как C/I в диапазоне $12-20$ дБ. Примеры IPС, определенных в различных Рекомендациях МСЭ-R, приведены в Таблице 4.3-1.

ТАБЛИЦА 4.3-1

Примеры критериев защиты от помех в Рекомендациях МСЭ-R

Тип службы	Критерии защиты от помех	Ссылка
Фиксированная служба – помехи, кроме помех от радаров	$I/N \leq -6$ дБ	МСЭ-R F.1334
Фиксированная служба – помехи от радаров (фиксированные и подвижные радары сухопутного базирования)	$I_{PK}/N \leq 0$ дБ	МСЭ-R F.1190
Фиксированная служба – помехи от радаров (радары морской и сухопутной подвижной службы)	$I_{PK}/N \leq 10$ дБ	МСЭ-R F.1190
Фиксированная спутниковая служба	I/N (единичная помеха) ≤ -12 дБ	МСЭ-R S.735, МСЭ-R S.1323, МСЭ-R S.1432
	$C/I \geq 27$ дБ для суммарной помехи (Районы 1 и 3)	Приложение 30А Регламента радиосвязи МСЭ
	$C/I \geq 30$ дБ для единичной помехи (Земля-космос) $C/I \geq 26,65$ дБ для единичной помехи (космос-земля) $C/I \geq 21$ дБ для суммарной помехи (общее значение, включая линию вверх и линию вниз)	Приложение 30В Регламента радиосвязи МСЭ

ТАБЛИЦА 4.3-1 (продолжение)

Тип службы	Критерии защиты от помех	Ссылка
Служба радиоопределения ($f = 2700 - 2900$)	$I/N \leq -10$ дБ	МСЭ-R М.1464
Служба радиоопределения (все другие полосы)	$I/N \leq -6$ дБ	МСЭ-R М. 1461
Спутниковая радиовещательная служба	$C/I \geq 21$ дБ, суммарная помеха (Районы 1 и 3) $C/I \geq 28$ дБ, суммарная помеха (Район 2)	Приложение 30 Регламента радиосвязи МСЭ
Наземная радиовещательная служба	$I \leq 1\%$ общей мощности шума приемной системы (излучения в отсутствие соответствующего распределения частот) $I \leq 10\%$ общей мощности шума приемной системы (излучения служб радиосвязи, имеющих соответствующее распределение частот на равной первичной основе)	МСЭ-R ВТ.1895
Подвижная сухопутная служба	$I \leq -117$ дБВт, суммарная внутри помещений $I \leq -119$ дБВт, суммарная вне помещений	МСЭ-R М.687
Подвижная спутниковая служба, системы ГСО	$I/N \leq -7$ дБ для суммарной помехи $I/N \leq -12$ дБ для единичной помехи	МСЭ-R М.1183
Подвижная спутниковая служба, системы НГСО	$I \leq -142,1$ дБВт для суммарной помехи $I \leq -146,2$ дБВт для единичной помехи в направлении космос-земля $I \leq -147,3$ дБВт для единичной наземной помехи	МСЭ-R М.1231 МСЭ-R М.1232
Воздушная подвижная спутниковая служба	$I/N \leq -7$ дБ для суммарной помехи $I/N \leq -12$ дБ для единичной помехи	МСЭ-R М.1234
Служба космических исследований (околоземная): космос-земля	$I \leq -216$ дБ(Вт/Гц) для диапазона 1–20 ГГц на Земле $I \leq -156$ дБ(Вт/МГц) для диапазона выше 20 ГГц на Земле	МСЭ-R SA.609
Служба космических исследований (околоземная): Земля-космос	$I \leq -177$ дБ(Вт/кГц)	МСЭ-R SA.609
Служба космических исследований (дальний космос): космос-земля	$I \leq -222$ дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 2 ГГц $I \leq -221$ дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 8 ГГц $I \leq -220$ дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 13 ГГц $I \leq -217$ дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 32 ГГц	МСЭ-R SA.1157
Служба космических исследований (дальний космос): Земля-космос	$I \leq -193$ дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 2 ГГц $I \leq -190$ дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 7 ГГц $I \leq -186$ дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 17 ГГц $I \leq -183$ дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 34 ГГц	МСЭ-R SA.1157

ТАБЛИЦА 4.3-1 (окончание)

Тип службы	Критерии защиты от помех	Ссылка
Служба космических исследований в диапазонах 37 и 40 ГГц (линии космос-земля)	$I/N \leq -6$ дБ	МСЭ-R SA.1396
Служба космических исследований в диапазонах 37 и 40 ГГц (линии Земля-космос)	$I/N \leq 0$ дБ	МСЭ-R SA.1396
Спутник ретрансляции данных вне S-диапазона	$I \leq -178$ дБВт	МСЭ-R SA.1155
Спутник ретрансляции данных в S-диапазоне	$I \leq -181$ дБВт	МСЭ-R SA.1274
Системы космической эксплуатации, линии космос-земля	$I \leq -184$ дБВт	МСЭ-R SA.363
Системы космической эксплуатации, линии Земля-космос	$C/I \geq 20$ дБ	

ГЛАВА 5

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ,
СОДЕРЖАЩИХСЯ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ МСЭ-R СЕРИИ P,
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТ И ПОМЕХ****5.1 Введение**

Выбор приемлемой модели распространения для использования в ходе технического анализа основан на различных необходимых эффектах распространения на трассе распространения, как это обсуждалось в предыдущих главах. Модели основаны на Рекомендациях и методах прогнозирования, разработанных 3-й Исследовательской комиссией МСЭ-R. В настоящей главе дается подробный обзор выбора конкретных моделей распространения; краткое руководство по моделям распространения см. в главе 3. В данной главе содержится подробное описание отдельных моделей распространения и методов, на которые ссылается настоящий Справочник.

5.2 Рекомендация МСЭ-R P.452

Рекомендация МСЭ-R P.452 содержит метод прогнозирования для оценки микроволновых помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах в диапазоне от 0,7 ГГц до 50 ГГц. Модель имеет дело строго с двумя находящимися на поверхности Земли станциями, работающими на трассе связи "из пункта в пункт" или в пределах прямой видимости. Эффекты распространения, рассматриваемые в Рекомендации МСЭ-R P.452, связаны как с механизмами распространения в условиях ясного неба, так и с механизмами распространения за счет рассеяния в гидрометеорах. Механизмы распространения в условиях ясного неба, описанные в Рекомендации МСЭ-R P.452, включают распространение в пределах прямой видимости, дифракцию, распространение в атмосферном волноводе и потери за счет отражения от препятствий. Результатом применения этого метода является оценка напряженности поля на входе приемника при распространении радиосигнала от одной радиостанции до другой, но метод расчета помех, создаваемых этим радиосигналом, не рассматривается. Тем не менее, проблемы помех могут быть рассмотрены с использованием Рекомендации МСЭ-R P.452, когда существует возможность помех между радиостанциями микроволнового диапазона, расположенными на поверхности Земли, путем использования напряженности поля, вычисленной согласно модели и на основе базового анализа радиоканала, для того чтобы узнать результат помех между передатчиком и приемником.

Метод, содержащийся в Рекомендации МСЭ-R P.452, включает дополнительный набор моделей распространения, которые гарантируют, что методы прогнозирования охватывают все существенные механизмы распространения помех, которые могут возникнуть. Для использования этого метода в модель вводятся данные из базы специальных знаний и базы данных о профиле местности на трассе между передатчиком и приемником. Дополнительно в метод вводится поправочный коэффициент для оценки потерь за счет отражения от препятствий на одном или на обоих концах трассы в ситуациях, когда имеется полная информация относительно отражающих препятствий. В Рекомендации содержится модель для вычисления дополнительных потерь за счет отражения от препятствий, максимальная величина которых составляет 20 дБ на частотах выше 0,9 ГГц, понижаясь до 5 дБ на частоте 0,1 ГГц.

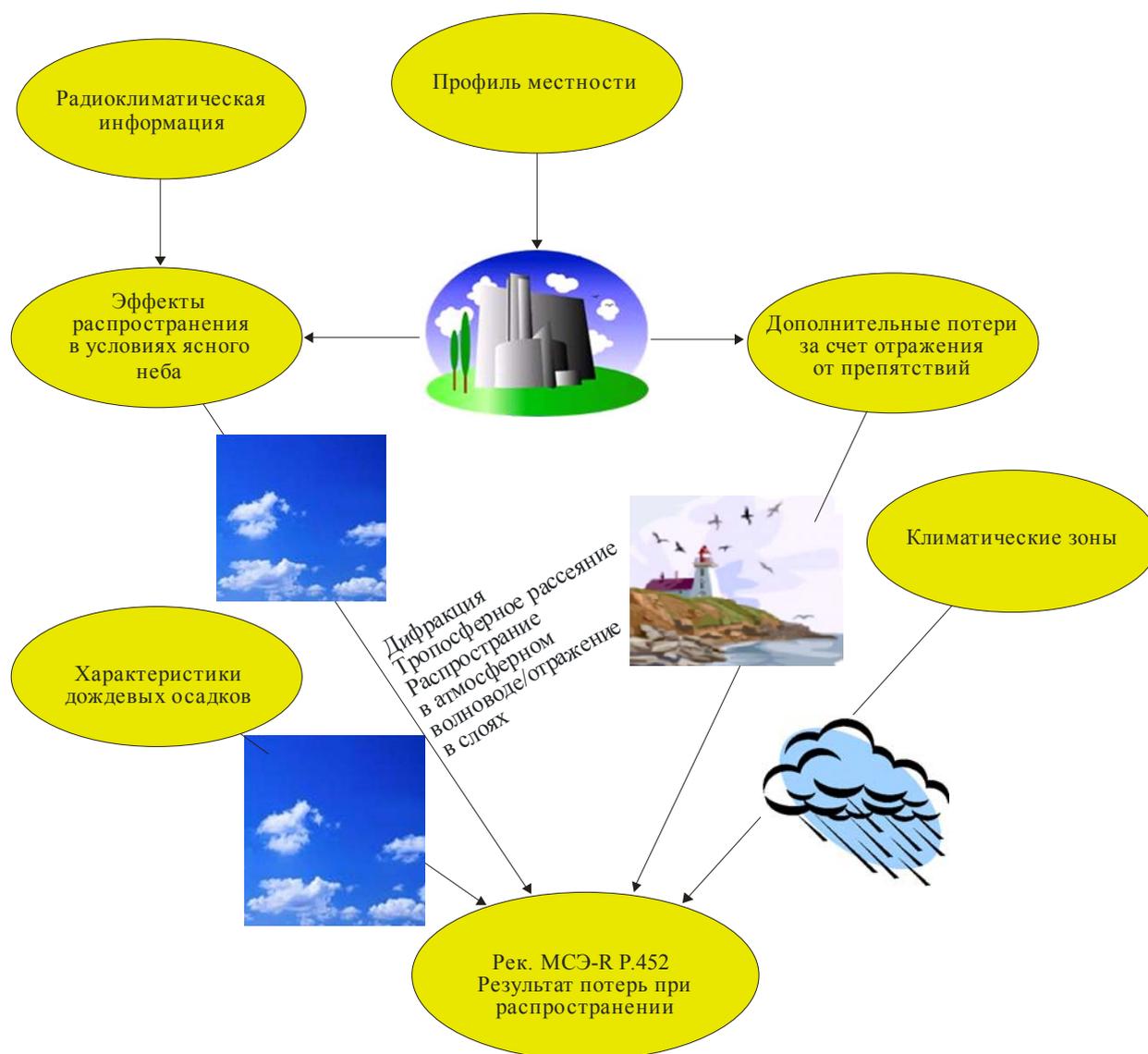
В описываемой модели приводятся методы, основанные на учете профиля местности на трассе и влияния отражающих препятствий, для анализа радиометеорологических и топографических характеристик трассы, с тем чтобы можно было составлять прогнозы относительно любой практически возможной трассы распространения помех, подпадающей под действие этой процедуры, на расстояние до 10 000 км. Процедура для расчета влияния метеорологических условий была определена полностью в виде отдельных методов прогнозирования помех в условиях ясного неба и за счет рассеяния в гидрометеорах (в дожде и облаках). Поскольку с помощью этого метода можно проанализировать много типов и комбинаций трасс распространения помех, Рекомендация МСЭ-R

P.452, выполняя детальный анализ профиля местности на трассе и обеспечивая возможность анализа дополнительных потерь за счет отражения от препятствий, является привлекательным инструментом для анализа случаев помех между двумя станциями, находящимися на поверхности Земли.

На Рисунке 5.2 представлен обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.452.

