

О. С. Данилович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЦИФРОВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ**

Расчет показателей качества передачи



Издательство «Линк»
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2009

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 5 |
| 1. Требования к показателям качества цифровых РРЛ..... | 7 |
| 1.1. Показатели качества по ошибкам | 7 |
| 1.1.1. Характеристика показателей качества по ошибкам..... | 7 |
| 1.1.2. Требования к показателям качества по ошибкам, основанные на рекомендациях МСЭ..... | 8 |
| 1.1.3. Российские национальные нормы на показатели качества по ошибкам..... | 11 |
| 1.2. Показатели неготовности..... | 13 |
| 1.2.1. Характеристика показателей неготовности..... | 13 |
| 1.2.2. Требования к показателям неготовности, основанные на рекомендациях МСЭ..... | 15 |
| 1.2.3. Российские национальные нормы на показатели неготовности | 16 |
| 1.3. Примеры расчета нормируемых значений показателей качества..... | 17 |
| 2. Расчет энергетических характеристик интервалов..... | 18 |
| 2.1. Расчет уровней сигнала на входе приемника..... | 18 |
| 2.2. Расчет уровней принимаемого сигнала на интервалах с пассивными ретрансляторами..... | 22 |
| 2.3. Расчет запаса на плоские замирания без учета влияния внутрисистемных помех | 24 |
| 2.4. Расчет запаса на плоские замирания с учетом влияния мешающих сигналов обратного направления..... | 25 |
| 2.5. Расчет запаса на плоские замирания с учетом совместного влияния мешающих сигналов обратного направления и узлообразования..... | 31 |
| 2.6. Примеры расчета энергетических характеристик интервала..... | 35 |
| 3. Расчет показателей сильно пораженных секунд | 40 |
| 3.1. Расчет показателей сильно пораженных секунд при одинарном приеме сигналов | 40 |
| 3.2. Расчет показателей сильно пораженных секунд при разносекном приеме сигналов | 48 |
| 3.3. Расчет показателей сильно пораженных секунд для интервалов с повторным использованием частот | 51 |
| 3.4. Примеры расчета показателей сильно пораженных секунд..... | 53 |

| | |
|---|----|
| 4. Расчет показателей неготовности..... | 56 |
| 4.1. Особенности учета влияния распространения радиоволн при расчете показателей неготовности..... | 56 |
| 4.2. Расчет показателя неготовности, учитывающего ослабление в дождях..... | 57 |
| 4.3. Расчет показателя неготовности, учитывающего влияние дождей, для интервалов с повторным использованием частот..... | 64 |
| 4.4. Расчет показателя неготовности, учитывающего субрефракционные замирания..... | 65 |
| 4.5. Примеры расчета показателей неготовности..... | 66 |
| Приложения 1, 2..... | 70 |
| Литература..... | 74 |
| Список сокращений..... | 75 |

ВВЕДЕНИЕ

В условиях большой территории России, природно-географических и демографических особенностей этой территории, а также слабо развитой инфраструктуры связи в большинстве регионов радиорелейные линии (РРЛ) являются важной составной частью существующих сетей связи. Они широко применяются при построении магистральных и зонавых линий, на внутригородских и сельских соединительных линиях, в ведомственных и корпоративных сетях, в том числе на технологических линиях различного назначения, в качестве соединительных линий между базовыми станциями и центрами коммутации в системах подвижной связи. В силу известных преимуществ уже давно практически все строящиеся и реконструируемые РРЛ являются цифровыми.

Цифровые РРЛ (ЦРРЛ) имеют целый ряд несомненных достоинств в сравнении с кабельными, в том числе волоконно-оптическими линиями связи. Основными из этих достоинств являются: более высокая надежность линейного тракта, слабая зависимость от местных природно-географических условий, значительно меньшие проблемы с выделением земельных угодий, существенно меньшие капитальные затраты при новом строительстве, возможности постепенного увеличения капитальных вложений по мере увеличения трафика и использования антенных опор для организации подвижной связи вдоль трассы РРЛ. Благодаря указанным достоинствам во многих случаях использование ЦРРЛ псевдосинхронной (PDH) или синхронной (SDH) иерархий является наиболее целесообразным вариантом построения линий связи.

Современные высокие требования к показателям качества передачи информации не зависят от используемой физической среды передачи, т.е. являются одинаковыми как для кабельных, так и для цифровых радиорелейных линий. В этой связи расчет показателей качества ЦРРЛ имеет особую важность, если учесть сложный характер зависимостей указанных показателей от условий распространения радиоволн, характеристик и конфигурации используемого радиорелейного оборудования.

В настоящее время отсутствуют учебная литература, содержащая требования к показателям качества при проектировании ЦРРЛ, и современная методика расчета этих показателей.

В данном учебном пособии рассмотрены качественные показатели, используемые при проектировании и расчете современных ЦРРЛ, а также требования к этим показателям, основанные на последних рекомендациях

Международного союза электросвязи (МСЭ), и российские национальные требования. Рассмотрена методика оценки запаса на замирания в условиях воздействия внутрисистемных помех. Изложена современная методика расчета показателей качества по ошибкам для сильно пораженных (ошибками) секунд при одинарном и различных видах разнесенного приема сигналов, а также показателей неготовности, учитывающих влияние дождей и субрефракционных замираний. По каждому разделу приведены числовые примеры соответствующих расчетов.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ РРЛ

Работа цифровой РРЛ (ЦРРЛ) или ее элементов (участков или отдельных интервалов) характеризуется показателями качества передачи. При этом каждый показатель качества определяется двумя компонентами: критерием качества и вероятностью или процентом времени выполнения (несвыполнения) этого критерия. Качественные показатели ЦРРЛ можно разделить на две основные группы: показатели качества по ошибкам и показатели неготовности.

1.1. Показатели качества по ошибкам

1.1.1. Характеристика показателей качества по ошибкам

Показатели качества по ошибкам (ПКО) характеризуют незначительные ухудшения качества передачи, а также кратковременные срывы связи и относятся только к состоянию готовности РРЛ.

Используемые в настоящее время показатели качества по ошибкам (ПКО) для цифровых РРЛ плезисхронной и синхронной иерархий и требования к этим показателям основаны на рекомендациях секторов стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ) G.826, G.828 [1, 2] и F.1668 [3].

Для цифровых трактов со скоростью передачи, равной или большей первичной скорости 2,048 Мбит/с, используются ПКО, основанные на блоковом принципе и понятиях блока и блока с ошибками (ЕВ) [1].

Блок – это ряд последовательных битов, соответствующих данному цифровому тракту. Каждый бит принадлежит одному и только одному блоку. Последовательные биты могут не быть соседними во времени. Каждый блок контролируется с помощью связанного с ним кода с обнаружением ошибок (EDC) или с использованием циклической проверки избыточности (CRC).

Блок с ошибками (ЕВ) – блок, содержащий хотя бы один ошибочный бит.

При блоковом принципе используются следующие критерии и показатели качества.

Секунда с ошибками (ES) – секундный интервал, содержащий хотя бы один ЕВ или дефект (под дефектом понимается пропадание сигнала, потеря синхронизации или наличие аварийного сигнала).

Показатель (коэффициент) секунд с ошибками (ESR) – отношение числа ES к общему числу секунд в период готовности за время измерения один месяц (при этом имеется в виду худший с точки зрения условий распространения радиоволн месяц).

Сильно пораженная (ошибками) секунда (SES) – секундный интервал, содержащий не менее 30% EB, или, по крайней мере, один дефект. Множество SES является подмножеством множества ES.

Показатель (коэффициент) сильно пораженных секунд (SESR) – отношение числа SES к общему числу секунд в период готовности за время измерений один месяц (при этом имеется в виду худший с точки зрения условий распространения радиоволн месяц).

Блок с фоновыми ошибками (BBE) – EB, не вошедший в SES.

Показатель (коэффициент) блоков с фоновыми ошибками (BBER) – отношение числа BBE к общему числу блоков в период готовности за время измерения один месяц (при этом имеется в виду худший с точки зрения условий распространения радиоволн месяц) при условии, что из общего числа блоков исключены блоки, входящие в SES.

Для цифровых соединений со скоростью передачи, меньшей первичной скорости 2,048 Мбит/с, определены только два ПКО: показатель секунд с ошибками (ESR) и показатель сильно пораженных секунд (SESR). При этом соответствующие критерии качества основаны не на блоковом, а на битовом принципе [1,4], т.е. в данном случае секундой с ошибками (ES) считается секундный интервал, содержащий хотя бы один ошибочный бит или имеющий пропадание сигнала, или сигнал индикации аварии, а сильно пораженной секундой (SES) считается секундный интервал, для которого коэффициент битовых ошибок (BER) не менее 10^{-3} , или имеет место пропадание сигнала, или сигнал индикации аварии.

Все указанные ПКО относятся к состоянию готовности и одному направлению передачи.

В настоящее время при проектировании и расчете ЦППЛ всегда оценивается только один показатель качества по ошибкам – показатель SESR.

1.1.2. Требования к показателям качества по ошибкам, основанные на рекомендациях МСЭ

В соответствии с рекомендациями МСЭ гипотетический эталонный тракт (HRP), соединяющий два оконечных пункта, состоит из двух национальных участков в оконечных странах и международного участка, соединяющего указанные национальные участки (рис. 1.1).

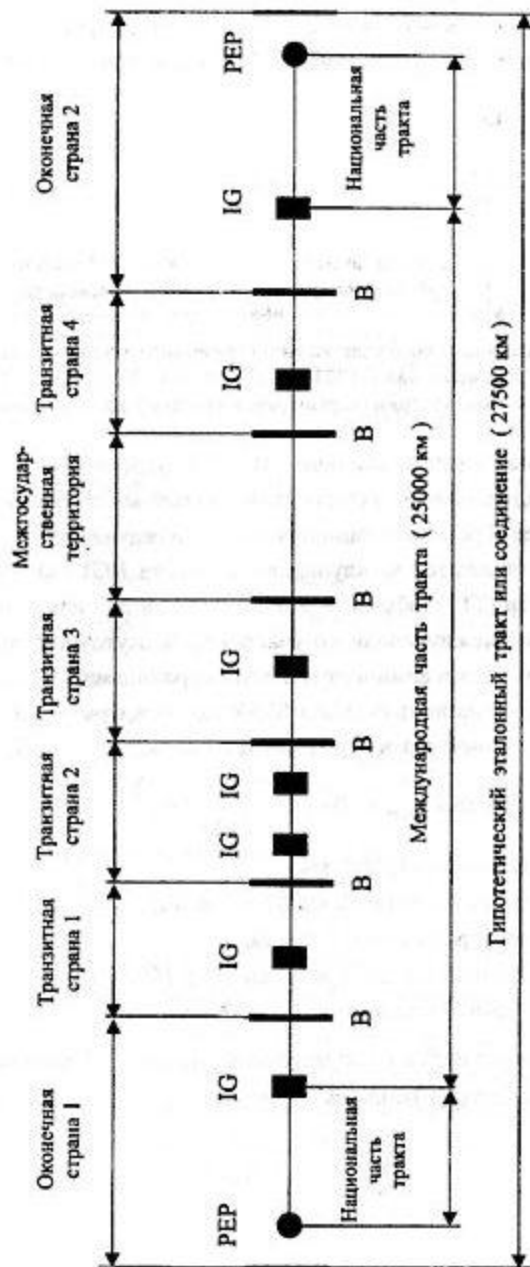


Рис. 1.1. Схема гипотетического эталонного тракта или соединения по рекомендации G.826 (PEP – оконечный пункт; IG – международные ворота; B – государственная граница)

Сильно пораженная (ошибками) секунда (SES) – секундный интервал, содержащий не менее 30% EB, или, по крайней мере, один дефект. Множество SES является подмножеством множества ES.

Показатель (коэффициент) сильно пораженных секунд (SESR) – отношение числа SES к общему числу секунд в период готовности за время измерения один месяц (при этом имеется в виду худший с точки зрения условий распространения радиоволн месяц).

Блок с фоновыми ошибками (ВВЕ) – EB, не вошедший в SES.

Показатель (коэффициент) блоков с фоновыми ошибками (ВВЕР) – отношение числа ВВЕ к общему числу блоков в период готовности за время измерения один месяц (при этом имеется в виду худший с точки зрения условий распространения радиоволн месяц) при условии, что из общего числа блоков исключены блоки, входившие в SES.

Для цифровых соединений со скоростью передачи, меньшей первой скорости 2,048 Мбит/с, определены только два ПКО: показатель секунда с ошибками (ESR) и показатель сильно пораженных секунд (SESR). При этом соответствующие критерии качества основаны не на блоковом, а на битовом принципе [1,4], т.е. в данном случае секундой с ошибками (ES) считается секундный интервал, содержащий хотя бы один ошибочный бит или имеющий пропадание сигнала, или сигнал индикации аварии, а сильно пораженной секундой (SES) считается секундный интервал, для которого коэффициент битовых ошибок (BER) не менее 10^{-3} , или имеет место пропадание сигнала, или сигнал индикации аварии.

Все указанные ПКО относятся к состоянию готовности и одному направлению передачи.

В настоящее время при проектировании и расчете ЦРРЛ всегда оценивается только один показатель качества по ошибкам – показатель SESR.

1.1.2. Требования к показателям качества по ошибкам, основанные на рекомендациях МСЭ

В соответствии с рекомендациями МСЭ гипотетический эталонный тракт (НРР), соединяющий два конечных пункта, состоит из двух национальных участков в конечных странах и международного участка, соединяющего указанные национальные участки (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема гипотетического эталонного тракта или соединения по рекомендации G.826 (PEP – окончательный пункт; IG – международные ворота; В – государственная граница)

Каждый национальный участок состоит из трех участков (рис. 1.2): большой протяженности (LH), малой протяженности (SH) и доступа (Access).



Рис. 1.2. Схема национального участка гипотетического эталонного тракта по рекомендации F.1703[5]: LE – местная АТС; SC – сетевой узел коммутации (первичный, вторичный или третичный)

Международный участок включает два международных участка оконечных стран и международные участки промежуточных стран, число которых не более четырех. Границей национального и международного участков в оконечной стране являются международные ворота (IG) или оконечный международный центр (TIC), обычно – это сетевая станция или сетевой узел коммутации. Границы международного участка промежуточной страны совпадают с соответствующими административными границами.

Нормируемые значения показателя SESR для международных участков оконечной и промежуточной стран определяются выражением, %, [3]:

$$SESR_{\text{норм}} = 100 \cdot \left(B_j \cdot \frac{L}{2500} + C_j \right), \quad (1.1)$$

где L – длина рассматриваемой ЦППЛ, км;

$j = 1$ для оконечной страны при $50 \text{ км} \leq L \leq 500 \text{ км}$;

$j = 2$ для оконечной страны при $L > 500 \text{ км}$;

$j = 3$ для промежуточной страны при $50 \text{ км} \leq L \leq 1000 \text{ км}$;

$j = 4$ для промежуточной страны при $L > 1000 \text{ км}$.

Значения параметров B_j и C_j определяются из табл. 1.1, причем во всех случаях при $L < 50 \text{ км}$ следует полагать $L = 50 \text{ км}$.

Таблица 1.1

Значения параметров B_j и C_j
для международных участков оконечных и промежуточных стран

| Международный участок | B_j | C_j |
|--|-------------------|-------------------|
| Оконечная страна при $50 \text{ км} \leq L \leq 500 \text{ км}$ | $2 \cdot 10^{-4}$ | 0 |
| Оконечная страна при $L > 500 \text{ км}$, $j = 2$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| Промежуточная страна при $50 \text{ км} \leq L \leq 1000 \text{ км}$, $j = 3$ | $2 \cdot 10^{-4}$ | 0 |
| Промежуточная страна при $L > 1000 \text{ км}$, $j = 4$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | $4 \cdot 10^{-5}$ |

Нормируемые значения показателя SESR для участков, входящих в национальный участок HRP, определяются следующим образом.

Для участка большой протяженности (LH), %, [3]:

$$SESR_{\text{норм}} = 2 \cdot 10^{-3} (A_1 + 0,002)L \text{ при } 50 \text{ км} \leq L \leq 100 \text{ км}; \quad (1.2)$$

$$SESR_{\text{норм}} = 0,2(A_1 + 2 \cdot 10^{-5}L) \text{ при } L > 100 \text{ км}, \quad (1.3)$$

где $A_1 = 0,01 - 0,02$.

Для участка малой протяженности (SH), %:

$$SESR_{\text{норм}} = 0,2 \cdot B, \quad B = 0,075 - 0,085. \quad (1.4)$$

Для участка доступа, %:

$$SESR_{\text{норм}} = 0,2 \cdot C, \quad C = 0,075 - 0,085. \quad (1.5)$$

При этом должны выполняться условия: $A_1 + B + C \leq 0,175$ и $B + C = 0,155 - 0,165$.

Следует отметить, что формулы (1.1) ... (1.5) для нормируемых значений показателя SESR учитывают все дополнительные внешние воздействия.

1.1.3. Российские национальные нормы на показатели качества по ошибкам

В состав гипотетического соединения сети связи России (рис. 1.3) входят следующие гипотетические эталонные цифровые тракты (ГЭЦТ) [5]:

магистральных сетей длиной 12500 и 2500 км;

внутризоновых сетей длиной 600, 200 и 50 км;

местной сети длиной 100 км;

сети доступа.

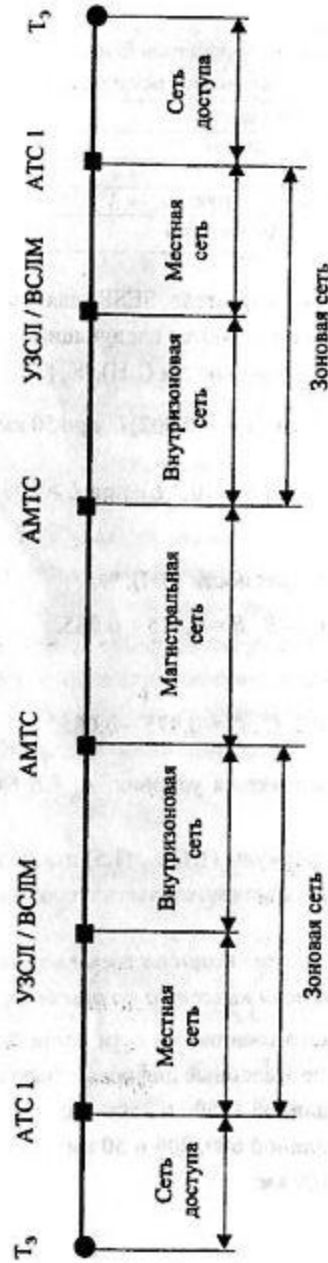


Рис. 1.3. Схема гипотетического соединения сети связи России: T_3 – эталонная точка;
 АТC-1 – местная автоматическая телефонная станция;

УЗСЛ/ВСЛМ – узел зонных соединительных линий; АМТС – автоматическая междугородная телефонная станция

При проектировании новых ЦРПЛ используются нормируемые значения показателя SESR, приведенные в табл. 1.2.

При реконструкции существующих аналоговых РПЛ с целью их цифровизации используются менее жесткие нормы на показатель SESR, приведенные в табл. 1.3.

Следует отметить, что во всех случаях расчетные значения показателей SESR, полученные без учета помех от других служб, не должны превышать 0,89 от нормируемых значений, приведенных в табл. 1.2 и 1.3.

1.2. Показатели неготовности

1.2.1. Характеристика показателей неготовности

Показатели неготовности характеризуют продолжительные срывы связи длительностью не менее 10 с.

Используемые в настоящее время показатели неготовности (ПНГ) для цифровых РПЛ плезиохронной и синхронной иерархий и требования к этим показателям основаны на рекомендациях G.827 и F.1703 [6,7], по которым цифровой тракт или отдельные его элементы могут находиться в одном из двух состояний: готовности или неготовности.

Период времени неготовности начинается с начала интервала времени, содержащего не менее 10 последовательных сильно пораженных (ошибками) секунд (SES), которые рассматриваются как часть времени неготовности.

Период времени готовности начинается с начала интервала времени, содержащего не менее 10 последовательных секунд, среди которых отсутствуют сильно пораженные (ошибками) секунды (SES). Эти 10 с рассматриваются как часть времени готовности.

Для двунаправленного цифрового тракта или соединения состояние неготовности означает, что хотя бы одно направление передачи находится в состоянии неготовности. Соответственно состояние готовности означает, что оба направления передачи находятся в состоянии готовности.

В качестве показателей неготовности используются коэффициент неготовности и интенсивность периодов неготовности [6,7].

Коэффициент неготовности (UR) определяется отношением суммарного времени, в течение которого цифровой тракт или его элементы находятся в состоянии неготовности, к общему времени наблюдения (один год). Часто вместо показателя UR используется коэффициент готовности (AR), определяемый отношением суммарного времени, в течение которого цифровой тракт или его элементы находятся в состоянии готовности, к указанному общему времени наблюдения.

