

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи

Ядгарова Назима Акмаловна

**АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЗОН ПОКРЫТИЯ
РАДИОВЕЩАНИЕМ И ТЕЛЕВИДЕНИЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность: 5А522104 (Цифровое Телевидение и Радиовещание)

Диссертация

На соискание академической степени магистра

Работа рассмотрена

и допускается к защите

Зав. кафедрой ТВ и РВ

доц. Рахимов Т.Г.

« ____ » _____ 2011 г.

Научный руководитель

доц. Ликонцев Д.Н.

Научный консультант

Ташкент - 2011

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Как отметил Ислам Абдуганиевич в своей работе [1] «Наиболее высокими темпами развивались услуги связи, информатизации, финансовые, банковские, транспортные услуги, по ремонту автомобилей и бытовой техники. Особо следует отметить динамичное развитие услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий, которые за последние четыре года в среднем увеличиваются ежегодно на 50 процентов. Говоря другими словами, мы должны думать о посткризисном периоде нашего развития, выработке глубоко продуманной долгосрочной Программы целевых проектов по модернизации и техническому обновлению базовых отраслей нашей экономики, внедрению современных инновационных технологий, призванных дать мощный толчок по выходу Узбекистана на новые рубежи, обеспечивающие конкурентоспособность нашей страны на мировом рынке». Радиовещание и телевидение являются одними из важнейших средств передачи массовой информации.

В настоящее время в Республике идет внедрение цифрового телевидения. К 2015 году планируется полностью перейти на цифровое телевидение. В связи с этим важное значение имеет правильный выбор методики расчета уровней напряженности электрического поля, от которой зависит определение зоны вещания цифровым телевидением (ЦТВ). Поэтому тема диссертационной работы «Анализ методик расчета зон покрытия радиовещанием и телевидением применительно к Ташкентской области» весьма актуальна. В диссертации проведен сравнительный анализ методик расчета напряженности электрического поля, необходимых для определения зон покрытия радиовещанием и телевидением. Используя аппроксимацию ряда графиков, используемых в расчетах, получены простые выражения для напряженности поля, которые легко запрограммировать. Эти методики можно использовать как в сельской, так и в городской местности. В

приведенной методике учтена возможность использования в расчете уровней поля характеристик активных приемных антенн (с антенными усилителями). Приведены данные по минимальной напряженности поля для приема цифрового телевидения и аналогового радиовещания.

1.ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ НАЗЕМНЫХ СЕТЕЙ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

1.1.Проблемы построения наземных сетей цифрового телевидения

Переход к телевизионному (ТВ) вещанию в цифровом формате создает ряд проблем в наземной передающей сети. Очевидно, что при внедрении цифрового вещания не должна сократиться аудитория, которая сегодня смотрит передачи действующих радиотелевизионных передающих центров (РТПЦ) аналогового вещания.

Зоны обслуживания при аналоговом и цифровом вещании. При цифровом телевидении зоны обслуживания не будут такими же, как и при аналоговом вещании. Цифровые сигналы более защищены от помех, чем аналоговые. Поэтому для приема сигнала в цифровом формате требуются более низкие значения напряженности поля, чем для приема аналогового. Однако прием сигналов аналогового телевидения возможен на значительных расстояниях за пределами зон гарантированного обслуживания, тогда как одна из особенностей цифровой модуляции - так называемый пороговый характер приема. Это значит, что даже при незначительном уменьшении напряженности поля ниже определенного порога прием весьма быстро прекращается. На рис.1.1 схематично представлена ситуация, при которой границы зоны обслуживания передатчиков аналогового и цифрового вещания одинаковы [2].

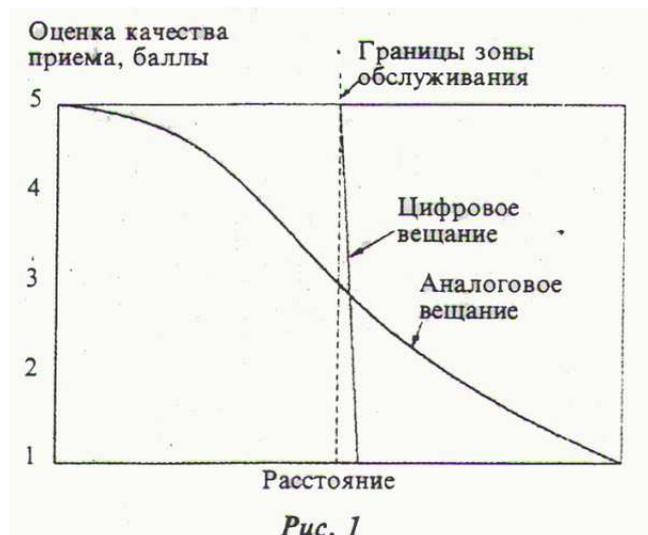


Рис.1.1.Сравнение зон покрытия вещанием цифрового и аналогового телевидения

Как видно из рисунка, до границы зоны обслуживания прием цифрового телевидения возможен с значительно лучшим качеством по сравнению с аналоговым. Однако за пределами этой зоны с увеличением расстояния от РТПЦ прием цифрового телевидения вскоре прекращается, в то время как возможность приема аналогового вещания сохраняется и на существенном удалении (хотя и с пониженным качеством). Этот факт нужно учитывать при определении мощности устанавливаемых передатчиков цифрового телевидения. Сравнивая зоны обслуживания передатчиков аналогового и цифрового вещания, следует также учитывать изменение характеристик приемного оборудования, произошедшее за последние полвека. Сегодня реальные зоны обслуживания аналоговых передатчиков превышают расчетные, которые были определены на основании данных телевизоров производства 50-х годов. Кроме того, нормируемое значение граничной направленности поля $E_{\text{мин}}$ для аналогового вещания определено более 50 лет назад для коэффициента шума телевизора, равного 10 дБ в диапазоне метровых волн и 12 дБ в диапазоне дециметровых волн. При расчете напряженности поля для цифрового телевидения исходили из коэффициента

шума телевизора, равного 7 дБ (по мнению специалистов МНИТИ РФ, коэффициент шума современных телевизоров равен 8 дБ в диапазоне метровых волн и 9 дБ в диапазоне дециметровых волн). Следовательно, сегодня телевизор способен удовлетворительно принимать аналоговый сигнал при напряженности поля ниже действующей нормы. В табл.1.1 приведены результаты расчета напряженности поля для реальных значений технических характеристик современных телевизоров [2].

Таблица 1.1

| Вид модуляции | | Напряженность поля, дБ/мкВ/м, для диапазона волн | | | |
|---------------|----------|--|----|-----------|----|
| | | III | IV | | V |
| Аналоговая | по ГОСТ | 55 | 65 | | 68 |
| | Реальная | 51,9-54,0 | | 60,6-64,7 | |
| Цифровая | по МСЭ | 48 | 53 | | 57 |
| | Реальная | 46,5-48,6 | | 55,2-59,3 | |

Из данных табл.1.1 следует, что реальные значения напряженности поля для приема цифровых сигналов телевидения на 5,4 дБ меньше соответствующих значений для аналоговых сигналов. По данным ряда производителей оборудования, мощность гибридных телевизионных передатчиков среднего и высокого класса в цифровом режиме будет примерно на 6 дБ меньше, чем в аналоговом. Следовательно, расчетные зоны обслуживания при цифровом и аналоговом вещании будут практически одинаковыми, хотя на деле прием аналогового вещания возможен и на более далеком расстоянии от РТПЦ, чем граница зоны вещания (см. рис.1.1). Таким образом, при переводе конкретного передатчика с аналогового формата вещания на цифровой часть телезрителей может полностью лишиться возможности хоть какого-то приема телевидения [2].

Разумеется, аналоговые передатчики мощностью 5 кВт и менее могут быть заменены на цифровые надлежащей мощности, чтобы при переходе от аналогового к цифровому зоны обслуживания не уменьшились. Но на

станциях, предназначенных для обслуживания территорий максимально возможного размера подобное вещание нереально. Дело в том, что самые мощные цифровые передатчики диапазона дециметровых волн не могут обеспечить такие же зоны обслуживания, как зоны мощных (25 кВт) аналоговых передатчиков диапазона метровых волн, установленных для трансляции наиболее важных программ [2].

При замене мощных аналоговых передатчиков диапазона метровых волн на цифровые (диапазона дециметровых волн) возможно и другая серьезная ситуация. В 70-е годы в некоторых областях были построены мощные РТПЦ в геометрических центрах областей, что обеспечило практически полный охват территории области не только телевизионным и звуковым радио вещанием, но и другими видами радиосвязи в интересах важнейших государственных служб (скорой помощи, милиции, МЧС и др.). Таким образом при переводе этих станций на цифровое ТВ вещание в диапазоне дециметровых волн некоторые областные центры, могут лишиться возможности приема телевидения с таких центров.

Следовательно, при цифровом вещании необходимо использовать и диапазон метровых волн, тогда можно будет избежать потерь части аудитории телезрителей.

Следует обратить внимание еще на одну проблему планирования наземных сетей цифрового телевидения. Для цифрового сигнала характерно большое разнообразие возможных значений параметра, определяющих его помехозащищенность. Соответственно различными будут: минимальная напряженность поля, т.е. размеры зона обслуживания; защитные отношения, определяющие территориальный разнос мешающих передатчиков; чистая битовая скорость (соответственно число программ), которую можно обеспечить в одном частотном канале. Для одного РТПЦ можно выбрать оптимальный тип сигнала в соответствии с конкретными условиями, но при планировании сети (особенно всей Республики) нужно определиться со

стандартом цифрового сигнала, поскольку при заданном числе программ социального пакета это будет обуславливать необходимое для его распространения число частотных каналов в каждом пункте установки РТПЦ.

Уже сейчас в крупных областных центрах Республики для параллельного ТВ вещания в цифровом формате можно выделить не более нескольких частотных каналов и только в дециметровом диапазоне волн и далеко не всегда при надлежащей мощности передатчиков. При этом часть жителей, удаленных от РТПЦ населенных пунктов, будет лишена возможности приема цифрового вещания. В таких случаях для сохранения существующей зоны охвата нужно применить формат цифрового сигнала, при котором возможен прием на большом удалении от радиостанции, но с пониженной чистой битовой скоростью (не с максимальным числом программ в одном пакете). Впоследствии, по мере высвобождения мощных аналоговых передатчиков, их можно будет перевести на вещание пакетов социальных программ в полном объеме.

При составлении на переходный период частотного плана вещания нужно в каждом конкретном случае определить оптимальные значения параметров цифрового сигнала, позволяющие расширить зоны обслуживания, и число (и перечень) ТВ программ, которые возможно передать при этом. Вводимые цифровые ТВ передатчики будут установлены на существующих телевизионных опорах, построенных для охвата территории вещанием в диапазоне метровых волн. Это нужно для существенного уменьшения капитальных затрат и сохранения аудитории телезрителей, пользующихся индивидуальными приемными антеннами, ориентированными на действующие РТПЦ. В ряде случаев для сохранения зон охвата ТВ вещанием при переходе к цифровому телевидению потребуются строение дополнительных РТПЦ в новых пунктах. Тогда население должно будет либо переориентировать свои антенны на эти центры, либо установить дополнительные приемные антенны для приема программ с направлением на

новые центры. Нужно также учесть, что подавляющее большинство находящихся у населения антенно-фидерных устройств индивидуального пользования не пригодно для удовлетворительного приема сигналов цифрового телевидения. Такие установки позволяют принимать аналоговые сигналы (с пониженным качеством), но при переходе к цифровому вещанию прием может прекратиться вообще. В настоящее время население не обладает информацией о том, какие приемные антенны индивидуального пользования нужно устанавливать в конкретных районах. Следует уделить существенное внимание промышленному выпуску и установке у населения антенн, обеспечивающих защищенный от помех прием, особенно в одночастотных сетях.

Специалистам ясно, что для охвата практически всего населения страны цифровым ТВ вещанием недостаточно только существующих РТПЦ наземной сети эфирного вещания; в ряде случаев потребуется строительство дополнительных телевизионных радиопередающих станций в новых пунктах. Важное значение приобретает развитие сетей коллективного приема и кабельного телевидения, ориентированных на прием сигналов со спутниковых ретрансляторов (там, где прием сигналов эфирных передатчиков не будет возможен); в ряде случаев единственным средством будет непосредственный прием спутникового телевидения на установки индивидуального пользования.

Несомненно, что проблема сохранения охвата территории при переходе с аналогового в цифровое ТВ вещание весьма важна и требует внимательного изучения. В первую очередь, нужно обратить внимание на передатчики большой мощности и передатчики, обслуживающие зоны со сложным рельефом местности.

1.2. Некоторые вопросы расчета зоны покрытия цифрового эфирного вещания DVB-T/H

Работа DVB-T/H мобильных терминалов осложнена тем, что очень близко по частоте в сотовом телефоне работает передатчик стандарта GSM. Защитный частотный интервал между передающим каналом сотовой связи и диапазоном DVB-T/H составляет всего 18 МГц, что является очень малым значением. Значительно облегчена в плане защиты работа в стандартах GSM1800 и WCDMA [3].

Передаваемый сигнал сотовой связи является весьма «высокомощным» по отношению к принимаемым DVB-H сигналам. Сигнал передатчика GSM900 будет являться наихудшим случаем (очень близок по частоте), его типовая мощность составляет +33 дБм (2 Вт). Значительная часть этой передающей мощности с развязкой порядка 10 дБ из антенны сотового передатчика поступает в приемную антенну DVB-H приемника, в силу чего, при отсутствии какой-либо информации, мешающая мощность на входе DVB-H приемника составляет порядка +23 дБм (~200 мВт). Столь высокой интерференционный уровень неизбежно вызовет резкое снижение чувствительности приемника и мощную перекрестную модуляцию [3].

Для устранения нежелательного воздействия мощного мешающего сигнала передатчика сотовой связи перед DVB-H приемником устанавливают полосовой GSM режекторный фильтр с глубиной режекции не хуже 50 дБ. Наличие такого режекторного фильтра вносит потери во входном тракте порядка 1 дБ и, следовательно, ухудшение коэффициента шума приемника на 1 дБ (например, с 5 дБ на 6 дБ).

Более того, следует добавить, что передатчик GSM900 неизбежно будет вносить и собственные шумы в полосу канала DVB-H приема. Например, собственная шумовая мощность GSM900 передатчика, проникающего на вход DVB-H приемника, составляет типовой значения -80 дБм (в полосе

канала 7,61 МГц). Чувствительность же DVB-H приемника обычно много выше (например, -88,9 дБм для режима 16QAM с CR = 1/2). В силу этого, чтобы ухудшить чувствительность DVB-H приемника «только» на 3 дБ, выходной шум передатчика должен быть не выше -105 дБм в полосе одного DVB-H канала [3].

Такая проблема на практике является очень серьезной для стандарта GSM900 и практически отсутствует для стандарта GSM1800. Для стандарта WCDMA (любой стандарт семейства CDMA) проблемы не существует из-за используемого дуплексного фильтра. В силу этого, в комбинированных мобильных терминалах стандарта используют дополнительный полосовой фильтр диапазона 470...702 МГц (шумовую мощность передатчика понижают до уровня ниже -105 дБм), а само DVB-H вещание рекомендуют вести на частотах ниже 49 канала (центральная частота - 698 МГц).

Приводимые методы расчета носят практический, прикладной инженерный характер.

Как отмечалось в [4], определение зоны покрытия (ЗП) передатчика является наиважнейшим критерием для расчета сети в целом (особенно для разветвленных одночастных сетей - SFN). Расчет ЗП с учетом реально имеющегося ландшафта местного является довольно трудоемкой операцией и под силу только подготовленным специалистам. Даже на самой ранней стадии сетевого планирования неизбежно возникает основной вопрос - какова будет аудитория (зона обслуживания) при выбранной мощности передатчика, или обратная задача: какова должна быть мощность передатчика для формирования требуемой ЗП?

Зоной покрытия (обслуживания) принято называть территорию, на границе которой гарантируется прием с заданным качеством [5]. Понятие «гарантируется» весьма условно, поскольку в действительности качество приема зависит от множества факторов: параметров STB, характера местности, времени суток и года и т.д. Границу ЗП определяют как

геометрическое место точек, в которых значения напряженности поля E равны нормируемым (т.е. минимально допустимым) значениям в течение времени T и L % мест приема. Обычно поле характеризуется средним уровнем, называемым медианным $E_{\text{мед}}$.

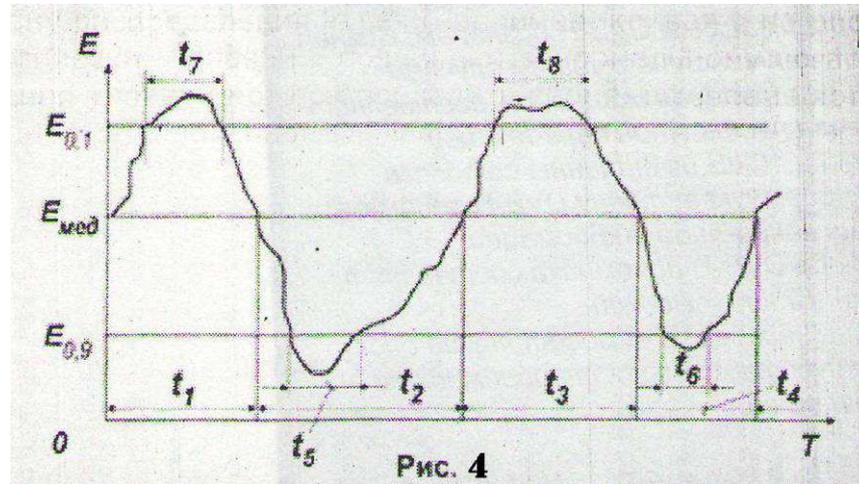


Рис.1.2.К пояснению замираний напряженности поля

Это уровень, превышаемый в 50% времени приема (рис.1.2). Характеризуя средний уровень принимаемого сигнала, медианный уровень не отражает его отклонения от среднего значения, т.е. глубины замирания или превышения. Два сигнала с одинаковым медианным уровнем могут претерпевать разные отклонения. Кроме медианного, используют также значения уровней, превышаемых в течение другого заданного времени приема T в процентах и записываемых как $E(T)$. Тогда медианный уровень $E_{\text{мед}} = E(50)$, а уровни, превышаемые в течение 90 и 10%, - $E(90)$ и $E(10)$ (иногда обозначаются как $E_{0,9}$ и $E_{0,1}$ соответственно). Случайные изменения напряженности бывают быстрые и медленные (не следует путать их с регулярными суточными и сезонными изменениями уровня напряженности поля).

Быстрые, случайные изменения поля длительностью от долей секунды до минут обязаны интерференционным явлениям, и они подчиняются закону распределение Рэлея (например, кривая 1 на рис.1.3).

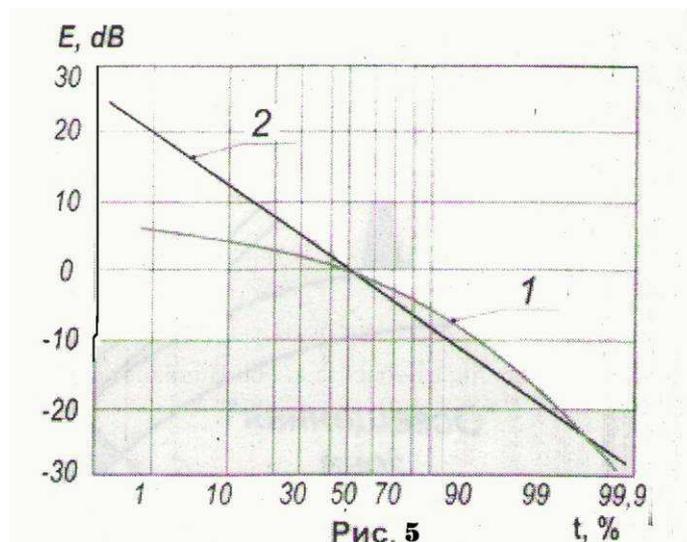


Рис.1.3.Виды распределений уровней поля

Медленные же изменения связаны с изменениями метеорологических условий и подчиняются нормальному логарифмическому закону (прямая 2 на рис.1.3). По функции распределения уровней можно определить время, в течение которого уровень принимаемого сигнала будет отличаться от медианного на заданное значение (например, на 3дБ), и наоборот.

Уровень сигнала зависит и от местных (локальных) условий приема, изменяясь от точки к точке (например, 10 м и 100 м). Эти условия оговариваются процентом мест L , в которых напряженность поля превышает указанный уровень и обозначается как $E(L)$. Распределение $E(L)$ также подчиняется нормальному логарифмическому закону. Обычно напряженность поля записывают как $E(T, L)$.

Наиболее часто, на практике, напряженность поля выражается в дБ. Поскольку антенна представляет собой пассивное взаимное устройство, а уровень получаемого сигнала на выходе антенны $U_{\text{вых}}$ зависит от напряженности поля E , частоты f и коэффициента усиления антенны относительно полуволнового вибратора G_a

$$U_{\text{вых}}[\text{дВ}\mu\text{В}] = 33,6 + E_{\frac{\text{дВ}\mu\text{В}}{\text{м}}} + G_a[\text{дВ}] - 20 \lg(f) [\text{МГц}]. \quad (1.1)$$

На рис.1.4 представлены зависимости $U_{\text{в.в.м}} = f(E)$ на разных частотах для полуволнового вибратора, т.е. для $G_a = 0$ дБ. Напряженность поля E зависит от эффективно-излучаемой мощности передатчика $P_{\text{ЭИМ}}$ (определяется произведением выходной мощности передатчика P на коэффициент усиления G в данном направлении, т.е. $P_{\text{ЭИМ}} = PG$) и его удаленность r от рассматриваемой точки приема.

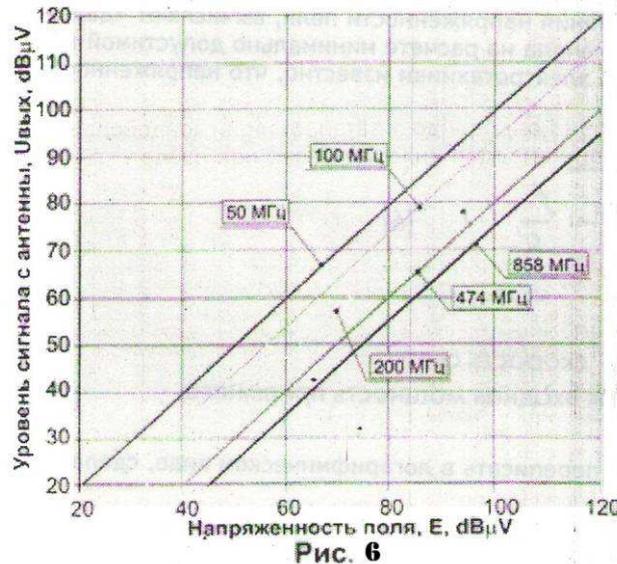


Рис.1.4. Зависимость $U_{\text{в.в.м}} = f(E)$ на разных частотах

$$E_{\frac{[\text{дВ}\mu\text{В}]}{m}} = 106,5 + P_{[\text{кВт}]} + G_{[\text{дБ}]} - 20 \lg R_{[\text{км}]} \quad (1.2)$$

Выражение (1.2) справедливо только для свободного пространства с однородной непоглощающей средой с $\epsilon = 1$. Иными словами, выражение (1.2) «работает» только при очень высоких подвесах передающей и приемной антенн, т.е. когда влияние земли можно пренебречь. Естественно, что на практике такие условия встречаются крайне редко, и ослабление радиоволн существенно больше, особенно за пределами прямой оптической видимости. На практике чаще пользуются дальность радиовидимости, которая несколько больше оптической из-за частичной дифракции и слабой рефракции в нижних слоях атмосферы

$$R_{P_{[\text{км}]}} = 4,12(\sqrt{H_{[\text{м}]}} + \sqrt{h_{[\text{м}]}}) \quad (1.3)$$

Расчет ЗП в самом общем случае сводится к решению двух уравнений:

1. Расчет минимально допустимой напряженности поля E_{\min} , необходимой для нормальной работы приемного комплекса (например, мобильного терминала DVB-H).
2. Расчет реальной напряженности поля от действующего передатчика для заданных условий распространения - $E(T, L)$.

Приравняв эти два значения напряженности поля, вычисляют ЗП передатчика при заданных условиях приема. Остановимся сначала на расчете минимально доступной напряженности поля E_{\min} .

Известно, что напряженность поля E в точке приема определяется по формуле [3]

$$E = \sqrt{4\pi\eta \cdot \frac{P_{\text{вх}} f}{G_0 c}}, \quad (1.4)$$

где $\eta = 120\pi$, Ом;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света;

$P_{\text{вх}}$ - требуемая входная мощность приемника.

Выражение (1.4) удобно переписать в логарифмическом виде, сделав соответствующие численные подстановки и преобразования

$$E_{[\frac{\text{дБВК}}{\text{м}}]} = P_{\text{вх}[\text{дВт}]} - G_0[\text{дБ}] + L_{\text{GSM}} + 77,2 + 20 \lg f_{[\text{МГц}]} \quad (1.5)$$

Здесь L_{GSM} – потери в режекторном фильтре, иногда устанавливаемого на выходе приемной антенны для подавления сигналов сотовой связи европейского стандарта GSM900.

Потери в режекторном фильтре L_{GSM} в полезном диапазоне частот (т.е. до 862 МГц) обычно суммируют с коэффициентом шума приемного DVB-H терминала и в дальнейших расчетах не учитывают.

Минимальный уровень входной мощности (1.5) определяется шумовой температурой антенны T_A , полосой канала Π (7,61 МГц для российского стандарта), коэффициентом шума F (для проведения расчета ЗП

рекомендуется задавать 6 дБ с учетом потерь режекторного фильтра) и отношением несущая/шум (C/N) [4]

$$P_{\text{exmin[dBm]}} = 10 \lg(kT_A \Pi) + F_{\text{[dB]}} + C/N_{\text{[dB]}} , \quad (1.6)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана.