РИСУНОК 5.2

**Обзор различных механизмов распространения,
рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.452**



PPM. 05.2

5.3 Рекомендация МСЭ-R P.528

В Рекомендации МСЭ-R P.528 представлены наборы кривых для медианных значений основных потерь при передаче в диапазоне 125 МГц – 15,5 ГГц для высот антенны, которые включают авиационные и спутниковые высоты. Рекомендация МСЭ-R P.528 применима для линий связи земля-воздух, воздух-воздух, земля-спутник, воздух-спутник и спутник-спутник. Кривые в этой

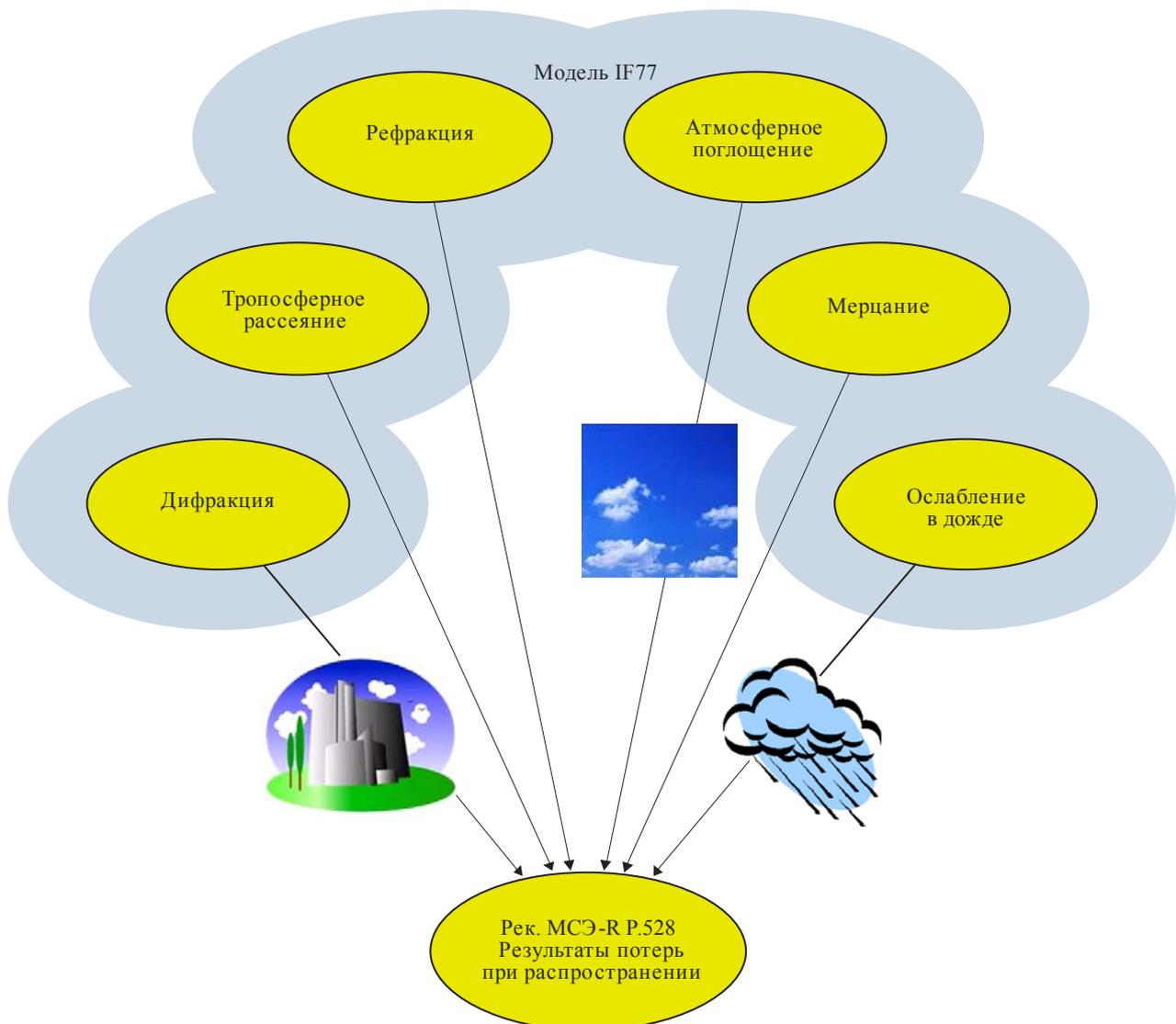
Рекомендации получены с помощью модели IF77, которая является полуэмпирической моделью, разработанной для линий связи воздушных служб. Рекомендация также включает метод расчета расстояний разнесения между мешающими станциями (для этих расчетов требуется знание мощности передатчика и усиления передающей и приемной антенн для каждой системы). В ней содержится предостережение о том, что данные, на которых основаны эти кривые, получены в условиях умеренно-континентального климата и для других типов климата должны использоваться с осторожностью.

Необходимые исходные данные для Рекомендации МСЭ-R P.528 включают две высоты антенны, частоту, расстояние и процент времени. Данные о профиле местности для этой Рекомендации не требуются.

Преимущество использования Рекомендации МСЭ-R P.528 состоит в том, что для определения медианных значений основных потерь при передаче и расстояний разнесения для линий связи воздушных и спутниковых служб не требуется данных о профиле местности.

РИСУНОК 5.3

Обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.528



5.4 Рекомендация МСЭ-R P.533

В этой Рекомендации представлены методы прогнозирования доступных частот, уровней сигнала и показателей надежности для ВЧ-систем как с аналоговой, так и цифровой модуляцией. В Рекомендации учитывается не только отношение сигнал/шум, но и ожидаемые временное и частотное рассеяние в канале. В данной процедуре прогнозирования используются анализ траектории луча для трасс протяженностью до 7000 км, описание сложных мод путем эмпирической аппроксимации данных измерений для трасс протяженностью свыше 9000 км и гладкая интерполяция величин, полученных с помощью двух названных методов, для трасс протяженностью от 7000 до 9000 км.

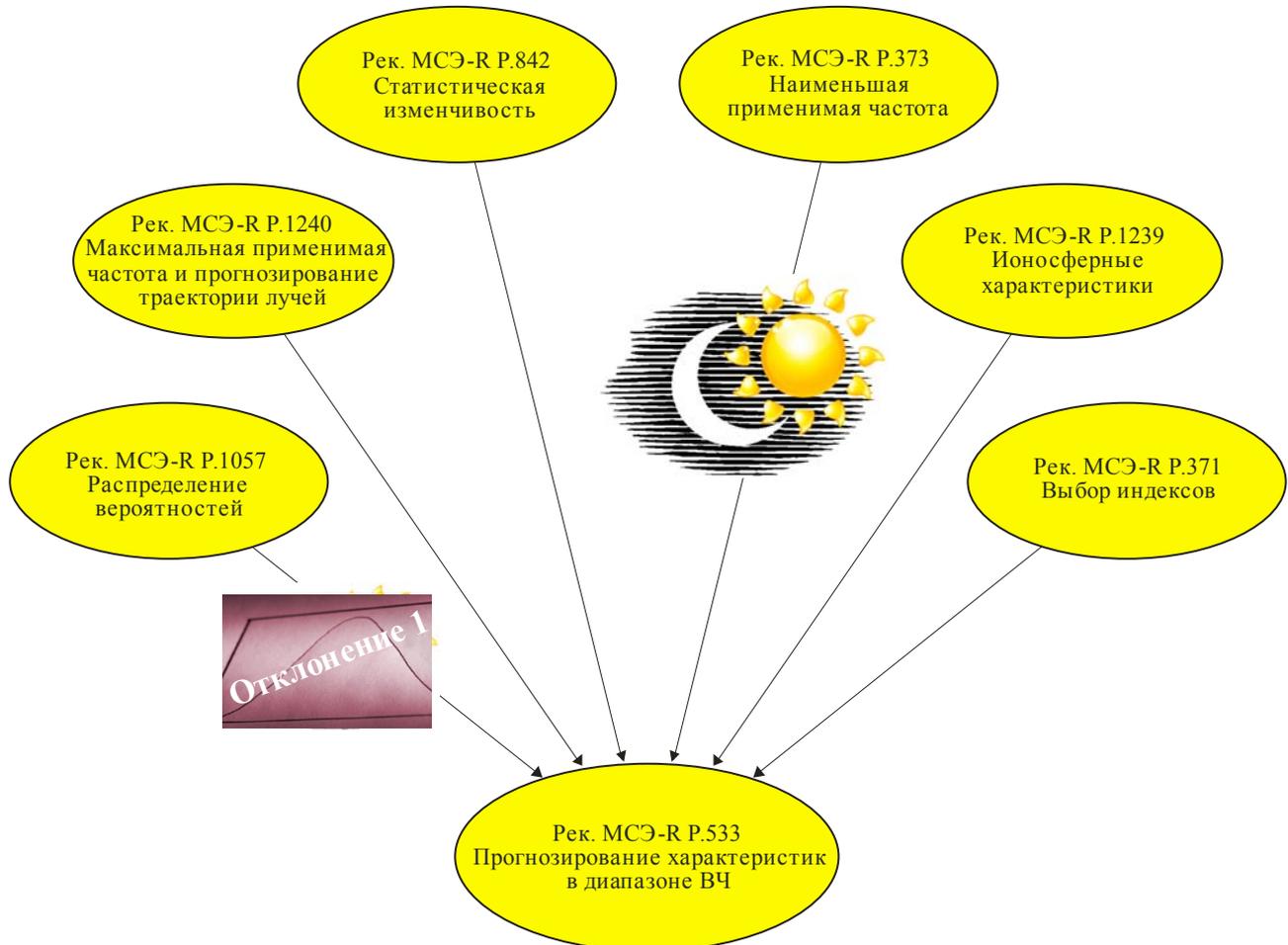
Определены месячные медианные значения основной МПЧ, напряженности поля падающей пространственной волны и номинальной мощности на входе приемника, поступающей с приемной антенны, работающей без потерь и имеющей заданный коэффициент усиления. Данный метод включает оценку параметров функции передачи канала для использования при прогнозировании рабочих характеристик цифровых систем. Представлены методы для оценки надежности линии. Проведена стандартизация уровней сигнала на основе банка данных измерений МСЭ-R. Метод требует определения ряда характеристик ионосферы и параметров распространения радиоволн в указанных "контрольных точках".

В экваториальных районах в вечерние часы (по местному времени) в результате региональной ионосферной структурной нестабильности, которая в данном методе в полной мере не учитывается, возможны искажения в прогнозируемых результатах.

На Рисунке 5.4 представлен обзор механизмов, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.533.

РИСУНОК 5.4

Обзор различных механизмов, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.533



PPM. 05.4

5.5 Рекомендация МСЭ-R P.619

В Рекомендации МСЭ-R P.619 описывается оценка помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, и космическими станциями, между космическими станциями одной и той же системы и между космическими станциями разных систем. В Рекомендации рассматриваются четыре возможные трассы распространения, обобщаются различные условия распространения, которые могут существовать на такой трассе, и дается ссылка на надлежащую Рекомендацию МСЭ-R для расчета результата для заданного условия. Четыре трассы распространения, которые рассматриваются в Рекомендации МСЭ-R P.619, включают следующие трассы:

- передача космической станции одной системы, которая создает помехи приему земной станции другой системы;
- передача земной станции одной космической системы, которая создает помехи приему космической станцией другой системы;
- передача космической станции, которая создает помехи приему наземной станции;
- передача наземной станции, которая создает помехи приему космической станции.

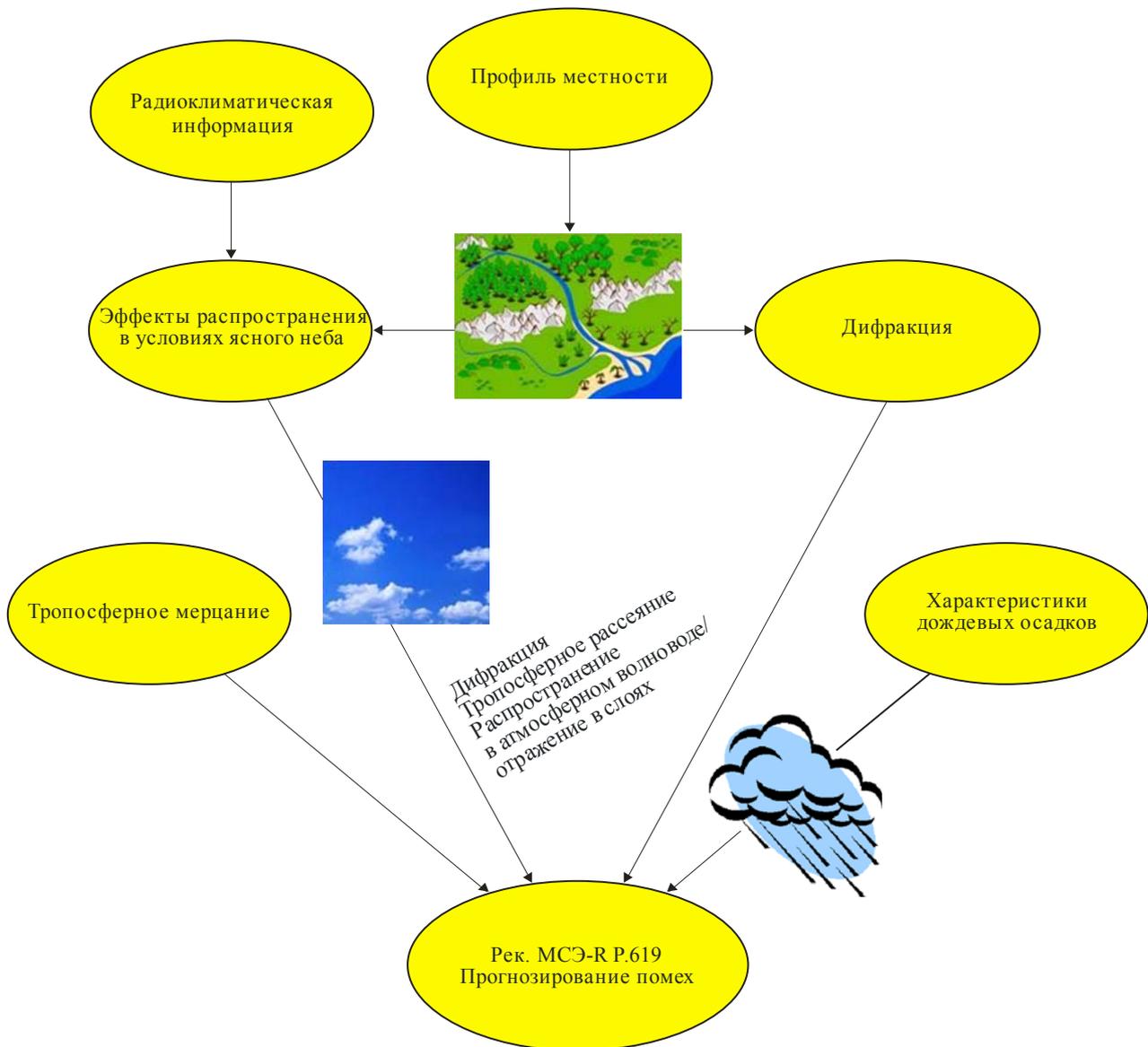
К трем основным механизмам распространения, рассматриваемым в этой Рекомендации, относятся распространение в условиях ясного неба, рассеяние в осадках и дифференциальное ослабление на смежных трассах Земля-космос. В этой Рекомендации пользователю не предоставляется четкий пошаговый метод для расчета помех между станциями или даже потерь при распространении между станциями, как это делается в других Рекомендациях серии Р, рассматриваемых в настоящем Справочнике. Преимущество в использовании Рекомендации МСЭ-R Р.619 состоит в том, что она указывает соответствующие эффекты распространения и отсылает читателя к связанным с ними Рекомендациям МСЭ-R серии Р для расчета надлежащего механизма распространения, чтобы эффективно оценить помехи между наземными и космическими станциями, ссылаясь на другие Рекомендации МСЭ-R.