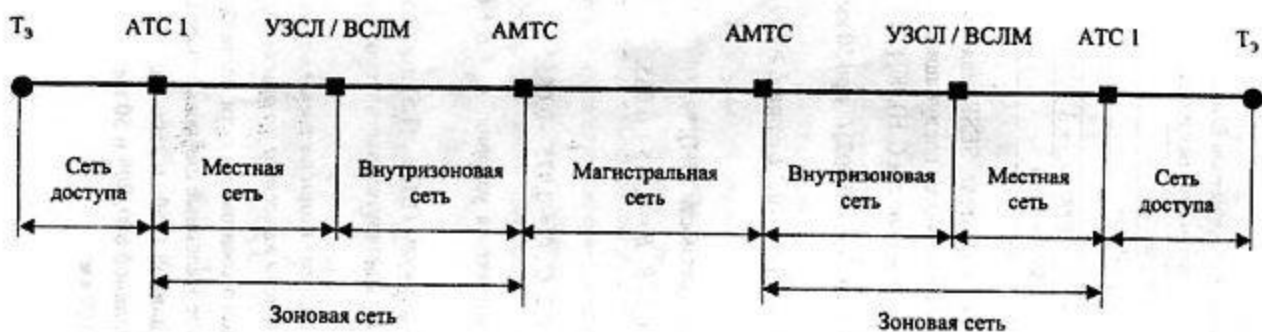


Рис. 1.3. Схема гипотетического соединения сети связи России: T_3 — эталонная точка; АТС-1 — местная автоматическая телефонная станция; УЗСЛ/ВСЛМ — узел зонных соединительных линий; АМТС — автоматическая междугородная телефонная станция

При проектировании новых ЦРЛ используются нормируемые значения показателя SESR, приведенные в табл. 1.2.

При реконструкции существующих аналоговых РРЛ с целью их цифровизации используются менее жесткие нормы на показатель SESR, приведенные в табл. 1.3.

Следует отметить, что во всех случаях расчетные значения показателей SESR, полученные без учета помех от других служб, не должны превышать 0,89 от нормируемых значений, приведенных в табл. 1.2 и 1.3.

1.2. Показатели готовности

1.2.1. Характеристика показателя готовности

Показатели готовности характеризуют продолжительные срывы связи длительностью не менее 10 с.

Используемые в настоящее время показатели готовности (ПНГ) для цифровых РРЛ плезиохронной и синхронной иерархий и требования к этим показателям основаны на рекомендациях G.827 и F.1703 [6,7], по которым цифровой тракт или отдельные его элементы могут находиться в одном из двух состояний: готовности или неготовности.

Период времени неготовности начинается с начала интервала времени, содержащего не менее 10 последовательных сильно пораженных (ошибками) секунд (SES), которые рассматриваются как часть времени неготовности.

Период времени готовности начинается с начала интервала времени, содержащего не менее 10 последовательных секунд, среди которых отсутствуют сильно пораженные (ошибками) секунды (SES). Эти 10 с рассматриваются как часть времени готовности.

Для двунаправленного цифрового тракта или соединения состояние неготовности означает, что хотя бы одно направление передачи находится в состоянии неготовности. Соответственно состояние готовности означает, что оба направления передачи находятся в состоянии готовности.

В качестве показателей неготовности используются коэффициент неготовности и интенсивность периодов неготовности [6,7].

Коэффициент неготовности (UR) определяется отношением суммарного времени, в течение которого цифровой тракт или его элементы находятся в состоянии неготовности, к общему времени наблюдения (один год). Часто вместо показателя UR используется коэффициент готовности (AR), определяемый отношением суммарного времени, в течение которого цифровой тракт или его элементы находятся в состоянии готовности, к указанному общему времени наблюдения.

Интенсивность периодов неготовности (OI) определяется числом периодов времени, когда цифровой тракт или его элементы находятся в состоянии неготовности, за общее время наблюдения, равное одному году.

Таблица 1.2

Нормируемые значения показателя SESR для новых ЦРПЛ

| Сеть связи России | Длина тракта, км | Норма на показатель SESR, % | Распределение нормы для реальных линий |
|-----------------------|------------------|-----------------------------|---|
| Международный участок | 12500 | 0,06 | Пропорционально L для $L \geq 2500$ км |
| Национальный участок | | | |
| Магистральная сеть | 2500 | 0,012 | Пропорционально L для $L \geq 50$ км |
| Внутризонавая сеть | 600 | 0,012 | Пропорционально L для $L > 600$ км Независимо от длины для $200 < L \leq 600$ км |
| | 200 | 0,012 | Пропорционально L для $50 < L \leq 200$ км |
| | 50 | 0,003 | Независимо от длины для $L \leq 50$ км |
| Местная сеть | 100 | 0,01 | Независимо от длины для $L \leq 100$ км |
| Сеть доступа | — | 0,015 | Независимо от длины |

L — длина рассматриваемой ЦРПЛ.

Таблица 1.3

Нормируемые значения показателя SESR для реконструируемых РРЛ

| Участок сети связи России | Длина тракта, км | Норма на показатель SESR, % | Распределение нормы для реальных линий |
|---------------------------|------------------|-----------------------------|---|
| Международный участок | 12500 | 0,07 | $0,05 + 0,02 \cdot \frac{L}{12500}$ для $L \geq 2500$ км |
| Национальный участок | | | |
| Магистральная сеть | 2500 | 0,054 | Пропорционально L для $L \geq 50$ км |
| Внутризонавая сеть | 600 | 0,025 | Пропорционально L для $L > 600$ км Независимо от длины для $200 < L \leq 600$ км |
| | 200 | 0,025 | Пропорционально L для $50 < L \leq 200$ км |
| | 50 | 0,006 | Независимо от длины для $L \leq 50$ км |
| Местная сеть | 100 | 0,015 | Независимо от длины для $L \leq 100$ км |
| Сеть доступа | — | 0,015 | Независимо от длины |

L — длина рассматриваемой ЦРПЛ.

Часто вместо показателя OI используется среднее время между периодами неготовности (M_O), усредненное за время наблюдения один год, с,

$$M_O = \frac{3,15 \cdot 10^7}{OI} \quad (1.6)$$

В настоящее время при проектировании ЦРПЛ всегда оценивается только один показатель неготовности — показатель UR (или $AR = 1 - UR$).

1.2.2. Требования к показателям неготовности, основанные на рекомендациях МСЭ

В соответствии с рекомендацией F.1703 [7] нормируемые значения показателя UR для каждого направления передачи на международных и национальных участках HRP или HRC определяются выражением, %:

$$UR_O = 100 \cdot \left(D_j \cdot \frac{L}{2500} + E_j \right), \quad (1.7)$$

где L — длина рассматриваемой ЦРПЛ;

$j = 1$ для международного участка при $50 \text{ км} \leq L \leq 250 \text{ км}$;

$j = 2$ для международного участка при $250 \text{ км} < L \leq 2500 \text{ км}$;

$j = 3$ для международного участка при $2500 \text{ км} < L \leq 7500 \text{ км}$;

$j = 4$ для международного участка при $L > 7500 \text{ км}$;

$j = 5$ для участка доступа национальной части HRP;

$j = 6$ для участка малой протяженности национальной части HRP;

$j = 7$ для участка большой протяженности национальной части HRP.

Значения параметров D_j и E_j для международных участков разной протяженности национальной части HRP приведены в табл. 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4

Значения параметров D_j и E_j для международных участков HRP

| 50 км $\leq L \leq 250$ км | | 250 км $< L \leq 2500$ км | | 2500 км $< L \leq 7500$ км | | $L > 7500$ км | |
|----------------------------|---------------------|---------------------------|-------|----------------------------|-------|---------------------|-------|
| D_1 | E_1 | D_2 | E_2 | D_3 | E_3 | D_4 | E_4 |
| $1,9 \cdot 10^{-3}$ | $1,1 \cdot 10^{-4}$ | $3,0 \cdot 10^{-3}$ | 0 | $3,0 \cdot 10^{-3}$ | 0 | $3,0 \cdot 10^{-3}$ | 0 |

При $L \leq 50$ км во всех случаях полагается $L = 50$ км.

Таблица 1.5

Значения параметров D_i и E_i для участков национальной части НРР

| Участок | | | | | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|--|--|--|
| доступа | | малой протяженности | | большой протяженности | | |
| D_5 | E_5 | D_6 | E_6 | D_7 | | E_7 |
| 0 | $5,0 \cdot 10^{-4}$ | 0 | $4,0 \cdot 10^{-4}$ | $1,9 \cdot 10^{-3}$ для $50 \text{ км} \leq L < 250 \text{ км}$ | $3,0 \cdot 10^{-3}$ для $250 \text{ км} \leq L < 2500 \text{ км}$ | $1,1 \cdot 10^{-4}$ для $50 \text{ км} \leq L < 250 \text{ км}$ 0 для $250 \text{ км} \leq L < 2500 \text{ км}$ |
| При $L \leq 50 \text{ км}$ во всех случаях полагается $L = 50 \text{ км}$. | | | | | | |

1.2.3. Российские национальные нормы на показатели неготовности (UR)

При проектировании ЦРПЛ, относящихся к сетям связи России, используются нормируемые значения показателя UR (коэффициента неготовности), относящиеся к двунаправленному цифровому тракту или соединению [3] и приведенные в табл. 1.6.

Следует отметить, что приведенные нормируемые значения показателя UR помимо влияния условий распространения радиоволн учитывают ненадежность оборудования и качество его обслуживания, а также все другие факторы, в том числе форс-мажорные обстоятельства.

При проектировании ЦРПЛ для сетей связи России считается, что расчетные значения показателя UR не должны превышать примерно одну треть от значений, указанных в табл. 1.6. При этом расчетные значения показателя UR, полученные без учета помех от других служб, не должны превышать 0,89 от нормируемых значений.

В заключение необходимо отметить, что в случае многоинтервальных ЦРПЛ все рассмотренные выше нормы на показатели качества по ошибкам и показатели неготовности относятся к линии в целом и что распределение этих норм по отдельным интервалам относится к компетенции сетевых операторов.

Вместе с тем следует иметь в виду, что при таком подходе в процессе развития сетей связи могут возникнуть трудности с выполнением требований к показателям качества на новых участках ЦРПЛ, включающих элементы спроектированных ранее линий. Указанные трудности могут быть в принципе исключены, если при проектировании ЦРПЛ обеспечивается выполнение требований к показателям качества на отдельных интервалах.

Таблица 1.6

Нормируемые значения показателя неготовности для сетей связи России

| Участок сети | Длина тракта, км | Норма на показатель UR, % | Распределение нормы для реальных линий |
|-----------------------------------|------------------|---------------------------|---|
| Международный участок | 12500 | 1,5 | Пропорционально L для $L \geq 2500 \text{ км}$ |
| Национальный участок | | | |
| Магистральная сеть | 2500 | 0,3 | Пропорционально L для $L \geq 50 \text{ км}$ |
| Внутризонавая сеть | 600 | 0,05 | Пропорционально L для $L > 600 \text{ км}$ Независимо от длины для $200 < L \leq 600 \text{ км}$ |
| | 200 | 0,05 | Пропорционально L для $50 < L \leq 200 \text{ км}$ |
| | 50 | 0,0125 | Независимо от длины для $L \leq 50 \text{ км}$ |
| Местная сеть | 100 | 0,05 | Независимо от длины для $L \leq 100 \text{ км}$ |
| Сеть доступа | — | 0,05 | Независимо от длины |
| L — длина рассматриваемой ЦРПЛ. | | | |

1.3. Примеры расчета нормируемых значений показателей качества

Пример 1.1. Найти нормируемое значение показателя SESR в соответствии с F.1668 для оконечной страны при $L = 1000 \text{ км}$.

В соответствии с (1.1) и табл. 1.1:

$$j = 2; \quad B_2 = 1 \cdot 10^{-4}; \quad C_2 = 2 \cdot 10^{-5};$$

$$SESR_{\text{норм}} = 100 \cdot \left(1 \cdot 10^{-4} \frac{1000}{2500} + 2 \cdot 10^{-5} \right) = 0,006\%.$$

Пример 1.2. Найти нормируемое значение показателя SESR в соответствии с F.1668 для национального участка большой протяженности при $L = 1000 \text{ км}$.

В соответствии с (1.3):

$$SESR_{\text{норм}} = 0,2 \cdot \left(0,01 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \right) = 0,006\% \text{ для } A_1 = 0,01;$$

$$SESR_{\text{норм}} = 0,2 \cdot \left(0,02 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \right) = 0,008\% \text{ для } A_1 = 0,02.$$

Пример 1.3. Найти нормируемое значение показателя SESR в соответствии с российскими национальными нормами для новой магистральной ЦРПЛ при $L = 1000 \text{ км}$.

В соответствии с табл. 1.2: $SESR_{\text{норм}} = 0,012 \frac{1000}{2500} = 0,0048\%$.

Пример 1.4. Найти нормируемое значение показателя UR в соответствии с F.1703 для международного участка при $L = 1000$ км.

В соответствии с (1.7) и табл. 1.4:

$$j = 2; \quad D_2 = 3 \cdot 10^{-3}; \quad E_2 = 0; \quad UR_{\text{норм}} = 100 \cdot \left(3 \cdot 10^{-3} \frac{1000}{2500} + 0 \right) = 0,12\%.$$

Пример 1.5. Найти нормируемое значение показателя UR в соответствии с F.1703 для национального участка малой протяженности при $L = 500$ км.

В соответствии с (1.7) и табл. 1.5:

$$j = 6; \quad D_6 = 0; \quad E_6 = 4 \cdot 10^{-4}; \quad UR_{\text{норм}} = 100 \cdot \left(0 \cdot \frac{500}{2500} + 4 \cdot 10^{-4} \right) = 0,04\%.$$

Пример 1.6. Найти нормируемое значение показателя UR в соответствии с российскими национальными нормами для внутризоновой ЦРПЛ при $L = 150$ км.

В соответствии с табл. 1.6: $UR_{\text{норм}} = 0,05 \cdot \frac{150}{200} = 0,0375\%$.

2. РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕРВАЛОВ

2.1. Расчет уровней сигнала на входе приемника

Средний уровень принимаемого сигнала при номинальной мощности передатчика, дБм:

$$P_{\text{пм}} = P_{\text{пл}} - L_{\Sigma}, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{пл}}$ – гарантированное значение номинального уровня мощности передатчика, дБм;

L_{Σ} – средние суммарные потери на интервале [8], дБ:

$$L_{\Sigma} = -G_{a1} - G_{a2} + L_0 + L_{\text{газ}} + L_{\text{дифр}}(\bar{g}) + L_{\text{ар}} + L_{\text{ф}} + L_{\text{доп}}, \quad (2.2)$$

где G_{a1} и G_{a2} – коэффициенты усиления антенн на левом и правом концах интервала, дБ;

L_0 – потери свободного пространства на интервале, дБ;

$L_{\text{газ}}$ – потери в газах тропосферы, дБ;

$L_{\text{дифр}}(\bar{g})$ – дифракционные потери при средней рефракции, дБ;

$L_{\text{ар}}$ – суммарные потери в антенных разветвителях на интервале, дБ;

$L_{\text{ф}}$ – суммарные потери в волноводных (фидерных) трактах на интервале, дБ,

$L_{\text{доп}}$ – дополнительные потери на интервале, дБ.

Потери свободного пространства определяются выражением, дБ:

$$L_0 = 92,44 + 20 \lg R + 20 \lg f, \quad (2.3)$$

где R – длина интервала, км; f – средняя частота используемого диапазона частот, ГГц.

Потери в газах тропосферы для горизонтальных или слегка наклонных трасс, проходящих вблизи Земли [9], дБ:

$$L_{\text{газ}} = (\gamma_{O_2} + \gamma_{H_2O})R, \quad (2.4)$$

где γ_{O_2} , γ_{H_2O} – погонное затухание в сухом воздухе и парах воды дБ/км.

Выражения для погонных затуханий γ_{O_2} и γ_{H_2O} справедливы для следующих типичных климатических условий: температура $t = 15^\circ\text{C}$, давление $p = 1013$ гПа, плотность паров воды $\rho = 7,5 \text{ г/м}^3$.

Для сухого воздуха погонное затухание определяется выражениями:

$$\gamma_{O_2} = \left[\frac{7,2}{f^2 + 0,34} + \frac{0,62}{(54 - f)^{1,16} + 0,83} \right] \cdot f^2 \cdot 10^{-3} \text{ для } f \leq 54 \text{ ГГц}; \quad (2.5)$$

$$\gamma_{O_2} = \exp[0,033(f - 58)(f - 60) - 0,317(f - 54)(f - 60) + 0,226(f - 54)(f - 58)] \text{ для } 54 \text{ ГГц} < f \leq 60 \text{ ГГц}. \quad (2.6)$$

Для паров воды погонное затухание γ_{H_2O} дБ/км:

$$\begin{aligned} \gamma_{H_2O} = & \left\{ \frac{3,98}{(f - 22,235)^2 + 9,42} \left[1 + \frac{(f - 22)^2}{(f + 22)^2} \right] + \frac{11,96}{(f - 183,31)^2 + 11,14} + \right. \\ & + \frac{0,081}{(f - 321,226)^2 + 6,29} + \frac{3,66}{(f - 325,153)^2 + 9,22} + \frac{25,37}{(f - 380)^2} + \\ & + \frac{17,4}{(f - 448)^2} + \frac{844,6}{(f - 557)^2} \left[1 + \frac{(f - 557)^2}{(f + 557)^2} \right] + \\ & \left. + \frac{290}{(f - 752)^2} \left[1 + \frac{(f - 752)^2}{(f + 752)^2} \right] + \frac{8,3328 \cdot 10^4}{(f - 1780)^2} \left[1 + \frac{(f - 1780)^2}{(f + 1780)^2} \right] \right\} f^2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-4}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Графические зависимости погонного затухания в сухом воздухе, в парах воды и суммарного погонного затухания от частоты для указанных выше условий приведены на рис. 2.1. Более общие формулы для расчета погонного затухания, справедливые для любых климатических условий, приведены в прил. 1 [9].

Следует отметить, что влияние ослабления в газах тропосферы следует учитывать, начиная с диапазонов частот 8–10 ГГц. На более низких частотах указанным влиянием можно пренебречь.

Дифракционные потери в условиях средней рефракции при правильно выбранных высотах подвеса антенн отсутствуют, т.е. $L_{\text{дифр}}(\bar{g}) = 0$.

В случае, если высоты подвеса антенн недостаточны и при средней рефракции интервал является полукрытым, для оценки $L_{\text{дифр}}(\bar{g})$ можно использовать дифракционную формулу А.И. Калинина, дБ [8]:

$$L_{\text{дифр}}(\bar{g}) = 6 \left[1 + \frac{1,45}{\mu_0(\bar{g})^{1,38}} \right] [1 - p(\bar{g})], \quad (2.8)$$

где $p(\bar{g})$ – относительный просвет на интервале при средней рефракции, нормированный относительно радиуса зоны Френеля, соответствующей полю свободного пространства;

$\mu_0(\bar{g})$ – параметр, характеризующий «клиновидность» препятствия на профиле интервала при средней рефракции,

$$\mu_0(\bar{g}) = 2,42 \cdot 6 \sqrt{\frac{R^3 \cdot \Delta y^2 \cdot k^3 (1-k)^3}{\lambda \cdot r_x^4}}; \quad (2.9)$$

r_x и Δy – соответственно длина хорды и высота сегмента окружности, аппроксимирующей препятствие на профиле интервала при средней рефракции, м;

k – относительная координата вершины препятствия на профиле;

λ – длина волны, соответствующая средней частоте используемого диапазона, м.

Величина суммарных потерь в антенных разветвителях на интервале $L_{\text{ар}}$ зависит от конфигурации радиорелейного оборудования и обычно приводится в списке параметров используемого оборудования, дБ:

$$L_{\text{ар}} = L_{\text{арпл}} + L_{\text{арпм}}, \quad (2.10)$$

где $L_{\text{арпл}}$, $L_{\text{арпм}}$ – потери в передающем и приемном трактах, дБ.