Остановимся несколько подробнее на шумовой температуре T_A . Антенна принимает эфирные шумы, основными из которых в рассматриваемом диапазоне частот (50...1000 МГц) являются шумы космоса, промышленные шумы, шумы земли и атмосферные шумы (ночные шумы много больше дневных). Шумовая температура антенны в зависимости от времени года и суток изменяется довольно в широких пределах (такие изменения явно проявляются на частотах менее 400...500 МГц).

В 1995 году С.Н. Песковым [3] на базе зарубежных публикаций было получено эмпирическое выражение для расчета T_A широком диапазоне частот

$$T_A = \frac{T_0}{2} \left[\left(\frac{500}{f} \right)^2 + 1,5 \right]. \quad (1.7)$$

В этом выражении $T_0 = 293$ К- нормальная шумовая температура, а частота f подставляется в МГц (как и в последующих выражениях). Недостатком выражения (1.7) является только тот факт, что его неудобно логарифмировать, т.е. получать простые аналитические удобные выражения. На практике можно использовать и другую эмпирическую формулу (пригодную для логарифмирования)

$$T_A = T_0 \left(\frac{800}{f} \right)^{\sqrt{2}}. \quad (1.8)$$

Может быть рекомендована и третья формула

$$T_A = \left(\frac{1200}{f} \right)^2 + T_0 \quad (1.9)$$

На рис.1.5 для сравнения приведены частотные зависимости всех трех формул (1.7 – 1.9).

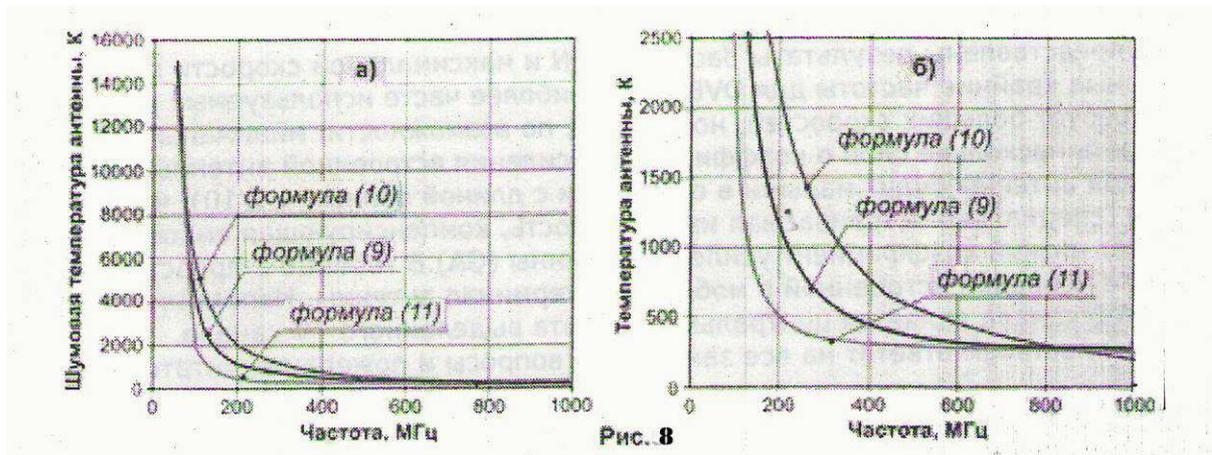


Рис.1.5.Зависимости шумовой температуры и температуры антенны от частоты

Обратив внимание на все три графика, можно заметить, что шумовая температура антенны в диапазоне дециметровых волн $T_A = 300$ градусов. Именно это значение и рекомендовано к инженерным расчетам согласно [6,7]. Тогда минимальное значение напряженности поля E_{\min} (1.5) с учетом (1.6) запишется в удобном для расчета виде

$$E_{\min} \left[\frac{\text{дБ}\mu\text{В}}{\text{м}} \right] = -30 + F + \frac{c}{N} - G_A + 20 \lg(f). \quad (1.10)$$

Специфика расчета ЗП для DVB-H сигналов заключается в том, что данный вид приема может являться мобильным, т.е. осуществляться в движении. При перемещении же мобильного терминала возникает Допплеровский сдвиг по частоте f , пропорциональный радиальной скорости (относительно вещательного центра) перемещение терминала (рис.1.6)

$$\Delta f = f \frac{V}{c} \cos \varphi, \quad (1.11)$$

где V - абсолютная скорость движения приемника;

f - несущая частота источника излучения;

c - скорость света ;

φ - угол между направлением движения приемника и направлением на источник излучения ($V_p = V \cos \varphi$ - радиальная скорость передвижения).

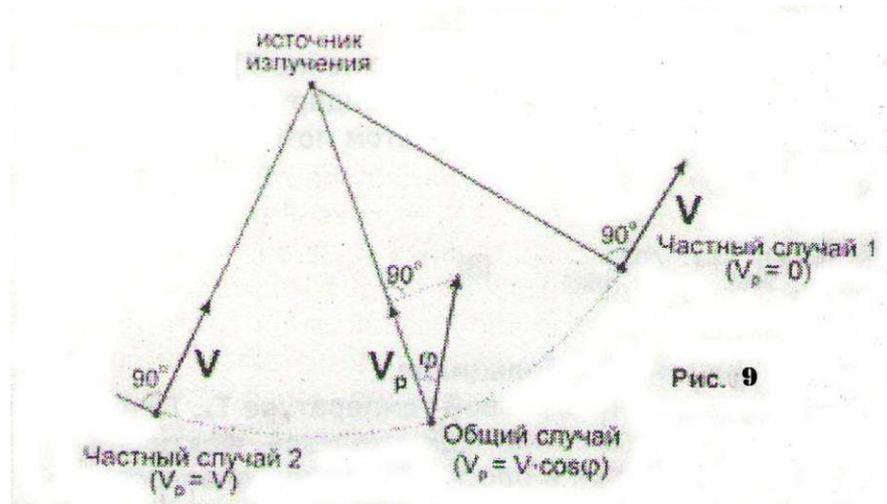


Рис.1.6.К пояснению эффекта Доплера

Воздействие доплеровского частотного сдвига воспринимаются приемником как шум (помеха), вносящий свой вклад **межнесущую** интерференцию (Intercarrier Interference - ICI). Таким образом ICI, пропорционально радиальной скорости движения приемника ($V \cos \varphi$) и более выражена на высоких частотах. При значительных уровнях ICI (для борьбы с ней используются специальные методы обработки сигналов) демодуляция COFDM сигнала (ортогональные поднесущие) становится невозможной. Именно наличие доплеровского сдвига по частоте ограничивает максимальную скорость движения мобильного терминала. Математически доказано, что при появлении доплеровского смещения F_d , близкого к предельному значению $F_{d, \max}$, требуемое значение C/N очень резко увеличивается (рис.1.7). Для расчета максимально допустимой радиальной скорости перемещения объекта принимается доплеровская частота $F_{d, \text{зdB}}$, при которой требуемое C/N превышает свое минимальное значение на 3 дБ (см. рис.1.7).

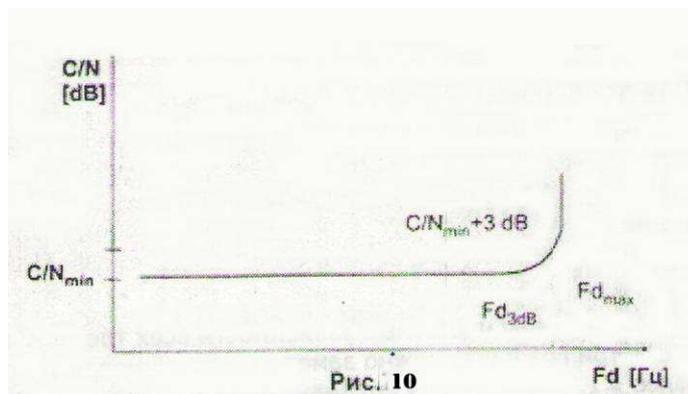


Рис. 1.7. Зависимость значений C/N от величины Fd

Очевидно, что режим 2k будет самым устойчивым по отношению к доплеровскому смещению по частоте (т.е. к возможности мобильного приема на максимально возможных скоростях), так как частотный разнос между несущими в этом случае максимален.

В таблице 1.2 представлены результаты расчета C/N и максимальной скорости перемещения объекта для двух частот (рекомендуемые крайние частоты для DVB-H) и наиболее часто используемых режимов работы (DVB-H, ввиду малости экрана, не требует больших скоростей, но требует, по возможности, минимального значения C/N) [4].

Очевидно, что габариты антенны будут малыми в сравнении с длиной волны (меньше $\lambda/10$), что даже при наличии индуктивных удлинителей (специально встраиваемая индуктивность, компенсирующая емкостную составляющую) и согласующих устройств дает низкий коэффициент усиления антенны (G_A). В таблице 1.3 представлены рекомендуемые значения коэффициента усиления встроенной в мобильный терминал антенны. Например, что расчетной частотой для любого цифрового DVB канала является центральная частота выделенного TV канала.

Под сетевым планированием для любого эфирного вещания понимается определение зоны покрытия (ЗП) передатчиков при оговоренных условиях приема. Но большей частью это относится к определению минимально

доступного значения электрического поля E_{\min} . Именно оговариваемые условия приема и определяют на практике радиус зоны покрытия. Для DVB-H вещания эти условия весьма разнообразны. Если DVB-T прием большей частью ориентирован на портативный (фиксированный) прием, то DVB-H прием большей части является мобильным приемом, обладающим следующими основными особенностями [8]:

- отсутствием направленности приема (как правило, это круговая диаграмма направленности) и низким коэффициентом усиления встроенный в терминал малогабаритной антенны ($G_A < 0$ и обычно лежит в пределах -5...-12 дБ);

- практическим отсутствием потерь в фидере (т.е. между антенной и самим приемником), за исключением потерь в встраиваемом режекторном фильтре стандарта GSM900 [3];

- как правило, прием осуществляется на значительно более низких высотах в сравнении со стационарным приемом (например, 1,5м вместо 10м);

- прием может осуществляться как внутри помещения, так и вне его; внутридомовой прием характеризуется значительными потерями за счет радиоэкранирования стен.

Портативный прием. Применительно к DVB-H вещанию, под портативным приемом понимается прием на любой высоте и на любую антенну, но без движения или с очень низкой скоростью перемещения (например, со скоростью ходьбы). Портативный прием делится на два класса [8]:

- класс А - наружный (внешний, внедомовой) прием с внешней или встроенной антенной на высоте не менее 1,5 м от уровня земли при нулевой или очень низкой скорости перемещения;

- класс В - прием внутри помещения на первом этаже на переносный приемник с внешней или встроенной антенной: прием в комнате на высоте не

менее 1,5 м от уровня этажа с нулевой или очень низкой скоростью перемещения; прием на окне с внешней стороны.

Очевидно, что в практических условиях эксплуатации портативный прием DVB-H сигналов будет осуществляться при значительно более разнообразных условиях (вне помещения, внутри помещения, на первом этаже, на верхних этажах и т.д.). Переносной приемник обычно перемещают в некоторых пределах в целях наилучшего приема. Тем не менее, при сетевом планировании для обоих классов (А и В) придерживаются правила: во время приема переносной приемник не перемещается; не перемещаются также и крупногабаритные предметы около приемника.

Разумеется, что для улучшения приема всегда имеется возможность выбора оптимальной позиции приемного терминала и подключения к нему внешней антенны с более высоким коэффициентом усиления. Будут также меняться условия приема и в зависимости от типа строения (в зависимости от его коэффициента радиозранирования). И даже внутри конкретного строения будут помещения с совершенно разными условиями приема (например, при прохождении радиоволн через несколько стен, наличии переотражений и т.д.).

Мобильный прием в контакте DVB-H определяется как прием в среде на высокой скорости (явно не со скоростью пешехода) и также делится на два класса [8]:

- класс С- наружный (вне дома) прием подвижным DVB-H терминалом на высоте не менее 1,5 м от уровня земли (основной уровень). Характерным примером является внешняя антенна, встроенная в автомобиль;

- класс D- внутренний (внутридомовой) прием в движущихся объектах типа автомобиля или поезда при использовании только встроенный в мобильный терминал антенны. Прием также осуществляется на высоте не менее 1,5 м.

Рабочие характеристики в мобильных каналах [3] предусматривают, что должны быть приняты во внимание условия Доплеровского смещения частоты, т.е. условие отношение сигнал/шум $C/N_{\min} + 3$ дБ. В любом случае, для мобильного приема подразумевается, что перемещается сам мобильный приемник, а также крупные объекты вокруг него.

При определении зоны покрытия необходимо оговаривать и категорию используемого приемного DVB-H терминала [8]:

- категория 1 – интегрированные автомобильные терминалы, где антенна составляет одно целое с автомобилем.

- категория 2 – портативные цифровые ТВ установки, предназначенные для внутреннего и внешнего приема цифрового ТВ услуг с терминалом, подсоединенные к антенне. Эта категория делится на два подкатегории:

- 2а - размер экрана приемника обычно больше 25 см, а приемник может питаться от аккумуляторной батареи или сетевого питания. Такой терминал обычно является стационарным, к которому подсоединяется внешняя антенна (широкополосная активная или пассивная, выдвижная телескопическая и т.д.);

- 2б - законченный цифровой ТВ приемник с батарейным питанием, который может быть использован в движении. Обычно антенны составляют одно целое с таким приемником;

- категория 3 - ручные портативные терминалы со встроенной сетевой связью (например, стандарта GSM).

Такие терминалы имеют функциональность мобильного телефона и способны принимать IP сервисные услуги, базирующиеся на DVB-H технологии. Обычно в данной категории DVB-H антенна и антенна сотовой связи (зоны охвата) для каждого условия приема используют три условных уровня [8]:

- местоположение приема - это самый мелкий сегмент, для которого предполагается, что размещение приемника ограничено площадью 0,5 на 0,5

м. Предполагается, что оптимальные условия приема достигаются перемещением приемника в пределах 0,5 м в любом направлении. Такой сегмент считается охваченным, если требуемые значения несущая/шум (C/N) и несущая/интерференция (C/I) достигаются в течение 99% времени.

- охват малой зоны - это второй уровень. Это «малая зона» с типовыми размерами 100 на 100 м. Иногда (например, в сотовой телефонии) оговаривают и меньшую зону габаритами 10 на 10 м. В такой малой зоне индицируется процент охваченного размещения (например, 50%).

Охват малой зоны классифицируется как:

- «хороший», если, по крайней мере, 95% территории, размещенной на краю зоны, охвачено портативным приемом и 99% территории внутри зоны охвачено мобильным приемом;

- «приемлемый», если, по крайней мере, 70% территории на краю зоны охвачено портативным приемом и 90% территории внутри зоны приема охвачено мобильным приемом.

Зона покрытия относится к третьему уровню. ЗП формируется из суммы индивидуальных малых зон, в которых достигнут тот или иной класс охвата.

Анализ минимальной напряженности поля представляет собой относительно сложную задачу, решение которой и представляет собой основу любого сетевого планирования.

Минимальный уровень сигнала приемника зависит от требуемого отношения $C/N_{\text{треб}}$. Для оценки минимального входного уровня ($P_{\text{вх.мин}}$ или $U_{\text{вх.мин}}$) расчеты принято вести для пяти типовых значений $C/N_{\text{треб}}$ в диапазоне от 2 до 26 дБ. Для других значений $C/N_{\text{треб}}$ может быть применена простая линейная интерполяция [3, 8].

Коэффициент шума приемника F принимается в 6 дБ (с учетом установки режекторного фильтра GSM с вносимыми потерями порядка 1 дБ). Если на практике будет использован приемник с другим коэффициентом

шума (например, в 2 дБ), то из расчетного значения следует вычесть эту разность (3дБ).

Минимальные значения уровней входных сигналов в дальнейшем будут необходимы для получения минимальной плотности потока мощности и соответствующих минимальных медианных (усредненных) эквивалентных значений напряженности поля для различных диапазонов частот.

Приведем известные формулы по расчету минимального уровня сигнала на входе приемника (STB). Данные формулы справедливы как для DVB-T, так и для DVB-H сигналов [8]:

$$U_{\text{вхmin}} = P_{\text{вхmin}} + 120 + 10 \lg Z_0; \quad (1.12)$$

$$P_{\text{вхmin}} = P_{\text{ш}} + C/N; \quad (1.13)$$

$$P_{\text{ш}} = F + 10 \lg(kT_A \Pi). \quad (1.14)$$

После логарифмирования известных постоянных величин формула (1.12) может быть записана в виде, удобном для практического использования

$$U_{\text{вхmin}} = F + \frac{C}{N_{\text{трес}}} - 21 + 10 \lg T_A. \quad (1.15)$$

В [1] рассмотрена величина шумовой температуры антенны. В частности, для рекомендованного диапазона вещания DVB-H $T_A = 300$ К.

С учетом приведенных рекомендаций, без большой погрешности формула (1.15) может быть записана еще в более упрощенном и удобном для инженерной практики виде

$$U_{\text{вхmin}} = \frac{C}{N_{\text{трес}}} + 10. \quad (1.16)$$

В таблице 1.2 представлены результаты расчетов минимального уровня входного сигнала DVB-T/H приемника для диапазона дециметровых волн [8].

Таким образом, из таблицы 1.2 видно, что DVB-T/H приемник при заявленной чувствительности в 36 дБ будет соответствовать наихудшему классу приема. Хороший STB для DVB-T приема должен обладать чувствительностью не хуже 30 дБ, а для DVB-H приема - не хуже 18...24 дБ. Разумеется, что для увеличения «чувствительности» приемной системы

всегда можно использовать качественную приемную антенну (например, с коэффициентом усиления в 16...18 дБ) и малошумящий мачтовый усилитель (с коэффициентом шума не свыше 2 дБ).

Таблица 1.2

| IV, V ТВ частотные диапазоны | | | | | | |
|---|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Эквивалентная шумовая полоса пропускания | П, МГц | 7,61 | 7,61 | 7,61 | 7,61 | 7,61 |
| Коэффициент шума приемника | F, дБ | 6 | 6 | 66 | 6 | 6 |
| Шумовая входная мощность | $P_{ш}$, дБВт | -129,2 | -129,2 | -129,2 | -129,2 | -129,2 |
| Отношение ВЧ сигнал/шум | C/N, дБ | 2 | 8 | 14 | 20 | 26 |
| Мин. входная мощность сигнала приемника | $P_{шмин}$, дБВт | -127,2 | -121,2 | -115,2 | -109,2 | -103,2 |
| Минимальное эквивалентное входное напряжение приемника, 75 Ом | $U_{вхмин}$, дБ | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |

Рассмотрим основные критерии для планирования DVB-H сети.

как известно, прием цифровых сигналов характеризуется очень резким переходом от хорошего (уверенного) приема до полного его отсутствия даже при весьма малых изменениях напряженности поля, значение которого реализует C/N, близкого к предельному значению $C/N_{треб}$. В силу этого

необходимо, чтобы минимальный требуемый уровень сигнала был достигнут на высоком проценте размещения. Эти проценты были установлены [8] как 95% для «хорошего» и 70% для «приемлемого» портативного приема. Для аналогичных определений мобильного приема были определены 99 и 90% соответственно для «хорошего» и «приемлемого» приема.

Минимальные медианные плотности потока мощности рассматриваются для:

1. Всех четырех различных условий приема портативного и мобильного приема:
 - портативный наружный прием - класс А;
 - портативный внутридомовой прием на первом этаже - класс В;
 - мобильный прием со встроенной автомобильной антенной - класс С;
 - ручной мобильный прием (т.е. терминалы используются в пределах движущегося объекта, например, в автомобиле или в поезде) - класс D.
2. Двух частот, характерных для ДМВ диапазона: 500 МГц и 800 МГц.
3. Пяти значений C/N, лежащих в диапазоне 2...26 дБ с шагом в 6 дБ.

Результаты для другого системного варианта получается путем интерполяции между представленными значениями. Все минимальные значения медианных эквивалентных напряженностей поля, представленные в данном разделе, справедливы только для одного единственного передатчика, т.е. не учитывает возможный эффект усиления поля, обычно наблюдаемый в SFN-сетях. Такой подход представляет гарантированное E_{min} как наихудший случай.

Для расчета минимальных медианных значений плотности потока мощности и эквивалентной напряженности поля использованы следующие расчеты соотношения [9]:

$$\varphi_{min} = P_{вкmin} - A_a ;$$

$$E_{min} = \varphi_{min} + 120 + 10 \lg(120\pi) = \varphi_{min} + 145,8 ;$$

$$\varphi_{мед} = \varphi_{min} + P_m + C_1 + L_h + L_b + L_w ;$$

$$E_{\text{мед}} = \varphi_{\text{мед}} + 120 + 10 \lg(120\pi) = \varphi_{\text{мед}} + 145,8. \quad (1.17)$$

$$\min = P_{\text{вх}} - A_a; E_{\min} = \min + 120 + 10 \lg(120) = \min + 145,8;$$

$$E_{\text{мед}} = \text{мед} + 120 + 10 \lg(120) = \text{мед} + 145,8.$$

В формуле (1.17) приняты следующие обозначения:

φ_{\min} – минимальная плотность потока мощности в месте приема, дБВт/м²;

$P_{\text{вх, min}}$ – минимальная входная мощность приемника;

A_a – эффективная апертура антенны, дБ·м²;

E_{\min} – эквивалентная минимальная напряженность поля в месте приема, дБ;

P_m – допуск на шум, формируемый человеком, дБ;

$C_1 = \mu \cdot \delta$ – коэффициент коррекции размещения (для его расчета принимается нормальное логарифмическое распределение. Данный коэффициент иногда именуют поправочным;

μ – коэффициент распределения, определяемый как 0,52 для 70%; 1,28 для 90%; 1,64 для 95% и 2,33 для 99%;

δ – стандартная девиация, принимаемая величиной в 5,5 дБ для приема вне помещения. Значения, соответствующие приему в помещении, будут рассмотрены ниже;

$\varphi_{\text{мед}}$ – планируемое значение минимальной медианной плотности потока мощности, дБВт/м²;

$E_{\text{мед}}$ – планируемое значение минимальной медианной эквивалентной напряженности поля, дБ;

L_h – коэффициент потери высоты (коэффициент высотности);

L_b – потери проникновения в здание.

Критерии планирования следующие [9].

Отметим, что для портативного приема класса А и Б значение коэффициента усиления приемной антенны относительно полуволнового диполя принимают согласно таблице 1.3.

Таблица 1.3

| Диапазон | Частота, МГц | Каналы | Коэффициент усиления приемной антенны, дБ |
|----------|--------------|---------|---|
| IV | 470-614 | 21...38 | -12 |
| V | 614-862 | 39...69 | -7 |

Для практических испытаний можно отметить, что изменения напряженности поля могут быть разделены на макромасштабные и микромасштабные. Макромасштабные изменения касаются зон размерами порядка 10...100 м и более и, главным образом, вызваны затенением и многонаправленными отражениями от удаленных объектов. Микромасштабные же изменения касаются зон с размерами, сравнимыми с длиной волны (порядка 0,5 м), и, в основном, вызваны многонаправленными переотражениями от соседних объектов. Естественно предположить, что для портативного приема расположение антенны может быть оптимизировано в пределах $\pm 0,5$ м, в силу чего микромасштабные изменения будут не слишком существенны при планировании. А вот макромасштабные изменения напряженности поля E очень важны для оценки ЗП. Поправочный коэффициент C_1 зависит от вероятности покрытия, и его рекомендуемые значения для внедомового приема представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

| Назначение охвата | Поправочный коэффициент размещения C_1 |
|-------------------|--|
| >95% | 9 дБ |
| >70% | 3 дБ |

Коэффициент потери высоты – L_h (высотное снижение приемной антенны) – является очень важным параметром при приеме сигналов DVB-H. Так, в [10] приведены графики зависимости напряженности поля E в зависимости от эффективной излучаемой мощности передатчика $P_{ЭИМ}$ и дальности приема r , на основании которых в большинстве практических случаях и находят требуемую мощность передатчика. Представленные кривые приводятся для разных высот установки передатчика, но только для

единственной высоты подвеса приемной антенны $h_2 = 10$ м. Для DVB-H приема такая высота подвеса антенны в 10 метров является практически нереальной, в силу чего и должен вводиться соответствующий поправочный коэффициент потери высоты, посредством которого появляется возможность пользования графиками [6]. Коэффициент потери высоты нормализирует представленные кривые до стандартной планируемой высоты приема в 1,5 м как для внутридомового, так и внешнего приема. Значения корректирующих коэффициентов потери высоты в зависимости от условий приема приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5

| Потери высоты антенны приема | | | |
|------------------------------|--------------------|----------|-------|
| Частота | Сельская местность | Пригород | Город |
| 500 МГц | 11 дБ | 16 дБ | 22 дБ |
| 800 МГц | 13 дБ | 18 дБ | 24 дБ |

Потери проникновения в здание при портативном приеме - L_b – определяются коэффициентом радиоэкранирования помещения. К сожалению, практическая статистика в отношении таких потерь явно недостаточна. Для примера, в таблице 1.6 [10] приведены результаты практических измерений потерь на проникновение в некоторые типы здания. Испытания проводились в Финляндии (одна из первых стран Европы, полностью перешедшая на цифровое эфирное вещание). Каждый тип строений имеет свою девиацию (разброс при статическом наборе измерений).

Таблица 1.6

| Случай | Потери проникновения в здание (дБ) | Стандартная девиация (дБ) |
|---|------------------------------------|---------------------------|
| Пригородные жилые строения; помещение с окном на внешней стене квартиры в городской среде | 7 | 5 |
| Внешние помещения в офисных зданиях в городской среде; внутренние помещения в квартирах в городской среде | 11 | 6 |

| | | |
|-------------------------------------|----|---|
| Внешние помещения в офисных зданиях | 15 | 7 |
|-------------------------------------|----|---|

В таблице 1.7 представлены результаты испытаний по состоянию на конец 2005 года [9].