Как было отмечено ранее, Рекомендация МСЭ-R Р.619 не предоставляет четкого пошагового решения проблемы помех, но является Рекомендацией, отсылающей читателя к надлежащей Рекомендации МСЭ-R для расчета условий распространения на данной трассе. Таким образом, рассмотрение допустимого сценария совместного использования частот для многих приложений Рекомендации МСЭ-R Р.619 было бы затруднительным в контексте настоящего Справочника и поэтому не включено.

На Рисунке 5.5 представлен обзор механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.619.

РИСУНОК 5.5

Обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.619



PPM. 05.5

5.6 Рекомендация МСЭ-R P.620

В Рекомендации МСЭ-R P.620 описывается метод оценки соответствующих механизмов распространения при определении координационных расстояний. Определение координационных расстояний в этом методе основано на расчете требуемых потерь при передаче через механизмы распространения между земной станцией и наземными станциями. Координационное расстояние, таким образом, является расстоянием, при котором потери при распространении равны требуемым минимальным допустимым основным потерям при передаче, не превышаемым в течение заданного процента времени в год. Метод, описанный в Рекомендации МСЭ-R P.620, обеспечивает пошаговое

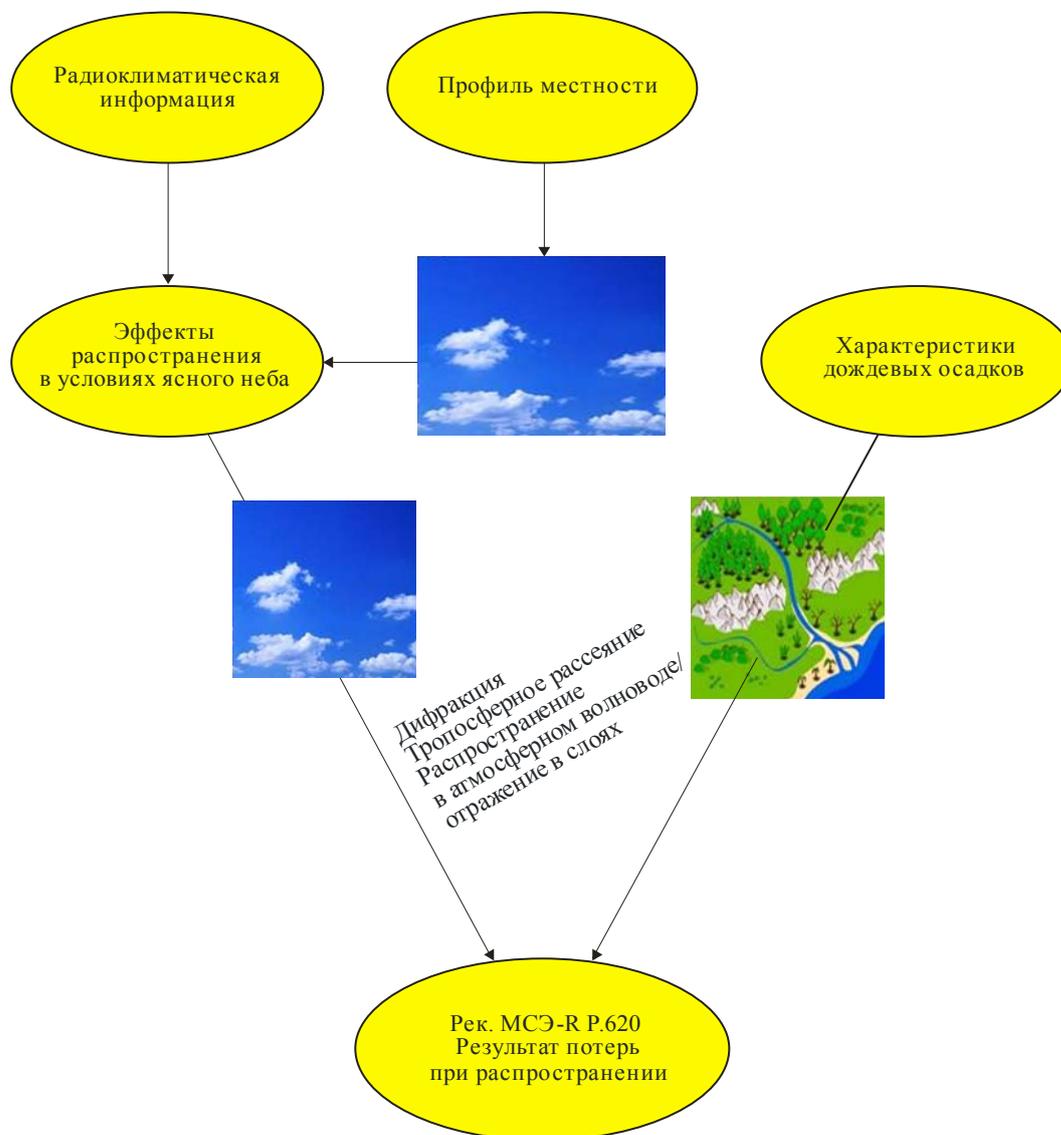
решение для расчета координационного расстояния на основе требуемых минимальных потерь при распространении.

Рекомендация определяет координационные расстояния путем итерационного вычисления потерь при распространении с использованием механизмов распространения, пока либо не будут получены требуемые потери при передаче, либо не будет достигнуто предельное расстояние. Используемые в этом методе механизмы распространения подразделяются на два вида: распространение в условиях чистого неба и рассеяние в гидрометеорах. Распространение в условиях чистого неба рассматривает такие механизмы распространения, как дифракция, преломление, распространение в атмосферном волноводе, тропосферное рассеяние и отражение в слоях. Такой вид распространения, как рассеяние в гидрометеорах, ограничивается земными станциями, работающими с геостационарными спутниками. Элементарные знания о рельефе местности в направлении, рассматриваемом для координации, являются необходимым требованием для использования этого метода. Преимущество использования Рекомендации МСЭ-R P.620 состоит в том, что координационные расстояния могут быть рассчитаны, когда имеются данные о местоположении и другие данные, относящиеся к земной станции, а местоположение наземных станций, с которыми должна осуществляться координация, неизвестно.

На Рисунке 5.6 представлен обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.620.

РИСУНОК 5.6

Обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.620



PPM. 05.6

5.7 Рекомендация МСЭ-R P.1546

В Рекомендации МСЭ-R P.1546 описывается метод прогнозирования распространения радиоволн для трасс связи "из пункта в зону" для наземных служб в диапазоне частот от 30 до 3000 МГц. Она предназначена для использования в линиях радиосвязи в условиях тропосферы над сухопутными трассами, морскими трассами и/или смешанными трассами, состоящими из сухопутных и морских участков, длиной от 1 до 1000 км для эффективной высоты передающей антенны менее 3000 м. Рекомендация содержит набор кривых напряженности поля в зависимости от расстояния, высоты антенны, частоты и процента времени. Эти кривые основаны на данных измерений, проведенных на Северном и Средиземном морях. Информация о сухопутных трассах была взята из данных, характерных для Европы и Северной Америки. Кривые представляют репрезентативные значения для

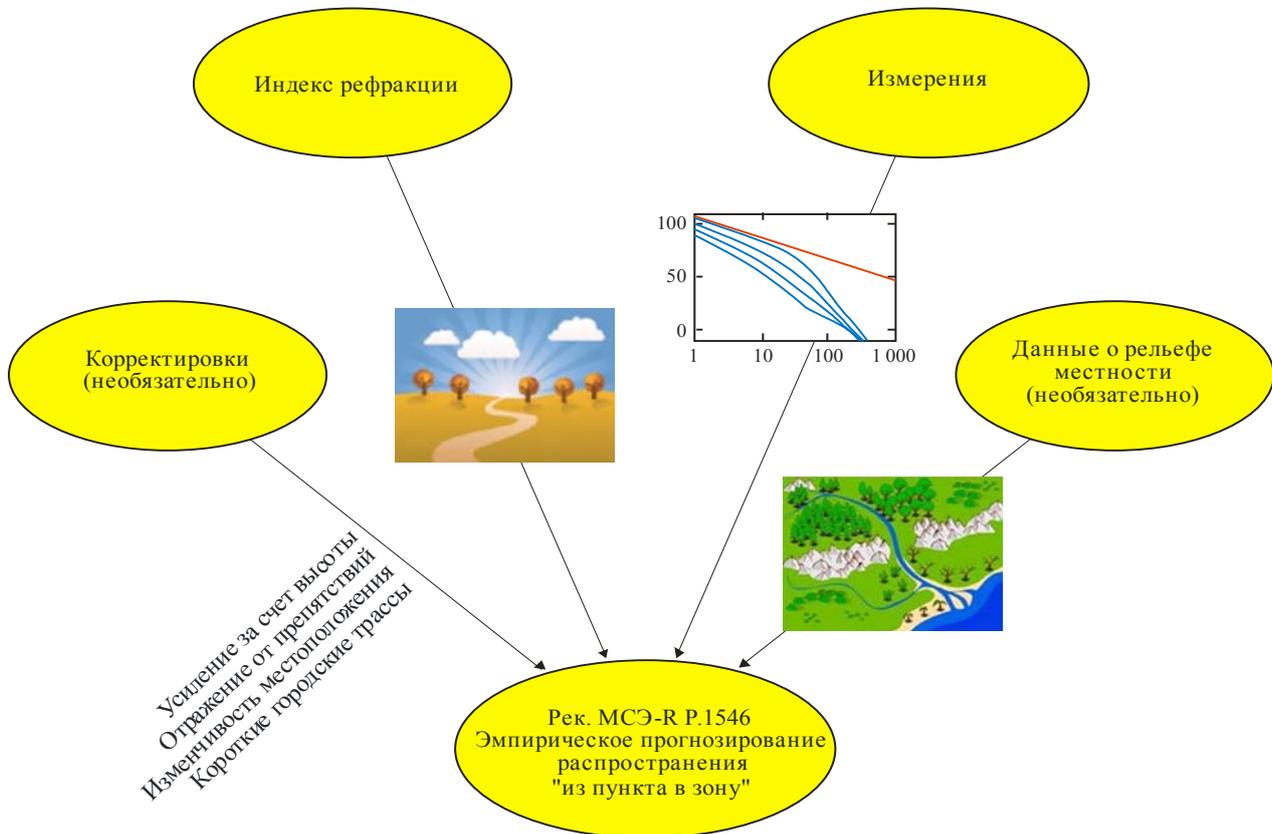
эффективной излучаемой мощности 1 кВт. Также приводятся инструкции по интерполяции кривых для получения значений напряженности поля для любой требуемой частоты, высоты антенны или типа трассы.

Кривые, содержащиеся в Рекомендации, основаны на данных измерений для зон с умеренным климатом в течение заданных периодов времени с использованием predetermined критериев передающей и приемной антенн. В этой Рекомендации приводится метод интерполяции, осуществляемой пользователем, с целью адаптации кривых распространения к заданному набору условий распространения. Поскольку метод базируется на использовании кривых распространения, построенных на основе данных измерений, в кривых распространения учитываются данные об отражениях от препятствий. Однако ввиду того что кривые основаны на заданных условиях распространения в течение времени проведения измерений, не все условия распространения и точные условия на передающей и приемной антеннах могли быть учтены при анализе распространения. Преимущество использования Рекомендации МСЭ-R P.1546 состоит в том, что она обеспечивает быстрое прогнозирование потерь при распространении "из пункта в зону" на основании реальных результатов измерений, проведенных в мире.

На Рисунке 5.7 представлен обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.1546.

РИСУНОК 5.7

Обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.1546



PPM. 05.7

5.8 Рекомендация МСЭ-R P.1812

В Рекомендации МСЭ-R P.1812 описывается метод прогнозирования распространения сигнала, пригодный для подробной оценки уровней сигнала наземных служб связи "из пункта в пункт" или "из пункта в зону" в диапазоне частот от 30 МГц до 3 ГГц, превышаемых в течение заданного процента времени $p\%$, лежащего в пределах $1\% \leq p \leq 50\%$, и для данного процента местоположения p_L , лежащего в пределах $1\% \leq p_L \leq 99\%$. Метод также опирается на любой анализ трассы на основе профиля земной поверхности. Данный метод может использоваться для прогнозирования как зоны обслуживания, так и доступности для заданного уровня полезного сигнала (покрытия), а также уменьшения этой зоны обслуживания и доступности из-за мешающих сигналов (помех) в совмещенном и/или соседних каналах.

Этот метод сначала описывает расчет основных потерь при передаче (дБ), которые не превышаются в течение $p\%$ времени для среднего числа местоположений. Затем выполняется статистическое описание элементов, определяемых изменением местоположения, и потерь на проникновение в здания для мест размещения приемников. Затем выполняется процедура приведения к напряженности электрического поля дБ(мкВ/м) для эффективной излучаемой мощности, равной 1 кВт.