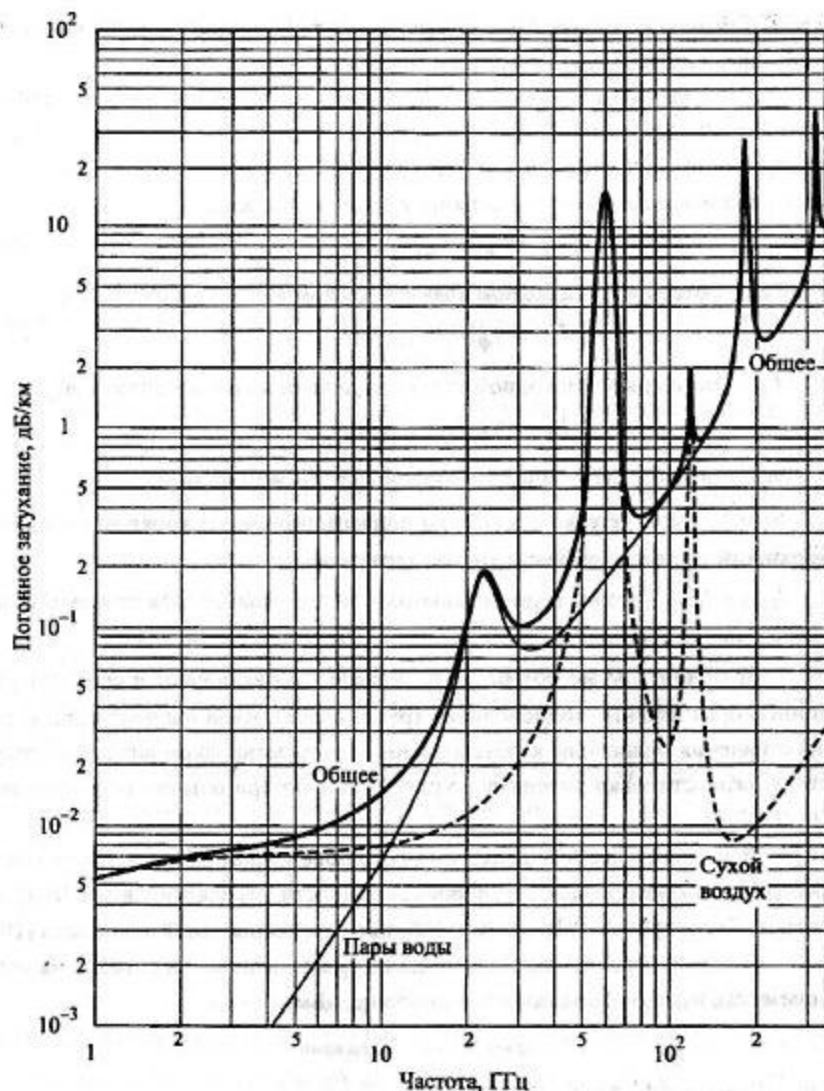


Рис. 2.1. Зависимость погонного затухания в газах тропосферы от частоты

Суммарные потери в волноводных трактах на интервале $L_{\text{ф}}$ зависят от конструктивных особенностей приемопередающей аппаратуры. В случае раздельного размещения, когда приемопередатчики размещаются в специальных наружных блоках, конструктивно объединенных с антенной или рас-

положенных в непосредственной близости от нее, потери в волноводах пренебрежимо малы и могут полагаться равными нулю.

В случае нижнего размещения, когда все радиорелейное оборудование находится внизу у основания опоры (в контейнере или техническом помещении), необходимо учитывать потери в вертикальных и горизонтальных участках волноводных трактов на обоих концах интервала:

$$L_{\Phi} = L_{\Phi 1} + L_{\Phi 2}, \quad (2.11)$$

где $L_{\Phi 1}$ – потери в волноводном тракте на левом конце интервала, дБ,

$$L_{\Phi 1} = \gamma_{\Phi}(h_1 + l_{\text{гор}1}); \quad (2.12)$$

$L_{\Phi 2}$ – потери в волноводном тракте на правом конце интервала, дБ,

$$L_{\Phi 2} = \gamma_{\Phi}(h_2 + l_{\text{гор}2}), \quad (2.13)$$

γ_{Φ} – погонное затухание используемых волноводов, дБ/м;

h_1 и h_2 – соответственно высоты подвеса антенн над уровнем земной поверхности на левом и правом концах интервала, м;

$l_{\text{гор}1}$ и $l_{\text{гор}2}$ – длины горизонтальных участков волноводов на левом и правом концах интервала, м.

Дополнительные потери на интервале $L_{\text{доп}}$ включают в себя потери в коннекторах антенно-волноводного тракта (АВТ), из-за наклона трассы распространения радиоволн и обусловленные разъюстировкой антенн. В отсутствие разъюстировки антенн дополнительные потери обычно не превышают (1–2) дБ.

В случае, если в используемом радиорелейном оборудовании предусмотрена автоматическая регулировка мощности передатчиков (АРМП), основную часть времени передатчик работает при пониженной мощности [10].

В этом случае для оценки среднего уровня мощности сигнала на входе приемника можно использовать выражение, дБм:

$$P_{\text{пм.армп}} = P_{\text{пм}} - \Delta P_{\text{пд.армп}}, \quad (2.14)$$

где $\Delta P_{\text{пд.армп}}$ – диапазон АРМП, дБ.

2.2. Расчет уровней принимаемого сигнала на интервалах с пассивными ретрансляторами

В подавляющем большинстве случаев пассивные ретрансляторы применяются в условиях необходимости преодоления экранирующего влияния отдельных препятствий на интервалах малой и умеренной протяженности.

Средний уровень принимаемого сигнала на интервалах с пассивным ретранслятором, как и на обычных интервалах, определяется выражениями (2.1) и (2.2). Отличие состоит лишь в оценке потерь свободного пространства на интервале L_0 .

В большинстве случаев пассивный ретранслятор располагается в так называемой дальней зоне относительно каждой из антенн, находящихся на концах интервала.

При этом расстояния R_1 и R_2 от пассивного ретранслятора до левого и правого концов интервала удовлетворяют условию:

$$\min(R_1; R_2) \geq R_{\text{min}}, \quad (2.15)$$

где R_{min} – минимальное расстояние дальней зоны от антенны на конце интервала (здесь и далее R_1 , R_2 и R_{min} в км), зависящее от частоты и площади апертуры пассивного ретранслятора и увеличивающееся пропорционально увеличению указанных параметров.

Наиболее часто используются пассивные ретрансляторы двух типов: отражающего и преломляющего.

В качестве пассивного ретранслятора отражающего типа (ПР-ОТ) используется плоское металлическое зеркало, ориентированное таким образом, чтобы обеспечивалось равенство углов между нормалью к плоскости ретранслятора и направлениями на каждую из антенн.

При размещении ПР-ОТ в дальней зоне потери свободного пространства на интервале определяются выражением, дБ:

$$L_0 = 141,98 + 20 \lg \left[\frac{R_1 \cdot R_2}{S_{\text{от}} \cdot \cos(\varphi/2)} \right], \quad (2.16)$$

где $S_{\text{от}}$ – площадь отражающей поверхности ПР-ОТ, м²;

φ – угол между направлениями падающего и отраженного лучей, град.

Для ПР-ОТ минимальное расстояние дальней зоны от антенны (в предположении, что величина $S_{\text{от}} \cos(\varphi/2)$ превышает площадь апертуры каждой из антенн на концах интервала), км:

$$R_{\text{min}} = 1,06 \cdot 10^{-2} f \cdot S_{\text{от}} \cos(\varphi/2), \quad (2.17)$$

где f – частота в ГГц.

В качестве пассивного ретранслятора преломляющего типа (ПР-ПТ) используются две апертурные антенны, расположенные «спина к спине» и соединенные коротким отрезком волновода.

При размещении ПР-ПТ в дальней зоне потери свободного пространства на интервале определяются выражением, дБ:

$$L_0 = 184,88 + 20 \lg(R_1 R_2 f^2) - G_{\text{ант1}} - G_{\text{ант2}} + L_{\text{св}}, \quad (2.18)$$

где $G_{\text{ант1}}$ и $G_{\text{ант2}}$ – коэффициенты усиления левой и правой антенн ПР-ПТ, дБ;

$L_{\text{св}}$ – потери в соединительном волноводе ПР-ПТ, дБ (обычно $L_{\text{св}} \leq 1$ дБ).

Для ПР-ПТ минимальное расстояние дальней зоны от антенны, км,

$$R_{\text{min}} = 6,67 \cdot 10^{-3} f \cdot d_{\text{а max}}^2, \quad (2.19)$$

где $d_{\text{а max}}$ – диаметр большей из 4 антенн, используемых на интервале, м,

$$d_{\text{а max}} = \max(d_{\text{а1}}; d_{\text{а2}}; d_{\text{ант1}}; d_{\text{ант2}}); \quad (2.20)$$

$d_{\text{а1}}$ и $d_{\text{а2}}$ – диаметры антенн на левом и правом концах интервала, м;

$d_{\text{ант1}}$ и $d_{\text{ант2}}$ – диаметры левой и правой антенн ПР-ПТ, м.

Сравнивая выражения (2.16) и (2.18), нетрудно убедиться в более высокой эффективности ПР-ОТ в сравнении с ПР-ПТ.

2.3. Расчет запаса на плоские замирания без учета влияния внутрисистемных помех

В общем случае запас на плоские замирания определяется для некоторого заданного значения коэффициента битовых ошибок (BER) и равен разности среднего уровня принимаемого сигнала при номинальной мощности передатчика и порогового уровня этого сигнала (порога приемника) для указанного значения BER.

Как указывалось в разд. 1, оба используемые при проектировании ЦРПЛ показателя качества передачи (показатель SESR и показатель неготовности) основаны на оценке числа сильно пораженных (ошибками) секунд (SES). С учетом этого запас на плоские замирания необходимо определять для значения коэффициента BER, соответствующего SES, т.е. BER(SES), используя при этом соответствующее значение порога приемника.

Без учета влияния внутрисистемных помех запас на плоские замирания на интервале для BER(SES) определяется выражением, дБ:

$$M_F(\text{SES}) = P_{\text{пм}} - P_{\text{пор}}(\text{SES}), \quad (2.21)$$

где $P_{\text{пм}}$ – средний уровень принимаемого сигнала при номинальной мощности передатчика, определяемый (2.1), дБм;

$P_{\text{пор}}(\text{SES})$ – гарантированный порог приемника для $\text{BER} = \text{BER}(\text{SES})$.

Для цифровых трактов со скоростями передачи, равными или большими первичной скорости 2,048 Мбит/с (E1), когда сильно пораженные секунды определяются на основе блокового принципа, величина BER(SES) зависит от битовой скорости передачи информации [11]. В табл. 2.1 приведены значения BER(SES) для разных скоростей передачи, соответствующие пуассоновскому распределению вероятности ошибок.

Таблица 2.1

| Скорость передачи, Мбит/с | 1,5 | 2 | 6 | 34 | 140 | 155 |
|---------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| BER(SES) | $5,4 \cdot 10^{-4}$ | $4 \cdot 10^{-4}$ | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | $6,5 \cdot 10^{-5}$ | $2,1 \cdot 10^{-5}$ | $2,3 \cdot 10^{-5}$ |

В настоящее время в списке характеристик радиорелейного оборудования, как правило, приводятся величины порогов приемника для значений BER, отличных от BER(SES), обычно для 10^{-3} и 10^{-6} . В этих условиях величина порога приемника для BER(SES) определяется путем интерполяции заданных значений порога.

Если пороговый уровень приемника задан для двух значений BER: (10^{-3} и 10^{-6}), то выражение для порогового уровня приемника, соответствующего BER(SES), можно записать в виде, дБм:

$$P_{\text{пор}}(\text{SES}) = P_{\text{пор}}(10^{-3}) - [1 + \frac{1}{3} \lg \text{BER}(\text{SES})] \cdot [P_{\text{пор}}(10^{-6}) - P_{\text{пор}}(10^{-3})], \quad (2.22)$$

где $P_{\text{пор}}10^{-3}$ и $P_{\text{пор}}10^{-6}$ – заданные значения порогового уровня приемника, соответствующие $\text{BER} = 10^{-3}$ и $\text{BER} = 10^{-6}$.

В случае, если в списке параметров оборудования приведено значение порога приемника для BER(SES), оно непосредственно используется в формуле (2.21).

Для цифровых соединений со скоростями передачи меньше первичной скорости 2,048 Мбит/с (E1), когда сильно пораженные секунды определяются на основе битового принципа, используется значение порогового уровня приемника для $\text{BER} = 10^{-3}$, т.е. в этом случае $P_{\text{пор}}(\text{SES}) = P_{\text{пор}}(10^{-3})$.

2.4. Расчет запаса на плоские замирания с учетом влияния мешающих сигналов обратного направления

Основными видами внутрисистемных помех, которые следует учитывать при расчете запаса на замирания, являются помехи от сигналов обратного направления и помехи узлообразования.

Учет влияния указанных помех при оценке запаса на плоские замирения основан на следующих предположениях:

- в случае разных трасс распространения полезного и мешающих сигналов в периоды замирений полезного сигнала мешающие сигналы распространяются в нормальных условиях, т.е. в отсутствие замирений;
- мешающие сигналы от нескольких независимых источников суммируются по мощности.

С учетом влияния внутрисистемных помех запас на плоские замирения на интервале для BER(SES) определяется выражением, дБ:

$$M_F(SES) = P_{\text{пм}} - P_{\text{пор}}(SES) - \Delta M_F(SES), \quad (2.23)$$

где $\Delta M_F(SES)$ – деградация запаса на плоские замирения (деградация порога приемника) из-за влияния внутрисистемных помех при BER = BER(SES), дБ,

$$\Delta M_F(SES) = 10 \lg \left(1 + 10^{0,1 \cdot [N_3(SES) - N_{\text{пор}}(SES)]} \right); \quad (2.24)$$

$N_{\text{пор}}(SES)$ – отношение пороговой мощности сигнала к суммарной средней мощности помех (отношение сигнал/помеха), дБ,

$$N_{\text{пор}}(SES) = P_{\text{пор}}(SES) - P_{\text{мс}}; \quad (2.25)$$

$P_{\text{мс}}$ – уровень суммарной средней мощности внутрисистемных помех на интервале, дБм;

$N_3(SES)$ – отношение сигнал/помеха, соответствующее величине деградации порога приемника 3 дБ при BER = BER(SES).

Для оценки величины деградации запаса на плоские замирения из-за влияния помех в списке параметров радиорелейного оборудования обычно приводятся значения отношения сигнал/помеха $N_3(10^{-3})$ и $N_3(10^{-6})$, соответствующие величине деградации порога приемника 3 дБ, для двух значений BER: 10^{-3} и 10^{-6} .

В случае цифровых трактов со скоростями передачи, равными или большими первичной скорости 2,048 Мбит/с (E1), величина $N_3(SES)$, дБ, определяется путем интерполяции заданных значений $N_3(10^{-3})$ и $N_3(10^{-6})$:

$$N_3(SES) = N_3(10^{-3}) - \left[1 + \frac{1}{3} \lg \text{BER}(SES) \right] \cdot \left[N_3(10^{-6}) - N_3(10^{-3}) \right]. \quad (2.26)$$

Для цифровых соединений со скоростями передачи, меньшими первичной скорости 2,048 Мбит/с (E1), используется значение отношения сигнал/помеха $N_3(SES)$ для BER = 10^{-3} , т.е. $N_3(SES) = N_3(10^{-3})$.

Как видно из выражений (2.23) – (2.25), для вычисления запаса на плоские замирения в условиях воздействия внутрисистемных помех необходимо определить уровень суммарной средней мощности этих помех.

Уровень суммарной средней мощности внутрисистемных помех на интервале $P_{\text{мс}}$ в каждом случае определяется с учетом конкретной помеховой обстановки, энергетических характеристик источников помех и особенностей трасс их распространения, поэтому влияние внутрисистемных помех по-разному проявляется для направлений передачи слева-направо и справа-налево. Расчет запаса на плоские замирения на интервале необходимо выполнять для худшего направления передачи.

Оценим вначале суммарную мощность помех, обусловленных влиянием мешающих сигналов обратного направления (МСОН). Влияние МСОН необходимо учитывать при расчете интервалов многоинтервальных ЦРПЛ с линейной (или кольцевой) трассой, на которых используются двухчастотные планы распределения частот радиоканалов [8].

В общем случае на интервалах ЦРПЛ с двухчастотными планами имеют место МСОН двух видов (рис.2.2): МСОН-1, обусловленные излучением антенн в обратном направлении (МСОН 1-го вида), и МСОН-2, обусловленные приемом сигналов с обратного направления (МСОН 2-го вида). Из-за различия трасс распространения полезных сигналов и мешающих сигналов 2-го вида замирения указанных сигналов являются статистически независимыми. В то же время статистическая независимость полезных сигналов и мешающих сигналов 1-го вида имеет место лишь в случае различия высот подвеса антенн, излучающих эти сигналы.

При совпадении высот указанных антенн замирения соответствующих сигналов практически одинаковы. Учитывая, что коэффициент защитного действия реальных антенн всегда превышает 40 дБ, влиянием МСОН 1-го вида в последнем случае можно пренебречь.

Ниже приведены выражения для уровней средней мощности МСОН 1-го и 2-го видов на j интервале, создаваемых соседними $(j-1)$ и $(j+1)$ интервалами, в случае линейной трассы многоинтервальной цифровой РРЛ.

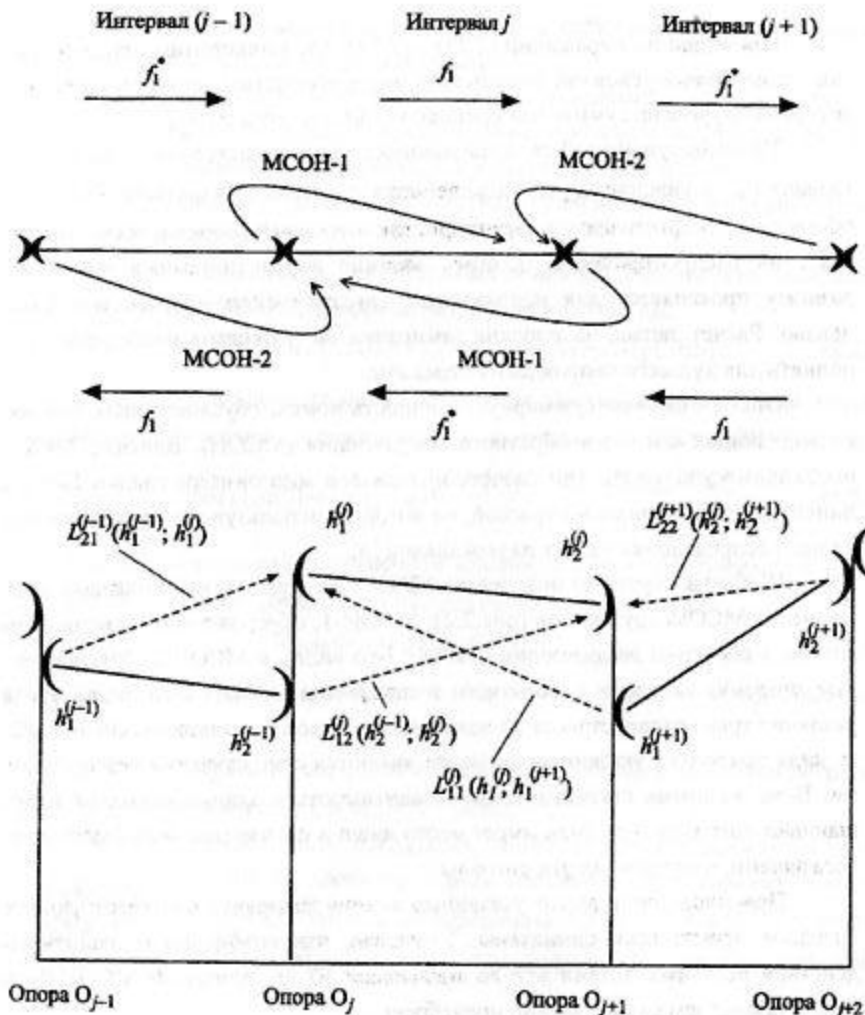


Рис. 2.2. Влияние МСОН 1-го и 2-го видов на интервале j

Для направления слева-направо уровни средней мощности МСОН 1-го и 2-го видов, принимаемых правой антенной j -го интервала, определяются выражениями, дБм:

$$P_{мс12}^{(j)} = P_{пд}^{(j-1)} - \Delta P_{пд.армп}^{(j-1)} + G_2^{(j)} + G_2^{(j-1)} - L_0^{(j)} - L_{газ}^{(j)} - L_{ар.пл}^{(j-1)} - L_{ар.пм}^{(j)} - L_{\phi 2}^{(j)} - L_{\phi 2}^{(j-1)} - L_{22}^{(j-1,j)} - B_2^{(j-1)} - L_{доп}; \quad (2.27)$$

$$P_{мс22}^{(j)} = P_{пд}^{(j+1)} - \Delta P_{пд.армп}^{(j+1)} + G_2^{(j)} + G_2^{(j+1)} - L_0^{(j+1)} - L_{газ}^{(j+1)} - L_{ар.пл}^{(j+1)} - L_{ар.пм}^{(j)} - L_{\phi 2}^{(j)} - L_{\phi 2}^{(j+1)} - L_{22}^{(j,j+1)} - B_2^{(j)} - L_{доп}. \quad (2.28)$$

Аналогично для направления справа-налево уровни средней мощности МСОН 1-го и 2-го видов, принимаемых левой антенной j -го интервала, определяются выражениями, дБм:

$$P_{мс11}^{(j)} = P_{пд}^{(j+1)} - \Delta P_{пд.армп}^{(j+1)} + G_1^{(j)} + G_1^{(j+1)} - L_0^{(j)} - L_{газ}^{(j)} - L_{ар.пл}^{(j+1)} - L_{ар.пм}^{(j)} - L_{\phi 1}^{(j)} - L_{\phi 1}^{(j+1)} - L_{11}^{(j,j+1)} - B_1^{(j+1)} - L_{доп}; \quad (2.29)$$

$$P_{мс21}^{(j)} = P_{пд}^{(j-1)} - \Delta P_{пд.армп}^{(j-1)} + G_1^{(j)} + G_1^{(j-1)} - L_0^{(j-1)} - L_{газ}^{(j-1)} - L_{ар.пл}^{(j-1)} - L_{ар.пм}^{(j)} - L_{\phi 1}^{(j)} - L_{\phi 1}^{(j-1)} - L_{11}^{(j-1,j)} - B_1^{(j)} - L_{доп}. \quad (2.30)$$

В выражениях (2.27) ... (2.30):

верхний индекс « j » во всех случаях означает принадлежность к интервалу $j = \overline{1, J}$ (J – число интервалов на РРЛ);

$L_{22}^{(j-1,j)}$ и $L_{22}^{(j,j+1)}$ – соответственно дополнительные потери распространения при средней рефракции для МСОН на j интервале (между правыми антеннами на $(j-1)$ и j интервалах) и на $(j+1)$ интервале (между правыми антеннами на j и $(j+1)$ интервалах), дБ;

$L_{11}^{(j,j+1)}$ и $L_{11}^{(j-1,j)}$ – соответственно дополнительные потери распространения при средней рефракции для МСОН на j интервале (между левыми антеннами на j и $(j+1)$ интервалах) и на $(j-1)$ интервале (между левыми антеннами на $(j-1)$ и j интервалах), дБ;

$B_1^{(j)}$ и $B_2^{(j)}$ – соответственно коэффициенты защитного действия левой и правой антенны на j интервале, дБ (если углы излома трассы РРЛ превышают примерно 90° , вместо коэффициентов защитного действия следует использовать значения ослаблений мешающих сигналов, определяемые непосредственно диаграммами направленности антенны).