Таблица 1.7

| Тип стены | | Потери проникновения в здание (дБ) | Стандартная девиация (дБ) |
|-----------|----------------------|------------------------------------|---------------------------|
| С окнами | Нормальное окно | 8,12 | 3,63 |
| | Большое окно | 8,16 | 3,23 |
| | Дверь с окном | 8,02 | 3,47 |
| | Стекло + дерево | 7,35 | 3,82 |
| | Стекло + металл | 10,08 | 4,11 |
| Без окон | Несколько материалов | 8,80 | 3,03 |
| | Дерево | 7,97 | 2,81 |
| | Гаражная дверь | 10,22 | 4,64 |

В силу отсутствия значительного набора статистических испытаний, рекомендациями [6] предлагаются значения потерь на проникновение в здания, представленные в таблице 1.8.

Таблица 1.8

| Диапазон | План охвата | Изменение размещения |
|--------------------|-------------|----------------------|
| Дециметровые волны | >95% | 14 дБ |
| Дециметровые волны | >70% | 4 дБ |

Особенности мобильного приема

Все вышесказанное для портативного приема можно использовать и для приема мобильного. Как уже определялось выше, под мобильным приемом понимается прием в движении или локальный прием, вокруг которого перемещаются крупномасштабные предметы. Прием также возможен, когда DVB-H терминал используется в движущемся объекте (например, автомобиль или поезд). В этом случае ситуация подобно внутреннему приему, при котором дополнительно необходимо учитывать ухудшение характеристик за счет Доплеровского смещения частоты (выражается в части ухудшения C/N).

Значения поправочного коэффициента C_1 (макромасштабные изменения) для мобильного приема представлены в таблице 1.9 (для портативного приема – в таблице 1.4) [9].

Таблица 1.9

| План охвата | Изменение размещения |
|-------------|----------------------|
| >99% | 13 дБ |
| >90% | 7 дБ |

Для мобильного приема в автомобиле или ином движущемся объекте необходимо учитывать начальные потери радиоэкранирования. За величину таких потерь для мобильного приема класса D принята величина в 7 дБ. Необходимо также остановиться и на коэффициенте усиления приемной антенны G_a при мобильном приеме. Класс D подразумевает ручной (карманный) терминал с тем же самым коэффициентом усиления антенны, что был рассмотрен выше (см. таблицу 1.3). Класс C подразумевает использование передвижной встроенной антенны (наиболее часто это традиционный телескопический штырь длиной $\lambda/4$) с несколько большим коэффициентом усиления в сравнении с антенной ручного (карманного) терминала. Рекомендуемые значения коэффициента усиления приемных антенн мобильных терминалов DVB-H (класс C), используемые для системного планирования, приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10

| Диапазон | Коэффициент усиления приемных антенн (дБ) |
|----------|---|
| IV | -2 |
| V | -1 |

Уровни сигналов для планирования DVB-H сети представлены в таблицах 1.12 - 1.15 [10].

Принадлежность соответствующей таблицы определенному классу приема отражена в таблице 1.11.

Таблица 1.11

| Номер таблицы | Вид приема | Класс приема | Категория терминала | Условия приема |
|---------------|-------------|--------------|---------------------|----------------------------|
| 10 | Портативный | A | 3 | Город, вне помещения |
| 11 | Портативный | B | 3 | Город, внутридомовой прием |
| 12 | Мобильный | C | 1 | Село, внедомовой прием |
| 13 | Мобильный | D | 3 | Село, внутридомовой прием |

Таблица 1.12

| Частота f (МГц) | | 500 | | | 800 | | |
|---|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Минимальное C/N, требуемое системой | (дБ) | 2 | 14 | 26 | 2 | 14 | 26 |
| Мин. мощность входного сигнала приемника | $P_{вх.мин}$ (дБВт) | -127,2 | -115,2 | -103,2 | -127,2 | -115,2 | -103,2 |
| Мин. эквивалентное входное напряжение приемника, 75 Ом | $U_{вх.мин}$ (дБ) | 12 | 24 | 36 | 12 | 24 | 36 |
| Усиление антенны относительно полуволнового диполя | G_a (дБ) | -12 | | | -7 | | |
| Эффективная антенная апертура | A_a (дБ м ²) | -25,3 | | | -24,4 | | |
| Мин. плотность потока мощности в месте приема | $\Phi^{мин}$ (дБВт/м ²) | -101,9 | -89,9 | -77,9 | -102,8 | -90,8 | -78,8 |
| Минимальная эквивалентная напряженность поля в месте приема | $E_{мин}$ (дБ) | 44 | 56 | 68 | 43 | 55 | 67 |
| Допуск на шум, вырабатываемый человеком | P_m (дБ) | 0 | | | 0 | | |
| Коэффициент потери высоты | L_h (дБ) | 22 | | | 24 | | |
| Вероятность размещения: 70% | | | | | | | |
| Поправочный коэффициент размещения | C_1 (дБ) | 3 | | | 3 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при | $\Phi_{мед}$ (дБВт/м ²) | -76,9 | -64,9 | -52,9 | -75,8 | -63,8 | -51,8 |

| | | | | | | | |
|--|-----------------------|----|----|----|----|----|----|
| h ₂ =10 м, 50% времени и 50% размещения | | | | | | | |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при h ₂ =10 м, 50% времени и 50% размещения | E _{мед} (дБ) | 69 | 81 | 93 | 70 | 82 | 94 |

Вероятность размещения: 95%

| | | | | | | | |
|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Коэффициент коррекции размещения | C ₁ (дБ) | 9 | | | 9 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при h ₂ =10 м, 50% времени и 50% размещения | Φ _{мед} (дБВт/м ²) | -70,9 | -58,9 | -46,9 | -69,8 | -57,8 | -45,8 |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при h ₂ =10 м, 50% времени и 50% размещения | E _{мед} (дБ) | 75 | 87 | 99 | 76 | 88 | 100 |

Таблица 1.13

| Частота f (МГц) | | 500 | | | 800 | | |
|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Мобильное C/N, требуемое системой | (дБ) | 2 | 14 | 26 | 2 | 14 | 26 |
| Мин. мощность входного сигнала приемника | P _{вх.min} (дБВт) | -127,2 | -115,2 | -103,2 | -127,2 | -115,2 | -103,2 |
| Мин. эквивалентное входное напряжение приемника, 75 Ом | U _{вх.min} (дБ) | 12 | 24 | 36 | 12 | 24 | 36 |
| Усиление антенны относительно полуволнового диполя | G _a (дБ) | -12 | | | -7 | | |
| Эффективная антенная апертура | A _a (дБ м ²) | -25,3 | | | -24,4 | | |
| Мин. плотность потока мощности в месте приема | Φ ^{min} (дБВт/м ²) | -101,9 | -89,9 | -77,9 | -102,8 | -90,8 | -78,8 |
| Минимальная | E _{min} (дБ) | 44 | 56 | 68 | 43 | 55 | 67 |

| | | | | | | | |
|---|------------|----|--|--|----|--|--|
| эквивалентная напряженность поля в месте приема | | | | | | | |
| Допуск на шум, вырабатываемый человеком | P_m (дБ) | 0 | | | 0 | | |
| Коэффициент потери высоты | L_h (дБ) | 22 | | | 24 | | |
| Потери проникновения в здание | L_b (дБ) | 11 | | | 11 | | |

Вероятность размещения: 70%

| | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Поправочный коэффициент размещения | C_1 (дБ) | 4 | | | 4 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $\Phi_{\text{мед}}$ (дБВт/м ²) | -64,9 | -52,9 | -40,9 | -63,8 | -51,8 | -39,8 |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при $h_2 = 10$ м, 50% времени и 50% размещения | $E_{\text{мед}}$ (дБ) | 81 | 93 | 105 | 82 | 94 | 106 |

Вероятность размещения: 95%

| | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Коэффициент коррекции размещения | C_1 (дБ) | 14 | | | 14 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $\Phi_{\text{мед}}$ (дБВт/м ²) | -57,9 | -42,9 | -30,9 | -53,8 | -41,8 | -29,8 |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при $h_2 = 10$ м, 50% времени и 50% размещения | $E_{\text{мед}}$ (дБ) | 91 | 103 | 115 | 92 | 104 | 116 |

Таблица 1.14

| Частота f (МГц) | | 500 | | | 800 | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Мобильное C/N, требуемое системой | (дБ) | 2 | 14 | 26 | 2 | 14 | 26 |
| Мин. мощность входного сигнала приемника | $P_{вх.min}$ (дБВт) | -127,2 | -115,2 | -103,2 | -127,2 | -115,2 | -103,2 |
| Минимальное эквивалентное входное напряжение приемника, 75 Ом | $U_{вх.min}$ (дБ) | 12 | 24 | 36 | 12 | 24 | 36 |
| Усиление антенны относительно полуволнового диполя | G_a (дБ) | -2 | | | -1 | | |
| Эффективная антенная апертура | A_a (дБм ²) | -15,3 | | | -18,4 | | |
| Мин. плотность потока мощности в месте приема | Φ^{min} (дБВт/м ²) | -111,9 | -99,9 | -87,9 | -108,8 | -96,8 | -84,8 |
| Минимальная эквивалентная напряженность поля в месте приема | E_{min} (дБ) | 34 | 46 | 58 | 37 | 49 | 61 |
| Допуск на шум, вырабатываемый человеком | P_m (дБ) | 0 | | | 0 | | |
| Коэффициент потери высоты | L_h (дБ) | 11 | | | - | | |

Вероятность размещения: 70%

| | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Поправочный коэффициент размещения | C_1 (дБ) | 7 | | | 7 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $\Phi_{мед}$ (дБВт/м ²) | -93,9 | -81,9 | -69,9 | -88,8 | -76,8 | -64,8 |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при $h_2 = 10$ м, 50% времени и 50% размещения | $E_{мед}$ (дБ) | 52 | 64 | 76 | 57 | 69 | 81 |

Вероятность размещения: 95%

| | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Коэффициент коррекции размещения | C_1 (дБ) | 13 | | | 13 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $\Phi_{\text{мед}}$ (дБВт/м ²) | -87,9 | -75,9 | -63,9 | -82,8 | -70,8 | -58,8 |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при $h_2 = 10$ м, 50% времени и 50% размещения | $E_{\text{мед}}$ (дБ) | 58 | 70 | 82 | 63 | 75 | 87 |

Таблица 1.15

| Частота f (МГц) | | 500 | | | 800 | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Мобильное С/Ш, требуемое системой | (дБ) | 2 | 14 | 26 | 2 | 14 | 26 |
| Мин. мощность входного сигнала приемника | $P_{\text{вх.мин}}$ (дБВт) | -127,2 | -115,2 | -103,2 | -127,2 | -115,2 | -103,2 |
| Мин. эквивалентное входное напряжение приемника, 75 Ом | $U_{\text{вх.мин}}$ (дБ) | 12 | 24 | 36 | 12 | 24 | 36 |
| Усиление антенны относительно полуволнового диполя | G_a (дБ) | -12 | | | -7 | | |
| Эффективная антенная апертура | A_a (дБ м ²) | -25,3 | | | -24,4 | | |
| Мин. плотность потока мощности в месте приема | $\Phi^{\text{мин}}$ (дБВт/м ²) | -101,9 | -89,9 | -77,9 | -102,8 | -90,8 | -78,8 |
| Мин. эквивалентная напряженность поля в месте приема | $E_{\text{мин}}$ (дБ) | 44 | 56 | 68 | 43 | 55 | 67 |
| Допуск на шум, вырабатываемый человеком | P_m (дБ) | 0 | | | 0 | | |
| Коэффициент потери высоты | L_h (дБ) | 11 | | | 13 | | |
| Потери проникновения в здание | L_b (дБ) | 7 | | | 7 | | |

Вероятность размещения: 70%

| | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Поправочный коэффициент размещения | C_1 (дБ) | 7 | | | 7 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $\Phi_{\text{мед}}$ (дБВт/м ²) | -76,9 | -64,9 | -52,9 | -75,8 | -63,8 | -51,8 |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $E_{\text{мед}}$ (дБ) | 69 | 81 | 93 | 70 | 82 | 94 |

Вероятность размещения: 95%

| | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Коэффициент коррекции размещения | C_1 (дБ) | 13 | | | 13 | | |
| Мин. медианная плотность потока мощности при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $\Phi_{\text{мед}}$ (дБВт/м ²) | -70,9 | -58,9 | -46,9 | -69,8 | -57,8 | -45,8 |
| Мин. средняя эквивалентная напряженности поля при $h_2=10$ м, 50% времени и 50% размещения | $E_{\text{мед}}$ (дБ) | 75 | 87 | 99 | 76 | 88 | 100 |

Разумеется, что на практике могут встретиться и несколько другие варианты приема. Тем не менее, таблицы 1.12-1.15 отражают типовые значения минимальной напряженности поля.

2.АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЗОН ПОКРЫТИЯ РАДИО И ТЕЛЕВЕЩАНИЕМ

2.1.Расчет напряженности поля с помощью статистического метода расчета напряженности поля (методики Шура)

2.1.1.Основные соотношения

Эффективно - излучаемая мощность - P_{Σ} радиопередающей станции, в главном направлении антенны

$$P_{\Sigma} = PG \eta, \quad (2.1)$$

где P - мощность передатчика на входе фидера, кВт; G - коэффициент усиления передающей антенны по мощности относительно полуволнового вибратора и η -коэффициент полезного действия фидера.

Эффективно-излучаемую мощность часто выражают в децибелах относительно 1кВт

$$P_{\Sigma} = P + G + \eta, \text{ дБкВт.} \quad (2.2)$$

где все величины выражены в децибелах.

Эффективно-излучаемую мощность не следует отождествлять с эквивалентной изотропно-излучаемой мощностью, которую определяют аналогично, но значение коэффициента усиления антенны берется относительно ненаправленной (изотропной) антенны (разница значений излучаемой мощности составляет 2,15дБ).

Эффективно-излучаемая мощность в децибелах относительно 1 кВт в любом направлении от передающей антенны определяется с учетом ее диаграммы направленности [12]

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma} + F(\Delta)^2 + F(\varphi)^2, \text{ дБкВт,} \quad (2.3)$$

где $F(\Delta)^2$ и $F(\varphi)^2$ - значения характеристик направленности передающей антенны по мощности в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Δ -угол в вертикальной плоскости между линией горизонта, проведенной через геометрический центр антенны и направлением на точку приема;

ϕ - угол в горизонтальной плоскости между направлением максимального излучения и направлением на точку приема.

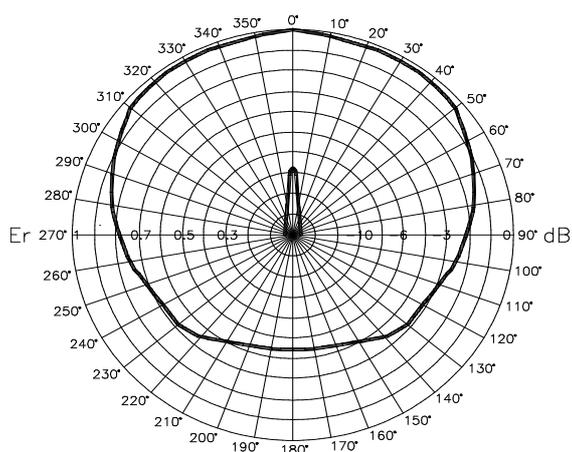
На рис.2.1.*a* и *б* приведены нормированные ориентировочные диаграммы направленности антенн в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Влияние рефракции приближенно учитывают путем замены в соответствующих формулах действительного радиуса Земли $a = 6370$ км его эквивалентным значением $a_э$.

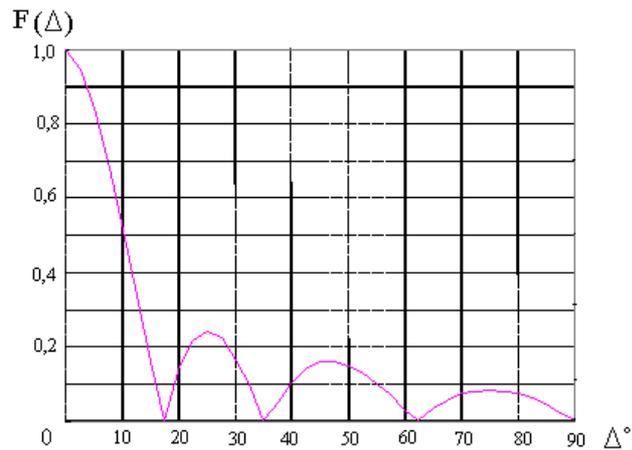
Эквивалентный радиус Земли

$$a_э = \frac{a}{1 + 0,5a(d\varepsilon / dZ)}, \quad (2.4)$$

измеряют в километрах. На распространение радиоволн метрового и дециметрового диапазонов влияет приземный слой атмосферы толщиной 8...14 км, т.е. тропосфера. В этом слое метеорологические параметры — влажность, температура и атмосферное давление сильно изменяются во времени и в пространстве.



a)



б)

Рис.2.1. Ориентировочная диаграмма направленности передающей антенны (а- в горизонтальной плоскости, б- в вертикальной плоскости)

Диэлектрическая проницаемость воздуха ϵ зависит от этих параметров и также сильно изменяется, причем по случайному закону. В большей части времени года в тропосфере линейно уменьшается по вертикали среднее значение градиента диэлектрической проницаемости $d\epsilon/dZ$, где Z — высота над поверхностью Земли. Это приводит к рефракции, т.е. к плавному искривлению траектории радиоволн. Причем траектория радиоволны представляет собой выпуклую вверх дугу.

Эквивалентный радиус Земли — это радиус гипотетической сферической Земли, для которой расстояние до горизонта r_r в предположении прямолинейного распространения радиоволн является таким же, как и расстояние до горизонта для фактической Земли, окруженной атмосферой с постоянным значением вертикального градиента коэффициента преломления (рис.2.2).

Во многих районах средней полосы, в 50% времени года значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха равно $8 \cdot 10^{-8}$, 1/м. Следовательно, в расчетах обычно принимают $a_3 = 4a/3 = 8500$ км, что соответствует средним условиям распространения радиоволн. В

небольшие периоды времени изменение значений вертикального градиента существенно отличается от линейной зависимости. В таких случаях понятие об эквивалентном радиусе будет неприменимо. Оно будет также неприменимо при чрезмерных значениях градиентов, когда имеет место свехрефракция радиоволн.

Напряженность электрического поля в условиях свободного пространства - напряженность поля в месте приема при распространении радиоволн в идеальном свободном пространстве, в котором отсутствует влияние земли и атмосферы. Значение напряженности поля в условиях свободного пространства может быть легко вычислено и его часто используют как исходное для расчета во всех диапазонах частот. На расстоянии r от станции напряженность поля в свободном пространстве, мкВ/м ,

$$E_0 = 222 \cdot 10^3 \sqrt{P_\Sigma} / r, \quad (2.5)$$

где P_Σ – эффективно-излучаемая мощность, кВт, r - расстояние, км.

Выражение в децибелах (2.5) имеет вид

$$E_0 = 106,9 - 20 \lg r + P_\Sigma, \quad (2.6)$$

где P_Σ , дБкВт.

Напряженность поля выражается в децибелах относительно 1 мкВ/м, но для краткости везде указывают размерность в децибелах.

Если эффективно-излучаемая мощность выражена в Ваттах, то напряженность поля в свободном пространстве получится в мкВ/м,

$$E_0 = 7 \cdot 10^3 \sqrt{P_\Sigma} / r, \quad (2.7)$$

или в децибелах

$$E_0 = 76,9 - 20 \lg r + 10 \lg P. \quad (2.8)$$

Расстояние прямой видимости. Между антеннами передающей станции и приемного устройства будет иметь место прямая видимость до тех пор, пока линия визирования АВ (рис.2.4), проходящая через

электрические центры антенн, на всем протяжении идет выше уровня земной поверхности (с учетом высот предметов на местности). Расстояние, при котором линия визирования касается наивысшей точки препятствия, называют *предельным расстоянием прямой видимости* r_0 ; для гладкой сферической земной поверхности, км,

$$r_0 = \sqrt{2a_3} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (2.9)$$

где h_1, h_2 и a_3 - высоты подвеса антенн и эквивалентный радиус Земли, км. Для среднего состояния тропосферы, т.е. при $a_3 = 8500$ км, предельное расстояние, км,

$$r_0 = 4,12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (1.10)$$

где h_1, h_2 - высоты подвеса антенн, м.

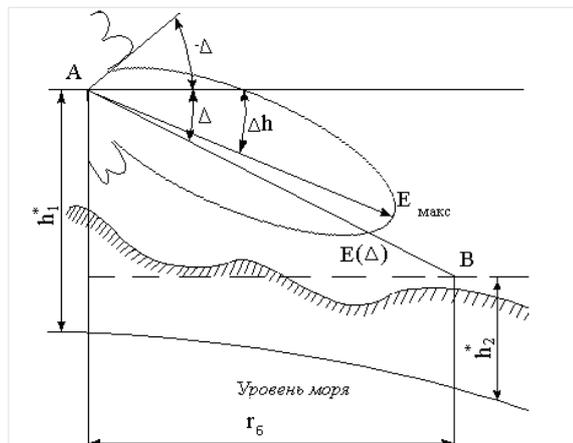


Рис.2.2. Положение диаграммы направленности передающей антенны в вертикальной плоскости (А и В — точки передачи и приема)

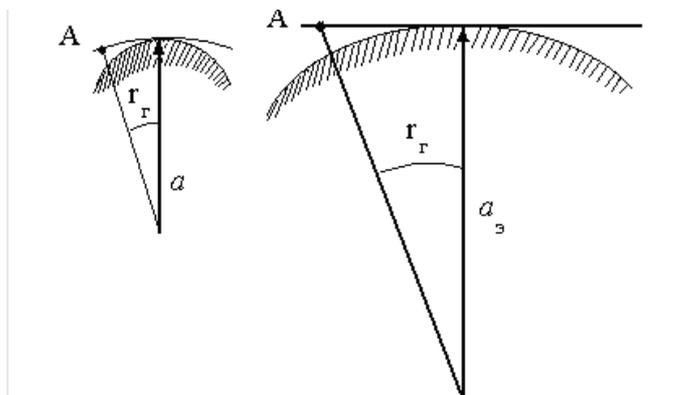


Рис.2.3. К определению эквивалентного радиуса Земли

Угол закрытия антенны (передающей или приемной) γ отсчитывают между горизонтальной плоскостью и направлением на горизонт (рис.2.5). Угол закрытия считают положительным, если вершина препятствия находится выше горизонтальной плоскости и отрицательным, если ниже. Угол закрытия определяют из профиля конечного участка трассы, рад [12]

$$\gamma = (Z_1 - h^*) / 10^3 r_1 - [r_1 / 2a_3], \quad (2.11)$$

где h^* - высота центра антенны над уровнем моря, м; Z_1 - высота препятствия, определяющего закрытие, над уровнем моря, м; r_1 - расстояние от антенны до препятствия, км. Дугу - уровень моря (или условный уровень, лежащий выше или ниже уровня моря) - строят по координатам точки дуги r и Z , Задаваясь разными значениями, r в км, находят $Z = 500 r^2 / a_3$, где r и a_3 - в км.

Эквивалентное расстояние. В расчетах, связанных с распространением радиоволн за пределы прямой видимости вместо истинного расстояния от передатчика до приемника вводят в некоторых случаях эквивалентное расстояние r'_3 , которое позволяет учесть влияние на уровень сигнала рельефа местности и приподнятость трассы над уровнем моря. В случаях, когда трассы расположены на высоте $Z_{\text{мп}} = 0,15 \dots 0,25$ км над уровнем моря эквивалентное расстояние равно, км

$$r'_3 = r'_3 + a_3(\gamma_1 + \gamma_2), \quad (2.12)$$

где γ_1 и γ_2 - углы закрытия передающей и приемной антенны, рад; a_3 - в км.

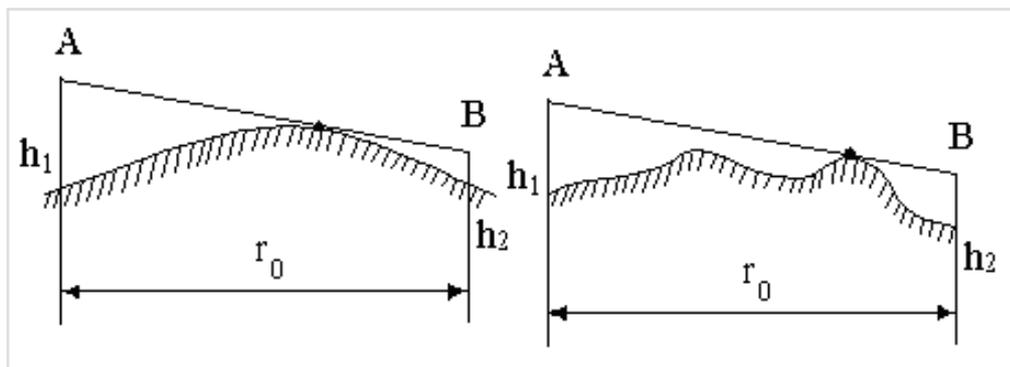


Рис.2.4.К определению расстояния прямой видимости над гладкой и неровной земной поверхностью

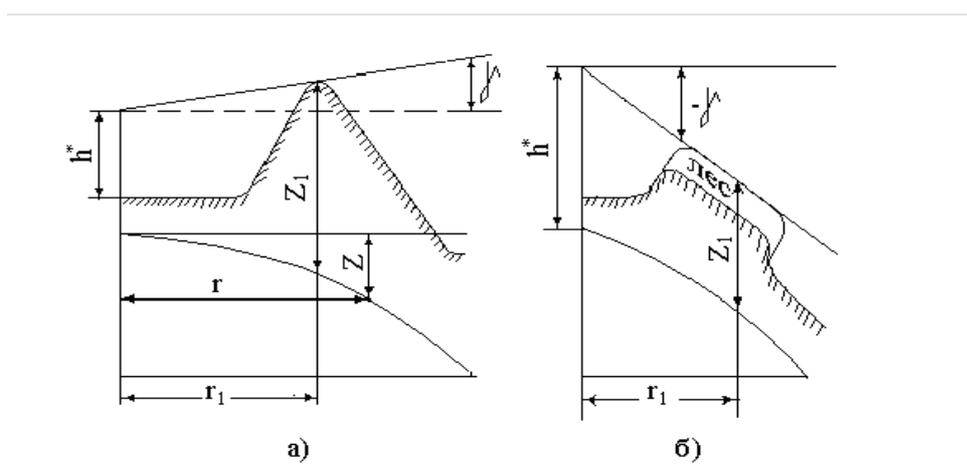


Рис.2.5. Примеры построения профилей конечных участков трассы при углах закрытия (а — положительной; б — отрицательной)

С учетом приподнятости трассы эквивалентная длина трассы, км

$$r_э = r_э' \sqrt{1 + 8a_э(Z_{мп} - 0,2)/(r_э')^2}, \quad (2.13)$$

где все величины подставляются в километрах. Отсюда следует, что на горных трассах эквивалентное расстояние возрастает а на морских уменьшается. Высоту трассы определяют графически из профиля трассы. Графическое определение поясняется рис.2.6. Здесь $Z_{мп}$ - разность высот между точками пересечения касательных к препятствиям AC и BC и линий $A'C'$, $B'C'$, проведенных параллельно касательным; AA' и BB' - высоты подвеса антенн над уровнем моря.