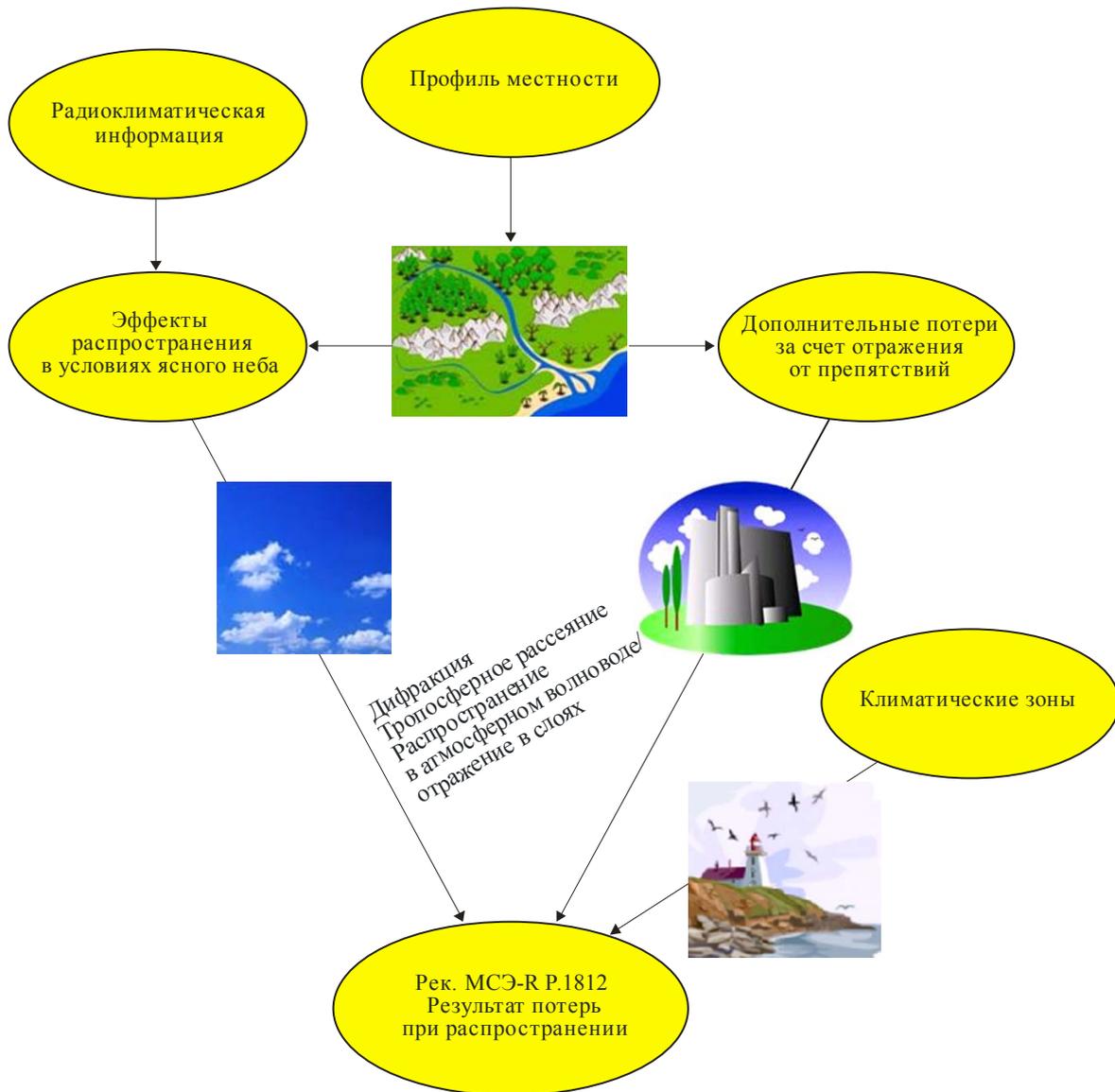
Этот метод предназначен главным образом для систем, использующих антенны с малым усилением. Однако на изменение точности при использовании антенн с высоким коэффициентом усиления влияет только один элемент из всего метода – тропосферное рассеяние, и изменения в прогнозах

невелики. Например, даже если на обоих концах линии будут использоваться антенны с усилением 40 дБи, завышение оценки сигналов тропосферного рассеяния составит всего лишь около 1 дБ.

Метод прогнозирования параметров распространения радиоволн в этой Рекомендации определяется конкретной трассой. Прогнозы для систем "из пункта в зону", выполняемые с использованием этого метода, состоят из прогнозов для линий "из пункта в многие пункты" (то есть точка передачи – многие точки приема), которые равномерно распределены в рассматриваемой зоне обслуживания. Количество точек должно быть достаточно большим, для того чтобы полученные таким образом прогнозируемые значения основных потерь при передаче или напряженности поля были разумными оценками средних значений для конкретных мест и соответствующих величин для элементарных площадей, которые они описывают.

На Рисунке 5.8 представлен обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.1812.

РИСУНОК 5.8

Обзор различных механизмов распространения, рассматриваемых в Рекомендации МСЭ-R P.1812

ГЛАВА 6

**ТИПОВЫЕ СЦЕНАРИИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТ
ДЛЯ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ,
СОДЕРЖАЩИХСЯ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ МСЭ-R СЕРИИ P**

В данной главе приводятся базовая информация и контекст для использования модели/метода путем предоставления примеров сценариев совместного использования частот, которые могут быть проанализированы с использованием методов и моделей распространения, обсуждаемых в настоящем Справочнике. Некоторые из рассматриваемых здесь сценариев совместного использования частот основаны на ретроспективном исследовании имевших место в прошлом взаимодействий между 3-й Исследовательской комиссией и другими Исследовательскими комиссиями в связи с заявлениями о взаимодействии. При выявлении какого-либо взаимодействия, связанного с заявлением о взаимодействии, которое имеет отношение к конкретной модели распространения, устанавливалась цепочка связей взаимодействия и определялся соответствующий сценарий совместного использования частот. В данной главе представлены исследования совместного использования частот и типичное использование моделей, обсуждаемых в настоящем Справочнике.

В приложении В приводится таблица, содержащая документально подтверждаемую информацию об обмене заявлениями о взаимодействии между 3-й Исследовательской комиссией и другими Исследовательскими комиссиями МСЭ-R. Эти заявления о взаимодействии выявляют исторический контекст необходимости настоящего Справочника, для того чтобы помочь заинтересованным Исследовательским комиссиям в использовании моделей, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R серии P, для исследования помех и совместного использования частот.

**6.1 Примеры сценариев совместного использования частот
из Рекомендации МСЭ-R P.452****Сценарий совместного использования частот/радиочастотных помех станции СКИ
от фиксированной земной станции VSAT***Базовая информация*

Недавно был достигнут прогресс в создании новой земной станции СКИ для связи со спутниковой сетью системы слежения и ретрансляции данных (TDRSS). Новая земная станция будет расположена в 50 км от крупного города с пригородами. Существует серьезная обеспокоенность по поводу помех земной станции СКИ со стороны недавно предложенных земных станций VSAT, которые могут быть расположены в непосредственной близости от новой земной станции СКИ.

Правила Федеральной комиссии связи США (ФКС), Часть 47, § 25.222(d), требуют координации работы в пределах 125 км от земных станций TDRSS. Операторы различных земных станций VSAT были обеспокоены тем, что расстояние разноса в 125 км значительно повредит работе, особенно вблизи земной станции СКИ, расположенной приблизительно в 50 км от одного крупного города с пригородами – потенциального большого рынка для операторов ESV и VMES. Проблема координации была связана с определением минимального приемлемого расстояния разноса между земной станцией СКИ и земной станцией VSAT.

Причины использования Рекомендации МСЭ-R P.452

Рекомендация МСЭ-R P.452 была выбрана из-за того, что она является подходящей моделью для изучения каналов распространения Земля-Земля между земной станцией VSAT и земной станцией СКИ. Рекомендация МСЭ-R P.452 также хорошо подходит для моделирования различных аспектов распространения, таких как критерии, связанные с рельефом местности и процентом времени, которые требуются для сценариев земной станции СКИ.

Предположения для сценария координации

Диапазон частот

TDRSS в диапазоне 13,4–14,05 ГГц с линиями вверх ФСС в диапазоне 14,0–14,5 ГГц.

Параметры приемника СКИ

Параметр	Значение
Расположение	38,409; –77,107
Высота приемной антенны	11,35 м
Диаметр приемной антенны	16,5 м
Пиковое усиление приемной антенны	65 дБ
Диаграмма направленности приемной антенны	PP8 PP МСЭ
Рабочий спутник TDRSS	TDRS 12 W
Частота	14,0 ГГц
"Внутриполосные" критерии радиочастотных помех (Рек. МСЭ-R SA.1155)	–146 дБ(Вт/МГц)
Критерий процента времени (Рек. МСЭ-R SA.1155)	0,1%

Предположения относительно создающей помехи фиксированной земной станции VSAT

Параметр	Значение
Расположение	38,863; –77,067
Высота передающей антенны	2,5 м
Усиление приемной антенны	0 дБ
Э.и.и.м. одного передатчика оконечной станции	12,5 дБ(Вт/МГц)
Частота	14,0 ГГц

Предположения для моделирования

- Зона вокруг земной станции СКИ имеет разный по высоте рельеф местности, поэтому в качестве одного из факторов моделирования помех следует рассматривать профиль местности.
- При моделировании должно быть учтено влияние дифракции и потерь на трассе.
- Помехи в течение 0,1% времени.

6.2 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.528

Базовая информация

Этот сценарий основан на расчете потерь при передаче на типовой трассе передачи воздушной подвижной службы. Расчет потерь при передаче может использоваться в различных расчетах совместного использования частот, связанных с передачами воздушной подвижной станции на наземную станцию.

Причины выбора Рекомендации МСЭ-R P.528

Рекомендация МСЭ-R P.528 была выбрана для этого примерного сценария совместного использования частот из-за того, что данный сценарий имеет дело с передачами воздушной подвижной службы.

Параметры воздушной подвижной станции

Параметр	Значение
Частота	5 100 МГц
Высота антенны воздушной подвижной станции	10 000 м
Высота антенны наземной станции	15 м
Процент времени	50%
Протяженность трассы	800 км

6.3 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.533

Типовой сценарий прогнозирования трассы "из пункта в пункт"

Базовая информация

Этот сценарий основан на типовом прогнозировании трассы "из пункта в пункт" между полезной и мешающей линиями. Полезная линия состоит из испытывающего помехи приемника и передатчика, а мешающая линия представляет собой линию между испытывающим помехи приемником и мешающим передатчиком. Мы хотим установить влияние наличия источника помех на отношение сигнал/шум (S/N) на входе приемника, испытывающего помехи.

Причины выбора Рекомендации МСЭ-R P.533

Рекомендация МСЭ-R P.533 была выбрана для этого сценария из-за частотных диапазонов сценария.

Предположения для сценария координации

Параметры испытывающего помехи приемника

Расположение	49,88° с. ш., 119,48° з. д.
Ширина полосы	7 кГц
Центральная часть	10,125 МГц
Антенна	Горизонтальная директорная антенна типа 34 ITS-78
Ориентация антенны	120° по часовой стрелке от Севера
SSN	51
50-процентная надежность отношения S/N	15 дБ

Параметры передатчика

Расположение	45,52° с. ш., 73,57° з. д.
Ширина полосы	7 кГц
Центральная частота	10,125 МГц
Антенна	Тип 34 ITS-78, горизонтальная директорная
Ориентация антенны	295,0° по часовой стрелке от Севера
Мощность передатчика	1 кВт

Параметры источника помех

Расположение	42,97° с. ш., 85,67° з. д.
Ширина полосы	7 кГц
Центральная частота	10,125 МГц
Антенна	Многодиапазонная аperiодическая отражательная антенная решетка типа 01
Ориентация антенны	178,5° по часовой стрелке от Севера
Мощность передатчика	1 кВт

6.4 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.620*Базовая информация*

Этот сценарий основан на расчете координационной зоны для фиксированной земной станции в диапазоне частот 450 МГц для защиты от подвижного источника помех.

Причины использования Рекомендации МСЭ-R P.620

Рекомендация МСЭ-R P.620 была выбрана для этого сценария из-за того, что она содержит процедуру расчета координационного расстояния.

*Предположения для сценария координации***Предположения относительно земной станции**

Параметр	Значение
Расположение	39,26; -80,11
Частота	450 МГц
Пороговый уровень помех (I/N)	-10 дБ
Мощность шума земной станции	-162,58 дБ
Коэффициент усиления приемной антенны земной станции	14,3
Процент времени	50%

Предположения относительно подвижного источника помех

Параметр	Значение
Эффективная излучаемая мощность	16,98 дБВт
Частота	2 200 МГц

6.5 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.1546

Базовая информация

Радиоастрономическое сообщество обеспокоено помехами от передач в соседних полосах частот. Координационные расстояния радиоастрономических обсерваторий тщательно защищаются, чтобы их чувствительные приемники не подвергались помехам со стороны сухопутных земных станций, работающих в соседних полосах.

Полоса частот 608–614 МГц присвоена радиоастрономическому сообществу. Соседняя полоса 470–608 МГц распределена радиовещательным службам. В Соединенных Штатах и некоторых других администрациях эта полоса распределена цифровому вещательному телевидению. Передатчики вещательного телевидения имеют высокую э.и.и.м. Предметом рассмотрения данного сценария и являются координационные расстояния между работающими в этих двух полосах службами и помеховый потенциал.

Рабочая группа (РГ) 7D МСЭ-R направила Рабочей группе 3M сценарий координации/помех в диапазоне 608 Гц, касающийся приемника радиоастрономической службы, испытывающего помехи, который принадлежит Национальной радиоастрономической обсерватории (NRAO) (США), расположенной в спокойной свободной от радиопомех зоне, и станции цифрового телевизионного вещания, имеющей эффективную излучаемую мощность (э.и.м.) 1 МВт.