Как видно из выражений (2.27) ... (2.30) и рис. 2.2, уровни мощностей МСОН зависят от мощностей передатчиков мешающих сигналов; коэффициентов усиления и коэффициентов защитного действия антенны, излучающих

полезные и мешающие сигналы; величин дифракционных потерь на трассах распространения МСОН, зависящих от пар высот подвеса передающей и приемной антенн на этих трассах.

Для направления слева-направо уровень суммарной средней мощности МСОН, принимаемых правой антенной j -го интервала, дБм:

$$P_{mc2}^{(j)} = 10 \lg \left(10^{0,1P_{mc12}^{(j)}} + 10^{0,1P_{mc22}^{(j)}} \right) \text{ при } h_1^{(j)} \neq h_2^{(j-1)}; \quad (2.31)$$

$$P_{mc2}^{(j)} = P_{mc22}^{(j)} \text{ при } h_1^{(j)} = h_2^{(j-1)}, \quad (2.32)$$

где $h_1^{(j)}$ и $h_2^{(j)}$ – высоты подвеса левой и правой антенн над земной поверхностью на j интервале, м.

Аналогично для направления справа-налево уровень суммарной средней мощности МСОН, принимаемых левой антенной j -го интервала, дБм:

$$P_{mc1}^{(j)} = 10 \lg \left(10^{0,1P_{mc11}^{(j)}} + 10^{0,1P_{mc21}^{(j)}} \right) \text{ при } h_2^{(j)} \neq h_1^{(j+1)}; \quad (2.33)$$

$$P_{mc1}^{(j)} = P_{mc21}^{(j)} \text{ при } h_2^{(j)} = h_1^{(j+1)}. \quad (2.34)$$

Для расчета запаса на плоские замирания следует использовать значение суммарной мощности МСОН, дБм,

$$P_{mc}^{(j)} = \max(P_{mc2}^{(j)}; P_{mc1}^{(j)}). \quad (2.35)$$

Выражения (2.31) – (2.34) могут быть использованы для оценки величин деградации запаса на замирания для интервалов с номерами $j = 2, (J-1)$, для которых учитывается влияние обоих соседних интервалов.

Для 1-го (крайнего слева) интервала учитывается влияние мешающих сигналов лишь от 2-го интервала, поэтому $P_{mc2}^{(1)} = P_{mc22}^{(1)}$, $P_{mc1}^{(1)} = P_{mc11}^{(1)}$ при $h_2^{(1)} \neq h_1^{(2)}$ и $P_{mc1}^{(1)} = 0$ при $h_2^{(1)} = h_1^{(2)}$.

Аналогично для J -го (крайнего справа) интервала учитывается влияние мешающих сигналов лишь от $(J-1)$ -го интервала, поэтому в данном случае $P_{mc2}^{(J)} = P_{mc12}^{(J)}$ при $h_1^{(J)} \neq h_2^{(J-1)}$, $P_{mc2}^{(J)} = 0$ при $h_1^{(J)} = h_2^{(J-1)}$ и $P_{mc1}^{(J)} = P_{mc21}^{(J)}$.

2.5. Расчет запаса на плоские замирания с учетом совместного влияния мешающих сигналов обратного направления и узлообразования

Влияние внутрисистемных помех узлообразования необходимо учитывать в случае наличия на некоторой радиорелейной станции (РРС) одного или нескольких дополнительных ответвлений, работающих на тех же частотах, что и смежные интервалы основной РРЛ.

Учет влияния помех узлообразования при оценке деградации запаса на плоские замирания производится аналогично тому, как это делается при учете влияния МСОН.

Ниже приведены выражения для суммарной мощности внутрисистемных помех в условиях совместного влияния МСОН и помех узлообразования на j и $(j+1)$ интервалах в предположении наличия m дополнительных ответвлений от $(j+1)$ РРС (т. е. от правой РРС на j интервале или от левой РРС на $(j+1)$ интервале), дБм.

На j интервале для направления слева-направо (рис. 2.3) при условии, что $h_1^{(j)} \neq h_2^{(j-1)}$:

$$P_{mc2}^{(j)} = 10 \lg \left(10^{0,1P_{mc12}^{(j)}} + 10^{0,1P_{mc22}^{(j)}} + \sum_{k=1}^m 10^{0,1P_{mc22k}^{(j)}} \right), \quad (2.36)$$

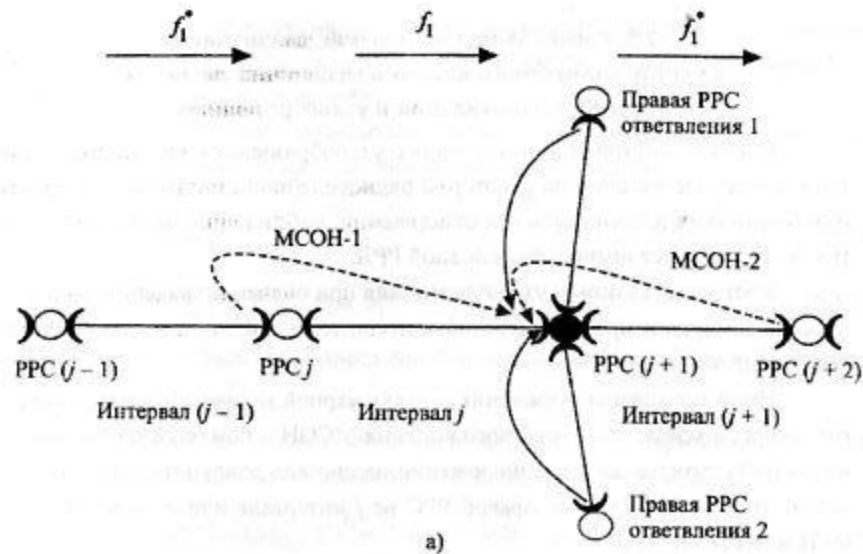
где $P_{mc22k}^{(j)}$ – уровень средней мощности помехи узлообразования от k -го ответвления, принимаемой правой антенной j -го интервала, дБм:

$$P_{mc22k}^{(j)} = P_{пл}^{(k)} - \Delta P_{пл.армп}^{(k)} + G_2^{(j)} + G_2^{(k)} - L_0^{(k)} - L_{газ}^{(k)} - L_{ар.пл}^{(k)} - L_{ар.пм}^{(j)} - L_{ф2}^{(j)} - L_{ф2}^{(k)} - L_{22}^{(j,k)} - E_2^{(j)}(\theta_k) - L_{доп} \quad (2.37)$$

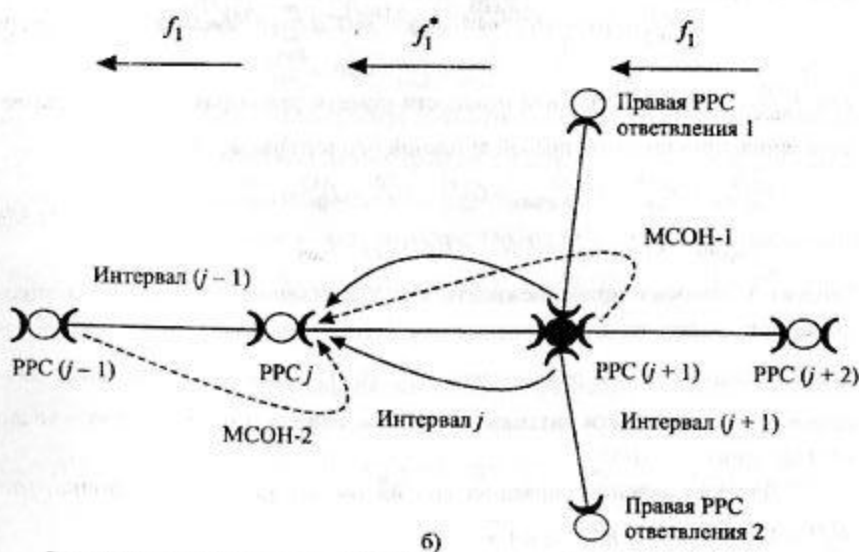
(индекс k означает принадлежность к k ответвлению, параметры антенно-фидерного тракта на k ответвлении относятся к правому (удаленному от узловой станции) концу ответвления; $E_2^{(j)}(\theta_k)$ – значение огибающей диаграммы направленности антенны на правом конце j -го интервала; m – число ответвлений).

Для направления справа-налево на j -м интервале при условии, что $h_2^{(j)} \neq h_1^{(j+1)}$ и $h_2^{(j)} \neq h_1^{(k)}$, $k = \overline{1, m}$:

$$P_{mc1}^{(j)} = 10 \lg \left(10^{0,1P_{mc11}^{(j)}} + 10^{0,1P_{mc21}^{(j)}} + \sum_{k=1}^m 10^{0,1P_{mc11k}^{(j)}} \right), \quad (2.38)$$



а)



б)

Рис. 2.3. Совместное влияние МСОН и помех узлообразования на j интервале для двух направлений передачи: а – слева-направо, б – справа-налево

где $P_{mc1k}^{(j)}$ – уровень средней мощности помехи узлообразования от k -го ответвления, принимаемой левой антенной j -го интервала, дБм,

$$P_{mc1k}^{(j)} = P_{пл}^{(k)} - \Delta P_{пл армп}^{(k)} + G_1^{(j)} + G_1^{(k)} - L_0^{(j)} - L_{твз}^{(j)} - L_{ар.пл}^{(k)} - L_{ар.пм}^{(j)} - L_{\phi 1}^{(j)} - L_{\phi 1}^{(k)} - L_{11}^{(j,k)} - E_1^{(k)}(\theta_k) - L_{доп} \quad (2.39)$$

(параметры антенно-фидерного тракта на k -м ответвлении относятся к левому, совпадающему с узловой станцией, концу ответвления; $E_1^{(k)}(\theta_k)$ – значение огибающей диаграммы направленности антенны на левом конце k -го ответвления; влияние помех от ответвлений, для которых $h_2^{(j)} = h_1^{(k)}$, не учитывается).

Суммарная мощность внутрисистемных помех от мешающих сигналов обратного направления и узлообразования, используемая для расчета запаса на плоские замирания на j -м интервале, определяется выражением (2.35), а соответствующее отношение пороговой мощности сигнала и средней мощности указанных помех – (2.25). Величина деградации запаса на замирания определяется (2.24), а величина запаса на плоские замирания на интервале j – (2.23).

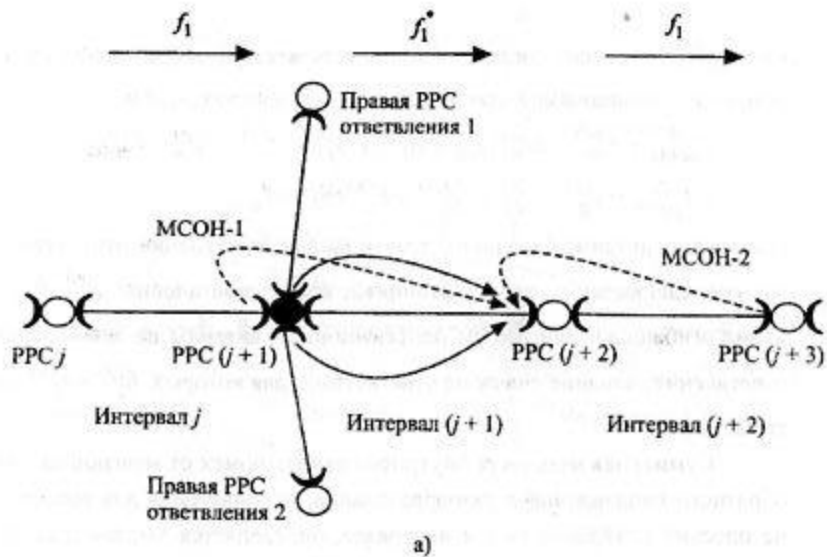
На $(j+1)$ интервале для направления слева-направо (рис. 2.4) при условии, что $h_1^{(j+1)} \neq h_2^{(j)}$ и $h_1^{(j+1)} \neq h_1^{(k)}$, $k = \overline{1, m}$, дБм,

$$P_{mc2}^{(j+1)} = 10 \lg \left(10^{0,1 P_{mc12}^{(j+1)}} + 10^{0,1 P_{mc22}^{(j+1)}} + \sum_{k=1}^m 10^{0,1 P_{mc12k}^{(j+1)}} \right), \quad (2.40)$$

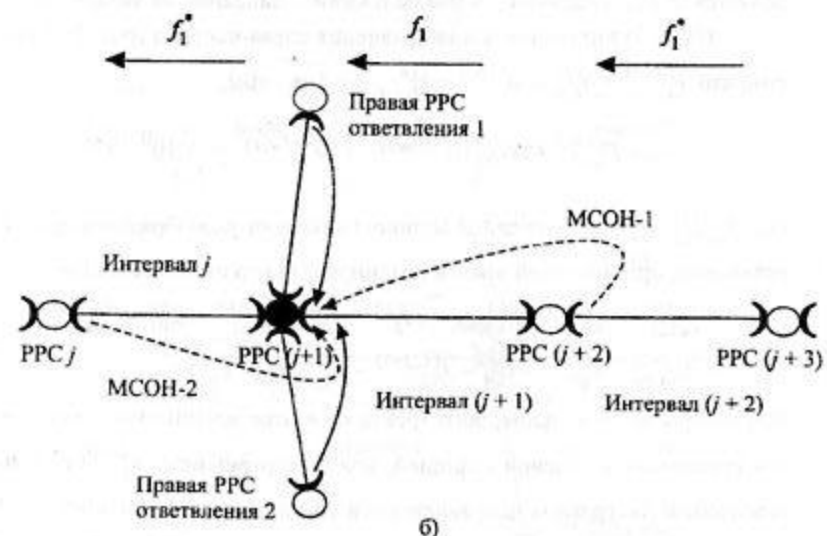
где $P_{mc12k}^{(j+1)}$ – уровень средней мощности помехи узлообразования от k -го ответвления, принимаемой правой антенной $(j+1)$ -го интервала, дБм:

$$P_{mc12k}^{(j+1)} = P_{пл}^{(k)} - \Delta P_{пл армп}^{(k)} + G_2^{(j+1)} + G_1^{(k)} - L_0^{(k)} - L_{твз}^{(k)} - L_{ар.пл}^{(k)} - L_{ар.пм}^{(j+1)} - L_{\phi 2}^{(j+1)} - L_{\phi 1}^{(k)} - L_{12}^{(k,j+1)} - E_1^{(k)}(\theta_k) - L_{доп} \quad (2.41)$$

(параметры антенно-фидерного тракта на k ответвлении относятся к левому, совпадающему с узловой станцией, концу ответвления; $E_1^{(k)}(\theta_k)$ – значение огибающей диаграммы направленности антенны на левом конце k -го ответвления; влияние помех от ответвлений, для которых $h_1^{(j+1)} = h_1^{(k)}$, не учитывается).



а)



б)

Рис. 2.4. Совместное влияние МСОН и помех узлообразования на (j+1) интервале для двух направлений передачи: а – слева-направо, б – справа-налево

Для направления справа-налево на (j+1) интервале при условии, что $h_2^{(j+1)} \neq h_1^{(j+2)}$, дБм,

$$P_{mc1}^{(j+1)} = 10 \lg \left(10^{0,1 P_{mc11}^{(j+1)}} + 10^{0,1 P_{mc21}^{(j+1)}} + \sum_{k=1}^m 10^{0,1 P_{mc21k}^{(j+1)}} \right), \quad (2.42)$$

где $P_{mc21k}^{(j)}$ – уровень средней мощности помехи узлообразования от k-го ответвления, принимаемой левой антенной (j+1)-го интервала, дБм,

$$P_{mc21k}^{(j+1)} = P_{пл}^{(k)} - \Delta P_{пл армп} + G_1^{(j+1)} + G_1^{(k)} - L_0^{(k)} - L_{таз}^{(k)} - L_{ар.пл}^{(k)} - L_{ар.пл}^{(j+1)} - L_{\phi 1}^{(j+1)} - L_{\phi 1}^{(k)} - L_{21}^{(k,j+1)} - E_1^{(j+1)}(\theta_k) - L_{доп} \quad (2.43)$$

(параметры антенно-фидерного тракта на k ответвлении относятся к правому, удаленному от узловой станции, концу ответвления; $E_1^{(j+1)}(\theta_k)$ – значение огибающей диаграммы направленности антенны на левом конце (j+1)-го интервала).

Для расчета запаса на плоские замирания на (j+1) интервале следует использовать выражения: (2.35), (2.25), (2.24) и (2.23).

2.6. Примеры расчета энергетических характеристик интервала

Пример 2.1. Найти средний уровень принимаемого сигнала на интервале с пассивным ретранслятором преломляющего типа.

Исходные данные

- Частота $f = 7,4$ ГГц;
- расстояния от пассивного ретранслятора до концов интервала $R_1 = 6,2$ км и $R_2 = 0,39$ км;
- диаметры обеих антенн на концах интервала $d_{a1} = d_{a2} = 1,8$ м;
- усиление антенн на концах интервала $G_1 = G_2 = 40,5$ дБ;
- диаметры обеих антенн пассивного ретранслятора $d_{арт1} = d_{арт2} = 1,2$ м;
- усиление антенн пассивного ретранслятора $G_{арт1} = G_{арт2} = 37,0$ дБ;
- мощность передатчиков на интервале $P_{пл} = 26$ дБм.

Решение

В соответствии с (2.20) диаметр большей из антенн на интервале $d_{атех} = 1,8$ м;

в соответствии с (2.19) минимальное расстояние дальней зоны от антенн на концах интервала $R_{\min} = 6,67 \cdot 10^{-3} \cdot 7,4 \cdot 1,8^2 = 0,16 \text{ км}$, т.е. ретранслятор находится в дальней зоне;

в соответствии с (2.18) потери свободного пространства на интервале с пассивным ретранслятором преломляющего типа $L_0 = 184,88 + 20 \lg(6,2 \cdot 0,39 \cdot 7,4^2) - 37,0 - 37,0 + 1,0 = 154,3 \text{ дБ}$;

в соответствии с (2.2) средние суммарные потери на интервале $L_{\Sigma} = -40,5 - 40,5 + 154,3 + 1,0 = 74,3 \text{ дБ}$ (полагаем $L_{\text{доп}} = 1,0 \text{ дБ}$; $L_{\text{газ}} = L_{\text{дифр}}(\bar{g}) = L_{\text{ар}} = L_{\text{ф}} = 0 \text{ дБ}$);

в соответствии с (2.1) средний уровень принимаемого сигнала на интервале $P_{\text{пм}} = 26,0 - 74,3 = -48,3 \text{ дБм}$.

Пример 2.2. Определить величину запаса на плоские замирания на интервале без учета влияния внутрисистемных помех.

Исходные данные

Длина интервала $R = 18,5 \text{ км}$;

частота $f = 14,9 \text{ ГГц}$;

скорость передачи $C = 34 \text{ Мбит/с (16Е1)}$;

мощность передатчиков на интервале $P_{\text{пд}} = 23,0 \text{ дБм}$;

усиления левой и правой антенн $G_1 = G_2 = 40,5 \text{ дБ}$;

суммарные потери в антенных разветвителях на интервале $L_{\text{ар}} = 7,0 \text{ дБ}$;

дополнительные потери на интервале $L_{\text{доп}} = 1,0 \text{ дБ}$;

пороговые уровни приемника для $\text{BER} = 10^{-3}$ и $\text{BER} = 10^{-6}$;

$P_{\text{пор}}(10^{-3}) = -81,0 \text{ дБм}$ и $P_{\text{пор}}(10^{-6}) = -77,0 \text{ дБм}$.