Эквивалентное расстояние целесообразно использовать при углах закрытия не более $1,5^\circ$. Над гладкой сферической земной поверхностью, приподнятой относительно уровня моря на $0,15...0,25$ км, $r_3 = r - r_0$, км.

2.1.2. Расчет напряженности поля

Порядок расчета. На неровной местности в точках приема, удаленных на одинаковое расстояние от передающей станции, напряженность поля сигнала является случайной величиной. Она изменяется от точки к точке вследствие разного экранирующего влияния рельефа и во времени вследствие неустойчивого состояния тропосферы. По этой причине напряженность поля оценивают статистически - по процентам мест (точек) и времени приема. При этом предполагается, что рельеф местности является регулярным, т.е. отдельные неровности (холмы, горы) примерно одинаковы.

Напряженность поля на расстоянии r от передающей станции, превышаемая в L % мест приема и в T % времени [12]

$$E(r, L, T) \geq P_{\Sigma} + E(50, 50) + F(\Delta h) + F(h_2) + \Delta E(L) + \Delta E(T), \text{ дБ}, \quad (2.14)$$

где P_{Σ} - эффективно-излучаемая мощность, дБкВт; $E(50, 50)$ - медианное значение напряженности поля (по 50% мест и времени при высоте подвеса приемных антенн $h_2 = 10$ м, $P_{\Sigma} = 0$ дБ (1кВт); $F(\Delta h)$ и $F(h_2)$ поправочные коэффициенты, учитывающие степень неровности местности и высоту подвеса приемных антенн, дБ; $\Delta E(L)$ и $\Delta E(T)$ - отклонения значений напряженности поля от медианного значения в заданных процентах мест L и времени T приема, дБ.

Предполагаемый метод расчета полуэмпирический. Следует иметь в виду, что расчеты дают правильный результат для достаточно протяженного участка местности, охватывающего всевозможные неровности. Метод

расчета базируется на документах МККР (МСЭ) и ОИРТ [13 – 15], но содержит ряд дополнений и уточнений, введенных на основании результатов экспериментальных исследований.

Оценка неровности местности. Для оценки степени вероятности местности используют параметр Δh , который определяется как разница высот (отметок) местности, превышаемых на 10 и 90% на определенном расстоянии. В документах МККР (Рекомендации 370-4) это расстояние рекомендуется отсчитывать в пределах 10...50 км в направлении от передатчика к точкам приема [13]. В документах ОИРТ [14] его рекомендуют брать в пределах 30...40 км от приближенно предполагаемой границы зоны приема в сторону передающей станции (рис.2.7). Второй подход предпочтителен, поскольку на уровень сигнала гораздо сильнее влияют неровности местности, расположенные перед приемными антеннами. Если радиус зоны приема передающей станции меньше 30 км, то параметр определяется по всему радиусу. На наклонных трассах следует отсчитывать от линии, проходящей через середину неровностей.

Значение Δh удобно найти из статистического распределения высот предметов на местности. Выбор высот должен быть таким, чтобы они охватывали все крупные предметы (детали рельефа). Обычно бывает достаточно взять 30 значений высот через 1 км.

По грубой оценке параметр Δh равен половине среднего значения высот холмов или гор от подошвы до вершины на рассматриваемом участке.

Параметр Δh , м, позволяет ввести условную классификацию типов местности:

| | Δh , м |
|---|----------------|
| Равнинная или водная поверхность | 0...25 |
| Равнинно-холмистая (среднепересеченная) | 25...75 |
| Холмистая (сильнопересеченная)..... | 75...150 |

Гористая150...400
 Очень высокие горы, не менее 400.

Медианное значение напряженности поля. На равнинно-холмистой местности, на расстояниях менее 10 км его определяют по кривым распространения рис.2.8 [15-17]. Здесь и далее, на кривых указана эффективная высота подвеса передающей антенны, измеренная в метрах.

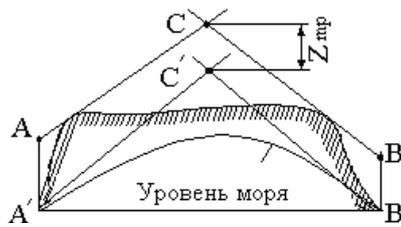


Рис.2.6.К определению высоты трассы над уровнем моря

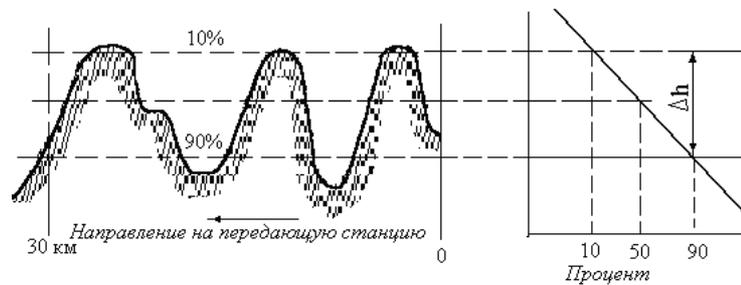


Рис.2.7.К определению параметра, характеризующего степень неровности местности Δh (справа график статистического распределения отметок местности)

На расстояниях свыше 10 км, медианное значение напряженности поля определяется по рис.2.9, 2.10 (Рекомендация 370-4). Данные зависимости получены по результатам многочисленных измерений, проведенных в разных регионах земного шара при $\Delta h = 50$ м. Для значений эффективных высот подвеса передающей антенны 20 и 10 м кривые распространения могут

быть получены с использованием поправочных коэффициентов, соответственно -5дБ и -11 дБ для расстояний 10...25 км. Для расстояний выше 250 км поправку принимают равной нулю. Для промежуточных расстояний 20...250 км поправку находят, используя линейную интерполяцию. Для эффективных высот подвеса антенн передатчика, превышающих 1200м, напряженность поля на расстояния r принимают равной напряженности, определяемой по зависимости для эффективной высоты 300 м на расстоянии $(r+70-4,1\sqrt{h_{1эф}})$, км. Такую экстраполяцию применяют только к загоризонтным расстояниям $r_0 \geq (4,1\sqrt{h_{1эф}} + 70)$ км. Для расстояний $100...r_0$, км, предполагается, что напряженность поля превышает значение для 1200 м на столько же, насколько оно превышает при расстоянии, равном r_0 . Для расстояний меньше 100 км используют интерполяцию, полагая 0 дБ на расстоянии 20 км до значения поля, найденного для 100 км. Это выполняется при условии, что напряженность поля не превышает напряженности поля свободного пространства.

Зависимости напряженности поля от расстояния на рис.2.8-2.10, иногда аппроксимируют с помощью формулы, дБ

$$E(50,50)=B_0 + B_1 \lg r + B_2 (\lg r)^2 \quad (2.15)$$

где B_0 , B_1 и B_2 – коэффициенты, значения которых приведены в табл.2.1 и 2.2 для метрового и дециметрового диапазонов. Эти зависимости можно также аппроксимировать рядом формул. Предварительно вычисляют расстояние прямой видимости $r_0=4,1(\sqrt{h_{1эф}} + \sqrt{10})$ и эквивалентное расстояние $r_3=r-r_0$, км.

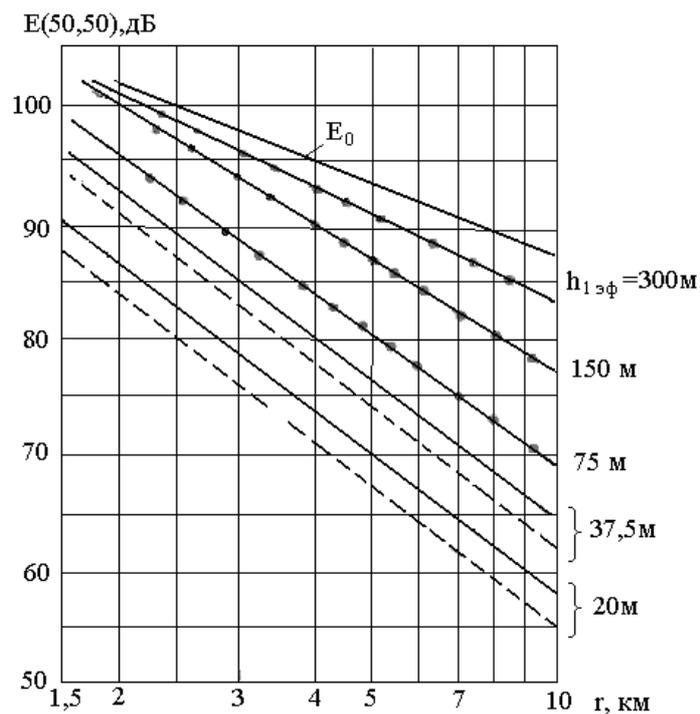


Рис.2.8. Зависимость медианного значения напряженности поля от расстояния на равнинно-холмистой местности (— линии для метрового диапазона, -----для дециметрового диапазона $h_2 = 10$ м, $P_{\Sigma} = 1$ кВт)

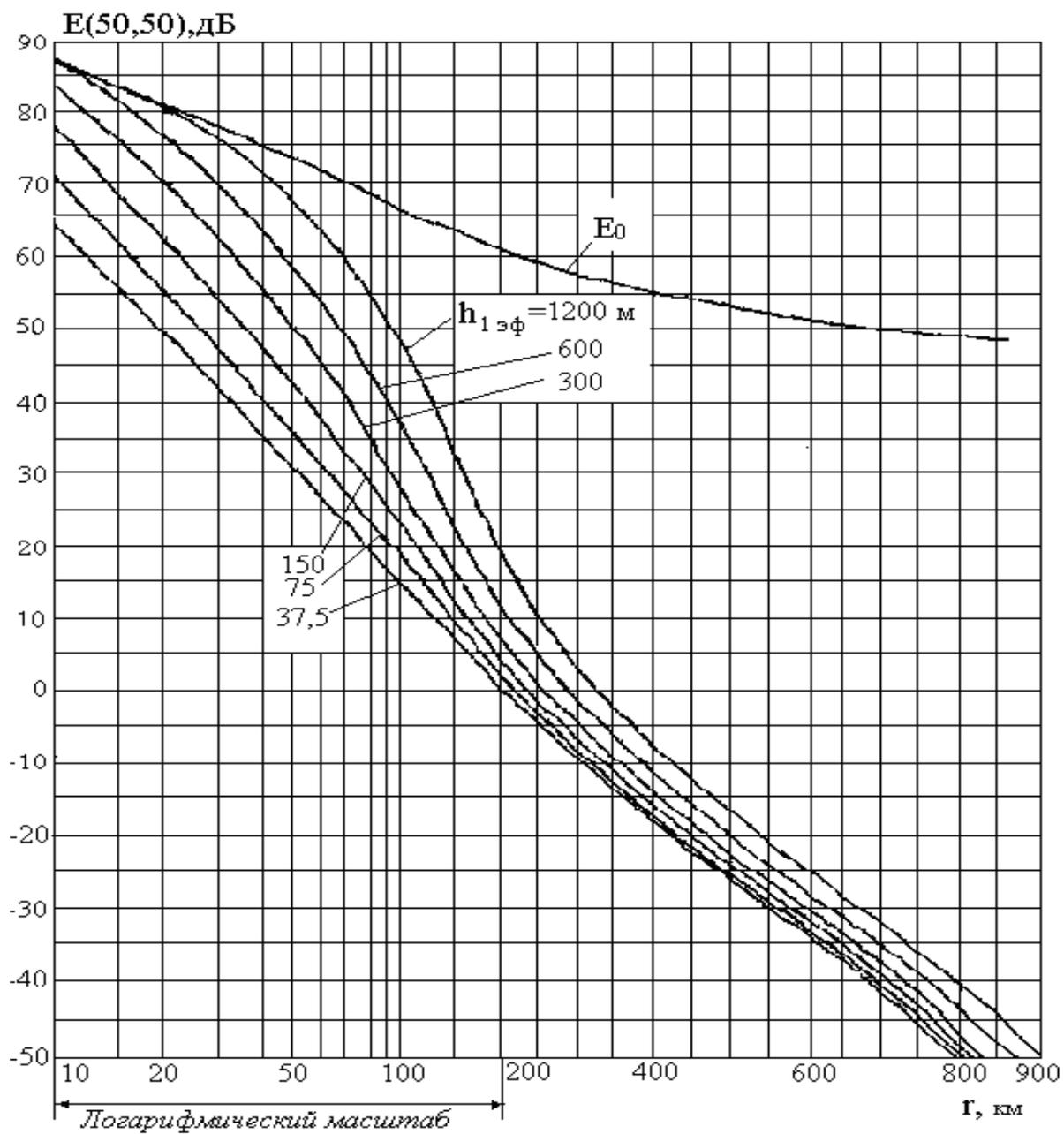


Рис.2.9.Зависимость медианного значения напряженности поля от расстояния
 Равнинно-холмистая местность (I - III ТВ диапазоны, $h_2 = 10$ м, $P_{\Sigma} = 1$ кВт)

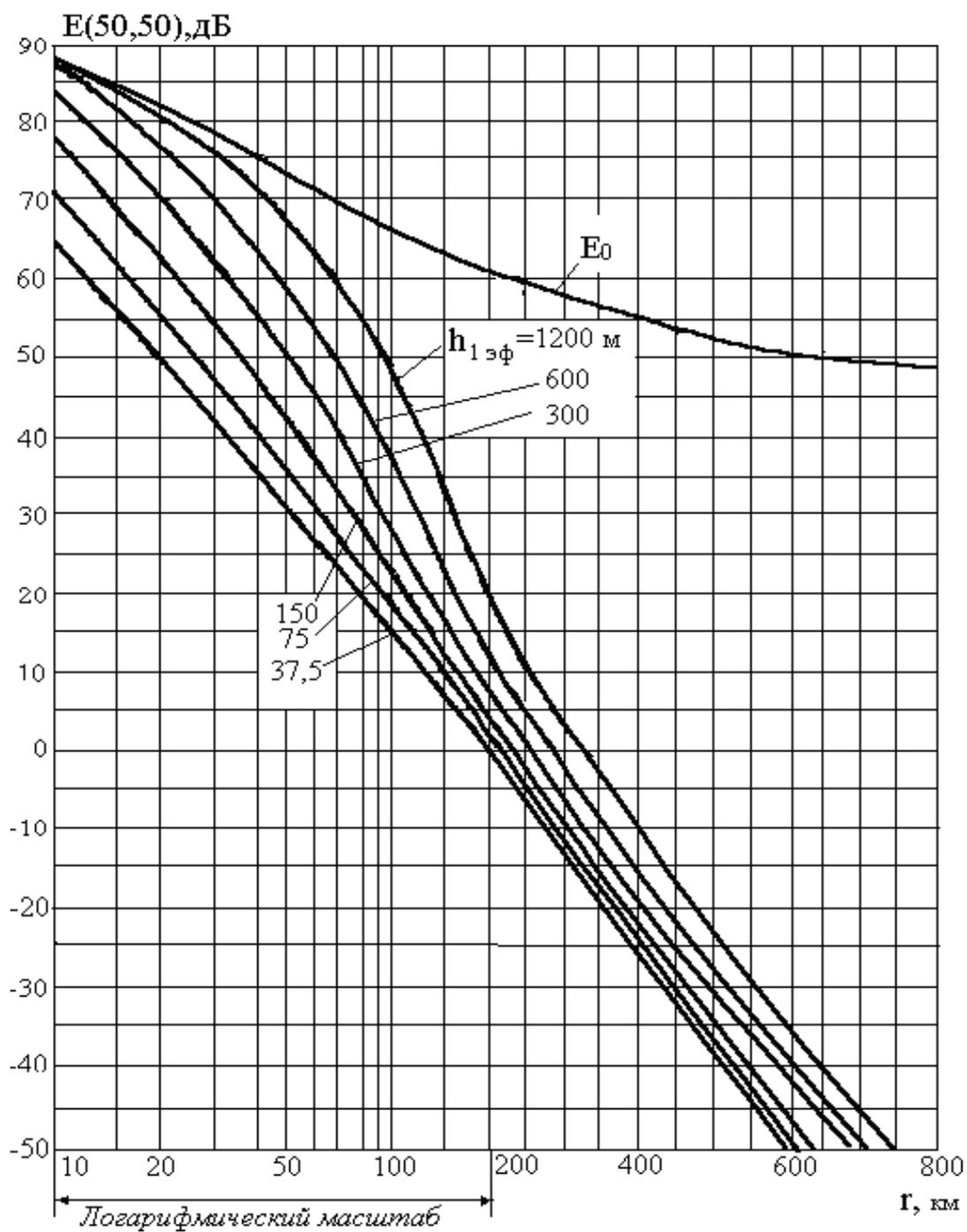


Рис.2.10.Зависимость медианного значения напряженности поля от расстояния

Равнинно-холмистая местность (IV, V ТВ диапазоны; $h_2 = 10$ м, $P_{\Sigma} = 1$ кВт)

Таблица 2.1

Значения коэффициентов B_0 , B_1 и B_2 – для метрового диапазона

| $h_{1эф}$ | $r = 2...100$ км | | | $r = 100...550$ км | | |
|-----------|------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
| | B_0 | B_1 | B_2 | B_0 | B_1 | B_2 |
| 20,0 | 96,14 | -35,39 | -3,64 | -79,89 | 120,10 | -37,16 |
| 37,5 | 100,81 | -32,66 | -5,13 | -45,06 | 96,50 | -33,20 |
| 50,0 | 102,44 | -31,16 | -5,96 | -21,00 | 77,63 | -29,45 |
| 75,0 | 104,99 | -28,73 | -7,10 | 15,79 | 49,68 | -24,08 |
| 100,0 | 105,73 | -24,45 | -9,05 | 34,08 | 35,95 | -21,43 |
| 150,0 | 105,62 | -15,92 | -12,53 | 70,78 | 8,38 | -16,10 |
| 200,0 | 102,6 | -8,16 | -15,2 | 91,28 | -6,44 | -13,34 |
| 250,0 | 99,29 | -0,25 | -17,86 | 111,82 | -21,32 | -10,58 |
| 300,0 | 95,97 | 7,66 | -20,51 | 132,35 | -36,18 | -7,82 |
| 350,0 | 94,03 | 11,02 | -21,34 | 144,29 | -44,37 | -6,37 |
| 400,0 | 92,08 | 14,38 | -22,17 | 156,21 | -52,53 | -4,94 |
| 450,0 | 90,96 | 16,65 | -22,64 | 168,98 | -61,44 | -3,34 |
| 500,0 | 89,68 | 19,09 | -23,17 | 181,69 | -70,31 | -1,75 |

Таблица 2.2

Значения коэффициентов B_0 , B_1 и B_2 – для дециметрового диапазона

| $h_{1эф}$ | $r = 2...100$ км | | | $r = 100...550$ км | | |
|-----------|------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
| | B_0 | B_1 | B_2 | B_0 | B_1 | B_2 |
| 20,0 | 53,00 | -40,07 | -3,74 | -52,92 | 102,30 | -35,71 |
| 37,5 | 105,23 | -40,30 | -3,57 | -38,05 | 92,77 | -34,11 |
| 50,0 | 105,02 | -36,07 | -5,41 | -31,31 | 88,11 | -33,26 |
| 75,0 | 104,97 | -28,83 | -8,53 | -17,17 | 77,96 | -31,34 |
| 100,0 | 104,78 | -21,48 | -11,93 | -9,23 | 72,53 | -30,35 |
| 150,0 | 112,10 | -22,52 | -12,46 | 17,92 | 52,78 | -26,65 |
| 200,0 | 108,81 | -13,51 | -15,67 | 38,62 | 37,54 | -23,75 |
| 250,0 | 105,51 | -4,49 | -18,88 | 59,35 | 22,29 | -20,85 |
| 300,0 | 102,21 | 4,52 | -22,09 | 80,05 | 7,05 | -17,95 |
| 350,0 | 94,89 | 15,80 | -25,67 | 92,19 | -1,31 | -16,47 |
| 400,0 | 88,57 | 25,39 | -28,52 | 104,31 | -9,66 | -14,98 |
| 450,0 | 81,96 | 35,45 | -31,53 | 116,48 | -18,06 | -13,49 |
| 500,0 | 75,92 | 44,76 | -34,33 | 128,85 | -26,56 | -11,99 |

В документах МСЭ и ОИРТ зависимости медианного значения напряженности от расстояния приведены для горизонтальной и вертикальной поляризации. Однако эксперименты показывают, что в области дифракции, т.е. на расстояниях 100...200 км, в лесистой местности, напряженности полей вертикально поляризованных метровых волн оказываются ниже расчетного значения на 12...16 дБ. Медианное значение напряженности поля зависит от климатических условий. Чем климат теплее и влажнее, тем оно оказывается больше. Это относится к трассам, длина которых больше расстояния прямой видимости. Экспериментальные данные, полученные для Западной Европы и Северной Америки показывают, что между медианным значением напряженности поля и градиентом индекса рефракции на первом километре атмосферы имеется корреляционная зависимость. Зависимости медианного значения напряженности поля от расстояния рис.2.8...2.10 относятся к зонам с умеренным климатом, причем $\Delta n = (n_1 - n_3) 10^6 \approx -40$ единиц, где n_3 , n_1 — коэффициенты преломления, измеренные у поверхности Земли и на высоте 1 км. Эффективная высота подвеса передающей антенны, м, для равнинной и равнинно-холмистой местности определяется как высота электрического центра антенны над усредненным уровнем участка земной поверхности 3...15 км в направлении от передающей антенны к точкам приема (рис.2.11.а)

$$h_{1\text{эф}} = \begin{cases} h_1^* - Z_{\text{ср}} & \text{при } h_{1\text{эф}} \geq 10 \text{ м,} \\ 10 \text{ м} & \text{при } h_{1\text{эф}} < 10 \text{ м,} \end{cases} \quad (2.16)$$

где h_1^* — высота подвеса антенны над уровнем моря;

$Z_{\text{ср}}$ — средняя отметка участка 3...15 км, которая может быть определена по среднеарифметическим значениям отметок всех впадин и возвышенностей.

Для холмистой и горной местности эффективная высота подвеса передающей антенны определяется аналогично, но Z_{CP} целесообразно определять на участке 3...30 км.

Если точки передачи и приема находятся на наклонном вверх или вниз участке местности, то эффективную высоту подвеса передающей антенны определяют между наклонной линией, проведенной через середину неровностей местности, и параллельной ей линией, проведенной через центр антенны (рис.2.11).