Рабочая группа 7D отметила, что приемники радиоастрономической службы имеют "исключительно высокую чувствительность", согласно Статье 29 РР МСЭ, и что в отношении соседних полос "администрациям следует... принимать все практически возможные меры по защите радиоастрономической службы от вредных помех в соответствии с пунктом 4.5"¹.

Предположения для сценария помех

- Частота: 605 МГц
- Передатчик: э.и.м. 1 МВт, полоса 6 МГц, высота антенны 165 м
- Расположение передатчика: 38°57'22" с. ш., 77°4'59" з. д.
105 м над средним уровнем моря
- Приемник: Высота антенны 139,6 м
- Расположение приемника: 38°25'59,2" с. ш., 79°50'23,4" з. д.
806 м над средним уровнем моря
- Полученный в боковом лепестке антенны радиотелескопа с усилением 0 дБи
- Требуемый процент: 2% времени

¹ Пункт 4.5 Статьи 4 РР МСЭ: "Частота, присвоенная станции данной службы, должна быть достаточно удалена от границ полосы, распределенной этой службе так, чтобы с учетом полосы частот, присвоенной станции, не создавались вредные помехи службам, которым распределены соседние полосы частот". Эта статья о соседних полосах частот цитируется в статьях по радиоастрономии.

6.6 Пример сценария совместного использования частот из Рекомендации МСЭ-R P.1812

Сценарий совместного использования частот/радиочастотных помех фиксированной земной станции от подвижной станции AWS

Базовая информация

Была отмечена серьезная обеспокоенность по поводу помех, создаваемых работой системы усовершенствованных услуг беспроводной связи (AWS) федеральной фиксированной земной станции в полосе 1710–1755 МГц.

Правила проведения аукционов на получение лицензии на эксплуатацию AWS Федеральной комиссии связи США (ФКС) разрешают тем, кто получил такую лицензию в результате аукциона, приступать к использованию системы в течение переходного периода, выделенного для соответствующей работы Федерального правительства, если она не создает вредных помех федеральным земным станциям. Для уменьшения помех требовалось создание координационных зон и рабочих контуров вокруг затрагиваемых федеральных земных станций.

Причины выбора Рекомендации МСЭ-R P.1812

Рекомендация МСЭ-R P.1812 была выбрана для этого сценария из-за того, что местоположения приемного и передающего терминалов известны, данные о рельефе местности между этими двумя терминалами можно найти, а требования к высотам терминалов соответствуют параметрам Рекомендации МСЭ-R P.1812.

Предположения для сценария координации

Диапазон частот

1710–1755 МГц

Параметры приемника земной станции

Параметр	Значение
Расположение	29,56° с. ш., 95,09° з. д.
Частота	1741,0 МГц
Ширина полосы	12 МГц
Высота антенны над средним уровнем местности	6 м
Усиление приемной антенны	34 дБи
Диаметр приемной антенны	–
Шумовая температура системы	Шум антенны 300 К + коэффициент шума приемника 5 дБ
Критерий радиочастотных помех (на входе антенны)	–109,0 дБм (на ~10 дБ ниже шума)

Предположения относительно создающей помехи подвижной земной станции AWS

Параметр	Значение
Плотность активных подвижных терминалов	16/сектор <i>(данные оператора)</i>
Частота	1710–1755 МГц
Ширина полосы	1,25 МГц
Высота антенны над средним уровнем местности	1,5 м <i>(данные оператора)</i>
Э.и.и.м. передатчика (в полосе)	–6,3 дБВт <i>(данные оператора)</i>
Э.и.и.м. передатчика (вне полосы)	–43,0 дБВт/МГц <i>(Правила ФКС)</i>

Предположения для моделирования

- Зона вокруг земной станции имеет разный по высоте рельеф местности, поэтому в качестве одного из факторов моделирования помех следует рассматривать профиль местности.
- При моделировании должно быть учтено влияние дифракции и потерь на трассе.
- 10-процентная надежность при 50-процентном доверительном интервале.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Примеры расчетов

Дополнение А1 к Приложению А

Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.452

Описание и предположения, используемые в этом примере расчетов, см. в пункте 6.1.

Обработанный пример совместного использования частот

Первоначальные расчеты для получения координационного расстояния выполняются с использованием электронной таблицы МСЭ-R P.452-14, имеющейся на веб-сайте 3-й Исследовательской комиссии МСЭ-R на момент написания настоящего Справочника (<http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=documents&mlink=rsg3&lang=en>). Ниже приводятся шаги, связанные с начальными расчетами координации, и, когда это возможно и необходимо, скриншоты. Все исходные данные для расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.452-14 основаны на параметрах станции, указанных выше.

Другие реализации программного обеспечения Рекомендации МСЭ-R P.452 могли бы потребовать дополнительных входных параметров. Подробную информацию о других параметрах по умолчанию, не рассматриваемых в этом разделе, см. в тексте Рекомендации МСЭ-R P.452.

Шаг 1: Входные параметры пользователя

Step 1: Input data
The basic input data required for the procedure is given in Table 1. All other information required is derived from these basic data during the execution of the procedure.

TABLE 1
Basic input data

	Parameter	User input	Preferred resolution	Description
OK	f	14	0.01	Frequency (GHz)
OK	p	0.1	0.001	Required time percentage(s) for which the calculated basic transmission loss is not exceeded (%)
OK	φ_t	38.563	0.001	Latitude of transmitting (interfering) station (degrees)
OK	ψ_t	-77.067	0.001	Longitude of transmitting (interfering) station (degrees)
OK	φ_r	38.409	0.001	Latitude of receiving (interfered-with) station (degrees)
OK	ψ_r	-77.109	0.001	Longitude of receiving (interfered-with) station (degrees)
	$h_{t\bar{g}}$	2.5	1	Transmitting antenna centre height above ground level (m)
	$h_{r\bar{g}}$	11.35	1	Receiving antenna centre height above ground level (m)
	G_t	0	0.1	Transmitting antenna gain in the direction of the horizon along the great-circle interference path (dBi)
	G_r	65	0.1	Receiving antenna gain in the direction of the horizon along the great-circle interference path (dBi)

NOTE 1 – For the interfering and interfered-with stations:
t : interferer r : interfered-with station

NOTE 2 - For latitudes and Longitudes
Positive latitudes indicate North / Positive longitudes indicate East

Proceed to Step 2 =>

Шаг 2: Выбор усредненного года или наихудшего месяца

Выбор прогноза для усредненного года или наихудшего месяца обычно определяется показателями качества (то есть рабочими характеристиками и коэффициентом готовности испытывающей помехи системы радиосвязи на приемном конце трассы распространения помех. В большинстве случаев показатели качества будут выражены с точки зрения процента любого месяца и, следовательно, потребуются данные для наихудшего месяца.

Для нашего примера помех, создаваемых земной станцией СКИ, мы выберем прогноз для наихудшего месяца. Такой выбор обусловлен тем, что нас интересует наихудший возможный случай помех в любое определенное время. Этот наихудший случай помех может затем использоваться для выбора условий координации в наихудшем сценарии помех.

Шаг 3: Ввод радиометрических данных

В процедуре прогнозирования, рассматриваемой в Рекомендации МСЭ-R P.452-14, используются два радиометеорологических параметра для описания изменчивости фоновых и аномальных условий распространения в различных местах во всем мире, а именно:

- ΔN (N -единиц/км) – обеспечивает данные, с помощью которых можно рассчитать соответствующий эквивалентный радиус Земли для целей анализа профиля трассы и дифракции на препятствиях. См. Рисунки 11 и 12 из Рекомендации МСЭ-R P.452-14 или вкладку 'Figure 12' реализации Рекомендации МСЭ-R P.452-14 в Excel, которая используется для этих расчетов;
- N_0 – показатель преломления поверхности на уровне моря используется только в модели тропосферного рассеяния в качестве меры изменчивости местоположения механизма тропосферного рассеяния. См. Рисунок 13 из Рекомендации МСЭ-R P.452-14 или вкладку 'Figure 13' реализации Рекомендации МСЭ-R P.452-14 в Excel, которая используется для этих расчетов.

Для рассчитанного здесь примерного сценария значения ΔN и N_0 были заданы равными 60 и 330 соответственно.

Шаг 3.5: Расстояние от передающей и приемной станций до береговой линии

Этот расчет необходим только в том случае, если трасса имеет один или более участков, проходящих над водной поверхностью. Они используются для расчета поправочного коэффициента для включения в расчеты потерь при аномальном распространении между участками трассы, проходящими над сушей и над морем. Точные значения для этих расчетов важны лишь тогда, когда расстояния меньше или равны 5 км. Если в одном или обоих случаях расстояния явно превышают 5 км, необходимо ввести в Excel-приложение Рекомендации МСЭ-R P.452-14 какое-либо большое значение (например, 500 км). На самом деле в детальном расчете такого рода будут нуждаться лишь немногие из трасс распространения помех. На этом шаге рассчитываются следующие параметры:

- d_{ct} – расстояние над сушей от передающей антенны до побережья вдоль трассы распространения помех;
- d_{cr} – расстояние над сушей от приемной антенны до побережья вдоль трассы распространения помех.

Поскольку оба расстояния от передающей и приемной антенны в нашем примерном сценарии больше 500 км, входное значение для Excel-приложения Рекомендации МСЭ-R P.452-14 будет равно 500.

Шаг 4: Анализ профиля трассы

Значения ряда параметров, связанных с трассой, которые необходимы для расчетов, должны быть определены путем первоначального анализа профиля трассы. Информация, получаемая на основании профиля трассы, включает потери в условиях ясного неба, затухание в атмосферных газах, дифракционные потери, тропосферное рассеяние, распространение в атмосферном волноводе/отражение в слоях, а также дополнительные потери за счет отражения от препятствий.

Реализация в Excel, которая используется для этих примерных расчетов, обеспечивает расчет вышеупомянутых параметров при помощи компьютера на основе уравнений, приведенных в Рекомендации МСЭ-R P.452-14. Исходные данные, требуемые для реализации в Excel, включают конкретные точки на расстоянии между мешающим передатчиком и приемником, высоту местности на этом расстоянии и тип радиоклиматической зоны для данной точки расстояния. Имеются следующие радиоклиматические зоны:

- А1 – прибрежные участки суши и береговые зоны, то есть участки суши, примыкающие к морю вплоть до высоты 100 м относительно среднего уровня моря или уровня водной поверхности, но ограниченные расстоянием 50 км от ближайшей морской зоны;
- А2 – вся суша, кроме прибрежных участков суши и береговых зон, определенных выше;
- А3 – моря, океаны и другие большие водоемы.

Информация о профиле местности доступна из многих источников, но нет ни одного источника, который является предпочтительным для метода 3-й Исследовательской комиссии. Для целей этого примерного сценария принят тип местности А2. (Приводимый ниже скриншот показывает исходные данные о профиле местности для примерного сценария, которые вводятся в Excel-реализацию электронной таблицы.)

Distance (km)	Height (m)	Zone
0.0000	39.80	A2
0.0900	41.55	A2
0.1800	42.23	A2
0.2700	41.84	A2
0.3600	40.94	A2
0.4500	38.42	A2
0.5400	35.10	A2
0.6300	36.46	A2
0.7200	35.65	A2
0.8100	39.48	A2
0.9000	43.59	A2
0.9900	42.58	A2
1.0800	45.36	A2
1.1700	47.51	A2
1.2600	46.43	A2
1.3500	43.26	A2
1.4400	45.74	A2
1.5300	36.90	A2
1.6200	22.34	A2
1.7100	14.89	A2
1.8000	10.03	A2
1.8900	8.24	A2
1.9800	6.55	A2
2.0700	4.61	A2
2.1600	4.67	A2
2.2500	5.70	A2
2.3400	8.69	A2
2.4300	12.32	A2
2.5200	15.98	A2
2.6100	21.55	A2
2.7000	26.31	A2
2.7900	26.53	A2
2.8800	32.40	A2

Шаг 5: Расчет потерь на трассе на основе входных параметров

YOU ARE READY!:

Depending on the size of the terrain profile and path type (Line of sight vs. trans-horizon), this may take a few moments to execute.

Calculate <=> Click to "Calculate."

181.5 dB Overall Propagation Loss, $L_p(p)$, from the interfering transmitter to the interfered-with receiver.

Note 1: Several additional, interim calculations of the path profile and path type are provided in columns E, F & G Rows 12 through 33 on the 'TEST_PROFILE' worksheet.
 Note 2: Different assumptions in path profiles analyses will produce small variations (± 0.5 dB) with other software implementations of Rec. P.452-13. These do not necessarily indicate errors in implementation.

Координационный анализ

Согласно результатам, полученным на основе модели распространения из Рекомендации МСЭ-R P.452-14, полные потери на трассе распространения от мешающего передатчика до приемника, испытывающего помехи, составляют 183,2 дБ в течение 0,1% времени. Эти потери на трассе включают все применимые эффекты распространения на линии "из пункта в пункт" между мешающим передатчиком и испытывающим помехи приемником. Мы знаем, что расстояние между мешающим передатчиком и испытывающим помехи приемником равно 50,5 км. Используя простой анализ бюджета линии связи, мы можем определить, является ли это расстояние достаточным для координации, чтобы выполнить требование координации, составляющее -146 дБВт/МГц. Для упрощения расчетов предположим, что ширина полосы пропускания равна 1 МГц. Таким образом, требованием координации является -146 дБВт в течение 0,1% времени. В приводимой ниже таблице показан анализ бюджета линии.

Э.и.и.м.	12,5 дБВт
G_r	65 дБи
L_p (из Рек. МСЭ-R P.452-14)	183,2
P_r	-106 дБВт

Таким образом, мощность помехи, поступающей на земную станцию СКИ, испытывающую помехи, превышает критерий Рекомендации МСЭ-R SA.1155 при расстоянии 50,5 км. Процедура, описанная выше, может быть повторена для больших расстояний, пока не будет определено расстояние, при котором не превышает критерий в -146 дБВт для получаемой земной станцией СКИ мощности помехи. После того как расстояние определено, оно может использоваться в качестве основы для координационного расстояния. Аналогичным образом многие экземпляры метода МСЭ-R P.452-14 могут быть выполнены для различных угловых позиций от станции СКИ, испытывающей помехи, чтобы определить координационный контур для новой земной станции VSAT.