Решение

В соответствии с (2.3) потери свободного пространства на интервале $L_0 = 92,44 + 20 \lg 18,5 + 20 \lg 14,9 = 141,25 \text{ дБ}$;

в соответствии с (2.5) и (2.7) погонные затухания для сухого воздуха (кислорода) и паров воды $\gamma_{\text{O}_2} = 0,00912 \text{ дБ/км}$ и $\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 0,02083 \text{ дБ/км}$;

в соответствии с (2.4) потери в газах тропосферы $L_{\text{газ}} = (0,00912 + 0,02083) \cdot 18,5 = 0,55 \text{ дБ}$;

в соответствии с (2.2) средние суммарные потери на интервале $L_{\Sigma} = -40,5 - 40,5 + 141,25 + 0,55 + 7,0 + 1,0 = 68,8 \text{ дБ}$;

в соответствии с (2.1) средний уровень принимаемого сигнала на интервале $P_{\text{пм}} = 23,0 - 68,8 = -45,8 \text{ дБм}$ (полагаем $L_{\text{дифр}}(\bar{g}) = L_{\text{ф}} = 0 \text{ дБ}$);

из табл. 2.1 для скорости передачи $C = 34 \text{ Мбит/с}$ определяется $\text{BER}(\text{SES}) = 6,5 \cdot 10^{-5}$;

в соответствии с (2.22) пороговый уровень приемника для $\text{BER}(\text{SES})$

$P_{\text{пор}}(\text{SES}) = -81,0 - \left[1 + \frac{1}{3} \lg(6,5 \cdot 10^{-5}) \right] \cdot [(-77,0) - (-81,0)] = -79,42 \text{ дБм}$;

в соответствии с (2.21) запас на плоские замирания на интервале для $\text{BER}(\text{SES})$ $M_{\text{F}}(\text{SES}) = (-45,8) - (-79,42) = 33,62 \text{ дБ}$.

Пример 2.3. Определить величину запаса на плоские замирания на интервале с учетом влияния мешающих сигналов обратного направления (МСОН) со стороны двух соседних интервалов.

Исходные данные

Общие характеристики 3 интервалов: рассматриваемого интервала j , для которого требуется определить запас на замирания, левого ($j-1$) и правого ($j+1$) соседних интервалов:

частота $f = 8,15 \text{ ГГц}$;

скорость передачи $C = 34 \text{ Мбит/с (16Е1)}$;

усиления антенн диаметром 1,2 и 1,8 м: $G(d_a = 1,2 \text{ м}) = 37,7 \text{ дБ}$, $G(d_a = 1,8 \text{ м}) = 41,3 \text{ дБ}$;

коэффициенты защитного действия антенн 1,2 и 1,8 м: $B(d_a = 1,2 \text{ м}) = 63 \text{ дБ}$, $B(d_a = 1,8 \text{ м}) = 67 \text{ дБ}$;

суммарные потери в антенных разветвителях на интервале $L_{\text{ар}} = 7,0 \text{ дБ}$;

суммарные потери в волноводных (фидерных) трактах на интервале $L_{\text{ф}} = 0 \text{ дБ}$;

потери в газах тропосферы $L_{\text{газ}} = 0 \text{ дБ}$;

дополнительные потери на интервале $L_{\text{доп}} = 1,0 \text{ дБ}$;

автоматическая регулировка мощности передатчиков (АРМП) не используется; дополнительные потери на трассах распространения всех МСОН равны нулю.

Дополнительные характеристики рассматриваемого интервала j :

длина интервала $R = 31,8 \text{ км}$;

мощность передатчиков на интервале $P_{\text{пд}} = 28,0 \text{ дБм}$;

диаметры левой и правой антенн: 1,8 м каждый;

высоты подвеса левой и правой антенн: 42 и 70 м;

пороговые уровни приемника для $BER = 10^{-3}$ и $BER = 10^{-6}$:

$$P_{\text{пор}}(10^{-3}) = -82 \text{ дБм и } P_{\text{пор}}(10^{-6}) = -79 \text{ дБм};$$

отношения сигнал/помеха $N_3(10^{-3})$ и $N_3(10^{-6})$, соответствующие величине деградации порога приемника 3 дБ, для двух значений $BER(10^{-3}$ и $10^{-6})$: 13 и 16 дБ.

Дополнительные характеристики левого соседнего интервала ($j-1$):

длина интервала $R = 13,9$ км;

мощность передатчиков на интервале $P_{\text{пл}} = 24$ дБм;

диаметры левой и правой антенн 1,2 м;

высоты подвеса левой и правой антенн: 46 и 35 м.

Дополнительные характеристики правого соседнего интервала ($j+1$):

длина интервала $R = 24,2$ км;

мощность передатчиков на интервале $P_{\text{пл}} = 26$ дБм;

диаметры левой и правой антенн: 1,8 и 1,2 м;

высоты подвеса левой и правой антенн: 70 и 54 м.

Этапы решения

Расчет среднего уровня принимаемого сигнала $P_{\text{пм}}$;

определение порогового уровня приемника $P_{\text{пор}}(\text{SES})$ для $BER(\text{SES})$;

расчет уровня суммарной средней мощности МСОН $P_{\text{мс}}$;

определение отношений сигнал/помеха $N_{\text{пор}}(\text{SES})$ и $N_3(\text{SES})$;

расчет запаса на плоские замирания с учетом влияния МСОН $M_F(\text{SES})$.

Расчет среднего уровня принимаемого сигнала $P_{\text{пм}}$

в соответствии с (2.3) потери свободного пространства на интервале $L_0 = 92,44 + 20 \lg 31,8 + 20 \lg 8,15 = 140,71$ дБ;

в соответствии с (2.2) средние суммарные потери на интервале $L_{\Sigma} = -41,3 - 41,3 + 140,71 + 0 + 0 + 7,0 + 0 + 1,0 = 66,11$ дБ;

в соответствии с (2.1) средний уровень принимаемого сигнала на интервале $P_{\text{пм}} = 26,0 - 66,11 = -40,11$ дБм (полагаем $L_{\text{дифр}}(\bar{g}) = 0$ дБ).

Определение порогового уровня приемника $P_{\text{пор}}(\text{SES})$ для $BER(\text{SES})$: из табл. 2.1 для скорости передачи $C = 34$ Мбит/с определяется $BER(\text{SES}) = 6,5 \cdot 10^{-5}$;

в соответствии с (2.22) пороговый уровень приемника для $BER(\text{SES})$

$$P_{\text{пор}}(\text{SES}) = -80,0 - \left[1 + \frac{1}{3} \lg(6,5 \cdot 10^{-5}) \right] \cdot [(-77,0) - (-80,0)] = -78,8 \text{ дБм.}$$

Расчет уровня суммарной средней мощности МСОН $P_{\text{мс}}^{(j)}$:

в соответствии с (2.27) уровень средней мощности МСОН 1-го вида для направления слева-направо

$$P_{\text{мс}12}^{(j)} = 24 - 0 + 41,3 + 37,7 - 140,71 - 0 - 7 - 0 - 0 - 63 - 1,0 = -108,71 \text{ дБм};$$

в соответствии с (2.28) уровень средней мощности МСОН 2-го вида для направления слева-направо

$$P_{\text{мс}22}^{(j)} = 26 - 0 + 41,3 + 37,7 - 138,34 - 0 - 7 - 0 - 0 - 67 - 1,0 = -108,34 \text{ дБм};$$

в соответствии с (2.29) уровень средней мощности МСОН 1-го вида для направления справа-налево

$$P_{\text{мс}11}^{(j)} = 26 - 0 + 41,3 + 41,3 - 140,71 - 0 - 7 - 0 - 0 - 67 - 1,0 = -107,11 \text{ дБм};$$

в соответствии с (2.30) уровень средней мощности МСОН 2-го вида для направления справа-налево

$$P_{\text{мс}21}^{(j)} = 24 - 0 + 41,3 + 37,7 - 133,52 - 0 - 7 - 0 - 0 - 67 - 1,0 = -105,52 \text{ дБм};$$

в соответствии с (2.31) уровень суммарной средней мощности МСОН для направления слева-направо

$$P_{\text{мс}2}^{(j)} = 10 \lg [10^{0,1(-108,71)} + 10^{0,1(-108,34)}] = -105,51 \text{ дБм};$$

в соответствии с (2.34) уровень суммарной средней мощности МСОН для направления справа-налево $P_{\text{мс}1}^{(j)} = P_{\text{мс}21}^{(j)} = -105,52$ дБм;

в соответствии с (2.35) большее значение суммарной мощности МСОН

$$P_{\text{мс}}^{(j)} = \max[(-105,51); (-105,52)] = -105,51 \text{ дБм.}$$

Определение отношений сигнал/помеха $N_{\text{пор}}(\text{SES})$ и $N_3(\text{SES})$:

в соответствии с (2.25) отношение пороговой мощности сигнала к суммарной средней мощности МСОН $N_{\text{пор}}(\text{SES}) = -78,8 - (-105,51) = 26,71$ дБ;

в соответствии с (2.26) отношение сигнал/помеха, соответствующее величине деградации порога приемника 3 дБ для $BER(\text{SES})$,

$$N_3(\text{SES}) = 13 - \left[1 + \frac{1}{3} \lg(6,5 \cdot 10^{-5}) \right] \cdot (16 - 13) = 14,19 \text{ дБ.}$$

Расчет запаса на плоские замирания с учетом влияния МСОН $M_F(\text{SES})$:
 в соответствии с (2.24) величина деградация запаса на плоские замирания из-за влияния МСОН $\Delta M_F(\text{SES}) = 10 \lg[1 + 10^{0,1(14,19-26,71)}] = 0,24$ дБ;
 в соответствии с (2.23) запас на плоские замирания на интервале для BER(SES) $M_F(\text{SES}) = -40,11 - (-78,8) - 0,24 = 38,45$ дБ.

3. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИЛЬНО ПОРАЖЕННЫХ СЕКУНД

В общем случае на показатель сильно пораженных (ошибками) секунд (показатель SESR) оказывают влияние плоские и частотно селективные многолучевые замирания, субрефракционные замирания, деполяризация радиоволн (при повторном использовании частот) и, в меньшей степени, ослабление в гидрометеорах [12, 13].

Между тем при расчете показателей SESR на интервалах без повторного использования частот в большинстве случаев ограничиваются учетом влияния многолучевых замираний, что обусловлено отсутствием в настоящее время согласованной международной методики учета влияния на показатель SESR кратковременных субрефракционных замираний, длительность которых в отдельных случаях может быть менее 10 с, и кратковременных провалов сигнала из-за ослабления в дождях [13]. По этой причине рассматриваемый здесь метод расчета показателей SESR не предусматривает учета влияния двух указанных кратковременных факторов.

3.1. Расчет показателей сильно пораженных секунд при одиарном приеме сигналов

При одиарном приеме сигналов показатель SESR на интервале определяется суммой составляющих, учитывающих влияние плоских и частотно селективных замираний (ЧЗ), %:

$$\text{SESR} = \text{SESR}_F + \text{SESR}_S, \quad (3.1)$$

где SESR_F – показатель SESR, учитывающий влияние плоских замираний, %;

SESR_S – показатель SESR, учитывающий влияние ЧЗ, %.

В соответствии с [12]

$$\text{SESR}_F = K_{g1} R^{3,6} f^{0,89} (1 + |\epsilon_p|)^{-1,4} \cdot 10^{-0,1 M_F(\text{SES})}, \quad (3.2)$$

где K_{g1} – геоклиматический параметр;

$|\epsilon_p|$ – модуль величины наклона трассы распространения радиоволн, мрад,

$$|\epsilon_p| = \frac{|h_{1s} - h_{2s}|}{R}, \quad (3.3)$$

h_{1s} и h_{2s} – соответственно высоты левой и правой антенны над уровнем моря, м;

R – длина интервала, км;

$M_F(\text{SES})$ – запас на плоские замирания для BER(SES), определяемый (2.21) или (2.23).

Величина геоклиматического параметра K_{g1} зависит от вида интервала. С точки зрения оценки K_{g1} различают интервалы 3 видов: сухопутные, прибрежные, расположенные вблизи водных массивов средних и больших размеров, и прибрежные, расположенные вблизи больших водных массивов.

Сухопутными считаются интервалы, которые либо целиком находятся на высотах более 100 м над уровнем моря, либо целиком удалены от побережья более чем на 50 км. Сухопутными также считаются интервалы, содержащие участки с высотами менее 100 м, удаленные от побережья менее чем на 50 км, при условии, что эти участки отгорожены от побережья участками рельефа с высотами более 100 м над уровнем моря.

К водным массивам средних размеров относятся массивы, размеры которых подобны размерам Финского залива, в то время как большими водными массивами считаются массивы, подобные Балтийскому, Средиземному или Северному морям.

Для сухопутных интервалов параметр

$$K_{g1} = K_{gi} = 5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-0,1(C_0 - C_{lat} - C_{lon})} \cdot P_L^{1,5}, \quad (3.4)$$

где C_0 – параметр, зависящий от высоты нижней антенны (передающей или приемной) над уровнем моря и характера рельефа местности;

C_{lat} – параметр, зависящий от географической широты местности ξ ;

C_{lon} – параметр, зависящий от географической долготы местности;

P_L – процент времени, в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N-единиц/км.

Значение параметра C_0 определяется следующим образом:

$C_0 = 0$ – для сухопутных или частично сухопутных интервалов, расположенных в равнинной местности, при высоте нижней антенны менее 400 м;

$C_0 = 3,5$ – для сухопутных или частично сухопутных интервалов, расположенных в холмистой местности, при высоте нижней антенны менее 400 м;

$C_0 = 2,5$ – для сухопутных или частично сухопутных интервалов, расположенных в равнинной местности, при высоте нижней антенны 400 – 700 м;

$C_0 = 6,0$ – для сухопутных или частично сухопутных интервалов, расположенных в холмистой местности, при высоте нижней антенны 400 – 700 м;

$C_0 = 5,5$ – для сухопутных или частично сухопутных интервалов, расположенных в равнинной местности, при высоте нижней антенны больше 700 м;

$C_0 = 8,0$ – для сухопутных или частично сухопутных интервалов, расположенных в холмистой местности, при высоте нижней антенны больше 700 м;

$C_0 = 10,5$ – для сухопутных или частично сухопутных интервалов, расположенных в горной местности, при высоте нижней антенны больше 700 м.

Значения параметров C_{lat} и C_{lon} определяются так:

$$C_{lat} = \begin{cases} 0 & \text{для } \xi \leq 53^{\circ} \text{ СШ;} \\ -53 + \xi & \text{для } 53^{\circ} < \xi < 60^{\circ} \text{ СШ;} \\ 7 & \text{для } \xi \geq 60^{\circ} \text{ СШ;} \end{cases}$$

$$C_{lon} = \begin{cases} 3 & \text{для значений долготы Европы и Африки;} \\ -3 & \text{для значений долготы Северной и Южной Америки;} \\ 0 & \text{для других значений долготы.} \end{cases}$$

Значения параметра P_L выбирается для худшего сезона с использованием контурных карт [14] (рис. 3.1 – 3.4; прил. 2).

Для интервалов, находящихся вблизи больших водных массивов:

$$K_{g1} = K_{gl}(r_c) = 10^{(1-r_c)\log K_{gl} + r_c \log K_{cl}} \text{ для } K_{cl} \geq K_{gl}$$

и

$$K_{g1} = K_{gl} \text{ для } K_{cl} < K_{gl}, \quad (3.5)$$

где r_c – часть профиля интервала с высотами меньше 100 м, удаленная от побережья менее чем на 50 км и не отгороженная от побережья участками рельефа с высотами более 100 м над уровнем моря ($0 < r_c < 1$);

$$K_{cl} = 2,3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-(0,1C_0 + 0,0114\xi)}$$

Для интервалов, находящихся вблизи водных массивов средних размеров:

$$K_{g1} = K_{gm}(r_c) = 10^{(1-r_c)\log K_{gl} + r_c \log K_{cm}} \text{ для } K_{cm} \geq K_{gl}$$

и

$$K_{g1} = K_{gl} \text{ для } K_{cm} < K_{gl}, \quad (3.6)$$

где $K_{cm} = 10^{0,5(\log K_{gl} + \log K_{cl})}$.

В случае неопределенности размера водного массива (большой или средний размер)

$$K_{g1} = K_{g1m} = 10^{(1-r_c)\log K_{gl} + 0,5r_c(\log K_{cm} + \log K_{cl})}. \quad (3.7)$$

Наконец, в случае района с большим количеством озер на достаточно большой площади

$$K_{g1} = K_{glakes} = 10^{0,5((2-r_c)\log K_{gl} + r_c \log K_{cm})}, \quad (3.8)$$

где r_c – часть трассы, относящаяся к указанному району.

Следует отметить, что, хотя выражение (3.2) для показателя $SESR_F$ было получено на основе анализа плоских замираний на интервалах длиной 7 – 95 км, в диапазонах частот 2 – 37 ГГц и при углах наклона трасс 0 – 24 мрад, последующие эксперименты показали, что оно справедливо в более широких диапазонах значений указанных параметров [12].

В более поздней версии рекомендации P.530 приведены другие формулы для расчета процента времени худшего месяца, в течение которого коэффициент битовых ошибок (BER) превышает пороговое значение. Эти формулы основаны на использовании таблиц региональных значений геоклиматических параметров, которые имеются в Бюро радиосвязи МСЭ.

В этом случае выражение для показателя $SESR_F$ может быть записано в виде, % [13]:

$$SESR_F = K_{g2} R^{3,2} (1 + |\epsilon_p|)^{-0,97} \cdot 10^{0,032f - 0,00085h_s - 0,1M(SES)}, \quad (3.9)$$

где $h_s = \min(h_{1s}, h_{2s})$, а геоклиматический параметр

$$K_{g2} = 10^{-3,9 - 0,003dN_1 s_a^{-0,42}}, \quad (3.10)$$

здесь dN_1 – значение градиента рефракции в нижнем 65-метровом слое тропосферы, не превышаемое в течение 1% времени среднего года, 1/км (в соответствии с рекомендацией P.453 определяется из таблиц Бюро радиосвязи МСЭ); s_a – стандартная девиация региональных высотных отметок местности на площади 110 км × 110 км, м (определяется из таблиц Бюро радиосвязи МСЭ) [14].