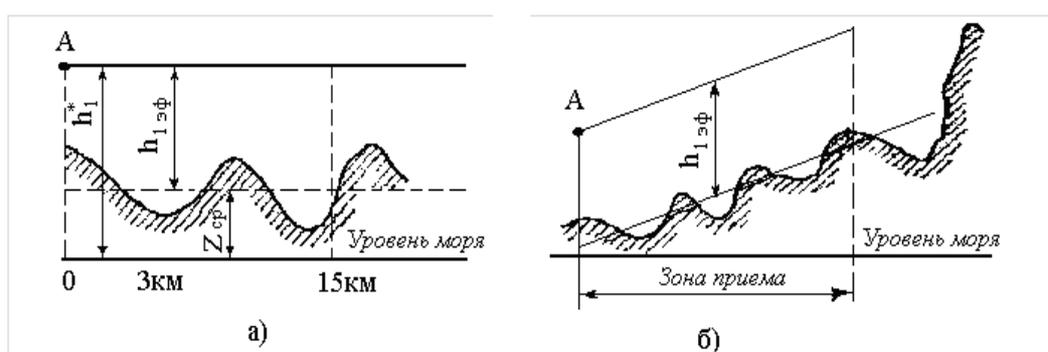
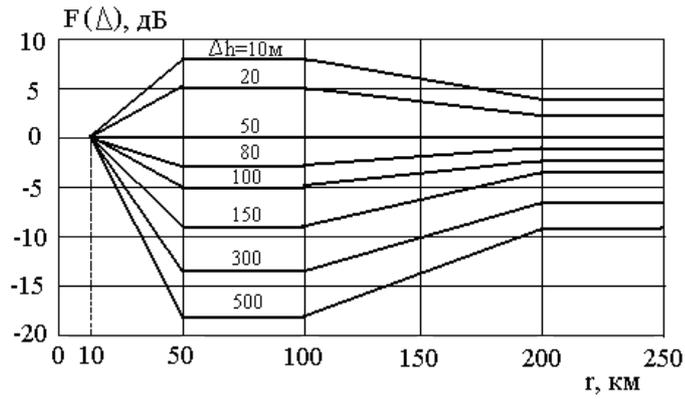
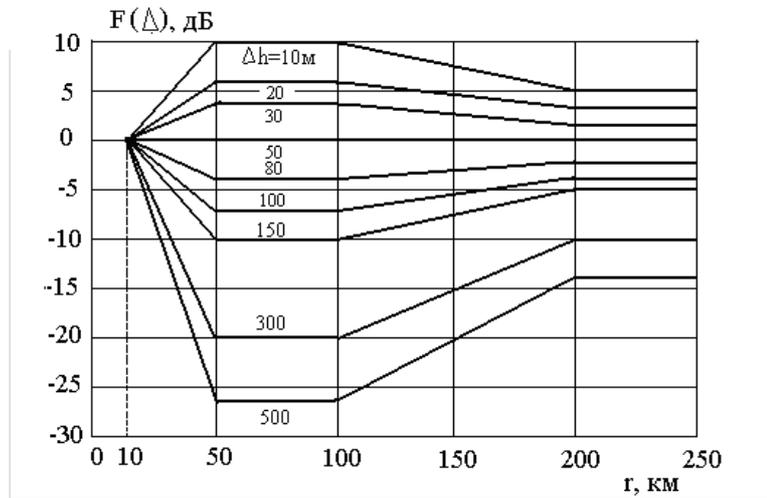


Рис.2.11. К определению эффективной высоты подвеса передающей антенны на местности (а - средняя высота которой одинакова; б - на наклонной местности)

Поправочный коэффициент, учитывающий неровность местности (поправка) можно определить по графикам рис.2.12 и 2.13. Графики показывают, что с увеличением высот неровностей медианное значение напряженности поля уменьшается, а при переходе от равнинно-холмистой местности к равнинной возрастает [17]. Наибольшее изменение поля имеет место на расстоянии 50...100 км от антенны. Для расстояний свыше 200 км поправочный коэффициент в 2 раза меньше, чем на расстоянии 50...100 км. Зависит коэффициент от частоты в дециметровом диапазоне его значение больше, чем в метровом.



а)



б)

Рис.2.12. Графики для определения поправочного коэффициента на неровность местности

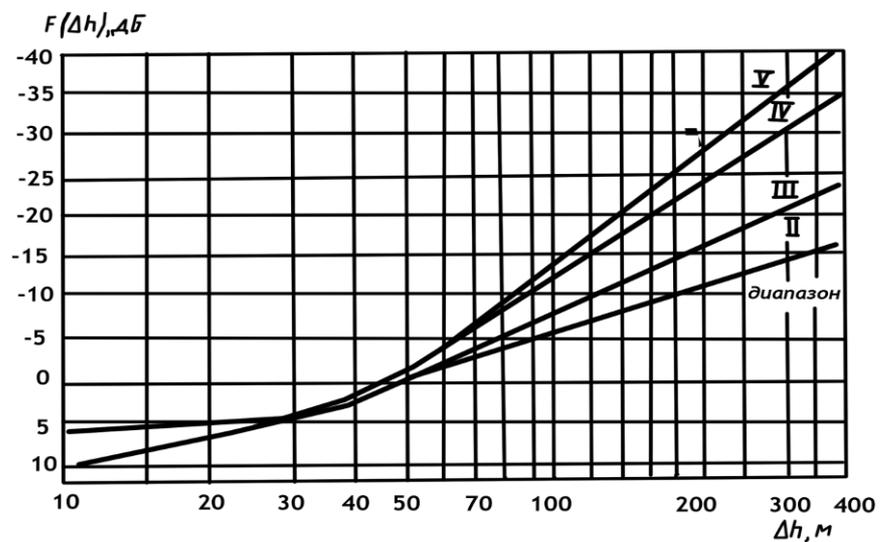


Рис.2.13. Графики для определения поправочного коэффициента на неровность местности по МСЭ для ТВ диапазонов волн (а — II, III; б—IV, V)

На основании новых экспериментальных данных, полученных в горной и холмистой местностях, установлено, что поправочный коэффициент интервала расстояний от антенны 20...100 км такой же, как и для интервала 50...100 км. Коэффициенты χ_1 и χ_2 определяют в зависимости от диапазона частот

| ТВ диапазон частот | I | II | III | IV | V |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| χ_1 | 18,6 | 20,6 | 25,7 | 38,5 | 45 |
| χ_2 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |

Для горной местности поправочный коэффициент определен для мест приема, расположенных в долинах ниже средней высоты гор. Следует проявлять осторожность при оценке поправочного коэффициента на местности, где $\Delta h > 300$ м, поскольку рельеф такой местности не всегда является регулярным, если пункты приема расположены на вершинах возвышенностей, поправкой можно пренебречь. Расстояния, для поправочного коэффициента выбраны неудачно. Это видно из того, что при расчетах возможны случаи, когда на участке 100...200 км напряженность поля с увеличением расстояния остается неизменной или даже возрастает. Целесообразно вводить графическую корректировку, при которой поле спадает плавно при увеличении расстояния.

Поправочный коэффициент на высоту подвеса приемных антенн для 50% мест приема необходимо рассчитывать при высоте подвеса антенн $h_2 \neq 10$ м. В (Рекомендации 370-4) указывается, что на равнинно-холмистой местности в дециметровом диапазоне снижение высоты подвеса антенн с 10 до 3 м приводит к уменьшению медианного значения напряженности поля на 6 дБ, если расстояние от мест приема до передающей станции не превышает 50 км. Для расстояний свыше 100 км значение поправочного коэффициента берется в 2 раза меньше. С увеличением степени неровности местности его значение также уменьшается. Для горной местности он равен нулю.

Результаты экспериментов показывают, что и дециметровом диапазоне для всех параметров Δh значение поправочного коэффициента в среднем больше на 1 дБ по сравнению с данными Рекомендации 370-4. На равнинно-холмистой местности он одинаков для всех диапазонов. В метровом диапазоне зависимость коэффициента от степени неровности местности сравнительно слабая (рис.2.14, кривая 1). В пределах зоны обслуживания радиопередающей станции (зона обслуживания примерно равна расстоянию прямой видимости) он не зависит от расстояния и может быть определен по формуле или рис.2.14

$$F(h_2) = C \lg(\Delta h - 50) - 7, \quad (2.17)$$

где $C = 2,6; 6$ для метрового и дециметрового диапазонов волн.

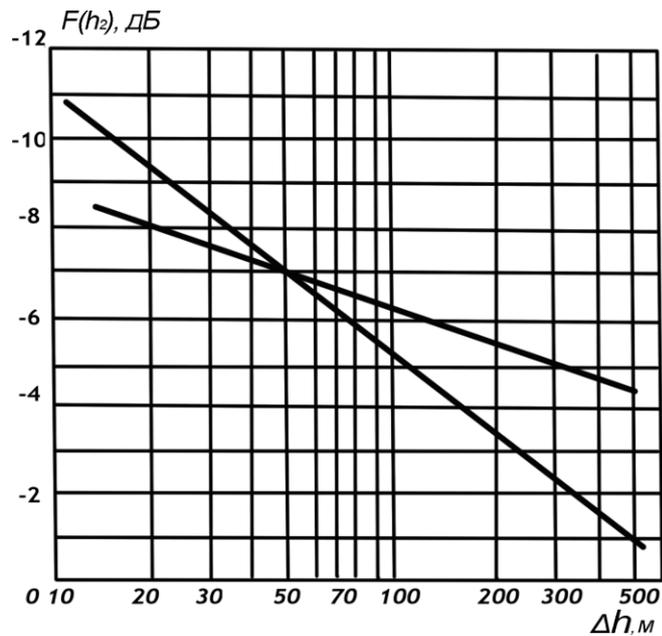


Рис.2.14. Зависимость поправочного коэффициента на высоту подвеса приемной антенны при ее снижении с 10 до 3 м от степени неровности местности для диапазонов волн (1 — метровых; 2 — дециметровых)

При высоте подвеса приемных антенн более 10м на равнинно-холмистой местности, вблизи границы зоны обслуживания поправочный коэффициент, дБ,

$$F(h_2) = (4 \lg f + 10)(\lg h_2 - 1) \quad (2.18)$$

где f - частота, МГц, причем $10 \leq h_2 \leq 30$ м.

На расстояниях 200...1000 км от передающей станции с антеннами, поднятыми над землей на высоту h_2 так, что виден горизонт (например, на склоне горы), независимо от частоты, поправочный коэффициент, дБ,

$$F(h_2) = 0,5 \left(\sqrt{h_2} - \sqrt{10} \right), \quad (2.19)$$

где $10 \leq h_2 \leq 100$ м.

Отклонение значения напряженности поля от медианного в заданном проценте времени $E(T)$ в ряде случаев может быть определено по кривым, приведенным Рекомендации 370-4. Некоторые из таких кривых приведены на рис.2.15...2.17. Для любого процента времени и в более удобной форме расчеты можно провести приближенно, полагая, что в точках приема в пределах, по крайней мере, 1...99% времени годовое статистическое распределение напряженности поля аппроксимируется логарифмически-нормальным законом. На этом основании отклонение напряженности поля в заданном проценте времени, дБ,

$$\Delta E(T) = \sigma_T K(T), \quad (2.20)$$

где σ_T — стандартное отклонение временного распределения, дБ;

K_T — безразмерная величина, распределенная по логарифмически-нормальному закону с нулевой медианой и стандартным отклонением, равным единице. Величину $K(T)$ определяют по графику рис.2.15, в зависимости от заданного процента времени. График построен с помощью табулированного интеграла Гаусса, %

$$P(K > K') = \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K'} \exp\left(-\frac{K^2}{2}\right) dK \right] 100. \quad (2.21)$$

Стандартное отклонение временного распределения, дБ, в метровом и дециметровом диапазонах волн для точек приема, расположенных на расстояниях менее 100 км от радиопередающей станции [18]

$$\sigma_T = 6,5[1 - \exp(-0,036r)] . \quad (2.22)$$

Отклонение значений напряженности поля от медианного в заданном проценте мест приема. В соответствии с результатами опытов в расчетах принимают, что статистическое распределение напряженности поля по местоположению приближенно аппроксимируется логарифмически - нормальным законом. Отклонение напряженности поля, дБ, в заданном проценте мест приема

$$\Delta E(L) = \sigma_L K(L), \quad (2.23)$$

где σ_L – стандартное отклонение распределения напряженности поля по местоположению, дБ; $K(L)$ - безразмерная величина, определяемая по рис.2.15 или с помощью интеграла Гаусса.

Считается, что распределения напряженности поля во времени и по местоположению взаимно независимы, но это не строго, так как влияние рельефа проявляется по-разному в зависимости от условий рефракции.

Стандартное отклонение распределения напряженности поля по местоположению согласно Рекомендации 370-4 зависит от степени неровности местности и диапазона частот. Зависимость от расстояния исключается. Для равнинно-холмистой местности, в метровом диапазоне волн дается значение $\sigma_L = 8,2$ дБ, а в дециметровом диапазоне 9,3 дБ. Для холмистой и гористой местности в метровом диапазоне данных нет, а в дециметровом диапазоне они ограничены (при $\Delta h = 150, 300$ м $\sigma_L = 13,3$ и 16 дБ). Экспериментальные исследования, проведенные для многих районов, показывают, что для расстояний свыше 10 км значения стандартного отклонения можно определить из рис.2.17 или формулам, дБ:

для метрового диапазона волн

$$\sigma_L = 6,3 \lg(\Delta h/50) + 7 \quad (2.24)$$

для дециметрового диапазона волн

$$\sigma_L = 9,5 \lg(\Delta h/50) + 9 \quad (2.25)$$

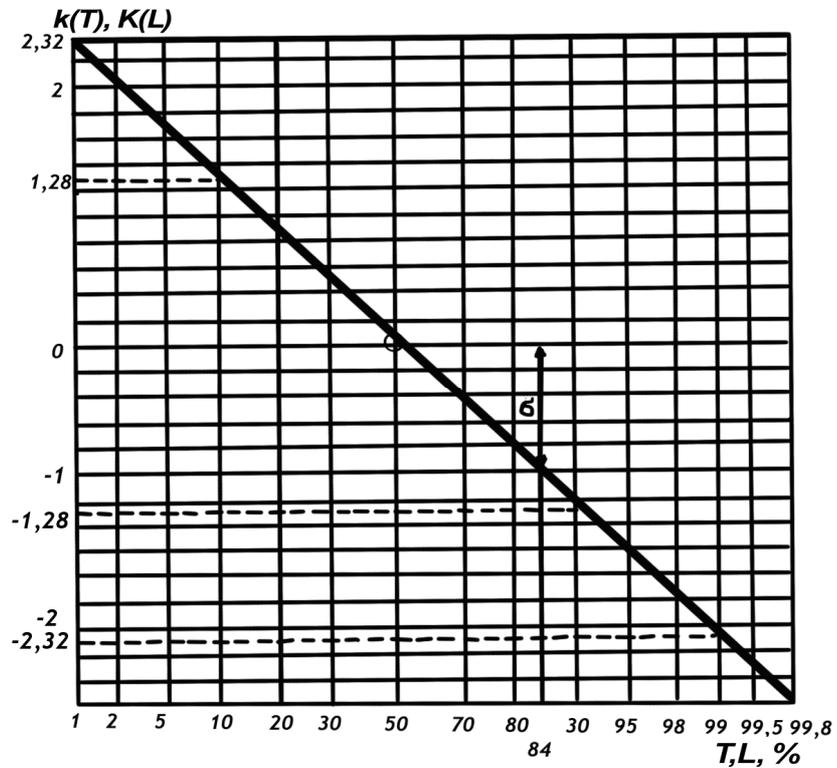


Рис.2.15. График нормированного логарифмически-нормального закона

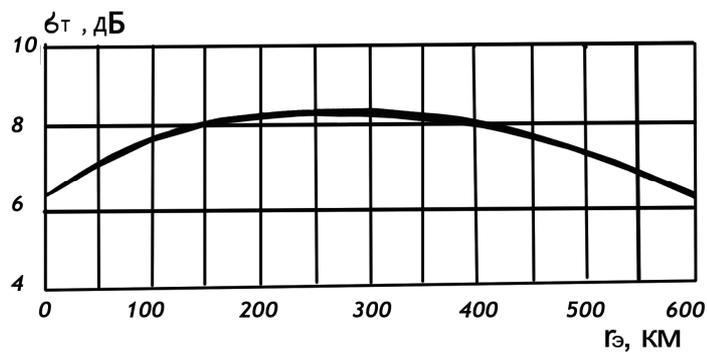


Рис.2.16. Зависимость стандартного отклонения временного распределения напряженности поля от эквивалентного расстояния.

На расстояниях менее 10 км значения стандартного отклонения на равнинно-холмистой местности в диапазоне дециметровых волн следующие:

Расстояние, км . 1 3 5 10

σ_L , дБ . . . 5 7 8 9

В диапазоне метровых волн эти значения будут меньше примерно на 2 дБ. *Напряженности поля, измеренные для городов, расположенных в зоне обслуживания радиопередающих ТВ станций, рассчитывают по (2.15), но с учетом следующих условий. При высоте подвеса приемных антенн 10 м медиана напряженности поля оказывается меньше, чем на такой же местности свободной от строений. Поэтому в (2.15) следует ввести коэффициент $F(S)$, учитывающий дополнительное ослабление, зависящий от плотности застройки города S и характера расположения зданий. Высота строений и строительный материал оказывают сравнительно небольшое влияние.*

Плотность застройки города (или квартала) определяют по плану как отношение застроенной части к общей площади (рис.2.20).

Из рис.2.19 видно, что дополнительное ослабление $F(S)$ для дециметрового диапазона волн [19] изменяется в больших пределах. В частности, для большого города его значение составляет 10...15 дБ, в диапазоне метровых волн оно получается меньше примерно на 5 дБ. Дополнительное ослабление уменьшается по мере удаления точек приема от передающей станции (рис.2.23). Для крупных городов уменьшение высоты подвеса приемных антенн с 10 до 3 м приводит к уменьшению медианного значения напряженности поля на 7...9 дБ на частотах 100...1000 МГц. При высоте подвеса антенны менее 5 м влияние частоты и окружающей среды становится незначительным. В широком диапазоне частот уменьшение высоты подвеса антенн с 3 до 1,5 м приводит к уменьшению напряженности поля сигнала еще на 3 дБ. При подъеме антенн выше 10 м отмечается резкое возрастание сигнала. Поправочный коэффициент, дБ, для медианного значения напряженности поля при $h_2 > 10$ м

$$F(h_2) \approx \omega(lgh_2 - 1) \quad (2.26)$$

где ω — постоянная величина: в дециметровом диапазоне $\omega=40$, для кварталов с традиционной застройкой $\omega=48$. Таким образом, приближенно можно считать, что в дециметровом диапазоне зависимости напряженности от расстояния для равнинно-холмистой местности (см. рис.2.8; 2.10) пригодны для городов, если антенны установлены на крышах 6...7-этажных зданий ($h_2 \approx 20$ м).

Распределение напряженности поля для города аппроксимируется логарифмически нормальным законом. Стандартное отклонение этого распределения зависит существенно от высоты установки приемных антенн. В центральных районах города с современной застройкой при высоте 10 м в дециметровом диапазоне $\sigma_L \approx 10$ дБ, при смешанной застройке новыми и старыми зданиями около 8 дБ. Такое же значение стандартного отклонения отмечается в пригороде с одноэтажными зданиями. По мере увеличения высоты подвеса антенны оно уменьшается, при высоте подвеса примерно 30 м - $\sigma_L \approx 7$ дБ, при высоте подвеса 50 м - около 3,5 дБ.

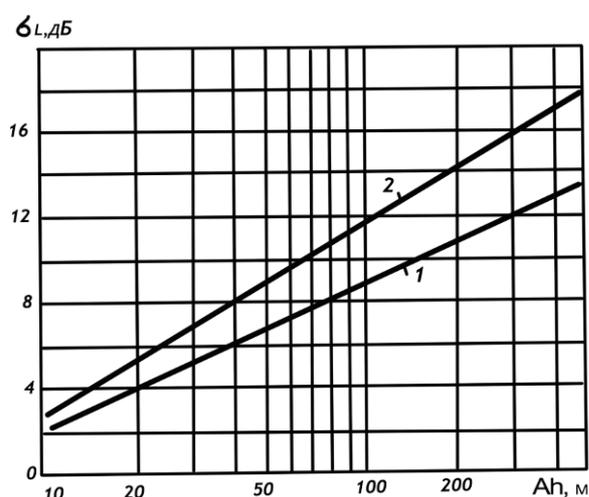


Рис.2.17. Зависимость стандартного отклонения местностного распределения напряженности поля от степени неровности местности для диапазонов волн (1 - метровых; 2 - дециметровых)

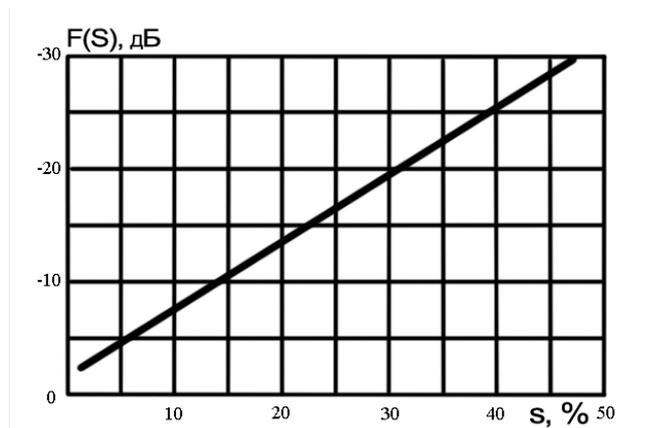


Рис.2.18. Зависимость дополнительного ослабления напряженности поля в городе от плотности застройки (дециметровый диапазон волн $r = 1 \dots 10$ км, $h_2 = 10$ м)

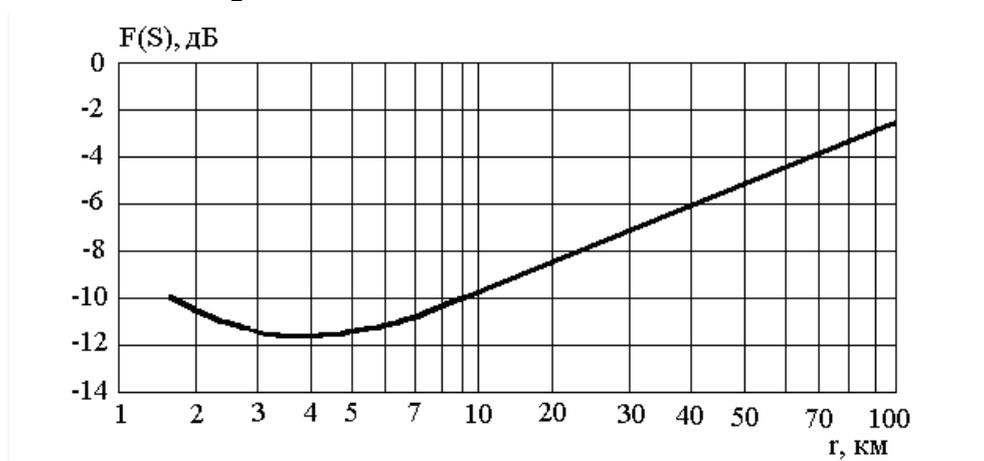


Рис.2.19. Зависимость дополнительного ослабления в городских кварталах с современной застройкой от расстояния до радиопередающей станции ($h_2=10$ м дециметровый диапазон)

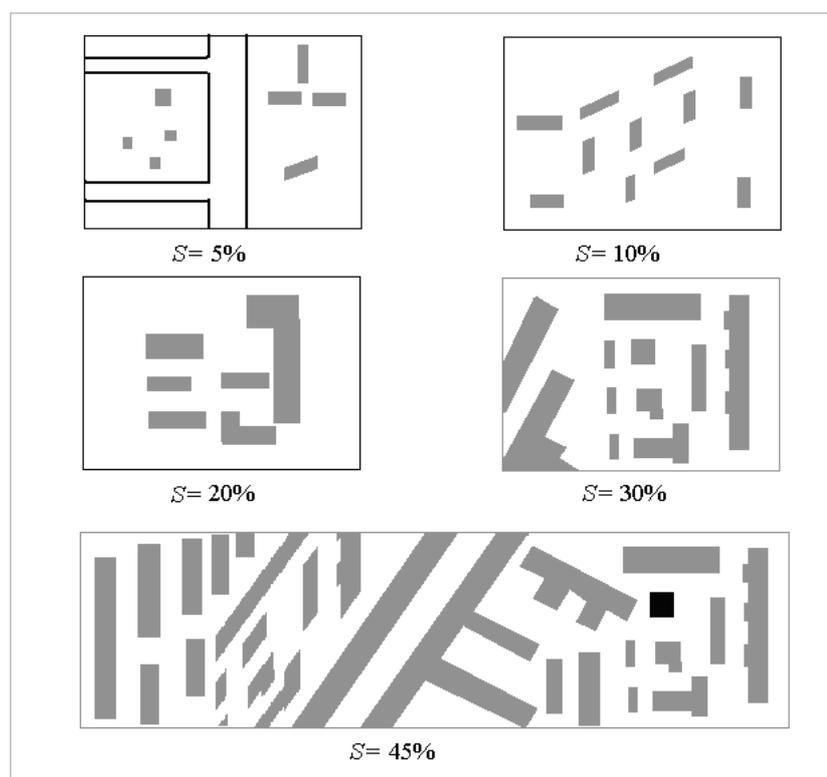


Рис.2.20. Примеры плотности застройки города

2.2.Методика прогнозирования напряженности поля для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц (рекомендации МСЭ-R P.1546-4)

В настоящей Рекомендации [20] содержится описание метода прогнозирования распространения радиоволн для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц. Она предназначена для использования в линиях радиосвязи в условиях тропосферы над сухопутными трассами, длиной от 1 до 1000 км для

эффективной высоты подвеса передающей антенны менее 3000 м. Этот метод основан на интерполяции/экстраполяции по полученным эмпирическим путем кривым напряженности поля как функциям от расстояния, высоты подвеса антенны, частоты и процента времени.

2.2.1. Введение

1. Кривые распространения. Кривые распространения, приведенные в разделе 2.2.2, представляют значения напряженности поля для эффективной излучаемой мощности (ЭИМ) 1 кВт на номинальных частотах 100, 600 и 2000 МГц, соответственно, в зависимости от различных параметров. Для получения значения напряженности поля для любой заданной частоты следует использовать интерполяцию или экстраполяцию значений, полученных для этих номинальных частот, по методу, приведенному в п.6 раздела 2.2.3.

Эти кривые основаны на данных измерений, относящихся главным образом к средним климатическим условиям в регионах с умеренным климатом. Кривые для сухопутных трасс построены на основе данных, полученных главным образом в условиях умеренного климата. Настоящая Рекомендация не предназначена для конкретной поляризации.

2. Максимальная напряженность поля. Кривые дают верхние пределы возможных значений напряженности поля, которая может быть получена в любых условиях. Эти пределы определены в п.2 раздела 2.2.3 и показаны пунктирными линиями на графиках, приведенных в разделе 2.2.2.

3. Компьютерные таблицы. Хотя значения напряженности поля можно непосредственно считать по кривым, представленным на рисунках в разделе 2.2.2 настоящей Рекомендации, для реализации этого метода с применением компьютера предполагается использовать таблицы напряженности поля, которые можно получить в Бюро радиосвязи на вебсайте МСЭ-R, который относится к 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи

4. Пошаговый метод. Подробная пошаговая процедура, которая должна использоваться при применении настоящей Рекомендации, приведена в разделе 2.2.4.