Дополнение А2
к Приложению А

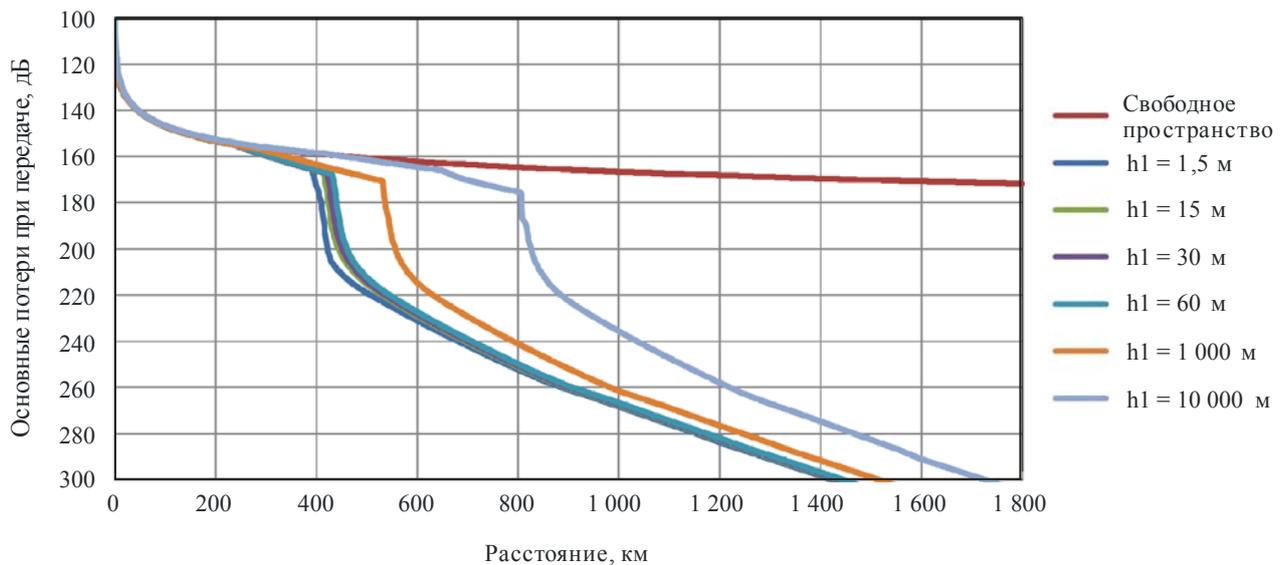
Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.528

Описание и предположения, используемые в этом примере расчетов, см. в пункте 6.2.

Для определения потерь при распространении для передатчика воздушной подвижной станции на частоте 5100 МГц можно использовать Рисунок А2-1 (b) из Рекомендации МСЭ-R P.528-3. Исходя из условного обозначения высот антенны в верхней части рисунка, кривой потерь на трассе, требуемой для данного примерного анализа, является кривая для $h_1 = 15$ м. Из Рисунка А2-1 (b) видно, что для расстояния 800 км потери на трассе по кривой для $h_1 = 15$ м составляют 250 дБ. Это значение потерь на трассе может быть затем использовано, в случае необходимости, для анализа с любым числом источников помех или координационного анализа.

РИСУНОК А2-1

**Наборы кривых для основных потерь при передаче на частоте 5100 МГц
в течение 50% времени для значений h_1**



Дополнение А3 к Приложению А

Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.533

Рассматриваемый ниже сценарий включает полезную и мешающую линии. Полезная линия состоит из испытываемого помехи приемника и передатчика, а мешающая линия представляет собой линию между испытываемым помехи приемником и мешающим передатчиком. Для выполнения этого анализа используется программа REC533, которая является реализацией Рекомендации МСЭ-R P.533. В эту программу должны быть введены надлежащие параметры, отражающие предположения относительно каждой линии.

Полезная линия имеет передатчик мощностью 1 кВт и соединяется с направленной антенной с высоким усилением, ориентированной на приемник, испытывающий помехи. Этой антенной является горизонтальная директорная антенна типа 34 ITS-78 с коэффициентом направленного действия 13,4 дБи. В передатчике мешающей линии мощностью 1 кВт используется многодиапазонная аperiодическая отражательная антенная решетка типа 01 с коэффициентом направленного действия, равным 22,1 дБи. Мешающая линия также направлена на приемник, испытывающий помехи. Это сделано, чтобы проиллюстрировать худший сценарий.

Обе линии работают на частоте 10,125 МГц с шириной полосы 7 кГц. Для этого примера предполагается шумовая среда в приемнике, испытывающем помехи, которая характерна для сельской местности. Шумовая среда для сельской местности определяется в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.372. Линии связи работают в 12 часов UTC и не работают ни в какое другое время. Это ограничение по времени было необходимо для упрощения примера. В типичном анализе ВЧ-канала многие временные входные параметры могут значительно изменить прогноз. На расчет, в частности, влияют время и месяц, так как они определяют состояние ионосферных параметров в модели. Анализ проводился только в течение месяцев с нечетными номерами. Число солнечных пятен было выбрано равным 51. Все другие значения, необходимые для выполнения программы REC533, были оставлены в значениях по умолчанию. Все выходные переменные параметры модели основаны на ежемесячных медианных значениях канала распространения. Для получения более подробных пояснений о работе программы REC533 следует обратиться к соответствующей документации.

Испытывающий помехи приемник в этом сценарии располагается в Келоуне, Британская Колумбия, Канада, где он получает сигнал от передатчика в Монреале, Квебек, Канада. Помеха поступает с передатчика в Гранд-Рапидсе, штат Мичиган, США. Чтобы получить 50-процентную надежность сигнала, требуется отношение сигнал/шум на входе испытываемого помехи приемника, равное не менее 15 дБ. Мешающий передатчик служит для этого приемника источником помех в совмещенном канале.

Для данного анализа была использована программа REC533 в целях определения мощности сигнала, поступающего на испытывающий помехи приемник от каждого передатчика. Медианная мощность на входе испытываемого помехи приемника для полезной линии показана в Таблице А3-1.

ТАБЛИЦА А3-1

Медианная мощность на входе испытываемого помехи приемника, отношение сигнал/шум и уровень шума для полезной линии

Месяц	Принимаемая мощность, дБВт	S/N для 50-процентной надежности, дБ	Примерный уровень шума, дБ
Январь	11	16	5
Март	17	22	5
Май	21	26	5
Июль	16	19	3
Сентябрь	24	29	5
Ноябрь	13	18	5

Аналогичный анализ выполняется для линии между приемником, испытываемым помехи, и мешающим передатчиком, как показано в Таблице А3-2.

ТАБЛИЦА А3-2

Медианная мощность на входе приемника, испытываемого помехи, и максимальная применимая частота для мешающей линии

Месяц	Принимаемая мощность, дБВт	Максимальная применимая частота, МГц
Январь	-16	6,8
Март	-7	8,6
Май	5	12,0
Июль	2	12,0
Сентябрь	-3	12,0
Ноябрь	-13	7,2

Полученные с помощью программы REC533 данные для мешающей линии показывают, что источник помех будет создавать проблемы не в течение всего года. Максимальные применимые частоты (МПЧ), приведенные в Таблице 2, указывают на низкую вероятность распространения сигнала на частоте 10,125 МГц с поздней осени до ранней весны. Самая высокая вероятность помех будет иметь место с конца весны до ранней осени. Одна из уникальных характеристик распространения ВЧ-сигналов состоит в том, что ионосфера не может обеспечить прохождение сигналов на всех частотах диапазона все время. У канала распространения ВЧ есть МПЧ, выше которой сигналы не отражаются и возвращаются на землю. Таким образом, сигналы на частотах выше МПЧ проходят через ионосферу.

Основываясь на Таблице А3-2 и предполагая наихудший сценарий для этого расчета, можно изучить медианную мощность помехи в 5 дБВт.

По критерию, что приемнику, испытываемому помехи, для приема сигнала с 50-процентной надежностью требуется отношение S/N 15 дБ, можно выяснить, как источник помех влияет на полезную линию. Если шум в полезной линии предполагается равным 5 дБ и мы также предположим, что принимаемая мощность сигнала помехи составляет 5 дБ, тогда уровень мощности мешающего сигнала увеличится вдвое. Общая мощность шума и помехи для этого наихудшего случая тогда будет

на 3 дБ выше мощности шума, то есть составит 8 дБ. Увеличение общей мощности шума и помех уменьшит значения отношения S/N для полезной линии в мае, июле и сентябре до 23, 16 и 26 дБ соответственно. Таким образом, в присутствии источника помех полезная линия будет иметь отношение S/N , близкое к требуемому значению 15 дБ, в течение июля. При изменчивости распространения желаемый показатель может быть не достигнут. Поскольку выходные данные, получаемые с помощью этой модели, основаны на ежемесячных медианных значениях, изменение задается.

Этот пример показал уязвимость полезной системы к помехам, которые будут влиять на характеристики линии. Проведенный расчет наглядно продемонстрировал полезность применения программного обеспечения, основанного на моделях МСЭ, для оценки сложных систем связи, которые должны совместно использовать общие спектральные ресурсы.

Дополнение А4
к Приложению А

Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.620

Описание и предположения, используемые в этом примере, см. в пункте 6.4.

Входные параметры пользователя

Входные параметры пользователя, согласно Рекомендации МСЭ-R P.620-6, включают частоту, требуемые основные потери при передаче, широту и долготу земной станции, для которой определяется координационный контур, минимальное координационное расстояние и максимальное координационное расстояние. Частота для анализа и местоположение земной станции указаны в таблицах, приведенных в пункте 6.2. Требуемые потери при передаче могут быть рассчитаны с использованием простого анализа бюджета линии связи на основе известных значений критериев защиты земной станции и параметров источника помех.

Э.и.и.м. источника помех	16,98 дБВт
G_r	14,3 дБи
Потери на трассе (P_L)	Неизвестны
Мощность шума (P_n)	-162,58

Мощность сигнала помехи, поступающего от источника помех на земную станцию, защиту которой мы пытаемся обеспечить таким образом, определяется формулой

$$P_r = 16,98 + 14,3 - P_L.$$

Значение I/N , принимаемое наземной станцией, составляет:

$$I/N = P_r - P_n,$$

$$I/N = 16,98 + 14,3 - P_L - (-162,58).$$

Поскольку мы знаем, что требуемое пороговое значение I/N равно -10, то

$$-10 = 16,98 + 14,3 - P_L - (-162,58).$$

Решив уравнение относительно требуемых потерь на трассе (P_L), получим

$$P_L = 203,86.$$

Координационное расстояние рассчитывается на основе итерационного процесса, следуя шагам, описанным в разделе 2 Дополнения 2 к Приложению 1 Рекомендации МСЭ-R P.620-6. Процесс расчета потерь на трассе продолжается до тех пор, пока не будет найдено расстояние, на котором вычисленные потери на трассе превысят пороговый уровень потерь на трассе, который был рассчитан выше равным 203,86.

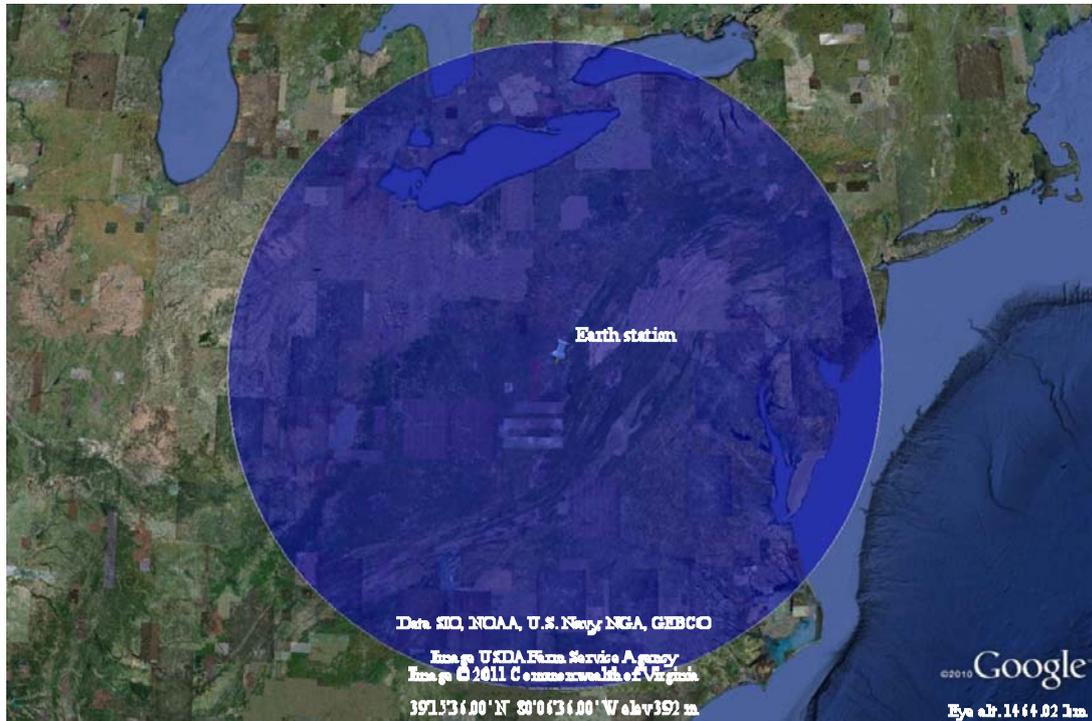
Минимальное и максимальное координационные расстояния определяются по уравнениям (15)–(18) из Рекомендации МСЭ-R P.620-6. Шаг приращения расстояния, используемый для итерационных расчетов, составляет 1 км. Затем итерационным способом с использованием уравнения (16) из Рекомендации МСЭ-R P.620-6 рассчитываются потери на трассе, начиная с вычисленного минимального координационного расстояния и постепенно увеличивая его с шагом приращения в 1 км.