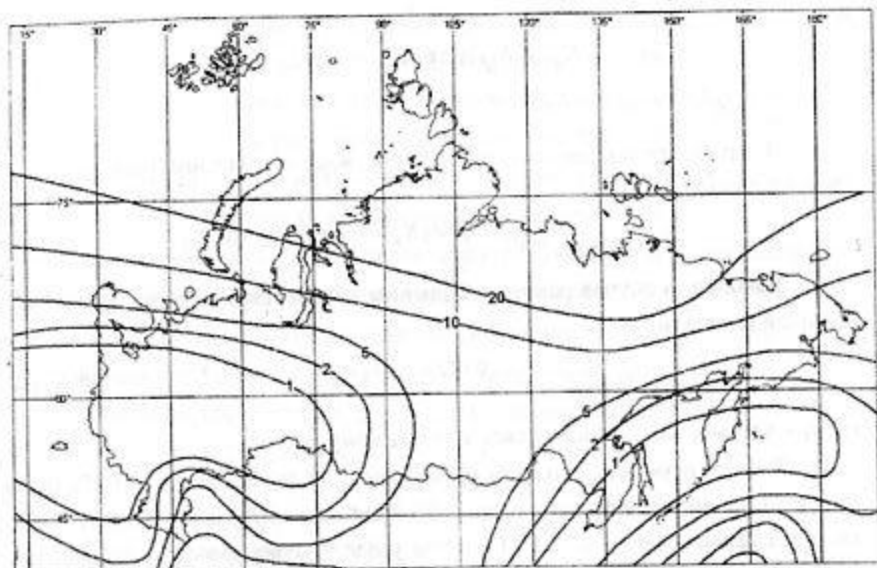


Рис. 3.1. Значение процента времени P_L , в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N-ед/км (февраль)

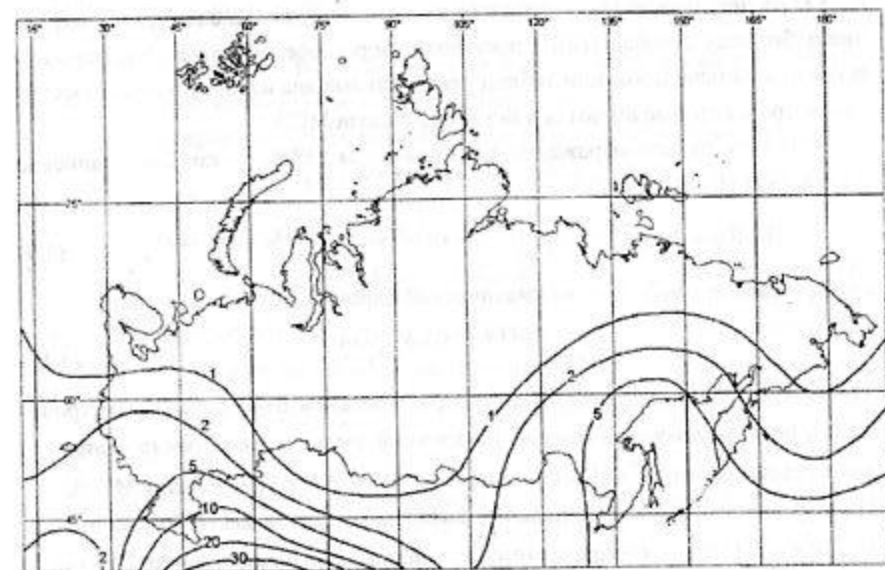


Рис. 3.2. Значение процента времени P_L , в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N-ед/км (май)

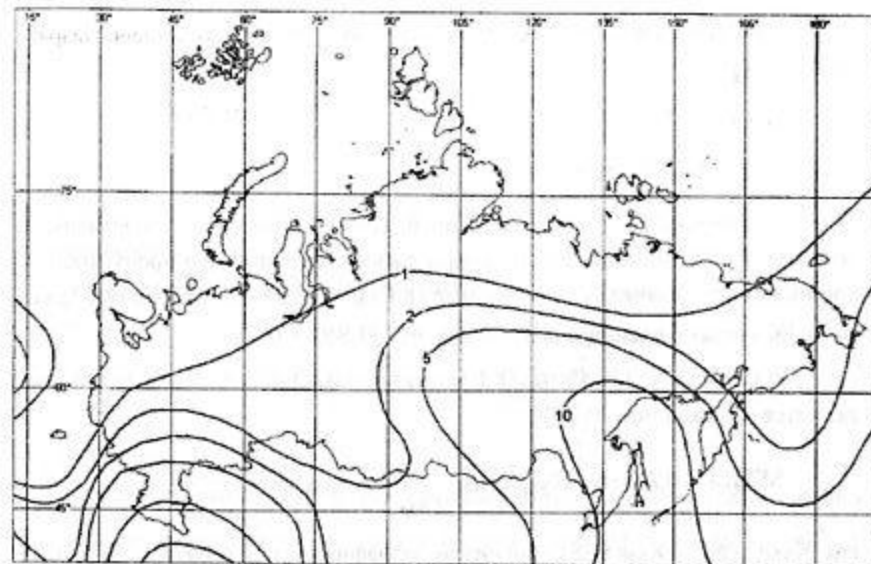


Рис. 3.3. Значение процента времени P_L , в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N-ед/км (август)

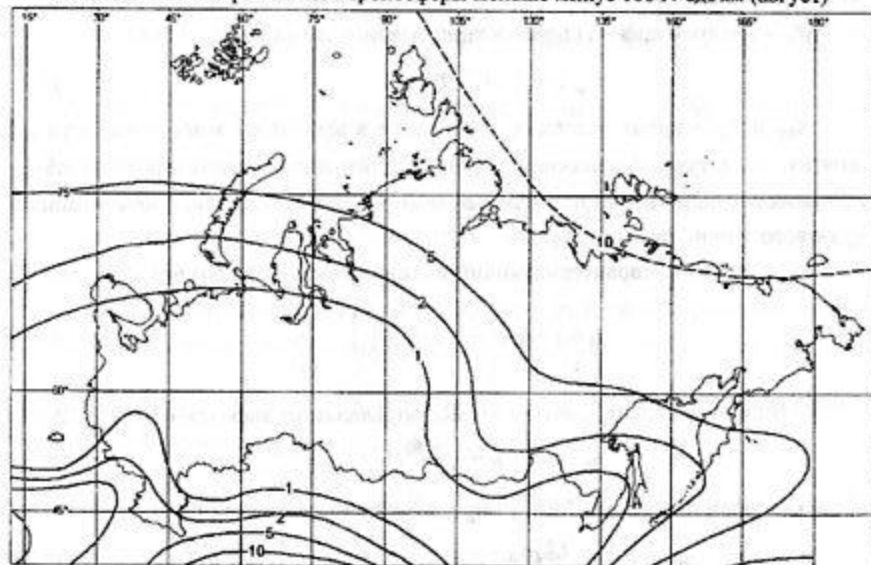


Рис. 3.4. Значение процента времени P_L , в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N-ед/км (ноябрь)

Для приближенной оценки $SESR_F$ может быть использовано выражение, % [13]:

$$SESR_F = K_{g3} R^{3,0} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1,2} \cdot 10^{0,033f - 0,001h_s - 0,1M(SES)}, \quad (3.11)$$

где $K_{g3} = 10^{-4,2 - 0,0029dN_1}$.

Показатель $SESR_F$, обусловленный влиянием частотно селективных замираний (ЧЗ), учитывается лишь при расчете интервалов с пропускной способностью радиоканала $C \geq 17$ Мбит/с (8 E1). При $C < 17$ Мбит/с (8 E1) влиянием ЧЗ можно пренебречь и считать, что $SESR_F = 0$.

В случае $C \geq 17$ Мбит/с (8 E1) показатель $SESR_S$ в общем случае определяется выражением, % [13]:

$$SESR_S = 0,215 \cdot \eta \cdot \left[K_{SM}(SES) \cdot \frac{\tau_m^2}{|\tau_{sm}|} + K_{SN}(SES) \cdot \frac{\tau_m^2}{|\tau_{sn}|} \right], \quad (3.12)$$

где $K_{SM}(SES)$ и $K_{SN}(SES)$ – значения коэффициента сигнатуры при $BER = BER(SES)$ соответственно для замираний минимально и неминимально фазового типов, МГц;

τ_m – среднее время задержки отраженного сигнала, нс,

$$\tau_m = 4,3 \cdot 10^{-3} R^{1,3}, \quad (3.13)$$

τ_{sm} и τ_{sn} – время задержки эхосигнала в имитаторе многолучевости при снятии сигнатурной характеристики используемого радиорелейного оборудования соответственно для условий замираний минимально и неминимально фазового типов, нс;

η – параметр, характеризующий интенсивность многолучевости,

$$\eta = 1 - \exp \left[-0,2 \cdot \left(\frac{P_0}{100} \right)^{0,75} \right]. \quad (3.14)$$

В случае, если показатель $SESR_F$ определяется выражением (3.2), %,

$$P_0 = K_{g1} R^{3,6} f^{0,89} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1,4}; \quad (3.15)$$

в случае, если показатель $SESR_F$ определяется выражением (3.9), %,

$$P_0 = K_{g2} R^{3,2} (1 + |\varepsilon_p|)^{-0,97} \cdot 10^{0,032f - 0,00085h_s}; \quad (3.16)$$

в случае, если показатель $SESR_F$ определяется выражением (3.11), %,

$$P_0 = K_{g3} R^{3,0} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1,2} \times 10^{0,033f - 0,001h_s}. \quad (3.17)$$

В настоящее время все фирмы-производители радиорелейного оборудования при измерении сигнатурной характеристики используют задержку эхосигнала $\tau_{sm} = \tau_{sn} = 6,3$ нс.

Сигнатурные характеристики для замираний минимально и неминимально фазового типов, как правило, отличаются незначительно, поэтому во многих случаях используется значение коэффициента сигнатуры $K_S(SES)$ без указания типа замираний.

С учетом этого выражение для $SESR_S$ можно записать в упрощенном виде, %:

$$SESR_S = 0,43 \cdot \eta \cdot K_S(SES) \cdot \frac{\tau_m^2}{\tau_s}, \quad (3.18)$$

где $\tau_s = 6,3$ нс.

В списке характеристик радиорелейного оборудования обычно приводятся значения коэффициента сигнатуры для $BER = 10^{-3}$ и $BER = 10^{-6}$. В этих условиях величина коэффициента сигнатуры для $BER(SES)$ определяется путем интерполяции заданных значений этого коэффициента:

$$K_S(SES) = K_S(10^{-3}) - \left[1 + \frac{1}{3} \lg BER(SES) \right] \cdot [K_S(10^{-6}) - K_S(10^{-3})], \quad (3.19)$$

где $K_S(10^{-3})$ и $K_S(10^{-6})$ – значения коэффициента сигнатуры, соответствующие $BER = 10^{-3}$ и $BER = 10^{-6}$.

Если в списке параметров используемого оборудования приведены значения коэффициента сигнатуры, они непосредственно используются в формуле (3.19).

Если вместо них в списке параметров оборудования приведены значения ширины сигнатурной характеристики $W_S(BER)$, МГц, и ее глубины $B_S(BER)$, дБ, для $BER = 10^{-3}$ и $BER = 10^{-6}$, следует предварительно вычислить соответствующие значения коэффициента сигнатуры, МГц:

$$K_S(10^{-3}) = W_S(10^{-3}) \cdot 10^{-0,05B_S(10^{-3})}, \quad (3.20)$$

$$K_S(10^{-6}) = W_S(10^{-6}) \cdot 10^{-0,05B_S(10^{-6})}. \quad (3.21)$$

Иногда в качестве параметра сигнатурной характеристики используется так называемая нормализованная сигнатура

$$K_{Sn}(SES) = \frac{1 \cdot 10^3 K_S(SES)}{F_S^2 \cdot \tau_s}, \quad (3.22)$$

где F_S^2 – частота, соответствующая скорости передачи символов, МГц.

В этом случае для вычисления показателя $SESR_S$ следует использовать выражение, %:

$$SESR_S = 4.3 \cdot 10^{-4} \eta \cdot K_{Sn}(SES) \cdot F_S^2 \cdot \tau_m^2. \quad (3.23)$$

Если в списке параметров оборудования приведены значения нормализованной сигнатуры $K_{Sn}(BER)$ для $BER = 10^{-3}$ и $BER = 10^{-6}$, вначале следует определить величину нормализованной сигнатуры, соответствующую $BER(SES)$:

$$K_{Sn}(SES) = K_{Sn}(10^{-3}) - \left[1 + \frac{1}{3} \lg BER(SES) \right] \cdot [K_{Sn}(10^{-6}) - K_{Sn}(10^{-3})], \quad (3.24)$$

где $K_{Sn}(10^{-3})$ и $K_{Sn}(10^{-6})$ – значения параметра нормализованной сигнатуры, соответствующие $BER = 10^{-3}$ и $BER = 10^{-6}$.

3.2. Расчет показателей сильно пораженных секунд при разнесенном приеме сигналов

Разнесенный прием сигналов является эффективным методом борьбы с многолучевыми замираниями как плоскими, так и частотно селективными, поэтому применение разнесенного приема позволяет существенно улучшить показатель $SESR$.

В настоящее время для борьбы с замираниями на цифровых РПЛ применяются следующие виды разнесенного приема сигналов:

- пространственно разнесенный;
- частотно разнесенный;
- двукратный комбинированный разнесенный с использованием пространственного и частотного разнесения (обычно с 3 антеннами на интервале);
- четырехкратный комбинированный разнесенный прием с использованием пространственного и частотного разнесения (с 4 антеннами на интервале).

В общем случае показатель $SESR$, %, при разнесенном приеме определяется выражением [13]:

$$SESR_D = 100 \cdot \left[\left(\frac{SESR_{DF}}{100} \right)^{0.75} + \left(\frac{SESR_{DS}}{100} \right)^{0.75} \right]^{1.33}, \quad (3.25)$$

где $SESR_{DF}$ и $SESR_{DS}$ – значения показателя $SESR$ при разнесенном приеме, учитывающие соответственно влияние плоских и частотно селективных замираний, %.

Оба показателя $SESR_{DF}$ и $SESR_{DS}$ зависят от выигрыша, который обеспечивает разнесенный прием в отношении плоских замираний, при этом значения этих показателей, %:

$$SESR_{DF} = \frac{SESR_F}{I_F}; \quad (3.26)$$

$$SESR_{DS} = \frac{SESR_S^2}{100 \cdot \eta \cdot (1 - k_S^2)}, \quad (3.27)$$

где $SESR_F$ и $SESR_S$ – значения показателя $SESR$ при одинарном приеме, учитывающие соответственно влияние плоских и частотно селективных замираний, %; I_F – выигрыш в отношении плоских замираний за счет применения разнесенного приема, зависящий от вида разнесенного приема; η – параметр, определяемый (3.14); k_S – коэффициент корреляции частотно селективных замираний для разнесенных сигналов, зависящий от коэффициента корреляции плоских замираний k_F .

Коэффициент корреляции плоских замираний

$$k_F^2 = 1 - \frac{I_F \cdot SESR_F}{100 \cdot \eta}. \quad (3.28)$$

Коэффициент корреляции частотно селективных замираний

$$k_S^2 = \begin{cases} 0,8238 & \text{для } r_w \leq 0,5, \\ 1 - 0,195(1 - r_w)^{0,109 - 0,13 \log(1 - r_w)} & \text{для } 0,5 \leq r_w \leq 0,9628, \\ 1 - 0,3957(1 - r_w)^{0,5136} & \text{для } r_w \geq 0,9628, \end{cases} \quad (3.29)$$

где $r_w = 1 - 0,9746(1 - k_F^2)^{2,17}$ для $k_F^2 \leq 0,26$;

$r_w = 1 - 0,6921(1 - k_F^2)^{1,034}$ для $k_F^2 > 0,26$.

В случае пространственно разнесенного приема величина выигрыша в отношении плоских замираний

$I_F = I_{FS} = \left[1 - \exp(-0,04 \cdot S^{0,87} \cdot f^{-0,12} \cdot R^{0,48} \cdot p_0^{-1,04}) \right] \cdot 10^{0,1 \cdot [M_F(\text{SES}) - \Delta G_A]}$ (3.30)
 где S – величина вертикального разнеса антенн при пространственном разнесении, м; f – средняя частота используемого диапазона частот, ГГц; R – длина интервала, км; p_0 – параметр (%), определяемый выражениями (3.15), (3.16) или (3.17); $M_F(\text{SES})$ – запас на плоские замирания для BER(SER), дБ; ΔG_A – различие коэффициентов усиления пространственно разнесенных антенн (основной и дополнительной), дБ.

При этом коэффициент корреляции плоских замираний

$$k_F^2 = k_{FS}^2 = 1 - \frac{I_{FS} \cdot \text{SESR}_F}{100 \cdot \eta} \quad (3.31)$$

Согласно [13] выражение (3.30) справедливо для следующих диапазонов значений параметров: $25 \leq R \leq 240$ км, $2 \leq f \leq 11$ ГГц, $3 \leq S \leq 23$ м.

В случае частотно разнесенного приема при конфигурации радиорелейного оборудования (1+1) величина выигрыша в отношении плоских замираний определяется выражением

$$I_F = I_{FF} = \frac{80 \cdot \Delta f_{FD}}{R \cdot f^2} \cdot 10^{0,1 M_F(\text{SES})} \quad (3.32)$$

где Δf_{FD} – разнос частот рабочего и резервного радиоканалов при частотном разнесении, ГГц (если $\Delta f_{FD} > 0,5$ ГГц, следует полагать $\Delta f_{FD} = 0,5$ ГГц).

При конфигурации радиорелейного оборудования $N + 1$ ($N > 1$) значение выигрыша, полученное по формуле (3.32), должно быть умножено на коэффициент α_{N+1} :

$$\alpha_{N+1} = \begin{cases} 0,67 & \text{для конфигурации оборудования (2+1),} \\ 0,57 & \text{для конфигурации оборудования (3+1),} \\ 0,52 & \text{для конфигурации оборудования (4+1),} \\ 0,49 & \text{для конфигурации оборудования (5+1),} \\ 0,47 & \text{для конфигурации оборудования (6+1),} \\ 0,45 & \text{для конфигурации оборудования (7+1).} \end{cases}$$

При этом коэффициент корреляции плоских замираний

$$k_F^2 = k_{FF}^2 = 1 - \frac{I_{FF} \cdot \text{SESR}_F}{100 \cdot \eta} \quad (3.33)$$

Согласно [13] выражение (3.32) справедливо для следующих диапазонов значений параметров: $30 \leq R \leq 70$ км, $2 \leq f \leq 11$ ГГц, $(\Delta f_{FD}/f) \leq 5\%$.

В случае двукратного пространственно-частотного разнесенного приема показатель SESR_{DF} определяется выражениями (3.26) и (3.30), т.е. так же, как это делается при пространственно разнесенном приеме, а показатель SESR_{DS} определяется выражениями (3.27) и (3.28) при условии, что коэффициент корреляции плоских замираний

$$k_F^2 = k_{F2SF}^2 = k_{FS}^2 \cdot k_{FF}^2 \quad (3.34)$$

В случае четырехкратного комбинированного разнесенного приема с использованием пространственного и частотного разнесения показатели SESR_{DF} и SESR_{DS} определяются следующими выражениями, %:

$$\text{SESR}_{DF} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot \text{SESR}_F^4}{m_F} \quad (3.35)$$

где $m_F = \eta^3 (1 - k_{FS}^2)(1 - k_{FF}^2)$; (3.36)

$$\text{SESR}_{DS} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot \text{SESR}_S^4}{\eta^2 \cdot (1 - k_S^2)^2} \quad (3.37)$$

причем при определении коэффициента корреляции частотно-селективных замираний k_S в соответствии с (3.29) используется коэффициент корреляции плоских замираний

$$k_F^2 = k_{F4SF}^2 = 1 - \sqrt{\eta} \cdot (1 - k_{FS}^2)(1 - k_{FF}^2) \quad (3.38)$$

3.3. Расчет показателей сильно пораженных секунд для интервалов с повторным использованием частот

На интервалах цифровых ППЛ с повторным использованием частот, когда на одной частоте обеспечивается передача двух радиоканалов с ортогональной линейной поляризацией радиоволн, необходимо учитывать влияние дополнительных внутрисистемных помех, обусловленных деполяризацией радиоволн при многолучевом распространении и недостаточным ослаблением кроссполяризованного сигнала в антеннах.

При этом суммарный показатель SESR определяется выражениями, %:

$$\text{SESR} = \text{SESR}_F + \text{SESR}_S + \text{SESR}_{XP} \quad (3.39)$$

при одинарном приеме сигналов и

$$\text{SESR} = 100 \cdot \left[\left(\frac{\text{SESR}_{DF}}{100} \right)^{0,75} + \left(\frac{\text{SESR}_{DS}}{100} \right)^{0,75} \right]^{1,33} + \text{SESR}_{XP} \quad (3.40)$$

при разнесенном приеме сигналов.

Для расчета показателя $SESR_{XP}$, учитывающего влияние деполяризации радиоволн, следует пользоваться формулой [13], %:

$$SESR_{XP} = p_0 \cdot 10^{-0,1M_{XP}(SES)}, \quad (3.41)$$

где p_0 определяется (3.15), (3.16) или (3.17);

$M_{XP}(SES)$ – запас на уменьшение ослабления кроссполяризованного сигнала (XPD) для $BER(SSES)$, дБ,

$$M_{XP}(SES) = C_{XP} - [N_{XP}(SES) - XPIF]; \quad (3.42)$$

C_{XP} – параметр, характеризующий среднее отношение мощностей полезного и кроссполяризованного сигналов;

$N_{XP}(SES)$ – пороговое значение отношения мощностей полезного и кроссполяризованного сигналов для $BER(SSES)$ без учета подавителя кроссполяризованных сигналов, XPIС (содержится в списке параметров используемого оборудования);

XPIF – выигрыш в отношении мощностей полезного и кроссполяризованного сигналов при больших отношениях сигнал/шум за счет использования XPIС (содержится в списке параметров используемого оборудования).

При использовании подавителя кроссполяризованных сигналов типичное значение параметра XPIF – около 20 дБ, в случае отсутствия XPIС следует положить XPIF = 0.

Параметр C_{XP} определяется суммой, дБ:

$$C_{XP} = XPD_0 + Q, \quad (3.43)$$

где XPD_0 – параметр, зависящий от кроссполяризационных характеристик антенн, дБ,

$$XPD_0 = XPD_a + 5 \text{ для } XPD_a \leq 35 \text{ дБ,}$$

$$XPD_0 = 40 \text{ для } XPD_a > 35 \text{ дБ;}$$

XPD_a – коэффициент поляризационной защиты, определяемый кроссполяризационными характеристиками антенн (приводится в числе основных характеристик антенн), дБ;

Q – параметр, характеризующий особенности трассы распространения радиоволн, дБ:

$$Q = 10 \lg\left(\frac{p_0}{100 \cdot \eta \cdot k_{XP}}\right); \quad (3.44)$$

$k_{XP} = 0,7$ – при использовании одной передающей антенны с двойной поляризацией и $k_{XP} = 1 - 0,3 \cdot \exp\left[-4 \cdot 10^{-6} \left(\frac{S}{\lambda}\right)^2\right]$ – при использовании двух передающих антенн с разной поляризацией.

3.4. Примеры расчета показателей сильно пораженных секунд

Пример 3.1. Рассчитать показатель $SESR$ для сухопутного интервала с одинарным приемом сигналов.