5. Обозначение антенн. В настоящей Рекомендации термин "передающая/базовая антенна" применяется одновременно для обозначения передающей антенны, используемой в

радиовещательной службе, и антенны базовой станции, используемой в наземных подвижных службах. Аналогичным образом термин "приемная/подвижная антенна" применяется для обозначения приемной антенны, используемой в радиовещательной службе, и антенны подвижной станции, используемой в наземных подвижных службах. С более подробной информацией, касающейся обозначения терминалов можно ознакомиться в п.1.1 раздела 2.2.3.

6.Высота подвеса передающей/базовой антенны. В этом методе учитывается эффективная высота передающей/базовой антенны, которая соответствует высоте антенны над высотой рельефа местности, усредненной для расстояний в диапазоне от 3 до 15 км в направлении приемной/подвижной антенны. Для сухопутных трасс короче 15 км, если имеются соответствующие данные, в этом методе также учитывается высота передающей/базовой антенны над высотой репрезентативных местных препятствий (то есть наземного покрова) в месте нахождения передающей/базовой станции. Высоту передающей или базовой антенны h_1 для расчетов получают с помощью метода, приведенного в п.3 раздела 2.2.3.

7.Использованная для кривых высоты подвеса передающей/базовой антенны. Кривые зависимости напряженности поля от расстояния и соответствующие таблицы приведены для значений h_1 : 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 и 1200 м. Для любых значений h_1 в диапазоне от 10 до 3000 м следует использовать интерполяцию или экстраполяцию по соответствующим двум кривым, как описано в п.4.1 раздела 2.2.3. Экстраполяция, используемая для h_1 менее 10 м, приведена в п.4.2 раздела 2.2.3. Значения h_1 могут быть отрицательными, и в этом случае следует использовать метод, приведенный в п.4.3 раздела 2.2.3.

8.Изменчивость во времени. Кривые распространения представляют значения напряженности поля, превышаемые в течение 50%, 10% и 1% времени. Метод интерполяции между этими значениями приведен в п.7 раздела 2.2.3. Настоящая Рекомендация не действительна для значений напряженности поля, превышаемых в течение процентов времени за пределами диапазона от 1% до 50%.

9.Метод для смешанных трасс. Если трасса радиосигнала проходит одновременно над сушей и морем, то оценку напряженности поля для смешанной трассы необходимо проводить по методу, приведенному в п.8 раздела 2.2.3.

10.Высота подвеса приемной/подвижной антенны. Для сухопутных трасс кривые

представляют значения напряженности поля при высоте приемной/подвижной антенны над землей h_2 (м), равной репрезентативной высоте наземного покрова вокруг места расположения приемной/подвижной антенны. Минимальная репрезентативная высота наземного покрова составляет 10 м. Чтобы получить значения для величин h_2 , отличающихся от представленных на кривых, следует применять поправку в соответствии со средой вокруг приемной/подвижной антенны. Метод расчета этой поправки приведен в п. 9 раздела 2.2.3.

11.Изменчивость в зависимости от места. Кривые распространения представляют значения напряженности поля, превышаемые в 50% мест в пределах зоны, как правило, размером 500 м на 500 м. Более подробно изменчивость в зависимости от места и метод расчета поправки, требующейся для процентов мест, отличных от 50%, приведены в п.12 раздела 2.2.3.

12.Эквивалентные базовые потери при передаче. В п.14 раздела 2.2.3 приведен метод пересчета напряженности поля при ЭИМ 1 кВт в эквивалентные базовые потери при передаче.

13.Соответствие с методом Окумура-Хата. В разделе 2.2.5 приведены уравнения Хата для прогнозирования напряженности поля подвижных служб в городских районах и описаны условия, при которых настоящая Рекомендация дает сходные результаты.

Поскольку мы рассматриваем вопросы, связанные с цифровым телевидением, остановимся на диапазоне 300МГц...1000 МГц.

2.2.2.Диапазон частот от 300 МГц до 1000 МГц

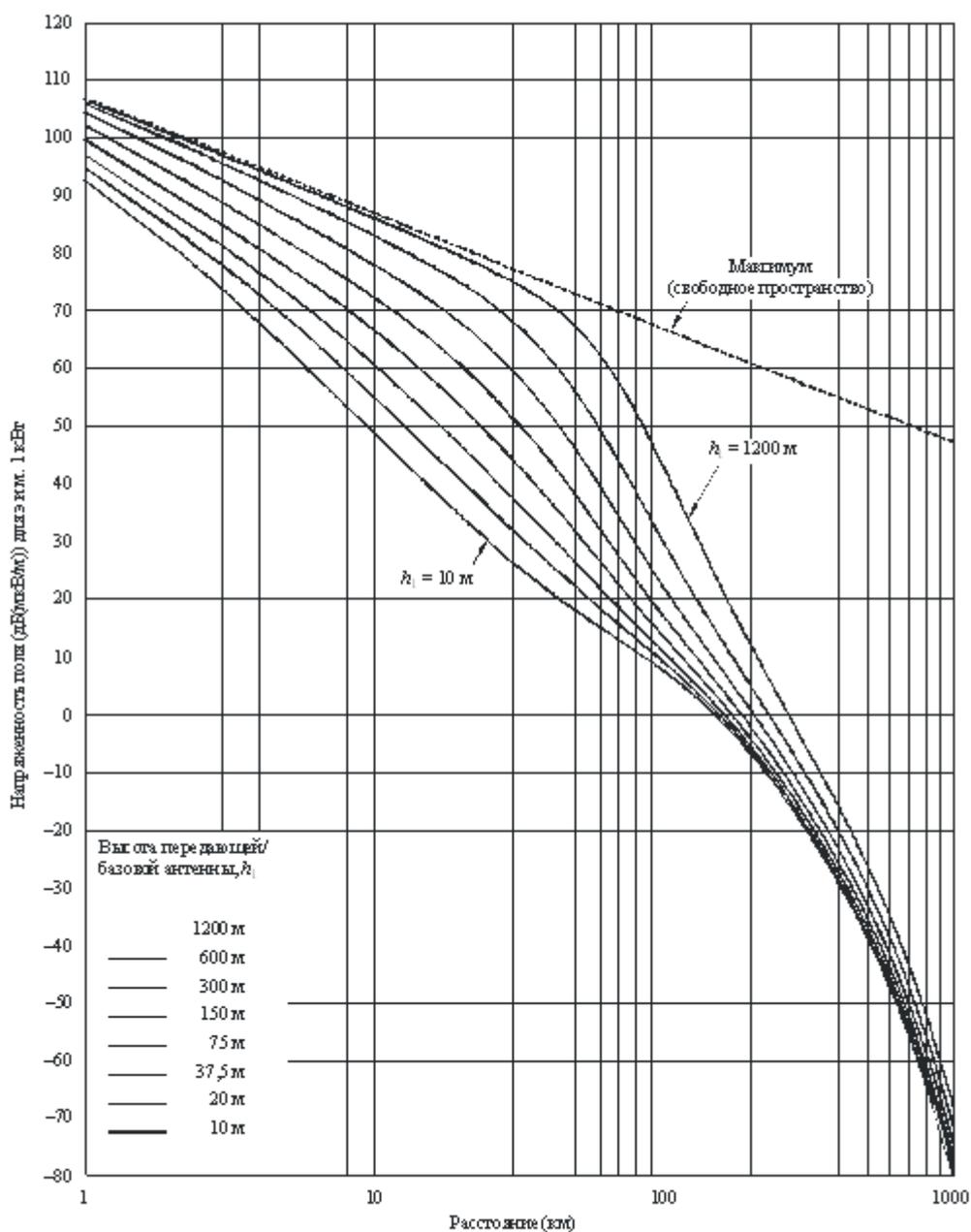
1.Кривые зависимости напряженности поля от расстояния в настоящем Приложении приведены для частоты 600 МГц. Их можно применять для частот в диапазоне от 300 МГц до 1000 МГц, но при этом для повышения точности следует использовать процедуру, описанную в п.6 раздела 2.2.3. Ту же процедуру необходимо использовать и для табулированных значений зависимости напряженности поля от расстояния (см. п.3 раздела 2.2.1).

2.Кривые на рисунках 2.21 – 2.23 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50 % мест в пределах любой зоны

размером приблизительно 500 м на 500 м и в течение 50%, 10% и 1% времени для сухопутных трасс.

3. Распределение напряженности поля в зависимости от процента мест можно рассчитать по данным, приведенным в п.12 раздела 2.2.3.

600 МГц, сухопутных трасса, 50% времени



50% мест

λ_1 : репрезентативная высота местного препятствия

1546-09

Рисунок 2.21. Кривые МСЭ

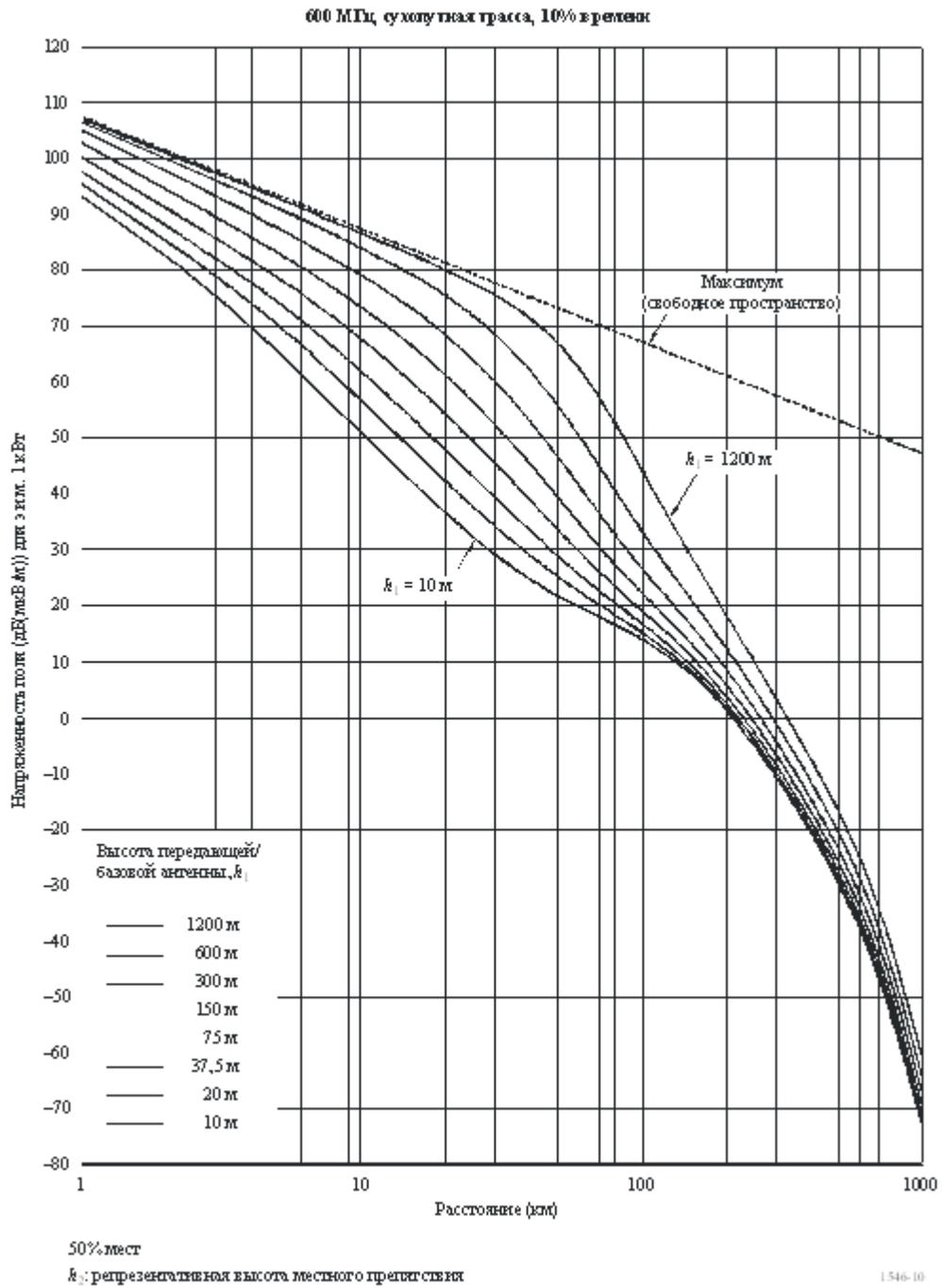


Рисунок 2.22. Кривые МСЭ

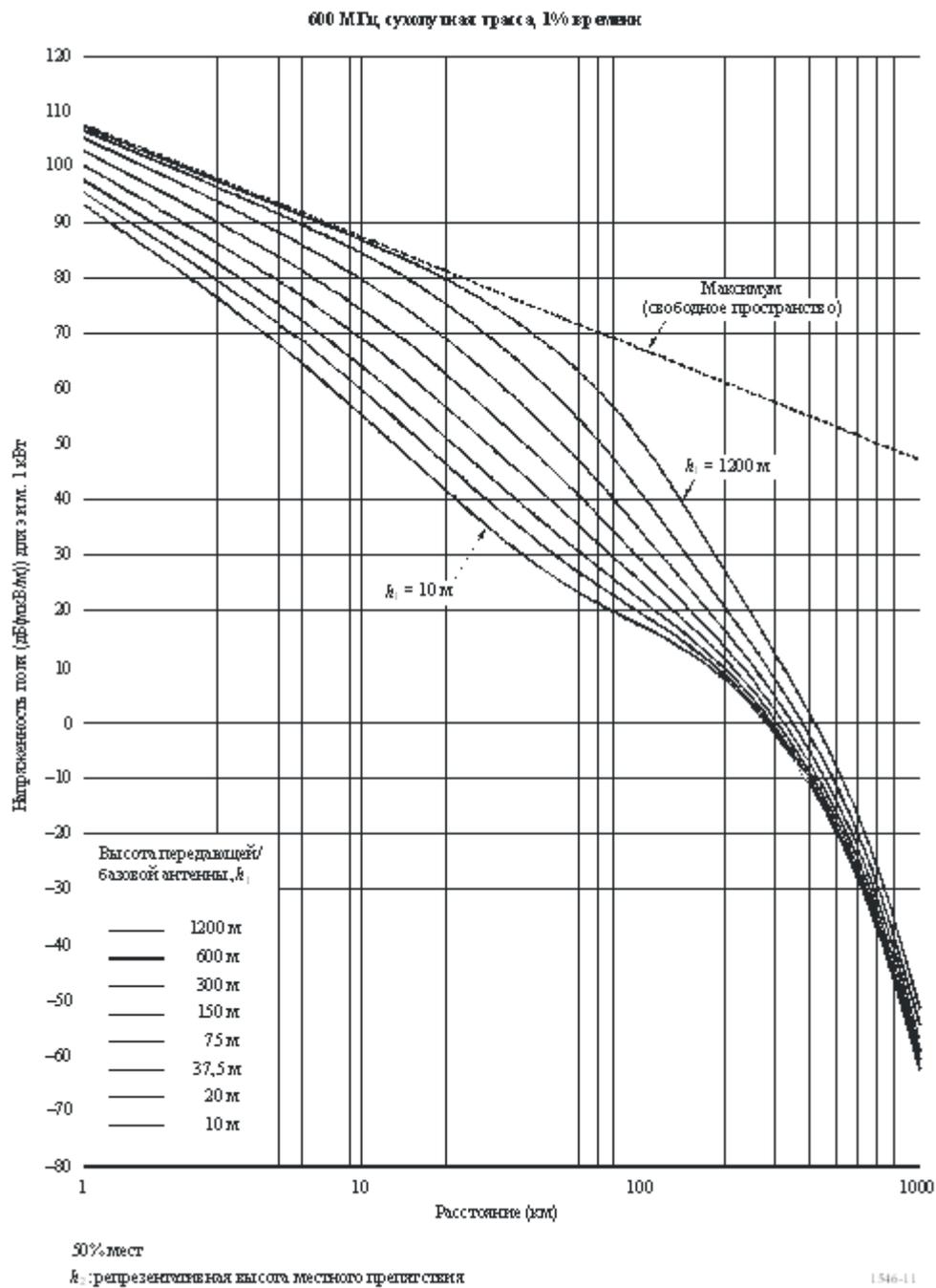


Рисунок 2.23. Кривые МСЭ

2.2.3.Дополнительная информация и методы для реализации метода прогнозирования

В настоящем разделе описываются отдельные стадии расчетов. Последовательное описание всех шагов метода приводится в разделе 2.2.4 [20].

В пп.2–7 настоящего раздела описываются методы получения напряженности поля из семейства кривых с помощью интерполяции для расстояния, h_1 , частоты и процента времени. В пп.8–12 даются поправки, которые можно добавлять для повышения точности к прогнозируемому уровню напряженности поля.

1.*Обозначения терминалов.* Обозначения передающей/базовой станции и приемной(ого)/подвижной(ого) станции/терминала в настоящей Рекомендации не эквивалентны. Настоящая Рекомендация предназначена главным образом для радиовещательных и подвижных служб, в которых передающая/базовая антенна расположена выше уровня местных препятствий. Если данная Рекомендация используется для расчета зоны покрытия или для координации радиовещательных и/или базовых и подвижных станций, то существующая передающая/базовая станция должна рассматриваться в качестве "передающей/базовой".

2.*Максимальные значения напряженности поля.* Напряженность поля не должна превышать максимального значения E_{max} , которое определяется следующим образом

$$E_{max} = E_{fs}, \text{ дБ(мкВ/м)}, \quad (2.27)$$

где E_{fs} – напряженность поля в свободном пространства для ЭИМ 1 кВт, определяемая как

$$E_{fs} = 106,9 - 20 \lg(r), \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (2.28)$$

где r - расстояние (км).

3.Определение высоты подвеса передающей/базовой антенны h_1 . Используемая в расчетах высота передающей/базовой антенны, h_1 , зависит от типа и длины трасса и от различных элементов данных о высоте, которые не всегда имеются.

Для сухопутных трасс эффективная высота передающей/базовой антенны, h_{eff} , определяется как ее высота в метрах над средним уровнем земли на расстояниях 3...15 км от передающей/базовой антенны в направлении приемной/подвижной антенны. Если значение эффективной высоты передающей/базовой антенны, h_{eff} , не известно, эту высоту следует оценить из общей географической информации. Настоящая Рекомендация не действительна для передающей/базовой антенны, высота которой ниже окружающих местных препятствий.

Значение h_1 , которое должно использоваться в расчетах, получают с использованием метода, приведенного в пп. 3.1, 3.2 или 3.3, в зависимости от случая.

3.1.Сухопутная трасса длиной менее 15 км. Для сухопутных трасс менее 15 км следует использовать один из приведенных ниже двух методов.

3.1.1.Отсутствие информации о рельефе местности. В случае отсутствия информации о рельефе местности при составлении прогнозов распространения значение h_1 рассчитывают в соответствии с длиной трассы r следующим образом:

$$h_1 = h_a, \text{ м, для } r \leq 3 \text{ км}, \quad (2.29)$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a)(r - 3)/12, \text{ м, для } r \leq 3 \text{ км}, \quad (2.30)$$

где h_a – высота антенны над землей (например, высота мачты).

3.1.2. *Наличие информации о рельефе местности.* В случае наличия информации о рельефе местности при прогнозировании распространения

$$h_1 = h_b, \text{ м}, \quad (2.31)$$

где h_b – высота антенны над высотой рельефа местности, усредненной для расстояний в диапазоне $0,2r$ и r км. Следует отметить, что использование этого метода для определения h_1 может сопровождаться немонотонным поведением в прогнозируемой напряженности поля при расстоянии свыше 15 км. Хотя это может в действительности иметь место, такое поведение данной модели может быть нежелательным для некоторых приложений. Поскольку следует избегать немонотонного поведения, величина h_1 должна быть установлена на уровне значения, характерного для таких случаев.

3.2. *Сухопутные трассы длиной 15 км и более.* Для этих трасс

$$h_1 = h_{\text{eff}}, \text{ м}. \quad (2.32)$$

4. *Применение высоты передающей/базовой антенны h_1 .* Значение h_1 определяет выбор кривой или кривых, из которых надо получить значения напряженности поля, а также экстраполяцию или интерполяцию, которая может потребоваться. При этом выделяют следующие случаи.

4.1. *Высота подвеса передающей/базовой антенны h_1 в диапазоне 10...3000 м.* Если значение h_1 совпадает с одним из восьми значений высоты, для которых приведены кривые, а именно 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м, то требуемую напряженность поля можно получить непосредственно из приведенной на графике кривой или соответствующих табулированных значений. В противном случае требуемая напряженность поля должна быть интерполирована или экстраполирована из значений напряженности поля, полученных из двух кривых, с помощью следующего уравнения [20]

$$E = E_{\text{inf}} + (E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}) \lg(h_1/h_{\text{inf}}) / \lg(h_{\text{sup}}/h_{\text{inf}}), \text{ дБ(мкВ/м)}, \quad (2.33)$$

где h_{inf} - 600 м, если $h_1 > 1200$ м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота меньше h_1 ;

h_{sup} - 1200 м, если $h_1 > 1200$ м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота больше h_1 ;

E_{inf} - значение напряженности поля для h_{inf} на требуемом расстоянии;

E_{sup} - значение напряженности поля для h_{sup} на требуемом расстоянии.

Напряженность поля, получающаяся при экстраполяции для $h_1 > 1200$ м, должна быть при необходимости ограничена так, чтобы она не превышала максимум, определенный в п.2.

4.2. Высота передающей/базовой антенны h_1 в диапазоне 0...10 м.

Для сухопутной трассы напряженность поля на требуемом расстоянии r км для $0 \leq h_1 < 10$ м рассчитывается с использованием уравнения [20]:

$$E = E_{zero} + 0,1h_1(E_{10} - E_{zero}), \text{ дБ(мкВ/м)}, \quad (2.34)$$

$$\text{где } E_{zero} = E_{10} + 0,5(C_{1020} + C_{h1neg10}), \text{ дБ(мкВ/м)}, \quad (2.35)$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20}, \text{ дБ} \quad (2.36)$$

$C_{h1neg10}$ - поправка C_{h1} в пункте 4.3, ниже, на требуемом расстоянии для $h_1 = -10$ м;

E_{10} и E_{20} - напряженности поля в дБ(мкВ/м), рассчитанные согласно пункту 4.1, выше, на требуемом расстоянии для $h_1 = 10$ м и $h_1 = 20$ м, соответственно.

Следует иметь в виду, что поправки C_{1020} и $C_{h1neg10}$ должны стремиться к отрицательным величинам.

5.Интерполяция напряженности поля в зависимости от расстояния. На рисунках 2.21 – 2.23 показаны графики зависимости напряженности поля от расстояния d в диапазоне 1...1000 км. Не требуется никакой интерполяции для расстояния, если значения напряженности поля считываются непосредственно по этим графикам. Для повышения точности и для предоставления возможности использования компьютера для расчетов значения напряженности поля следует получать из соответствующих таблиц (см. п.3 раздела 2.2.1). В этом случае, если только d не совпадает с одним из табулированных расстояний (таблица 2.3), напряженность поля E (дБ(мкВ/м)) необходимо линейно интерполировать по логарифму расстояния с помощью следующего уравнения

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \lg(r / r_{inf}) / \lg(r_{sup} / r_{inf}), \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (2.37)$$

где r - расстояние, для которого требуется прогноз;

r_{inf} - ближайшее расстояние по таблице, меньшее чем r ;

r_{sup} - ближайшее расстояние по таблице, большее чем r ;

E_{inf} - значение напряженности поля для r_{inf} ;

E_{sup} - значение напряженности поля для r_{sup} .

6.Интерполяция и экстраполяция напряженности поля в зависимости от частоты. Значения напряженности поля для требуемой частоты следует получать путем интерполяции между значениями для номинальных частот в 100, 600 и 2000 МГц. Для частот ниже 100 МГц или выше 2000 МГц интерполяция должна быть заменена экстраполяцией от двух самых близких значений номинальной частоты. Для большинства трасс можно использовать интерполяцию или экстраполяцию логарифма частоты, но для некоторых морских трасс, когда требуемая частота ниже 100 МГц, необходимо использовать другой метод.

Для сухопутных трасс, если требуемая частота выше 100 МГц, требуемая напряженность поля E рассчитывается следующим образом [20]

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \lg(f / f_{inf}) / \lg(f_{sup} / f_{inf}), \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (2.38)$$

где f - частота, для которой требуется прогноз (МГц);

f_{inf} - нижняя номинальная частота (100 МГц при $f < 600$ МГц, в противном случае 600 МГц);

f_{sup} - верхняя номинальная частота (600 МГц при $f < 600$ МГц, в противном случае 2000 МГц);

E_{inf} - значение напряженности поля для f_{inf} ;

E_{sup} - значение напряженности для f_{sup} .

Напряженность поля, получающаяся при экстраполяции для частоты выше 2000 МГц, должна быть при необходимости ограничена так, чтобы она не превышала максимального значения, приведенного в п.2.

7.Интерполяция напряженности поля в зависимости от процента времени.

Значения напряженности поля для заданного процента времени между 1% и 50% времени необходимо рассчитывать путем интерполяции между номинальными значениями для 1% и 10% или между номинальными значениями для 10% и 50% времени с помощью следующего уравнения [20]

$$E = E_{sup}(Q_{inf} - Q_t)/(Q_{inf} - Q_{sup}) + E(Q_t - Q_{sup})/(Q_{inf} - Q_{sup}),$$

дБ(мкВ/м), (2.39)

где t - процент времени, для которого требуется прогноз;

t_{inf} - нижний номинальный процент времени;

t_{sup} - верхний номинальный процент времени;

$$Q_t = Q_i (t/100);$$

$$Q_{inf} = Q_i (t_{inf}/100);$$

$$Q_{sup} = Q_i (t_{sup}/100);$$

E_{inf} - значение напряженности поля для процента времени t_{inf} ;

E_{sup} - значение напряженности поля для процента времени t_{sup} ,

где $Q_i(x)$ – обратная дополнительная функция кумулятивного нормального распределения.