Результат итерационных расчетов координационного расстояния для этого примерного сценария дает расстояние, равное 511 км. Это расстояние может быть введено в картографическую программу для

создания координационных контуров для определенного сценария помех. Пример такого координационного контура приведен на Рисунке А4-1, ниже.

РИСУНОК А4-1

Пример координационного контура, полученного с использованием Рекомендации МСЭ-R Р.620-6



Дополнение А5
к Приложению А

Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.1546

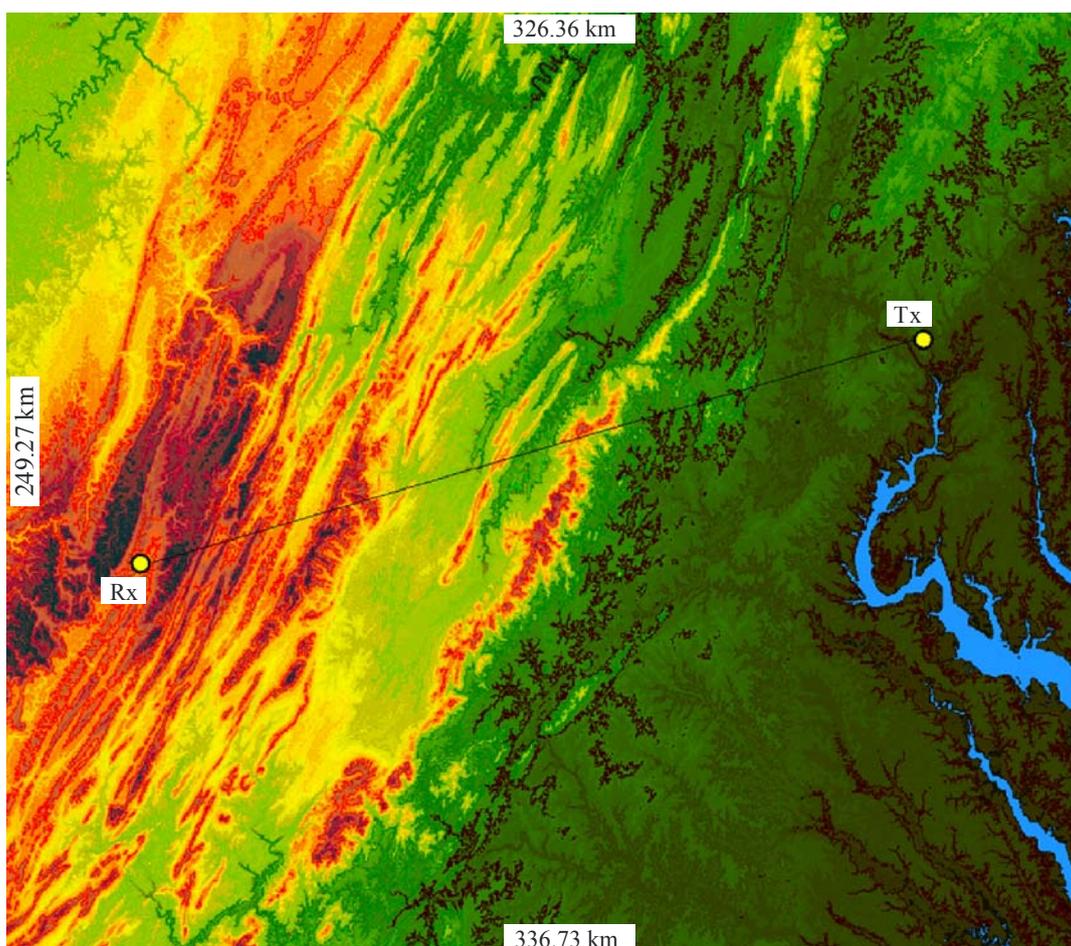
Описание и предположения, используемые в этом примере, см. в пункте 6.5.

Тропосферный канал между (потенциально) мешающим передатчиком цифрового телевидения и радиотелескопом, испытывающим помехи, является полностью сухопутной трассой, поскольку на этой линии нет больших водоемов. Длина трассы составляет приблизительно 246 км. Эффективная высота передатчика по оценкам равна 182,36 м.

На Рисунке А5-1 показана карта зоны с указанием местоположения радиовещательного передатчика и NRAO (местоположение приемника).

РИСУНОК А5-1

Карта рассматриваемой зоны



На Рисунке А5-2 показан профиль местности между передатчиком и NRAO, полученный на основе цифровых данных о рельефе местности (данные SRTM-3).

РИСУНОК А5-2

Профиль местности между передатчиком и приемником (NRAO)

PPM. A05-02

Интерполяция табулированных значений напряженности поля на частотах 600 МГц и 2000 МГц (1% и 10% времени) дает прогнозируемый мешающий сигнал с уровнем $-4,07$ дБ(мкВ/м) относительно э.и.м. 1 кВт. Поправка к высоте приемной антенны и поправка на угол просвета местности составляют 23,41 дБ и $-12,68$ дБ, соответственно. Наконец, добавляется поправка в 30 дБ для учета мощности передатчика (1 МВт), что дает уровень мешающего сигнала в 36,66 дБ(мкВ/м).

На Рисунке А5-3 показаны прогнозируемые уровни напряженности поля вдоль трассы распространения до приемной антенны на высоте 139,6 м над землей и для 2% времени. Аналогичные прогнозы для всей зоны представлены на Рисунке А5-4, однако эти расчеты предназначены для приемной антенны на высоте 10 м.

РИСУНОК А5-3

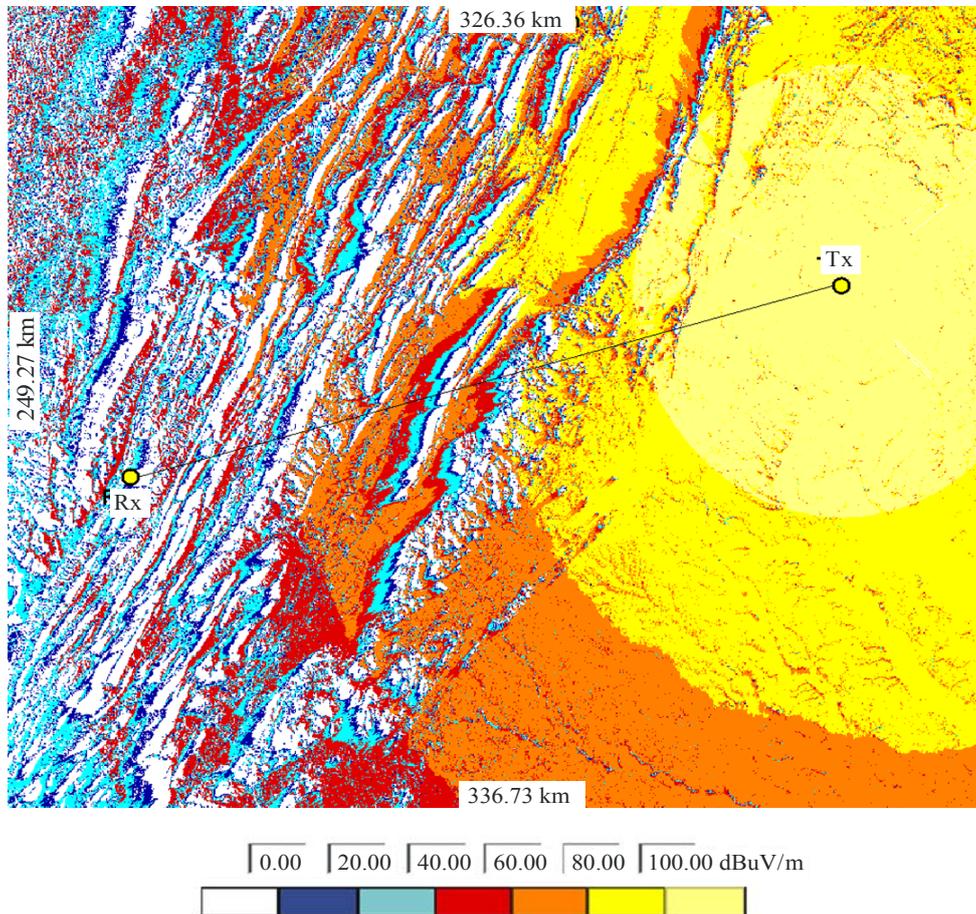
Прогнозируемые уровни напряженности поля на трассе по дуге большого круга от передатчика к приемнику в течение 2% времени при высоте приемной антенны 139,6 м



PPM.A05-03

РИСУНОК А5-4

Прогнозируемые уровни напряженности поля для зоны,
показанной на Рисунке А5-1, в течение 2% времени
при высоте приемной антенны 10 м



PPM. A05-04

Дополнение А6
к Приложению А

Пример расчетов по Рекомендации МСЭ-R P.1812

Описание и предположения, используемые в этом примере, см. в пункте 6.6.

Для изучения целевой помехи -109 дБм были выполнены расчеты основных потерь при передаче, используя метод Рекомендации МСЭ-R P.1812, для профиля местности на трассе по дуге большого круга от места расположения станции СКИ до точки с координатами 30° с. ш., 94° з. д. (вблизи Бомонта-Порт-Артура, Техас) на частоте 1741 МГц. Были вычислены значения как для 10% времени (процент времени, в течение которого может присутствовать мешающий сигнал), так и для 50% времени через каждые 100 м вдоль всей трассы длиной приблизительно 115 км. Они графически отображены на Рисунках А6-1 и А6-2. Если рассматриваются внутриполосные помехи, то основные потери при передаче должны быть больше чем $109 + 34 + 23,7 = 166,7$ дБ, которые имеют место на расстоянии 90 км в течение 10% времени при использовании этого профиля. Требуемое расстояние разноса намного короче для 50% времени, но эта величина помех, вероятно, была бы недопустима. Если источник помех является внеполосным, основные требуемые потери при передаче составляют только $124,7$ дБ, а расстояние разноса приблизительно равно $5,2$ км.

РИСУНОК А6-1

Прогнозируемые потери при передаче в течение 10% времени

Теоретические основные потери при передаче мешающего сигнала
в течение 10% времени

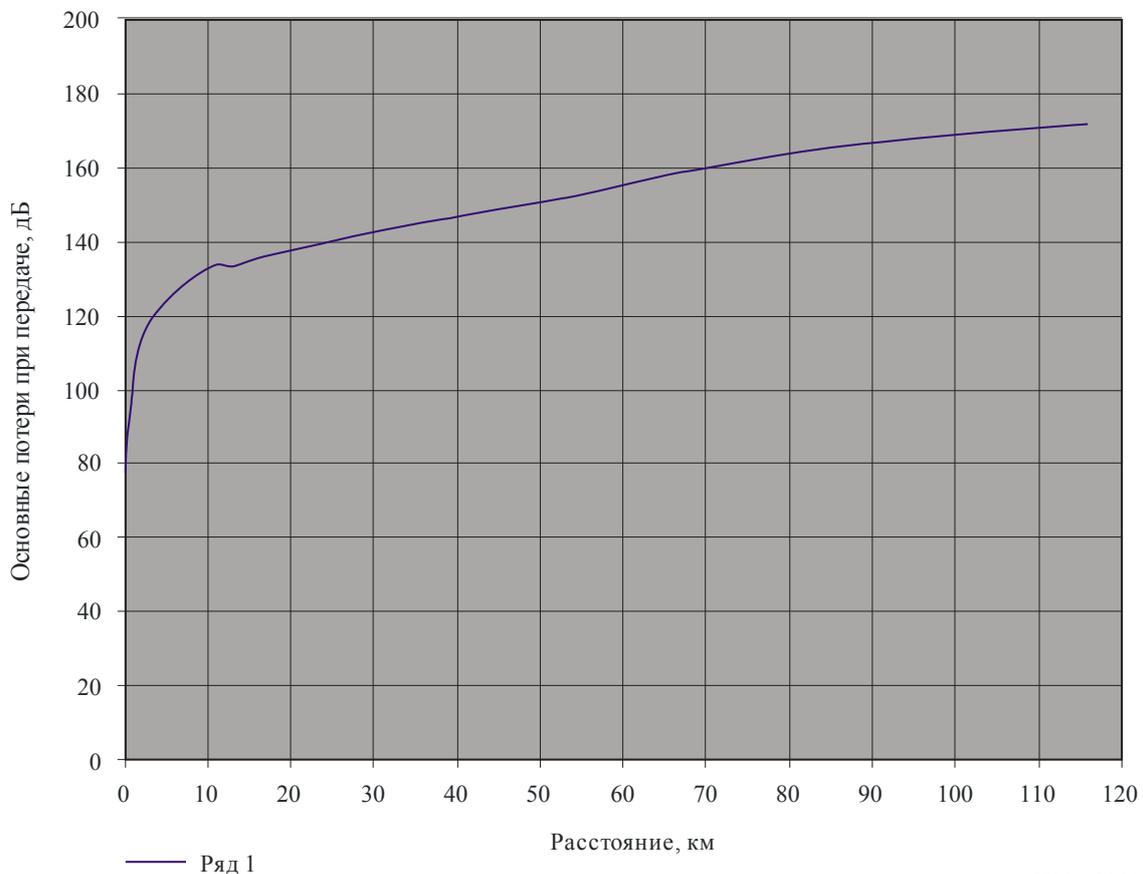
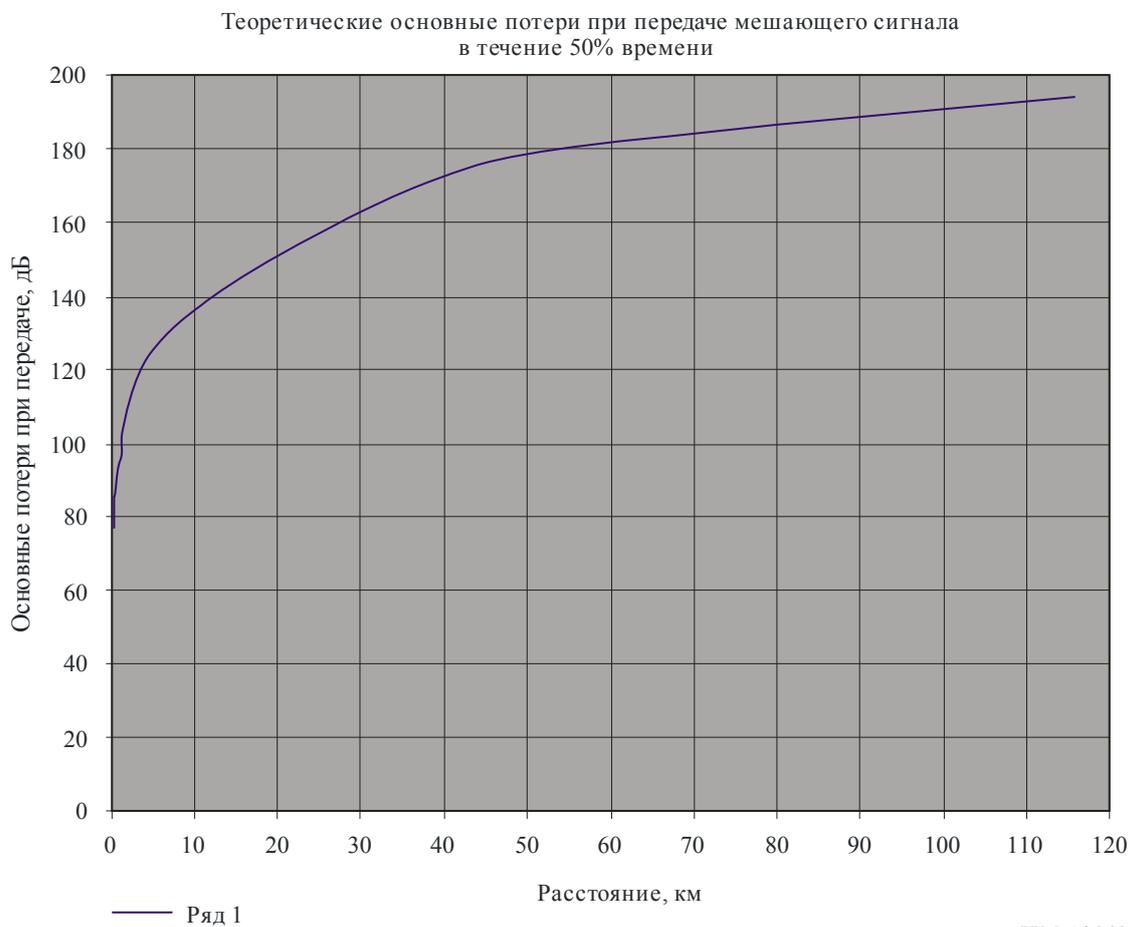