Исходные данные

Район расположения интервала: южная часть Республики Коми; геоклиматические характеристики интервала: сухопутный, расположен в холмистой местности;

длина интервала $R = 19,7$ км;

частота $f = 13,0$ ГГц;

скорость передачи $C = 85$ Мбит/с (40E1);

высоты левой и правой антенн над уровнем моря: $h_{1S} = 136,4$ м и $h_{2S} = 122,1$ м;

запас на плоские замирания для $BER(SSES)$ $M_F(SSES) = 37,8$ дБ;

ширина и глубина сигнатурной характеристики для $BER = 10^{-3}$:

$$W_S(10^{-3}) = 23 \text{ МГц и } B_S(10^{-3}) = 14,5 \text{ дБ;}$$

ширина и глубина сигнатурной характеристики для $BER = 10^{-6}$:

$$W_S(10^{-6}) = 26 \text{ МГц и } B_S(10^{-6}) = 13 \text{ дБ.}$$

Решение

В соответствии с (3.3) определяется модуль величины наклона трассы распространения радиоволн $|\epsilon_p| = |136,4 - 122,1| / 19,7 = 0,73$ град;

в соответствии с рис. 3.1 – 3.4 для худшего сезона определяется процент времени, в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N ед./км, $P_L = 1,5\%$;

в соответствии с (3.4) определяется геоклиматический параметр $K_{g1} = 5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-0,1(3,5-7,0-3,0)} \cdot 1,5^{1,5} = 4,1 \cdot 10^{-6}$;

в соответствии с (3.2) определяется показатель $SESR$, учитывающий влияние плоских замираний,

$$SESR_F = 4,1 \cdot 10^{-6} \cdot 19,7^{3,6} 13^{0,89} (1 + 0,73)^{-1,4} \cdot 10^{-0,1 \cdot 37,8} = 0,000142\%;$$

в соответствии с (3.15) определяется параметр

$$p_0 = 4,1 \cdot 10^{-6} \cdot 19,7^{3,6} 13^{0,89} (1 + 0,73)^{-1,4} = 0,85\%;$$

в соответствии с (3.14) определяется параметр, характеризующий интенсивность многолучевости, $\eta = 1 - \exp\left[-0,2 \cdot \left(\frac{0,85}{100}\right)^{0,75}\right] = 0,0056$;

в соответствии с (3.13) определяется среднее время задержки отраженного сигнала $\tau_m = 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 19,7^{1,3} = 0,21$ нс;

в соответствии с (3.20) и (3.21) определяются значения коэффициента сигнатуры, соответствующие $BER = 10^{-3}$ и 10^{-6} , $K_S(10^{-3}) = 23 \cdot 10^{-0,05 \cdot 14,3} = 4,43$ МГц

$$\text{и } K_S(10^{-6}) = 26 \cdot 10^{-0,05 \cdot 13,1} = 5,75 \text{ МГц};$$

из табл. 2.1 для скорости передачи $C = 85$ Мбит/с путем интерполяции определяется $BER(SES) = 4,4 \cdot 10^{-5}$;

в соответствии с (3.19) определяется коэффициент сигнатуры для $BER(SES)$

$$K_S(SES) = 4,43 - \left(1 + \frac{1}{3} \lg 4,4 \cdot 10^{-5}\right) \cdot (5,75 - 4,43) = 5,03 \text{ МГц};$$

в соответствии с (3.18) определяется показатель SESR, учитывающий влияние ЧСЗ, $SESR_S = 0,43 \cdot 0,0056 \cdot 5,03 \cdot \frac{0,21^2}{6,3} = 0,000085\%$;

в соответствии с (3.1) определяется суммарный показатель $SESR = 0,000142 + 0,000085 = 0,000227\%$.

Полученное расчетное значение показателя SESR сравнивается с нормируемым значением этого показателя (см. разд. 1). Например, для внутризонавой РПЛ с длиной эталонного тракта 600 км $SESR_{\text{норм}} = 0,000351\%$.

Пример 3.2. Рассчитать показатель SESR для интервала с частотно-разнесенным приемом сигналов (ЧРП, 1+1) и повторным использованием частот.

Выполнение данного расчета предусматривает предварительный расчет параметров p_0 и η , характеризующих интенсивность многолучевости, запаса на плоские замирания $M_F(SES)$, а также показателей $SESR_F$ и $SESR_S$, учитывающих влияние плоских и частотно-селективных замираний при оди-нарном приеме сигналов.

Исходные данные

Длина интервала $R = 31,19$ км;

частота $f = 8,15$ ГГц;

разнос частот при ЧРП $\Delta f_{FD} = 56$ МГц;

запас на плоские замирания $M_F(SES) = 36,59$ дБ;

параметр $p_0 = 9,28\%$;

показатель SESR, учитывающий влияние плоских замираний при оди-нарном приеме сигналов, $SESR_F = 0,0021\%$;

показатель SESR, учитывающий влияние частотно селективных замираний при оди-нарном приеме сигналов, $SESR_S = 0,00039\%$;

коэффициент поляризационной защиты, определяемый кроссполаризацион-ными характеристиками антенн, $XPD_a = 30$ дБ;

пороговое значение отношения мощностей полезного и кроссполаризованно-го сигналов $N_{XP}(SES) = 16$ дБ;

выигрыш за счет использования подавителя кроссполаризованных сигналов $XPIF = 20$ дБ.

Решение

В соответствии с (3.32) определяется выигрыш в отношении плоских замираний за счет частотно разнесенного приема при конфигурации обо-рудования (1+1):

$$I_F = \frac{80 \cdot 0,056}{31,19 \cdot 8,15^2} \cdot 10^{0,1 \cdot 36,59} = 9,86;$$

в соответствии с (3.26) определяется показатель SESR при ЧРП, учитываю-щий влияние плоских замираний, $SESR_{DF} = \frac{0,0021}{9,86} = 0,00021\%$;

в соответствии с (3.14) определяется параметр, характеризующий интен-сивность многолучевости, $\eta = 1 - \exp\left[-0,2 \cdot \left(\frac{9,28}{100}\right)^{0,75}\right] = 0,033$;

в соответствии с (3.28) определяется коэффициент корреляции плоских зами-раний $k_F^2 = 1 - \frac{9,86 \cdot 0,0021}{100 \cdot 0,033} = 0,994$;

в соответствии с (3.29) определяются параметр $r_w = 1 - 0,6921 \cdot (1 - 0,994)^{1,034} = 0,9965$ и коэффициент корреляции частотно селективных замираний $k_S^2 = 1 - 0,3957 \cdot (1 - 0,9965)^{0,5136} = 0,9783$;

в соответствии с (3.27) определяется показатель SESR при ЧПД, учитывающий влияние частотно селективных замираний, $SESR_{DS} = \frac{0,00039^2}{100 \cdot 0,033 \cdot (1 - 0,9783)} = 0,000002\%$;

в соответствии с (3.25) определяется показатель SESR при ЧПД, учитывающий влияние плоских и частотно селективных замираний,

$$SESR_D = 100 \cdot \left[\left(\frac{0,00021}{100} \right)^{0,75} + \left(\frac{0,000002}{100} \right)^{0,75} \right]^{1,33} = 0,000226\%;$$

в соответствии с (3.44) определяется параметр, характеризующий особенности трассы распространения радиоволн, $Q = 10 \lg \left(\frac{9,28}{100 \cdot 0,033 \cdot 0,7} \right) = 6,04$ дБ;

в соответствии с (3.43) определяется параметр, характеризующий среднее отношение мощностей полезного и кроссполаризованного сигналов, $C_{XP} = 30 + 5 + 6,04 = 41,04$ дБ;

в соответствии с (3.42) определяется запас на уменьшение ослабления кроссполаризованного сигнала (XPD) $M_{XP} = 41,04 - (16 - 20) = 45,04$ дБ;

в соответствии с (3.41) определяется показатель SESR, учитывающий влияние деполяризации радиоволн, $SESR_{XP} = 9,28 \cdot 10^{-0,1 \cdot 45,04} = 0,000291\%$;

в соответствии с (3.40) определяется суммарный показатель $SESR = 0,000226 + 0,000291 = 0,000517\%$.

Полученное расчетное значение показателя SESR сравнивается с нормируемым значением этого показателя (см. разд. 1), например, для внутризонавой РРЛ с длиной эталонного тракта 600 км $SESR_{норм} = 0,000555\%$.

4. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕГОТОВНОСТИ

4.1. Особенности учета влияния распространения радиоволн при расчете показателей неготовности

При правильно выбранных высотах подвеса антенн на интервале показатель неготовности определяется, в основном, ослаблением в гидрометеорах и, прежде всего, в дождях. При расчете интервалов с повторным использованием частот необходимо, кроме того, учитывать влияние деполяризации радиоволн в дождях. В случае недостаточных высот подвеса антенн при расче-

те показателя неготовности необходимо также учитывать влияние дополнительных дифракционных потерь в условиях субрефракции радиоволн.

Следует отметить, что в реальных условиях распространения радиоволн длительность многолучевых замираний изменяется в широких пределах и иногда может превышать 10 с, поэтому, строго говоря, многолучевость распространения радиоволн влияет не только на показатель SESR, но и на показатель неготовности. Однако в настоящее время не существует согласованной международной методики учета влияния многолучевости на показатель неготовности.

В общем случае показатель неготовности, учитывающий влияние распространения радиоволн на интервале, определяется выражением, %:

$$UR = UR_R + UR_{SR}, \quad (4.1)$$

где UR_R , UR_{SR} – показатели неготовности, учитывающие влияние дождей и субрефракционных замираний, %.

4.2. Расчет показателя неготовности, учитывающего ослабление в дождях

Влияние ослабления в дождях при расчете показателя неготовности следует учитывать, начиная с диапазона частот 5 ГГц. На более низких частотах это влияние пренебрежимо мало.

В соответствии с [13,15] для расчета показателей неготовности, учитывающих влияние дождей, необходимо вначале определить региональную среднeminутную интенсивность дождя $J(0,01\%)$, превышаемую в 0,01% времени, и соответствующую ей величину потерь в дождях $L_{RA}(0,01\%)$.

Таблица 4.1

Значения интенсивности дождей $J(0,01\%)$, мм/ч, превышаемые в 0,01% времени среднего года [15]

| Регионы земной поверхности | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | P | Q |
| 8 | 12 | 15 | 19 | 22 | 28 | 30 | 32 | 35 | 42 | 60 | 63 | 95 | 145 | 115 |

Значение интенсивности дождя $J(0,01\%)$ выбирается из табл. 4.1 для нужного региона с учетом географического расположения рассматриваемого интервала (рис. 4.1 и 4.2).

Потери в дождях $L_{RA}(0,01\%)$, превышаемые в 0,01% времени, определяются выражением, дБ:

$$L_{RA}(0,01\%) = \gamma_R(0,01\%) \cdot \beta_R(0,01\%) \cdot R, \quad (4.2)$$

где $\gamma_R(0,01\%)$ – погонное затухание в дождях с интенсивностью $J(0,01\%)$, дБ/км;

$\beta_R(0,01\%)$ – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность дождей с интенсивностью $J(0,01\%)$.

Погонное затухание

$$\gamma_R(0,01\%) = K_{fp} J(0,01\%)^{\alpha_{fp}}, \quad (4.3)$$

где K_{fp} и α_{fp} – параметры, зависящие от частоты и вида поляризации радиоволн.

Значения параметров K_{fp} и α_{fp} , соответствующие рекомендации Р.838 [16], приведены в табл. 4.2.

Параметр неравномерности дождей $\beta_R(0,01\%)$ определяется выражением:

$$\beta_R(0,01\%) = \frac{d_R}{R + d_R}, \quad (4.4)$$

где $d_R = 35 \exp[-0,015 J(0,01\%)]$ при $J(0,01\%) \leq 100$ мм/ч (в случае $J(0,01\%) > 100$ мм/ч следует положить $J(0,01\%) = 100$ мм/ч).

Для интервалов, расположенных на широтах, равных или больших 30° (Север или Юг), показатель неготовности, учитывающий ослабление в дождях, определяется выражением [13], %:

$$UR_{RA} = 10^{-6,349(1 - \sqrt{0,469 - 0,577 \cdot \lg[M_f(\text{SES}) / L_{RA}(0,01\%)])}}, \quad (4.5)$$

где $M_f(\text{SES})$ – запас на плоские замирания, определяемый (2.21) или (2.23).

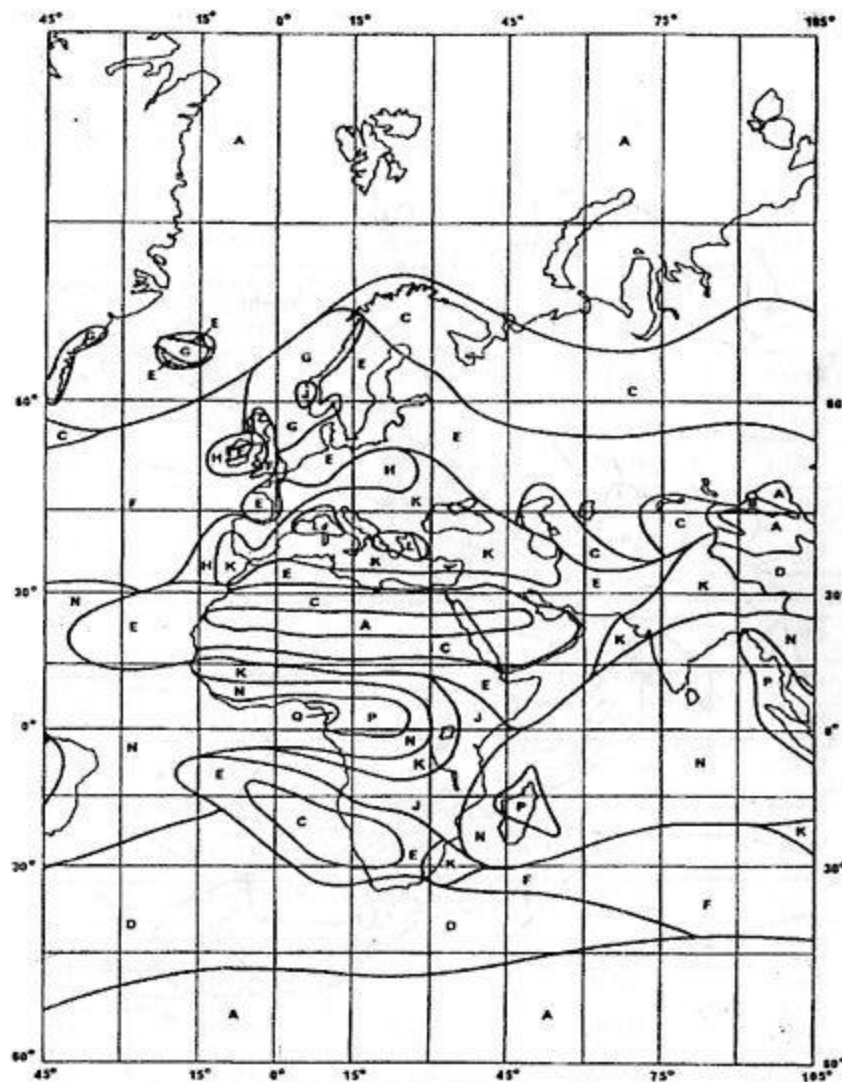


Рис. 4.1. Карта районирования земной поверхности по величине $J(0,01\%)$ для западной части восточного полушария

Значения параметров K_{fp} и α_{fp} для разных частот и видов поляризации

| Частота, ГГц | Поляризация | | | |
|-----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|
| | горизонтальная | | вертикальная | |
| | K_{fp} | α_{fp} | K_{fp} | α_{fp} |
| 1 | 0,0000259 | 0,9691 | 0,0000308 | 0,8592 |
| 1,5 | 0,0000443 | 1,0185 | 0,0000574 | 0,8957 |
| 2 | 0,0000847 | 1,0664 | 0,0000998 | 0,9490 |
| 2,5 | 0,0001321 | 1,1209 | 0,0001464 | 1,0085 |
| 3 | 0,0001390 | 1,2322 | 0,0001942 | 1,0688 |
| 3,5 | 0,0001155 | 1,4189 | 0,0002346 | 1,1387 |
| 4 | 0,0001071 | 1,6009 | 0,0002461 | 1,2476 |
| 4,5 | 0,0001340 | 1,6948 | 0,0002347 | 1,3987 |
| 5 | 0,0002162 | 1,6969 | 0,0002428 | 1,5317 |
| 5,5 | 0,0003909 | 1,6499 | 0,0003115 | 1,5882 |
| 6 | 0,0007056 | 1,5900 | 0,0004878 | 1,5728 |
| 7 | 0,001915 | 1,4810 | 0,001425 | 1,4745 |
| 8 | 0,004115 | 1,3905 | 0,003450 | 1,3797 |
| 9 | 0,007535 | 1,3155 | 0,006691 | 1,2895 |
| 10 | 0,01217 | 1,2571 | 0,01129 | 1,2156 |
| 11 | 0,01772 | 1,2140 | 0,01731 | 1,1617 |
| 12 | 0,02386 | 1,1825 | 0,02455 | 1,1216 |
| 13 | 0,03041 | 1,1586 | 0,03266 | 1,0901 |
| 14 | 0,03738 | 1,1396 | 0,04126 | 1,0646 |
| 15 | 0,04481 | 1,1233 | 0,05008 | 1,0440 |
| 16 | 0,05282 | 1,1086 | 0,05899 | 1,0273 |
| 17 | 0,06146 | 1,0949 | 0,06797 | 1,0137 |
| 18 | 0,07078 | 1,0818 | 0,07708 | 1,0025 |
| 19 | 0,08084 | 1,0691 | 0,08642 | 0,9930 |

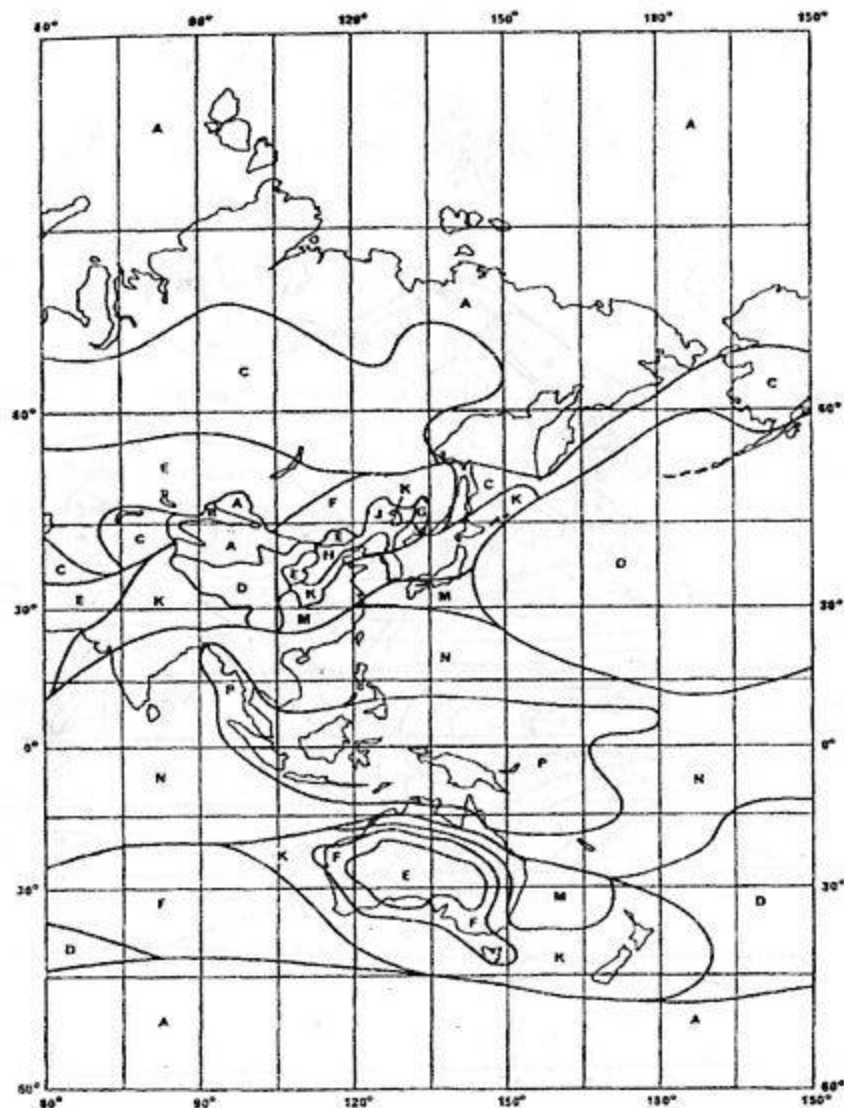


Рис. 4.2. Карта районирования земной поверхности по величине J (0,01%) для восточной части восточного полушария