Настоящая Рекомендация действительна для значений напряженности поля, превышаемых только в течение процентов времени в диапазоне 1...50%. Интерполяция за пределами диапазона 1...50% времени неприменима.

Метод расчета $Q_i(x)$ приведен в п.7 раздела 2.2.3.

Таблица 2.3

Значения расстояния (км), использованные в таблицах напряженности поля

| | | | | | |
|----|----|-----|-----|-----|-------|
| 1 | 14 | 55 | 140 | 375 | 700 |
| 2 | 15 | 60 | 150 | 400 | 725 |
| 3 | 16 | 65 | 160 | 425 | 750 |
| 4 | 17 | 70 | 170 | 450 | 775 |
| 5 | 18 | 75 | 180 | 475 | 800 |
| 6 | 19 | 80 | 190 | 500 | 825 |
| 7 | 20 | 85 | 200 | 525 | 850 |
| 8 | 25 | 90 | 225 | 550 | 875 |
| 9 | 30 | 95 | 250 | 575 | 900 |
| 10 | 35 | 100 | 275 | 600 | 925 |
| 11 | 40 | 110 | 300 | 625 | 950 |
| 12 | 45 | 120 | 325 | 650 | 975 |
| 13 | 50 | 130 | 350 | 675 | 1 000 |

8. *Поправка к высоте подвеса приемной/подвижной антенны.* Значения напряженности поля, даваемые кривыми для сухопутных трасс и соответствующими таблицами в настоящей Рекомендации, предназначены для эталонной приемной/подвижной антенны с высотой R (м), соответствующей высоте наземного покрова вокруг приемной/подвижной антенны, если ее высота не меньше 10 м. Примерами эталонной высоты могут служить 20 м для городского района, 30 м для городского района плотной застройки и 10 м для пригородного района.

Если приемная/подвижная антенна находится на суше, то прежде всего надо учесть угол места падающего луча путем расчета модифицированной высоты репрезентативного местного препятствия R' (м), определяемой следующим выражением

$$R' = (1000dR - 15h_1) / (1000d - 15) \text{ м}, \quad (2.40)$$

где h_1 и R выражено в м, а расстояние d в км.

Необходимо отметить, что $R' \approx R$ при $h_1 < 6,5d + R$.

При необходимости значение R' должно быть ограничено так, чтобы оно было не меньше 1 м.

Если приемная/подвижная антенна находится в городском районе, то тогда поправка задается следующим выражением

$$\text{поправка} = 6,03 - J(v), \text{ дБ}, \quad \text{для } h_2 < R' \quad (2.41)$$

$$= K_{h_2} \lg(h_2/R'), \text{ дБ}, \quad \text{для } h_2 \geq R', \quad (2.42)$$

и
$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}}, \quad (2.43)$$

$$h_{dif} = R' - h_2, \text{ м}, \quad (2.44)$$

$$\theta_{clut} = \arctg(h_{dif} / 27), \text{ градусы}, \quad (2.45)$$

$$K_{h_2} = 3,2 + 6,2 \lg(f), \quad (2.46)$$

$$K_{nu} = 0,0108\sqrt{f}, \quad (2.47)$$

f - частота (МГц).

В городском районе в случаях, когда R' меньше 10 м, поправка, задаваемая уравнением (2.41), должна быть уменьшена на $K_{h2} \lg(10/R')$.

Когда приемная/подвижная антенна находится на суше в сельском районе или в открытой местности, поправка задается уравнением (27b) для всех препятствий в направлении передающей/базовой станции.

Расстояние r_{10} , на котором трасса как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для требуемого значения h_1 и для $h_2 \leq 10$ м, следует рассчитать как $D_{06}(f, h_1, 10)$ в п.16.

Если требуемое расстояние равно или больше чем r_{10} , то вновь поправку к требуемому значению h_2 необходимо рассчитать с помощью уравнения (2.42), установив R' равным 10 м.

Если требуемое расстояние меньше чем r_{10} , то поправку, которую надо добавить к значению напряженности поля E , необходимо рассчитать следующим образом:

$$\text{поправка} = 0,0 \quad \text{дБ, для} \quad r \leq r_{h2} \quad (2.48)$$

$$= C_{10} \lg(d/d_{h2}) / \lg(d_{10}/d_{h2}), \quad \text{дБ, для} \quad r_{h2} < r < r_{10} \quad (2.49)$$

где C_{10} - поправка для требуемого значения h_2 на расстоянии r_{10} по уравнению (2.42) при R' равном 10 м;

r_{10} - расстояние, на котором трасса как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для $h_2 = 10$ м и которое рассчитывается как

$$D_{06}(f, h_1, 10), \text{ определяемое в п.15;}$$

r_{h_2} - расстояние, на котором канал как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для требуемого значения h_2 и которое рассчитывается как $D_{06}(f, h_1, h_2)$, определяемое в п.16.

9. Поправка для коротких трасс в городском/пригородном районе. Если трасса длиной менее 15 км охватывает здания одинаковой высоты над плоским рельефом, то к напряженности поля необходимо добавить поправку, отражающую снижение ее уровня за счет местных препятствий, обусловленных зданиями. Поправка определяется следующим выражением

$$\text{поправка} = -3,3(\lg(f))(1 - 0,85\lg(r))(1 - 0,46\lg(1 + h_a - R)), \quad (2.50)$$

где h_a – высота антенны над уровнем земли (м) (т. е. высота мачты), а R – репрезентативная высота наземного покрова вокруг приемной/подвижной антенны, определяемая в п.8, которая также отражает высоту наземного покрова вокруг передающей/базовой антенны. Эта поправка применима только при d меньше 15 км и $h_1 - R$ меньше 150 м.

10. Изменчивость в зависимости от места в прогнозах сухопутной зоны покрытия. Методы прогнозирования зоны покрытия предназначены для получения статистических данных об условиях приема в данной зоне, а не в той или иной точке. Интерпретация таких статистических данных зависит от размера рассматриваемой зоны.

Когда один терминал на трассе радиосигнала является стационарным, а другой перемещается, потери на трассе будут непрерывно меняться в зависимости от места в соответствии с совокупностью влияний на него. Такие влияния целесообразно подразделить на три основные категории:

Изменения многолучевости: изменения сигнала, возникающие в масштабе порядка длины волны за счет векторного сложения эффектов многолучевого распространения, например отражений от земной поверхности, зданий и т.д. Обычно статистика таких изменений, как установлено, подчиняется рэлеевскому распределению.

Местные изменения наземного покрова: изменения сигнала, возникающие за счет препятствий, создаваемых наземным покровом в непосредственной близости, например зданиями, деревьями и т.д., в масштабе, соответствующем размеру таких объектов. Масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем для изменений многолучевости.

Изменения трассы: изменения сигнала, которые возникают за счет изменения геометрии всей трассы распространения, например при наличии холмов и т.д. Для всех трасс, кроме очень коротких, масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем при местных изменениях наземного покрова.

При планировании радиосистем необходимо также принимать во внимание эффекты многолучевого распространения. Влияние таких эффектов зависит от системы и определяется шириной полосы, модуляцией и схемой кодирования. Руководство по моделированию этих эффектов приведено в Рекомендации МСЭ-R P.1406.

Изменчивость в зависимости от места определяется по-разному. В некоторых текстах она определяется как относящаяся к колебанию дополнительных потерь на трассе по всей зоне обслуживания передатчика, включая, таким образом, полное влияние рельефа местности, помимо дополнительного влияния местного экранирования. В других случаях она относится к колебанию потерь на трассе для всех точек, находящихся в определенном радиусе действия от передатчика. Третье определение относится к колебанию напряженности поля на небольшой территории, обычно представленной в виде квадрата со стороной от 500 м до 1 км.

Представленный ниже метод позволяет осуществить оценку изменчивости в зависимости от места на территории небольшого района и

подходит для случаев, когда угол просвета местности применяется для того, чтобы более точно определить местные медианные уровни напряженности поля.

Широкий анализ данных позволяет предположить, что распределение медианного уровня напряженности поля из-за изменчивости наземного покрытия для таких зон в городских и пригородных районах соответствует логарифмическому нормальному распределению.

Так, при нахождении приемной/подвижной антенны в сухопутной зоне напряженность поля E , которая будет превышать для $q\%$ мест, определяется следующим образом

$$E(q) = E(\text{медиан} + Q_i(q/100) \sigma_1(f)), \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (2.51)$$

где $Q_i(x)$ - обратное дополнительное кумулятивное нормальное распределение в зависимости от вероятности;

σ_L - стандартное отклонение гауссовского распределения местных средних значений в рассматриваемой зоне.

Значения стандартного отклонения зависят от частоты и среды, и эмпирические исследования показали, что они имеют существенный разброс. Репрезентативные значения для зон размером $500 \text{ м} \times 500 \text{ м}$ определяются следующим выражением

$$\sigma_L = K + 1,3 \lg(f), \quad \text{дБ}, \quad (2.52)$$

где $K \approx 1,2$ для приемников с антеннами ниже высоты местных препятствий в городских или пригородных районах для подвижных систем с всенаправленными антеннами на высоте крыши автомобиля;

$K \approx 1,0$ для приемников с антеннами, установленными на крыше вблизи высоты местных препятствий;

$K \square 0,5$ для приемников в сельских районах;

f - требуемая частота (МГц).

Как отмечалось выше, если зона, к которой должна относиться изменчивость, больше $500 \text{ м} \times 500 \text{ м}$ или если речь идет об изменчивости, относящейся ко всем зонам в заданном интервале, а не об изменениях внутри отдельной зоны, значение σ_L оказывается больше. Эмпирические исследования показали, что изменчивость в зависимости от места возрастает (в отношении значений для небольших районов) не более чем на 4 дБ для радиуса в 2 км и не более чем на 8 дБ – для радиуса в 50 км. Процент мест q может меняться от 1 до 99. Настоящая Рекомендация не действительна для процентов мест меньше 1% или больше 99%. Следует отметить, что для некоторых целей планирования (например, для многосторонних планов выделения) обычно необходимо использовать определение "изменчивости в зависимости от места" с учетом известной степени многолучевого замирания. Это позволяет рассматривать случаи подвижного приемника, постоянно находящегося в многолучевом нуле, или антенны на крыше, когда надо принимать несколько частот, а антенна не может быть оптимально установлена для всех частот. Кроме того, при таком планировании может также потребоваться учет изменчивости в большей зоне, чем предполагается в настоящей Рекомендации.

В этом контексте для планирования ряда служб радиосвязи оказались пригодными значения, приведенные в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Значения изменчивости, используемые в некоторых случаях планирования

| | Стандартное отклонение (дБ) | | |
|------------|--------------------------------|---------|----------|
| | 100 МГц | 600 МГц | 2000 МГц |
| Аналоговое | 8,3 | 9,5 | – |

| | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|
| радиовещание | | | |
| Цифровое радиовещание | 5,5 | 5,5 | 5,5 |

11. *Прогнозирование напряженности поля для расстояний менее 1 км.* Если настоящая Рекомендация используется в случаях, когда значения d составляют менее 1 км и когда использование модели распространения радиоволн на короткие расстояния не представляется возможным и нужен простой способ, который конвертировал бы в направлении напряженностей поля в свободном пространстве для сколь угодно малого расстояния (признавая, что это всего лишь возможность, а не действующая модель распространения), то можно прибегнуть к следующей процедуре.

Определяется напряженность поля E на расстоянии менее 1 км с использованием формулы

$$E = E_{\max nf} \text{ дБ(мкВ/м)}, \quad \text{для} \quad r \leq r_{nf} \quad (2.53)$$

$$E = E_{\max d}, \text{ (мкВ/м)} \quad \text{для} \quad r_{nf} < r \leq 0,1 \text{ км} \quad (2.54)$$

$$E_{0,1 \text{ км}} + (E_{1 \text{ км}} - E_{0,1 \text{ км}}) \lg(r/0,1) \text{ дБ(мкВ/м)} \\ \text{для} \quad 0,1 \text{ км} < r < 1,0 \text{ км}, \quad (2.55)$$

где $E_{\max nf}$: максимальная напряженность поля на расстоянии r_{nf} км, определяемая уравнением (2.27);

$E_{\max d}$ - максимальная напряженность поля на необходимом расстоянии, определяемая уравнением (2.27);

$E_{0,1 \text{ км}}$ - максимальная напряженность поля на расстоянии 0,1 км, определяемая уравнением (2.27);

$E_{1 \text{ км}}$ - напряженность поля на расстоянии 1 км;

и r_{nf} – определение расстояния ближнего поля передающей/базовой антенны, определяемое

$$r_{nf} = 10^{0,1G} / (10f), \text{ км}, \quad (2.56)$$

где G - коэффициент усиления антенны (дБ);

f - частота (МГц).

Значение r_{nf} должно быть ограничено как $r_{nf} \leq 0,1$ км.

Предлагается использовать значение по умолчанию $r_{nf} = 0,01$ км.

Поправки, относительно приемной/подвижной антенны, остаются в силе. В случае их использования они должны применяться к фактическому месту нахождения приемной/подвижной антенны, расположенной на расстоянии не в 1 км от передающей/базовой станции.

12.Эквивалентные базовые потери при передаче. При необходимости базовые потери при передаче, эквивалентные заданной напряженности поля, определяются с помощью следующего выражения

$$L_b = 139,3 - E + 20 \lg f, \quad \text{дБ}, \quad (2.57)$$

где L_b - базовые потери при передаче (дБ);

E -напряженность поля (дБ(мкВ/м)) для ЭИМ 1 кВт;

f - частота (МГц).

2.2.4.Процедура применения настоящей Рекомендации

Приведенная ниже пошаговая процедура предназначена для использования значений, полученных из таблиц зависимости напряженности поля от расстояния, которые предоставляет Бюро радиосвязи. Однако ее также можно использовать для значений, полученных по кривым, и в этом случае не нужна процедура интерполяции в зависимости от расстояния, приведенная на шаге 7.1.5. В таблице 2.5, ниже, представлен минимальный перечень входных параметров (и их пределы), которые служат основой для получения значений из таблиц зависимости напряженности поля от расстояния. Используется поэтапная процедура [20].

Таблица 2.5

Перечень входных параметров и их пределы

| Параметр | Единицы | Определение | Пределы |
|---|---------|---|---|
| f | МГц | Рабочая частота | 30...3 000 МГц |
| r | км | Длина трассы | 1...1 000 км |
| ρ | % | Процент времени. Определен в пункте 7 раздела 2.2.1 | 1...50% |
| h_1 | м | Высота передающей/базовой антенны, как показано на кривых. Определена в уравнениях (2.29)–(2.32), представленных в пункте 3 раздела 2.2.3. Пределы определены в пункте 4.1 | Суша – нижний предел не ограничен, верхний предел – 3000 м |
| h_a | м | Высота передающей антенны над уровнем земли. Определена в пункте 3.1.1 раздела 2.2.3. Пределы определены в пункте 3 раздела 2.2.3 | Должна быть больше высоты местных препятствий |
| h_b | м | Высота базовой антенны над высотой рельефа местности, усредненная для расстояний в диапазоне $0,2d - d$ км, где d не превышает 15 км и где имеются данные о рельефе местности | Пределов нет – однако следует иметь в виду, что этот параметр существует только для сухопутных трасс, где $d < 15$ км |
| Высота местных препятствий вокруг передатчика | м | Репрезентативная высота местных препятствий (вокруг места расположения передатчика) | Пределов нет |
| R | м | Репрезентативная высота местных препятствий (вокруг места расположения приемника) | Пределов нет |

Шаг 1: Для любого заданного процента времени (в диапазоне от 1% до 50%) следующим образом определяются два номинальных процента времени:

- если требуемый процент времени >1 и <10 , то нижний и верхний номинальные проценты равны, соответственно, 1 и 10;
- если требуемый процент времени >10 и <50 , то нижний и верхний номинальные проценты равны, соответственно, 10 и 50.

Если требуемый процент времени равен 1% или 10%, или 50%, то это значение следует считать нижним номинальным процентом времени, и процесс интерполяции на шаге 10 не требуется.

Шаг 2: Для любой требуемой частоты (в диапазоне от 30 МГц до 3000 МГц) следующим образом определяются две номинальные частоты:

- если требуемая частота < 600 МГц, то нижняя и верхняя номинальные частоты равны, соответственно, 100 МГц и 600 МГц.
- если требуемая частота > 600 МГц, то нижняя и верхняя номинальные частоты равны, соответственно, 600 МГц и 2000 МГц.

Если требуемая частота равна 100, 600 или 2000 МГц, то это значение должно считаться нижней номинальной частотой, и процедура интерполяции и экстраполяции на шаге 8 не требуется.

Шаг 3: Из таблицы 2.3 определяют нижнее и верхнее номинальные значения расстояния, наиболее близкие к требуемому расстоянию. Если требуемое расстояние совпадает со значением в таблице 2.3, то его следует считать нижним номинальным расстоянием, и процедура интерполяции на шаге 7.1.5 не требуется.

Шаг 4: Для сухопутной трассы выполняются шаги 6–11.

Шаг 5: Для нижнего номинального процента времени выполняются шаги 6–9.

Шаг 6: Для нижней номинальной частоты выполняются шаги 7–8.

Шаг 7: Определяется напряженность поля, превышаемая в 50% мест, для приемной/подвижной антенны при высоте репрезентативного местного препятствия, R , над землей для требуемого расстояния и высоты передающей/базовой антенны с использованием следующих шагов:

Шаг 7.1: Для высоты передающей/базовой антенны h_1 , равной или превышающей 10 м, выполняются шаги 8.1.1–8.1.6.

Шаг 7.1.1: Определяются нижнее и верхнее номинальные значения h_1 с помощью метода, приведенного в п.4.1. Если h_1 совпадает с одним из номинальных значений 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м, его следует считать нижним номинальным значением для h_1 , и процедура интерполяции на шаге 7.1.6 не требуется.

Шаг 7.1.2: Для нижнего номинального значения h_1 выполняются шаги 7.1.3–7.1.5.

Шаг 7.1.3: Для нижнего номинального значения расстояния выполняется шаг 7.1.4.

Шаг 7.1.4: Определяется напряженность поля, превышаемая в 50% мест, для приемной/подвижной антенны при высоте репрезентативного местного препятствия, R , для требуемых значений расстояния, r , и высоты передающей/базовой антенны, h_1 .

Шаг 7.1.5: Если требуемое расстояние не совпадает с нижним номинальным значением расстояния, то повторяют шаг 7.1.4 для верхнего номинального

значения расстояния и интерполируют два значения напряженности поля к нужному расстоянию с использованием метода, приведенного в п.5 раздела 2.2.3.

Шаг 7.1.6: Если требуемая высота передающей/базовой антенны, h_1 , не совпадает с одним из номинальных значений, повторяют шаги 7.1.3–7.1.5 и интерполируют/экстраполируют напряженность поля для h_1 с помощью метода, приведенного в п.4.1 раздела 2.2.3. При необходимости результат ограничивают максимальным значением, приведенным в п.2 раздела 2.2.3.

Шаг 7.2: Для высоты передающей/базовой антенны h_1 менее 10 м определяется напряженность поля для требуемой высоты и расстояния с помощью метода, приведенного в п.4.2 раздела 2.2.3. Если h_1 меньше нуля, то следует использовать метод, приведенный в п.4.3 раздела 2.2.3.

Шаг 8: Если требуемая частота не совпадает с нижней номинальной частотой, повторяют шаг 7 для верхней номинальной частоты и интерполируют/экстраполируют два значения напряженности поля с использованием метода, приведенного в п.6 раздела 2.2.3. При необходимости результат ограничивают максимальным значением напряженности поля, приведенным в п.2 раздела 2.2.3.

Шаг 9: Если требуемый процент времени не совпадает с нижним номинальным процентом времени, то повторяют шаги 6–8 для верхнего номинального процента времени и интерполируют два значения напряженности поля с использованием метода, приведенного в п.7 раздела 2.2.3.

Шаг 10: Корректируется напряженность поля для высоты приемной/подвижной антенны h_2 с использованием метода, приведенного в п.8 раздела 2.2.3.

Шаг 11: Если применимо, понижают напряженность поля за счет добавления поправки для короткой трассы в городском/пригородном районе с использованием метода, приведенного в п.9 раздела 2.2.3.

Шаг 12: Если на приемной/подвижной антенне рядом с сушей требуется напряженность поля, превышаемая для процента мест, отличного от 50%, значение напряженности поля для требуемого процента мест получают путем внесения поправки с использованием метода, приведенного в п.11 раздела 2.2.3.

Шаг 13. При необходимости результирующую напряженность поля ограничивают максимальным значением, приведенным в п.2 раздела 2.2.3.

Шаг 14: При необходимости напряженность поля пересчитывается в эквивалентные базовые потери при передаче для трассы с использованием метода, приведенного в п.12 раздела 2.2.3.

2.3.Расчет напряженности поля по интерференционным формулам

При небольших расстояниях между передающей и приемной антеннами кривизной поверхности Земли можно пренебречь. Задача формулируется так: заданы геометрические параметры: расстояние между передающей и приемной антеннами, высоты подвеса передающей h_1 и приемной h_2 антенн и электрические параметры: подводимая к передающей антенне мощность P_1 , коэффициент усиления передающей антенны G_1 , длина волны λ , вид поляризации волны, относительная диэлектрическая проницаемость почвы ϵ и ее удельная проводимость σ . Обычно вместо произведения $P_1 G_1$ подставляется значение эквивалентной изотропно-излучаемой мощности P_Σ

$$P_\Sigma(\kappa Bm) = P_1(\kappa Bm) \cdot G_1 \cdot F(\varphi) \cdot F(\Delta), \quad (2.58)$$

где $F(\varphi)$ $F(\Delta)$ – значения характеристик направленности передающей антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Как впервые было показано еще в 1922 году академиком Б. А. Введенским электрическое поле радиоволны в месте расположения приемной антенны можно рассматривать как результат интерференции прямого луча 1 и луча 2, отраженного в точке С от поверхности Земли [21] (рис.2.24).

При решении задачи распространения радиоволн вдоль границы воздух - земля существенное значение имеет абсолютная величина комплексной диэлектрической проницаемости почвы

$$\varepsilon_k = |\varepsilon_k| = \sqrt{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2} . \quad (2.59)$$

Обычно она не бывает меньше 10, правда для сухого песка в дециметровом диапазоне $\varepsilon_k = 2...5$.

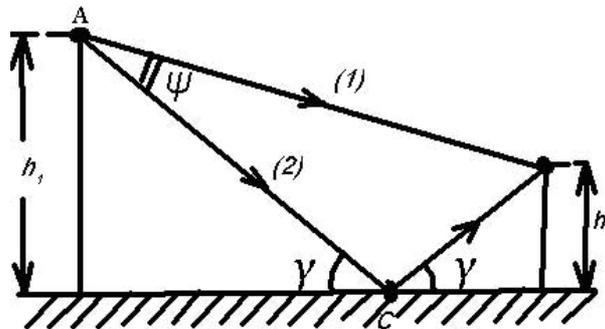


Рис.2.24. К расчету поля в точке приема

Способность земной поверхности отражать радиоволны тоже связана с относительной комплексной диэлектрической проницаемостью. Значения модулей коэффициентов отражения для вертикальной поляризации R_v и горизонтальной поляризации R_r можно определить по формулам [22]:

$$R_B = \frac{\left| \varepsilon_K \sin \gamma - \sqrt{\varepsilon_K - \cos^2 \gamma} \right|}{\left| \varepsilon_K \sin \gamma + \sqrt{\varepsilon_K - \cos^2 \gamma} \right|}, \quad (2.60)$$

$$R_r = \frac{\left| \sin \gamma - \sqrt{\varepsilon_K - \cos^2 \gamma} \right|}{\left| \sin \gamma + \sqrt{\varepsilon_K - \cos^2 \gamma} \right|}, \quad (2.61)$$

где γ - угол скольжения, который определяется по формуле

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left(\frac{h_1 + h_2}{r} \right). \quad (2.62)$$

Земная волна, распространяясь вдоль границы раздела воздух-почва, возбуждает в воздухе и почве токи, которые являются источниками вторичного поля. В соответствии с принципом Гюйгенса-Кирхгофа поле земной волны можно считать результатом суперпозиции полей, наведенных воображаемыми вторичными источниками, которые возбуждаются первичным полем в воздухе и почве. В почве интенсивность вторичных источников ослаблена по сравнению со свободным пространством, за счет тепловых потерь, которые появляются из-за конечных значений проводимости σ .

Напряженность поля в точке приема равна [21]

$$E_\delta = \frac{173\sqrt{P_\Sigma(\kappa Bm)}}{r(\kappa m)} \cdot \sqrt{1 + 2R \cos\left(\frac{\theta + 4\pi h_1 h_2}{\lambda r}\right) + R^2}, \text{ мВ/м.} \quad (2.63)$$

С увеличением расстояния значение R стремится к 1, а θ - к 180° , тогда

$$E_\delta = \frac{346\sqrt{P_\Sigma(\kappa Bm)}}{r(\kappa m)} \cdot \left| \sin \left[\frac{2\pi h_1 h_2}{(\lambda r)} \right] \right|, \text{ мВ/м} \quad (2.64)$$

или

$$E_\delta = \frac{346\sqrt{P_\Sigma(\kappa Bm)}}{r(\kappa m)} \cdot \left| \sin \left[\frac{0,36 h_1(\text{м}) h_2(\text{м})}{(\lambda(\text{м}) r(\kappa \text{м}))} \right] \right|, \text{ мВ/м.} \quad (2.34)$$

При дальнейшем увеличении расстояния когда $2\pi h_1 h_2 / (\lambda r) \approx \pi / 9$, то синус аргумента можно заменить его аргументом (при $r \geq 18 h_1 h_2 / \lambda$)

$$E_0 = \frac{346\sqrt{P_\Sigma(\kappa Bm)}}{r(\kappa m)} \cdot \frac{2\pi h_1(m)h_2(m)}{\lambda(m)r(\kappa m) \times 10^3} = \frac{2,18\sqrt{P_\Sigma(\kappa Bm)}}{r^2(\kappa m)} \cdot \frac{h_1(m)h_2(m)}{\lambda(m)}, \text{ мВ/м.} \quad (2.65)$$

Эта формула в странах СНГ носит название академика Введенского, а в странах дальнего зарубежья – называется «квадратичной». Напряженность поля на расстояниях $r \geq 18h_1h_2/\lambda$ убывает с квадратом расстояния. Надо твердо помнить, что в условиях применимости формулы Введенского, луч отраженный от поверхности земли является вредным, т.к. он стремится скомпенсировать поле прямого луча.