РИСУНОК А6-2

Прогнозируемые потери при передаче в течение 50% времени

РРМ. А06-02

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Ссылки

ТАБЛИЦА В-1

Обзор соответствующих заявлений о взаимодействии в 3-ю Исследовательскую комиссию

Заявление о взаимодействии, LS	Исследовательский период	Организация, направлявшая LS	Соответствующий документ	Изложение проблемы	Диапазон частот
3М/42	2000–2003 гг.	РГ 8А	Рек. МСЭ-R Р.452 и Р.1411	Рабочая группа 8А хочет провести тестирование методов для прогнозирования передач "из пункта в зону" для наземных служб. РГ 8А сомневается в том, что было проведено достаточно тестов для проверки соответствия моделей распространения требованиям. Желательно уточнить сравнения между новой (не включенной в список) моделью распространения и Рекомендациями МСЭ-R Р.452 и Р.1411	30–3000 МГц
3М/43	2000–2003 гг.	РГ 9А	Рек. МСЭ-R Р.530	Обсуждение нескольких Рекомендаций и работы РГ 3М и 9А по вопросу использования Приложения 30 в отношении Рекомендации МСЭ-R Р.620	Не имеется
3М/86	2000–2003 гг.	РГ 6S	Приложение 7 по сравнению с Приложением 30 для распространения вида (2)	Применимость модели распространения из Приложения 7 для координации наземных станций или передающих земных станций ФСС с земными станциями РСС	
3М/87 3J/59 3К/63	2000–2003 гг.	РГ 8F	Вопрос МСЭ-R 229/8	Заявление о взаимодействии, адресованное Рабочим группам 3J, 3К и 3М, по вопросам распространения сигналов для систем, следующих за ИМТ-2000. Стремление начать работу над инициативой МСЭ, касающейся моделей распространения для системы сотовой связи последующего поколения, имеющей следующие особенности: другие частоты, чем в существующих системах сотовой связи (предполагалось в свое время, что они должны располагаться в нижней части диапазона СВЧ – ниже 6 ГГц), скорости обслуживания, включающие 100 Мбайт/с для мобильных телефонов пользователя и 1 Гбит/с для передатчика системы мультимедиа, LOS и NLOS, эксплуатация внутри помещений и в условиях городской среды высокой плотности	<6 ГГц
3М/88	2000–2003 гг.	РГ 3К	Рек. МСЭ-R Р.1238 и Р.1411	Рабочая группа 8F запросила характеристики распространения и методы прогнозирования для систем, следующих за ИМТ-2000. РГ 3К в ответ представила некоторые Рекомендации по прогнозированию распространения, которые могут использоваться для этого	

ТАБЛИЦА В-1 (продолжение)

Заявление о взаимодействии, LS	Исследовательский период	Организация, направляющая LS	Соответствующий документ	Изложение проблемы	Диапазон частот
3М/90	2000–2003 гг.	РГ 3М	Рек. МСЭ-R Р.620	Ответ РГ 3М РГ 6S по вопросу использования Рекомендации МСЭ-R Р.620 может представлять проблемы при использовании Дополнения 3 Приложения 30 в сравнении с Приложением 7, для которого она была определена	Не имеется
3М/97	2000–2003 гг.	РГ 6S	Рек. МСЭ-R Р.620-4	Ответ на предыдущее заявление о взаимодействии, касающееся использования Приложения 3 в отношении сценария помех	Не имеется
3М/2	2000–2003 гг.	Директор, БР	Рек. МСЭ-R SM.1448 и Р.620	Сравнение результатов, получаемых при использовании Рекомендаций МСЭ-R SM.1448 и Р.620	14 и 6 ГГц
3М/51	2003–2007 гг.	РГ 4А	Рек. МСЭ-R Р.452	Использование Рекомендации МСЭ-R Р.452. Выявлено две трудности в отношении Рекомендации МСЭ-R Р.452: (1) на расстоянии, близком к дифракционному расстоянию, формула потерь при распространении прерывиста; (2) при протоне имитационных моделей, основанных на Рекомендации МСЭ-R Р.452, величина дифракционных потерь, похоже, менялась в зависимости от широты. В частности, экваториальные дифракционные потери (шир. 0°) отличались от результатов для середины северных широт (40°) или выше (>50°). Действительно ли это было реальной разницей? Какова была причина этого изменения?	13,75–14 ГГц
3М/103	2003–2007 гг.	РГ 4А	Использование Рек. МСЭ-R Р.452	Рабочая группа 4А задала некоторые вопросы относительно Рекомендации Р.452. РГ 3М запросила комментарий о полезности и применимости	Не имеется
3М/227 3К/183	2003–2007 гг.	РГ 8F	Рек. МСЭ-R Р.1546	Модели распространения для применения при исследовании совместного использования частот между ИМТ-2000 и DVB-T. РГ 8F просит, чтобы РГ 3М и 3К прокомментировали две модели прогнозирования, а именно модель, описанную в Рекомендации МСЭ-R Р.1546, и "расширенную модель Хата", и дали рекомендации по трем вопросам. (1) Различия в прогнозируемой величине потерь на трассе для одинаковых условий применения (частота, высота антенны, расстояние, среда). Какая модель более подходит для совместного использования частот между ИМТ-2000 и DVB-T в диапазоне УВЧ (470–862 МГц) для различных высот антенн, состояний и при использовании в городских и сельских районах? (2) Высоты антенн: высота приемной антенны ИМТ-2000 обычно составляет 1,5 м над уровнем земли, а высота антенн радиовещательных приемников – 10 м или выше. Каковы соответствующие поправочные коэффициенты на высоту в городских и сельских районах? (3) В случае различной поляризации антенн между ИМТ-2000 и DVB-T каковы рекомендуемые коэффициенты деполаризации антенн для четырех перечисленных случаев?	Не имеется

ТАБЛИЦА В-1 (продолжение)

Заявление о взаимодействии, LS	Исследовательский период	Организация, направлявшая LS	Соответствующий документ	Изложение проблемы	Диапазон частот
3М/1 9D/10	2003– 2007 гг.	РГ 7E		Совместное использование частот между линиями высокой плотности в фиксированной службе и других службах. Три проблемы: (1) экранирование зданиями вблизи терминалов ВПФС оглняется от экранирования для систем сотовой связи; (2) обсуждение пространственного распределения терминалов ВПФС (чтобы смоделировать суммарные помехи); (3) динамика изменения сигнала ВПФС быстрее, чем время замирания, при распространении, что, по-видимому, влияет на анализ защиты и помех	30–50 ГГц
3М/5 4А/77	2003– 2007 гг.	Объединенная группа докладчиков 8А–9В	Документ 8А-9В/ТЕМР/4	Ослабление за счет зданий. Связано с защитой фидерных линий для негеостационарных подвижных спутниковых систем (ПСС) от помех, создаваемых RLAN	5 ГГц
3М/26	2003– 2007 гг.	Япония	Рек. МСЭ-Р Р.1238 и Р.1410	Метод количественной оценки потерь на проникновение в здания путем комбинирования нескольких моделей 3-й Исследовательской комиссии	5 ГГц
3М/41	2003– 2007 гг.	3М	Рек. МСЭ-Р Р.1546	Информирование РГ 8В и 8F о том, что была одобрена новая Рекомендация по совместному использованию частот при прогнозировании линий "из пункта в зону"	2700–2900
3М/46	2003– 2007 гг.	РГ 9D	Новая методика	Рабочая группа 9D создала новую методику для координации и оценки помех на трассе "из зоны в пункт" между радиоастрономическими и земными станциями	Выше 30 ГГц
3М/79	2003– 2007 гг.	РГ 9А	Рек. МСЭ-Т М.2110, МСЭ-Р F.1330-1	Информация о распространении радиоволн в условиях ясного неба, важная для линий радиосвязи, вводимых в эксплуатацию. Teleport в течение 1 года проводил эксперименты в прибрежной части Норвегии и измерил вероятность значительного ухудшения характеристик (глубокие замирания) широкополосной наземной цифровой линии микроволновой связи между двумя пунктами с пространственным разнесением. Результаты анализа были представлены в этом заявлении о взаимодействии. Ввод в эксплуатацию линии радиосвязи традиционно основан на Рекомендации МСЭ-Т М.2110, но Teleport рекомендует, чтобы вместо нее использовалась Рекомендация МСЭ-Р F.1330-1 в редких случаях глубоких замираний из-за аномальных атмосферных условий распространения	6 ГГц
3М/95	2003– 2007 гг.	РГ 9А	Рек. МСЭ-Р Р.530	Сравнение Рекомендации МСЭ-Р Р.530 с глобальным методом Крейна полезно для РГ 9А при реализации Рекомендации МСЭ-Р Р.530	Не имеется
3М/93	2003– 2007 гг.	РГ 9А	Рек. МСЭ-Р Р.837	Стремление получить совет о взаимосвязи одной модели ослабления в дожде с другой, используемой в какой-либо Рекомендации, так как одна модель ослабления в дожде была сочтена неточной	Не имеется

ТАБЛИЦА В-1 (окончание)

Заявление о взаимодействии, LS	Исследовательский период	Организация, направлявшая LS	Соответствующий документ	Изложение проблемы	Диапазон частот
ЗМ/49	2003–2007 гг.	РГ 9А	На основе Рек. МСЭ-Т G.827 с возможностью применения для Рек. МСЭ-R F.1491 и F.1492	Запрос руководства по методу прогнозирования интенсивности сбоя (OI). РГ 9А информирует РГ 3М о решении завершить разработку предварительного проекта новой рекомендации "Показатели готовности для реальных цифровых радиорелейных линий, используемых на эталонных гипотетических трактах длиной 27 500 км". РГ 9А обращается за руководящими указаниями по методу прогнозирования OI на основе характеристик соединения, уже используемого для целей проектирования, чтобы разработчику было разрешено учитывать этот параметр для определения размеров реальной линии	РГ 3М о
ЗМ/60	2003–2007 гг.	ИК 15 МСЭ-Т	Проект пересмотра Вопроса МСЭ-R 228/3	Данные о распространении радиоволн, необходимые для планирования систем, работающих на частотах выше 275 ГГц. Методы прогнозирования распространения, используемые для приложенный из пункта в пункт на длинах волн от 800 до 1600 нм (187,5 и 375 ГГц). Существовавшие в свое время методы распространения радиоволн предназначались только для трасс Земля-космос и космос-космос	187,5–375 ГГц
ЗМ/96	2003–2007 гг.	РГ 7С	Рек. МСЭ-R P.528	Основан ли поправочный коэффициент, необходимый для Рекомендации МСЭ-R P.528, на расхождении в частоте и экстраполируемой информации, основанной на различных процентах времени	403 или 1680 МГц



* 3 7 6 9 7 *

Отпечатано в Швейцарии
Женева, 2013 г.
ISBN 978-92-61-14124-0