Сферичность земной волны влияет на амплитуду за счет рассеивания от выпуклой поверхности Земли и фазу отраженной волны, т.к. выпуклость земной поверхности изменяет длину пути отраженной волны. Если в точке отражения радиоволны от поверхности Земли провести плоскость, касательную к поверхности Земли и отсчитывать высоты подвеса антенн не от поверхности Земли, а от указанной плоскости, то, подставляя в интерференционные формулы вместо действительных высот h_1 и h_2 «приведенные высоты» h'_1 и h'_2 , получим правильное значение напряженности поля в месте приема, ибо угол скольжения луча относительно выпуклой поверхности Земли тот же, что и угол скольжения над касательной плоскостью. Учет кривизны Земли при пользовании интерференционными формулами сводится к нахождению приведенных высот h'_1 и h'_2 по известным значениям r, h_1, h_2, a_3 .

$$h'_1 = h_1 - \frac{r^2}{2a_3} \cdot \left(\frac{h_1}{h_1 + h_2} \right)^2; \quad h'_2 = h_2 - \frac{r^2}{2a} \cdot \left(\frac{h_2}{h_1 + h_2} \right) \quad (2.66)$$

и

$$E_0 = \frac{173\sqrt{P_\Sigma(\kappa Bm)}}{r(\kappa m)} \cdot \sqrt{1 + 2R \cos\left(\theta + \frac{4\pi h'_1 h'_2}{\lambda r}\right) + R^2}, \frac{mB}{m}; \quad (2.67)$$

$$E_{\circ} = \frac{346\sqrt{P_{\Sigma}(\text{кВт})}}{r(\text{км})} \cdot \left| \sin \left[\frac{0,36h_1'(M)h_2'(M)}{(\lambda(M)r(\text{км}))} \right] \right|, \frac{\text{мВ}}{\text{м}}; \quad (2.68)$$

$$E_{\circ} = \frac{2,18\sqrt{P_{\Sigma}(\text{кВт})}}{\lambda(M)r^2(\text{км})} h_1'(M)h_2'(M), \frac{\text{мВ}}{\text{м}}. \quad (2.69)$$

2.4. Сравнение методик расчета напряженности поля между собой

Для сравнения выберем значение высоты подвеса передающей антенны = 220м, приемной антенны 10м, значение эффективно-излучаемой мощности 1 кВт, будем считать, что значения L и T равны 50%.

В таблице 2.6 приведем результаты расчета напряженности поля по методике Шура.

Таблица 2.6

| г , км | Е, дБ |
|-----------|-------|
| 1 | 103 |
| 5 | 88 |
| 10 | 79 |
| 15 | 72 |
| 20 | 66 |
| 25 | 62 |
| 30 | 58 |
| 35 | 55 |
| 40 | 53 |
| 45 | 49 |

| | |
|----|----|
| 50 | 46 |
|----|----|

В таблице 2.7 приведем результаты расчета напряженности поля по рекомендации МСЭ-R P.1546-4)

Таблица 2.7

| г, км | Е, дБ |
|----------|-------|
| 1 | 92 |
| 5 | 77 |
| 10 | 68 |
| 15 | 62 |
| 20 | 55 |
| 25 | 52 |
| 30 | 48 |
| 35 | 45 |
| 40 | 43 |
| 45 | 39 |
| 50 | 36 |

В таблице 2.8 приведем результаты расчета напряженности поля по интерференционным формулам

| г, км | h_1^1 , м | h_2^1 , м | Е, дБ |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 1 | 220,00 | 10,0 | 139,6 4 |
| 5 | 218,66 | 9,9 | 111,6 3 |
| 10 | 214,62 | 9,9 | 99,42 |
| 15 | 207,89 | 9,9 | 92,10 |
| 20 | 198,48 | 9,9 | 86,70 |
| 25 | 186,37 | 9,8 | 82,27 |
| 30 | 171,58 | 9,8 | 78,39 |
| 35 | 148,95 | 9,8 | 74,48 |
| 40 | 133,92 | 9,7 | 71,24 |
| 45 | 111,06 | 9,7 | 67,49 |
| 50 | 85,5 | 9,7 | 63,21 |

Анализ приведенных данных позволяет сделать выводы, что расчет по интерференционным формулам дает завышенные на 20 дБ значения по сравнению с методикой Шура, а расчет по рекомендации МСЭ Р.1546-4 дает заниженные значения в среднем на 10 дБ по сравнению с методикой Шура. Кроме того медианные значения напряженности поля, полученные в результате пробных измерений в ЦНТМИ, наиболее близки к расчетным,

полученным по методике Шура. Следовательно, для дальнейшей работы необходимо выбрать именно эту методику расчета напряженности поля.

2.5. Определение границ зон покрытия телевизионным вещанием

В табл.2.9 приведены значения используемой напряженности поля, принятые при планировании зон покрытия аналоговым телевизионным вещанием [ГОСТ 7845-79] [23] и данные МККР [Рекомендация 417-3 и Отчет 409-4]. Значения Рекомендации 417-3 предназначены для широкого использования, а представленные в Отчете 409-4 — для сельских районов с малой плотностью населения. В последнем случае необходимо применять приемные установки, оборудованные малозумящими антенными усилителями, и приемные антенны с большими коэффициентами усиления.

Таблица 2.9

Принятые при планировании зон покрытия телевизионным вещанием значения используемой напряженности поля, дБмкВ/м

| Стандарт | Диапазон частот | | | | |
|--------------------|-----------------|----|-----|----|----|
| | I | II | III | IV | V |
| СНГ (ГОСТ 7845-79) | 50 | 54 | 57 | 70 | 70 |
| МККР (Рек. 417-3) | 48 | — | 55 | 65 | 70 |
| МККР (Отчет 409-4) | 46 | — | 49 | 58 | 64 |

В таблице 2.10 приведены значения минимальной используемой напряженности поля, необходимые для планирования зон покрытия цифровым телевизионным вещанием для фиксированного приема [24].

Для определения границ зоны вещания необходимо для каждого из азимутов построить график зависимости напряженности поля от расстояния

$E=f(r)$ и по значению минимальной используемой напряженности поля (табл.2.7) определить удаление $r_{гр}$ от передающей антенны границ зоны вещания. Найденные значения $r_{гр}$ занести в таблицу и по ним на карте нанести границы зоны вещания.

Таблица 2.10

Минимальные медианные значения напряженности поля (дБ) при различных вариантах системы DVB-T для двух эталонных частот 200 МГц и 500 МГц

| Варианты системы | Модуляция | Кодовая скорость | Частота, МГц | Минимальная напряженность поля, E_{min} | Защитные отношения (C/N), дБ |
|------------------|-----------|------------------|--------------|---|------------------------------|
| A1, D1 | QPSK | 1/2 | 200 | 34,90 | 6,00 |
| A2, D2 | QPSK | 2/3 | 200 | 36,90 | 8,00 |
| A3, D3 | QPSK | 3/4 | 200 | 38,10 | 9,30 |
| A5, D5 | QPSK | 5/6 | 200 | 39,30 | 10,50 |
| A7, D7 | QPSK | 7/8 | 200 | 40,30 | 11,50 |
| B1, E1 | 16-QAM | 1/2 | 200 | 40,60 | 11,00 |
| B2, E2 | 16-QAM | 2/3 | 200 | 43,10 | 14,00 |
| B3, E3 | 16-QAM | 3/4 | 200 | 44,70 | 15,00 |
| B5, E5 | 16-QAM | 5/6 | 200 | 45,90 | 16,90 |
| B7, E7 | 16-QAM | 7/8 | 200 | 46,50 | 17,50 |
| C1, F1 | 64-QAM | 1/2 | 200 | 46,20 | 17,00 |
| C2, F2 | 64-QAM | 2/3 | 200 | 48,50 | 20,00 |
| C3, F3 | 64-QAM | 3/4 | 200 | 50,20 | 21,00 |
| C5, F5 | 64-QAM | 5/6 | 200 | 51,70 | 23,30 |
| C7, F7 | 64-QAM | 7/8 | 200 | 52,70 | 24,30 |
| A1, D1 | QPSK | 1/2 | 500 | 38,90 | 6,00 |
| A2, D2 | QPSK | 2/3 | 500 | 40,90 | 8,00 |
| A3, D3 | QPSK | 3/4 | 500 | 42,10 | 9,30 |
| A5, D5 | QPSK | 5/6 | 500 | 43,30 | 10,50 |
| A7, D7 | QPSK | 7/8 | 500 | 44,30 | 11,50 |
| B1, E1 | 16-QAM | 1/2 | 500 | 44,60 | 11,00 |

| | | | | | |
|--------|--------|-----|-----|-------|-------|
| B2, E2 | 16-QAM | 2/3 | 500 | 47,10 | 14,00 |
| B3, E3 | 16-QAM | 3/4 | 500 | 48,70 | 15,00 |
| B5, E5 | 16-QAM | 5/6 | 500 | 49,90 | 16,90 |
| B7, E7 | 16-QAM | 7/8 | 500 | 50,50 | 17,50 |
| C1, F1 | 64-QAM | 1/2 | 500 | 50,20 | 17,00 |
| C2, F2 | 64-QAM | 2/3 | 500 | 52,50 | 20,00 |
| C3, F3 | 64-QAM | 3/4 | 500 | 54,20 | 21,00 |
| C5, F5 | 64-QAM | 5/6 | 500 | 55,70 | 23,30 |
| C7, F7 | 64-QAM | 7/8 | 500 | 56,70 | 24,30 |

Минимальные значения медианной напряженности поля, показанные в таблице 2.10, приведены для частот 200 МГц (диапазон III) и 500 МГц (диапазоны IV и V). Для других частот должно использоваться следующее правило интерполяции:

$$E_{med}(f) = E_{med}(f_r) + \text{Corr}, \quad (2.70)$$

$$\text{Corr} = 20 \log_{10} (f/f_r), \quad (2.71)$$

где f – фактическая частота;

f_r – эталонная частота подходящего указанного выше диапазона;

2.6. Определение границ зон покрытия аналоговым радиовещанием

В табл.2.11 приведены значения используемой напряженности поля, принятые при планировании зон покрытия аналоговым радиовещанием

Таблица 2.11

Принятые при планировании зон покрытия аналоговым стереофоническим радиовещанием значения используемой напряженности поля, дБмкВ/м

| Местность | E_{min} |
|---|-----------|
| Город с высоким уровнем шумов | 75 |
| Город со средним уровнем шумов | 69 |
| Сельская местность со средним уровнем шумов | 63 |

Для определения границ зоны вещания необходимо для каждого из азимутов построить график зависимости напряженности поля от расстояния $E=f(r)$ и по значению минимальной используемой напряженности поля (табл.2.11) определить удаление $r_{гр}$ от передающей антенны границ зоны вещания. Найденные значения $r_{гр}$ занести в таблицу и по ним на карте нанести границы зоны вещания.

3.МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ И АНАЛОГОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ

На неровной местности в точках приема, удаленных на одинаковое расстояние от передающей станции, напряженность поля сигнала является случайной величиной. Она изменяется от точки к точке вследствие разного экранирующего влияния рельефа и во времени вследствие неустойчивого состояния тропосферы. По этой причине напряженность поля оценивают статистически - по процентам мест (точек) и времени приема. При этом предполагается, что рельеф местности является регулярным, т.е. отдельные неровности (холмы, горы) примерно одинаковы.

Методика расчета базируется на документах МСЭ.

Напряженность поля на расстоянии r от передающей станции, превышаемая в L % мест приема и в T % времени

$$E(r, L, T) \geq P_{\Sigma} + E(50,50) + F(\Delta h) + F(h_2) + \Delta E(L) + \Delta E(T), \text{ дБ}, \quad (3.1)$$

где P_{Σ} — эффективно-излучаемая мощность, дБкВт;

$E(50, 50)$ — медианное значение напряженности поля (по 50% мест и времени при высоте подвеса приемных антенн $h_2 = 10$ м, $P_{\Sigma} = 0$ дБ (1кВт));

$F(\Delta h)$ и $F(h_2)$ поправочные коэффициенты, учитывающие степень неровности местности и высоту подвеса приемных антенн, дБ;

$\Delta E(L)$ и $\Delta E(T)$ — отклонения значений напряженности поля от медианного значения в заданных процентах мест L и времени T приема, дБ.

Эффективно - излучаемая мощность - P_{Σ} радиопередающей станции, в главном направлении антенны равна

$$P_{\Sigma} = PG \eta, \quad (3.2)$$

где P - мощность передатчика на входе фидера, кВт; G - коэффициент усиления передающей антенны по мощности относительно полуволнового вибратора и η - коэффициент полезного действия фидера.

Эффективно-излучаемую мощность часто выражают в децибелах относительно 1кВт

$$P_{\Sigma} = P + G + \eta, \text{ дБкВт.} \quad (3.3)$$

где все величины выражены в децибелах.

Эффективно-излучаемая мощность в децибелах относительно 1 кВт в любом направлении от передающей антенны определяется с учетом ее диаграммы направленности

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma} + F(\Delta)^2 + F(\varphi)^2, \text{ дБкВт,} \quad (3.4)$$

где $F(\Delta)^2$ и $F(\varphi)^2$ - значения характеристик направленности передающей антенны по мощности в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Δ -угол в вертикальной плоскости между линией горизонта, проведенной через геометрический центр антенны и направлением на точку приема;

φ - угол в горизонтальной плоскости между направлением максимального излучения и направлением на точку приема.

Оценка неровности местности. Для оценки степени вероятности местности используют параметр Δh , который определяется как разница высот (отметок) местности, превышаемых на 10 и 90% на определенном расстоянии. В документах МСЭ (Рекомендации 370-4 МККР) это расстояние рекомендуется отсчитывать в пределах 10...50 км в направлении от передатчика к точкам приема. В документах ОИРТ его рекомендуют брать в пределах 30...40 км от приближенно предполагаемой границы зоны приема в сторону передающей станции. Вторым подходом предпочтителен, поскольку на уровень сигнала гораздо сильнее влияют неровности местности, расположенные перед приемными антеннами. Если радиус зоны приема передающей станции меньше 30 км, то параметр определяется по всему радиусу. Выбор высот должен быть таким, чтобы они охватывали все крупные предметы (детали рельефа). Обычно бывает достаточно взять 30 значений высот через 1 км.

Медианное значение напряженности поля $E(50, 50)$ на равнинно-холмистой местности для высоты подвеса передающей антенны 200 м в дециметровом диапазоне волн можно аппроксимировать с помощью формулы

$$E(50,50)=108,81 - 13,51lgr - 15,67(lgr)^2, \text{ дБ.} \quad (3.5)$$

Поправочный коэффициент на высоту подвеса приемных антенн для 50% мест приема необходимо учитывать при высоте подвеса антенн $h_2 \neq 10$ м. В (Рекомендации 370-4) указывается, что на равнинно-холмистой местности в дециметровом диапазоне снижение высоты подвеса антенн с 10 до 3 м приводит к уменьшению медианного значения напряженности поля на 6 дБ, если расстояние от мест приема до передающей станции не превышает 50 км.

В дециметровом диапазоне Δh значение поправочного коэффициента $F(\Delta h)$ для высот неровностей Δh меньше 50 м можно аппроксимировать выражением

$$F(\Delta h) = 12,5 - 0,25\Delta h, \text{ дБ.} \quad (3.6)$$

Отклонение напряженности поля в заданном проценте времени, дБ,

$$\Delta E(T) = \sigma_T K(T), \quad (3.7)$$

где σ_T – стандартное отклонение временного распределения, дБ;

$K(T)$ — безразмерная величина, распределенная по логарифмически-нормальному закону с нулевой медианой и стандартным отклонением, равным единице.

Стандартное отклонение временного распределения, дБ, в дециметровом диапазоне волн для точек приема, расположенных на расстояниях менее 100 км от радиопередающей станции

$$\sigma_T = 6,5[1 - \exp(-0,036r)]. \quad (3.8)$$

Отклонение напряженности поля, дБ, в заданном проценте мест приема

$$\Delta E(L) = \sigma_L K(L), \quad (3.9)$$

где σ_L – стандартное отклонение распределения напряженности поля по местоположению, дБ; $K(L)$ - безразмерная величина, определяемая с помощью интеграла Гаусса.

Для $L=T=95\%$, что требуется для цифрового радиовещания, значения $\Delta E(T)$ и $\Delta E(L)$ можно записать в виде:

$$\Delta E(T) = -10,4[1 - \exp(-0,036r)], \text{ дБ,} \quad (3.10)$$

$$\Delta E(L) = -15,2 \lg(h/50) - 14,4, \text{ дБ.} \quad (3.11)$$

Тогда напряженность поля, необходимую для определения зоны покрытия цифровым телевизионным вещанием можно определить по формуле

$$E(r, L, T) \geq P_{\Sigma} + 106,91 - 13,51 \lg r - 15,67(\lg r)^2 - 10,4[1 - \exp(-0,036r)] -$$

$$- 15,2lg(\Delta h/50) - 0,25\Delta h, \text{ дБ.} \quad (3.12)$$

Напряженности поля в городах, расположенных в зоне обслуживания радиопередающих ТВ станций, рассчитывают с учетом коэффициента $F(S)$, учитывающего дополнительное ослабление, зависящее от плотности застройки города S и характера расположения зданий. Высота строений и строительный материал оказывают сравнительно небольшое влияние.

Плотность застройки города (или квартала) определяют по плану как отношение застроенной части к общей площади.

Из рис.3.1 видно, что дополнительное ослабление $F(S)$ для дециметрового диапазона волн изменяется в больших пределах. В частности, для большого города его значение составляет 10...15 дБ. Дополнительное ослабление уменьшается по мере удаления точек приема от передающей станции. Для крупных городов уменьшение высоты подвеса приемных антенн с 10 до 3 м приводит к уменьшению медианного значения напряженности поля на 7...9 дБ на частотах 100...1000 МГц. В широком диапазоне частот уменьшение высоты подвеса антенн с 3 до 1,5 м приводит к уменьшению напряженности поля сигнала еще на 3 дБ. При подъеме антенн выше 10 м отмечается резкое возрастание сигнала. Поправочный коэффициент, дБ, для медианного значения напряженности поля при $h_2 > 10$ м

$$F(h_2) \approx 40(lgh_2 - 1), \text{ дБ} \quad (3.13)$$

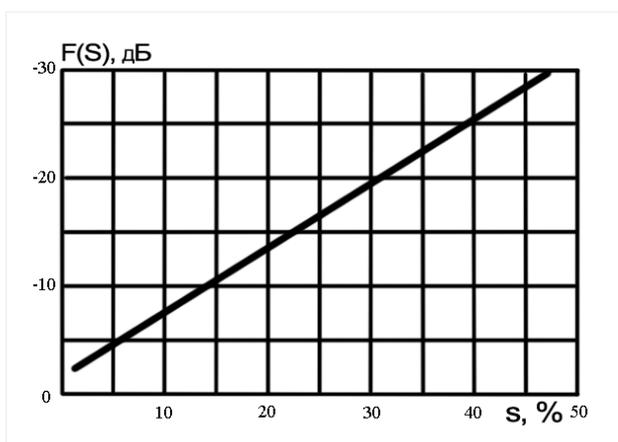


Рис.3.1. Зависимость дополнительного ослабления напряженности поля в городе от плотности застройки (дециметровый диапазон волн, $r = 1 \dots 10$ км, $h_2 = 10$ м)

В случае использования активных антенн с коэффициентом усиления K_{yc} эту величину можно включить в выражение (3.12), тогда

$$E(r, L, T) \geq P_{\Sigma} + 96,51 - 13,51lgr - 15,67(lgr)^2 + 10,4 \exp(-0,036r) - 15,2lg(\Delta h/50) - 0,25\Delta h + F(S) + K_{yc}, \text{ дБ.} \quad (3.14)$$

Этим выражением можно пользоваться для расчета напряженности поля цифрового телевидения. Его просто запрограммировать и отследить зависимости уровня поля от различных параметров.

Если аппроксимировать график на рис.3.1 функцией $L = 0,66S$, то получим следующее выражение

$$E(r, L, T) \geq P_{\Sigma} + 96,51 - 13,51lgr - 15,67(lgr)^2 + 10,4 \exp(-0,036r) - 15,2lg(\Delta h/50) - 0,25\Delta h - 0,66S + K_{yc}, \text{ дБ.} \quad (3.15)$$

При снижении высоты подвеса до 100 метров, что соответствует высотам мачт антенн РРЛ, выражение для расчета напряженности поля примет вид

$$E(r, L, T) \geq P_{\Sigma} + 92,48 - 21,48lgr - 11,93(lgr)^2 + 10,4 \exp(-0,036r) - 15,2lg(\Delta h/50) - 0,25\Delta h - 0,66S + K_{yc}, \text{ дБ.} \quad (3.16)$$

В случае аналогового радиовещания, напряженность поля рассчитывается для случая, когда L и T равны 50%. Поэтому напряженность поля, необходимую для определения зоны покрытия радиовещанием можно определить по формуле

$$E(r, L, T) \geq P_{\Sigma} + 110,1 - 8,16lgr - 15,2(lgr)^2 - 0,15\Delta h, \text{ дБ.} \quad (3.17)$$

Напряженности поля в городах, расположенных в зоне обслуживания радиопередающих РВ станций, рассчитывают с учетом коэффициента $F(S)$, учитывающего дополнительное ослабление, зависящее от плотности застройки города S и характера расположения зданий. Высота строений и строительный материал оказывают сравнительно небольшое влияние.

Плотность застройки города (или квартала) определяют по плану как отношение застроенной части к общей площади.

Для крупных городов уменьшение высоты подвеса приемных антенн с 10 до 3 м приводит к уменьшению медианного значения напряженности поля на 7...9 дБ на частотах 100...1000 МГц. В широком диапазоне частот уменьшение высоты подвеса антенн с 3 до 1,5 м приводит к уменьшению напряженности поля сигнала еще на 3 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.А. Каримов. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана. - Т.: Узбекистан, 2009.
2. Локшин М.Г. Проблемы построения наземных сетей цифрового телевидения // Электросвязь, 2007.- №3.- С.27 – 29.
3. Песков С.Н., Подолянова А.Н. Расчет зоны покрытия для цифрового эфирного вещания DVB-T/H. Часть 1. // Теле – Спутник, 2008.- Май.-5(151).
4. Песков С.Н. , Колпаков И.А. , Колгатин С.Ю. Рекомендации по внедрению DVB эфирного вещания. Сетевое планирование // Теле-Спутник, 2007.- №8.- С.102-106.
5. ETSI TR 101 190 v/1.2.1. (2004-11). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects.
6. ETSI TR 102 377 v/1.2.1. (2005-11). Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines.
7. Локшин М.Г. Основы планирования наземных сетей телевизионного и ОВЧ- ЧМ- вещания. Зоны обслуживания радиостанций // Broadcasting, 2006.- №4. - С.28-31.
8. С.Н. Песков, А.Н. Подолянова. Расчет зоны покрытия для цифрового эфирного вещания DVB-T/H. Часть 2. Сетевое планирование для DVB - H вещания // «Теле- Спутник» №5, 2008, №6, С.98
9. Песков С.Н., Подолянова А.Н. Расчет зоны покрытия для цифрового эфирного вещания DVB-T/H. Часть 3. Критерии сетевого планирования. Уровни сигналов для DVB-H сети. // «Теле- Спутник» №5, 2008, №6.
10. Recommendation ITU-R P 1546-1/ method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz. (2001-2003).
11. Песков С.Н., Подолянова А.Н. Расчет напряженности поля, создаваемой передатчиком // Теле – Спутник, 2008.-Август.-8(154).

12. Локшин М.Г., Шур А.А., Кокорев А.В., Краснощеков Р.А. Сети телевизионного и ОВЧ ЧМ вещания. – М.:Радио и связь, 1988.
- 13.Документы МККР. Женева: 1986.
- 14.Рекомендация ОИРТ №65. Метод планирования сетей вспомогательных ТВ станций в диапазонах I, II, III. -Прага, 1969.-С.30.
15. Рекомендация ОИРТ №19. Методика планирования сетей телевидения в IV, V диапазонах . - Прага, 1979.-С.24.
- 16.Рекомендация ОИРТ №88. Методика планирования сетей вспомогательных ТВ станций в дециметровом диапазоне волн. -Варна, 1979.-С.25.
- 17.Шур А.А., Мельников Б.Ф. Уточнение расчета напряженности поля на холмистой и горной местности в полосе частот 30 – 1000МГц. // Электросвязь, 1983.-№6.-С.44-47.
- 18.Шур А.А. Характеристики сигнала на тропосферных радиолиниях.- М.:Связь,1972.-С.104.
- 19.Документ МККР 5/81 – Е, 5 апреля 1978 (Вклад ПНР).
- 20.Рекомендация МСЭ-R P.1546-4.
- 21.Долуханов М.П. Распространение радиоволн.-М.: Связь, 1972.
22. Черенкова Е.Л., Чернышов О.В. Распространение радиоволн.- М.: Радио и связь, 1984.
23. ГОСТ 7845-79. Система вещательного телевидения. Основные параметры. Методы измерений.
- 24.ГОСТ O'z DST 2126 2010.Зоны уверенного приема наземного цифрового телевизионного вещания.