| Частота, ГГц | Поляризация | | | |
|-----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|
| | горизонтальная | | вертикальная | |
| | K_{fp} | α_{fp} | K_{fp} | α_{fp} |
| 20 | 0,09164 | 1,0568 | 0,09611 | 0,9847 |
| 21 | 0,1032 | 1,0447 | 0,1063 | 0,9771 |
| 22 | 0,1155 | 1,0329 | 0,1170 | 0,9700 |
| 23 | 0,1286 | 1,0214 | 0,1284 | 0,9630 |
| 24 | 0,1425 | 1,0101 | 0,1404 | 0,9561 |
| 25 | 0,1571 | 0,9991 | 0,1533 | 0,9491 |
| 26 | 0,1724 | 0,9884 | 0,1669 | 0,9421 |
| 27 | 0,1884 | 0,9780 | 0,1813 | 0,9349 |
| 28 | 0,2051 | 0,9679 | 0,1964 | 0,9277 |
| 29 | 0,2224 | 0,9580 | 0,2124 | 0,9203 |
| 30 | 0,2403 | 0,9485 | 0,2291 | 0,9129 |
| 31 | 0,2588 | 0,9392 | 0,2465 | 0,9055 |
| 32 | 0,2778 | 0,9302 | 0,2646 | 0,8981 |
| 33 | 0,2972 | 0,9214 | 0,2833 | 0,8907 |
| 34 | 0,3171 | 0,9129 | 0,3026 | 0,8834 |
| 35 | 0,3374 | 0,9047 | 0,3224 | 0,8761 |
| 36 | 0,3580 | 0,8967 | 0,3427 | 0,8690 |
| 37 | 0,3789 | 0,8890 | 0,3633 | 0,8621 |
| 38 | 0,4001 | 0,8816 | 0,3844 | 0,8552 |
| 39 | 0,4215 | 0,8743 | 0,4058 | 0,8486 |
| 40 | 0,4431 | 0,8673 | 0,4274 | 0,8421 |
| 41 | 0,4647 | 0,8605 | 0,4492 | 0,8357 |
| 42 | 0,4865 | 0,8539 | 0,4712 | 0,8296 |
| 43 | 0,5084 | 0,8476 | 0,4932 | 0,8236 |
| 44 | 0,5302 | 0,8414 | 0,5153 | 0,8179 |

| Частота, ГГц | Поляризация | | | |
|-----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|
| | горизонтальная | | вертикальная | |
| | K_{fp} | α_{fp} | K_{fp} | α_{fp} |
| 45 | 0,5521 | 0,8355 | 0,5375 | 0,8123 |
| 46 | 0,5738 | 0,8297 | 0,5596 | 0,8069 |
| 47 | 0,5956 | 0,8241 | 0,5817 | 0,8017 |
| 48 | 0,6172 | 0,8187 | 0,6037 | 0,7967 |
| 49 | 0,6386 | 0,8134 | 0,6255 | 0,7918 |
| 50 | 0,6600 | 0,8084 | 0,6472 | 0,7871 |
| 51 | 0,6811 | 0,8034 | 0,6687 | 0,7826 |
| 52 | 0,7020 | 0,7987 | 0,6901 | 0,7783 |
| 53 | 0,7228 | 0,7941 | 0,7112 | 0,7741 |
| 54 | 0,7433 | 0,7896 | 0,7321 | 0,7700 |
| 55 | 0,7635 | 0,7853 | 0,7527 | 0,7661 |
| 56 | 0,7835 | 0,7811 | 0,7730 | 0,7623 |
| 57 | 0,8032 | 0,7771 | 0,7931 | 0,7587 |
| 58 | 0,8226 | 0,7731 | 0,8129 | 0,7552 |
| 59 | 0,8418 | 0,7693 | 0,8324 | 0,7518 |
| 60 | 0,8606 | 0,7656 | 0,8515 | 0,7486 |

Формула (4.5) может использоваться лишь в диапазоне значений $0,12 \leq \frac{M_F(\text{SES})}{L_{RA}(0,01\%)} \leq 2,14$, что соответствует $1,0\% \geq UR_{RA} \geq 0,001\%$.

Для интервалов, расположенных на широтах ниже 30° (Север или Юг), показатель неготовности, учитывающий ослабление в дождях, определяется выражением, %:

$$UR_{RA} = 10^{-3,076(1 - \sqrt{0,121 - 0,76 \lg[M_F(\text{SES}) / L_{RA}(0,01\%)])}} \quad (4.6)$$

Формула (4.6) может использоваться лишь в диапазоне значений $0,07 \leq \frac{M_F(\text{SES})}{L_{RA}(0,01\%)} \leq 1,44$, что также соответствует $1,0\% \geq UR_{RA} \geq 0,001\%$.

В отсутствие повторного использования частот $UR_R = UR_{RA}$, при этом в случае правильно выбранных высот антенн $UR = UR_{RA}$.

Считается, что приведенные формулы справедливы для любых регионов Земли при расчете интервалов протяженностью до 60 км в диапазонах частот, по крайней мере, до 40 ГГц [13].

4.3. Расчет показателя неготовности, учитывающего влияние дождей, для интервалов с повторным использованием частот

Для интервалов цифровых РРЛ с повторным использованием частот, когда на одной частоте обеспечивается передача двух радиоканалов с ортогональной линейной поляризацией радиоволн, при расчете показателя неготовности необходимо учитывать как ослабление, так и деполаризацию радиоволн в дождях [13], при этом показатель неготовности

$$UR_R = \max(UR_{RA}; UR_{RXP}), \quad (4.7)$$

где UR_{RA} , UR_{RXP} – показатели неготовности, учитывающие ослабление и деполаризацию радиоволн в дождях, %.

Для учета влияния деполаризации радиоволн необходимо вначале определить эквивалентные потери на интервале, дБ

$$L_{RXP} = 10^{(U_R - [N_{XP}(\text{SES}) - (\text{XPIF})]) / V_R}, \quad (4.8)$$

где параметры U_R и V_R зависят только от частоты и определяются выражениями:

$$U_R = 15 + 30 \lg f; \quad (4.9)$$

$$V_R = 12,8 \cdot f^{0,19} \text{ при } 8 \leq f \leq 20 \text{ ГГц}, \quad V_R = 22,6 \text{ при } 20 < f \leq 35 \text{ ГГц}; \quad (4.10)$$

$N_{XP}(\text{SES})$ – пороговое значение отношения мощностей полезного и кроссполаризованного сигналов для $\text{BER}(\text{SES})$;

XPIF – выигрыш в отношении мощностей полезного и кроссполаризованного сигналов при больших отношениях сигнал/шум за счет использования подавителя кроссполаризованных сигналов (XPIC).

Показатель неготовности, учитывающий влияние деполаризации радиоволн:

$$UR_{RXP} = 10^{0,5(-12,7 + \sqrt{161,23 - 4m_R}) - 2}, \quad (4.11)$$

где

$$m_R = 23,26 \cdot \lg \left(\frac{L_{RXP}}{0,12 \cdot L_R(0,01\%)} \right) \text{ при } m_R \leq 40, \quad (4.12)$$

если $m_R > 40$, следует полагать $m_R = 40$.

Формулы (4.11) и (4.12) дают правильные результаты в условиях, когда $-3 \leq 0,5 \cdot (-12,7 + \sqrt{161,23 - 4m_R}) \leq 0$.

4.4. Расчет показателя неготовности, учитывающего субрефракционные замирания

В условиях субрефракции радиоволн может иметь место частичное экранирование существенной области распространения препятствиями на профиле интервала. В случае, если возникающие при этом дифракционные потери превышают имеющийся запас на субрефракционные замирания, уровень принимаемого сигнала падает ниже порогового значения и происходит срыв связи.

Расчет показателя неготовности UR_{SR} , учитывающего влияние экранирования в условиях субрефракции радиоволн, производится следующим образом.

Вначале определяется запас на субрефракционные замирания, дБ

$$M_{FS}(\text{SES}) = M_F(\text{SES}) + L_{\text{дифр}}(\bar{g}), \quad (4.13)$$

где $M_F(\text{SES})$ определяется выражениями (2.21) или (2.23), $L_{\text{дифр}}(\bar{g})$ – выражением (2.8).

После этого определяется значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости g_0 , при котором величина дифракционных потерь $L_{\text{дифр}}(\bar{g})$ с заданной точностью $\Delta L_{\text{дифр}}(g_0)$ (например, $\Delta L_{\text{дифр}}(g_0) = 1$ дБ) совпадает с величиной запаса на субрефракционные замирания.

Нахождение g_0 выполняется методом последовательных приближений, при котором последовательно задаются значения градиента g из области субрефракции (в большинстве случаев $g = (15 - 40) \cdot 10^{-8} 1/\text{м}$), для каждого из них строится профиль интервала и в соответствии с [8] определяется величина

на дифракционных потерь $L_{\text{дифр}}(g)$. Полагается, что $g = g_0$, если $|L_{\text{дифр}}(g) - M_{\text{FS}}(\text{SES})| \leq \Delta L_{\text{дифр}}(g_0)$.

Далее в соответствии с [8] для рассматриваемого региона определяют значения нормированного градиента диэлектрической проницаемости

$$\psi = (g_0 - \bar{g}) / \sigma_g(R) \quad (4.14)$$

для каждого радиоклиматического сезона и выбирается наименьшее из этих значений ψ_0 .

В (4.14) \bar{g} – среднее значение градиента для некоторого сезона;

$\sigma_g(R)$ – стандартное отклонение от среднего значения для области субрефракции, зависящее от длины интервала:

$$\sigma_g(R) = \left(1 \cdot 10^{-7} + \frac{\bar{g}}{3,1}\right) \cdot \left(\frac{1}{y} - 1\right) + \frac{\sigma_g}{y} \quad \text{при } R < 50 \text{ км}, \quad (4.15)$$

где $y = 0,54 + 0,46 \cdot \text{th}(5,4^{-3} \cdot R^{1,5})$; $\sigma_g(R) = \sigma_g$ при $R \geq 50$ км.

После этого для найденного значения $\psi = \psi_0$ вычисляется показатель неготовности, учитывающий влияние субрефракционных замираний, %:

$$\text{UR}_{\text{SR}} = \frac{38,89}{\psi_0} \exp\left(-\frac{\psi_0^2}{2}\right) \quad (4.16)$$

4.5. Примеры расчета показателей неготовности

Пример 4.1. Рассчитать показатель неготовности, обусловленный ослаблением в дождях, для интервала, находящегося в Новгородской области.

Выполнение данного расчета предусматривает предварительный расчет запаса на плоские замирания $M_{\text{F}}(\text{SES})$.

Исходные данные

Длина интервала $R = 23,9$ км;

частота $f = 14,9$ ГГц;

горизонтальная поляризация радиоволн;

запас на плоские замирания $M_{\text{F}}(\text{SES}) = 36,6$ дБ.

Решение

В соответствии с рис. 4.1 с точки зрения районирования по интенсивности дождей рассматриваемый интервал находится в зоне «Е»;

в соответствии с табл. 4.1 для зоны «Е» интенсивность дождей, превышаемая в 0,01 % времени, $J(0,01\%) = 22$ мм/ч;

в соответствии с табл. 4.2 для частоты 14,9 ГГц $K_{\text{fp}} = 0,044$ и $\alpha_{\text{fp}} = 1,125$;

в соответствии с (4.3) погонное затухание $\gamma_{\text{R}}(0,01\%) = 0,044 \cdot 22^{1,125} = 1,425$ дБ/км;

в соответствии с (4.4) параметр $d_{\text{R}} = 35 \exp(-0,015 \cdot 22) = 25,16$ и параметр

$$\text{нравномерности дождей } \beta_{\text{R}}(0,01\%) = \frac{25,16}{23,9 + 25,16} = 0,514;$$

в соответствии с (4.2) потери в дождях $L_{\text{RA}}(0,01\%)$, превышаемые в 0,01% времени, $L_{\text{RA}}(0,01\%) = 1,425 \cdot 0,514 \cdot 23,9 = 17,51$ дБ;

в соответствии с (4.5) показатель неготовности, учитывающий ослабление в дождях, $\text{UR}_{\text{RA}} = 10^{-6,349(1 - \sqrt{0,469 - 0,577 \cdot \lg(36,6/17,51)})} = 0,00109\%$.

Если $\text{UR}_{\text{RA}} = \text{UR}$, то полученное расчетное значение показателя неготовности UR_{RA} сравнивается с нормируемым значением показателя неготовности (см. разд. 1). Например, для внутризонавой РПЛ с длиной эталонного тракта 200 км нормируемое значение показателя $\text{UR} = 0,0018\%$.

Пример 4.2. Рассчитать показатель неготовности, обусловленный субрефракционными замираниями, для интервала, входящего в состав внутризонавой ЦРПЛ с длиной эталонного тракта 200 км.

Исходные данные

Длина интервала $R = 41,9$ км;

частота $f = 8,15$ ГГц;

запас на плоские замирания $M_{\text{F}}(\text{SES}) = 40,8$ дБ;

дифракционные потери при средней рефракции $L_{\text{дифр}}(\bar{g}) = 0$ дБ;

требуемая точность оценки дифракционных потерь $\Delta L_{\text{дифр}}(g_0) = 1$ дБ;

региональные статистические характеристики градиента диэлектрической проницаемости:

лето: среднее значение градиента $\bar{g} = -10 \cdot 10^{-8}$ 1/м, стандартное отклонение

$$\sigma_g = 8 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м};$$

зима: среднее значение градиента $\bar{g} = -8 \cdot 10^{-8}$ 1/м, стандартное отклонение

$$\sigma_g = 3 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м};$$

весна: среднее значение градиента $\bar{g} = -7 \cdot 10^{-8}$ 1/м, стандартное отклонение

$$\sigma_g = 4 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м.}$$

Решение

В соответствии с (4.13) запас на субрефракционные замирания $M_{FS}(SES) = 40,8 + 0 = 40,8$ дБ;

задается значение градиента из области субрефракции, например, $g = 31 \cdot 10^{-8}$ 1/м;

в соответствии с [8] определяется величина дифракционных потерь в условиях субрефракции, например, $L_{дифр} = 40,41$ дБ;

пример расчета дифракционного множителя ослабления $V_{дифр} = -L_{дифр}$ приведен на рис. 4.3, где использованы следующие обозначения:

$R_{хорд}$ – длина хорды сегмента аппроксимирующей окружности, км; $H(g)$ – абсолютный просвет для точки пересечения касательных к профилю, проведенных из центров раскрыва антенн, м; $k(g)$ – относительная координата точки пересечения касательных; $Y_{сегм}$ – высота сегмента аппроксимирующей окружности, м; H_0 – просвет, соответствующий полю свободного пространства, м; Alpha – отношение высоты сегмента аппроксимирующей окружности к H_0 ; $B_{аппр}$ – радиус аппроксимирующей окружности, км; $p(g)$ – относительный просвет для точки пересечения касательных; $Mu(g)$ – параметр, характеризующий степень обостренности препятствия;

проверяется условие: $|L_{дифр}(g) - M_{FS}(SES)| = |40,41 - 40,8| = 0,39 \leq \Delta L_{дифр}(g_0) = 1,0$ дБ и полагается $g_0 = g = 31 \cdot 10^{-8}$;

в соответствии с (4.15) вычисляются значения стандартного отклонения градиента для 3 сезонов: $\sigma_g(R) = 8,7 \cdot 10^{-8}$ 1/м (лето), $\sigma_g(R) = 3,5 \cdot 10^{-8}$ 1/м (зима),

$$\sigma_g(R) = 4,5 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м (весна);}$$

в соответствии с (4.14) определяются значения нормированного градиента диэлектрической проницаемости для каждого радиоклиматического сезона $\psi = 4,7$ (лето), $\psi = 11,1$ (зима) и $\psi = 8,4$ (весна);

выбирается наименьшее из значений $\psi_0 = \min \psi = 4,7$;

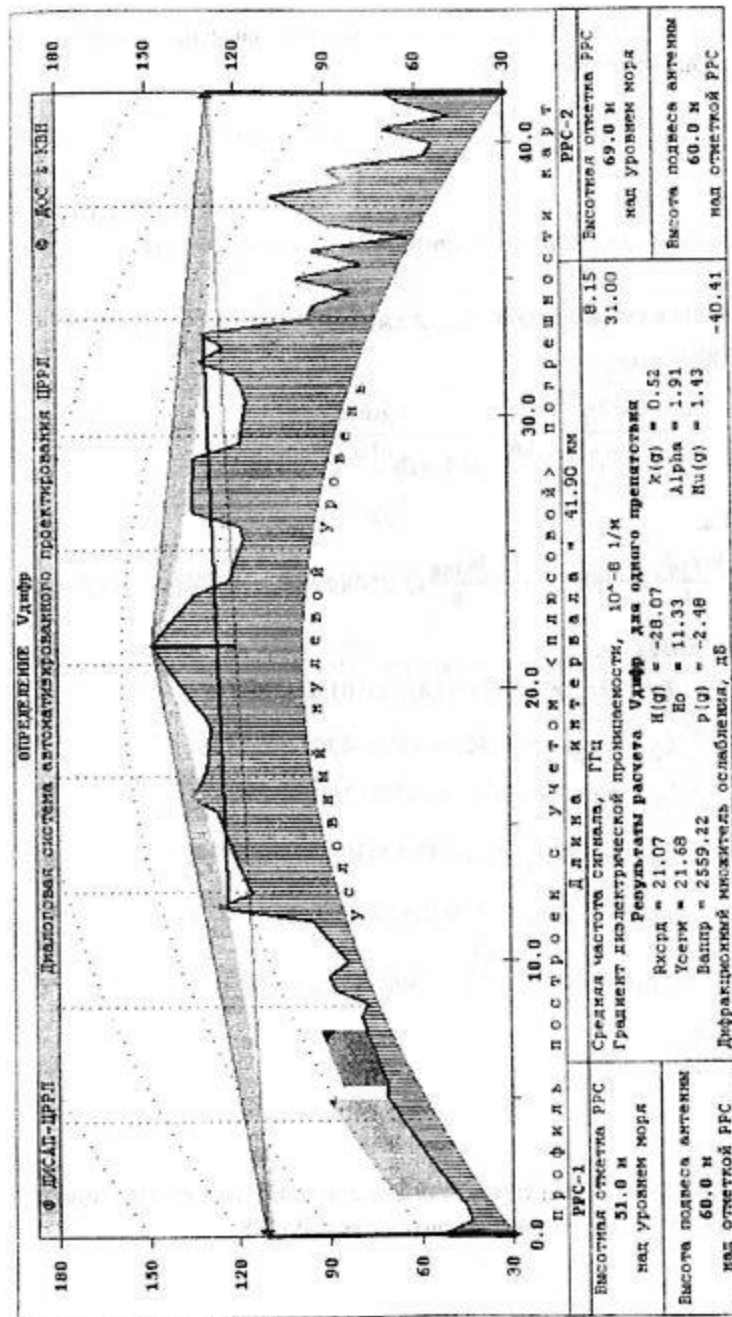


Рис.4.3. Пример расчета дифракционного множителя ослабления на интервале в условиях субрефракции

весна: среднее значение градиента $g = -7 \cdot 10^{-8}$ 1/м, стандартное отклонение $\sigma_g = 4 \cdot 10^{-8}$ 1/м.

Решение

В соответствии с (4.13) запас на субрефракционные замирания $M_{RS}(SES) = 40,8 + 0 = 40,8$ дБ;

задается значение градиента из области субрефракции, например, $g = 31 \cdot 10^{-8}$ 1/м;

в соответствии с [8] определяется величина дифракционных потерь в условиях субрефракции, например, $L_{дифр} = 40,41$ дБ;

пример расчета дифракционного множителя ослабления $V_{дифр} = -L_{дифр}$ приведен на рис. 4.3, где использованы следующие обозначения: $R_{хорд}$ – длина хорды сегмента аппроксимирующей окружности, км; $H(g)$ – абсолютный просвет для точки пересечения касательных к профилю, проведенных из центров раскрыта антенн, м; $K(g)$ – относительная координата точки пересечения касательных; $Y_{ем}$ – высота сегмента аппроксимирующей окружности, м; H_0 – просвет, соответствующий полю свободного пространства, м; Δh – отношение высоты сегмента аппроксимирующей окружности к H_0 ; $V_{аппр}$ – радиус аппроксимирующей окружности, км; $r(g)$ – относительный просвет для точки пересечения касательных; $M_u(g)$ – параметр, характеризующий степень обостренности препятствия;

проверяется условие: $|L_{дифр}(g) - M_{RS}(SES)| = |40,41 - 40,8| = 0,39 \leq \Delta L_{дифр}(g_0) = 1,0$ дБ и полагается $g_0 = g = 31 \cdot 10^{-8}$;

в соответствии с (4.15) вычисляются значения стандартного отклонения градиента для 3 сезонов: $\sigma_g(R) = 8,7 \cdot 10^{-8}$ 1/м (лето), $\sigma_g(R) = 3,5 \cdot 10^{-8}$ 1/м (зима),

$\sigma_g(R) = 4,5 \cdot 10^{-8}$ 1/м (весна);

в соответствии с (4.14) определяются значения нормированного градиента диэлектрической проницаемости для каждого радиоклиматического сезона $\psi = 4,7$ (лето), $\psi = 11,1$ (зима) и $\psi = 8,4$ (весна);

выбирается наименьшее из значений $\psi_0 = \min \psi = 4,7$;

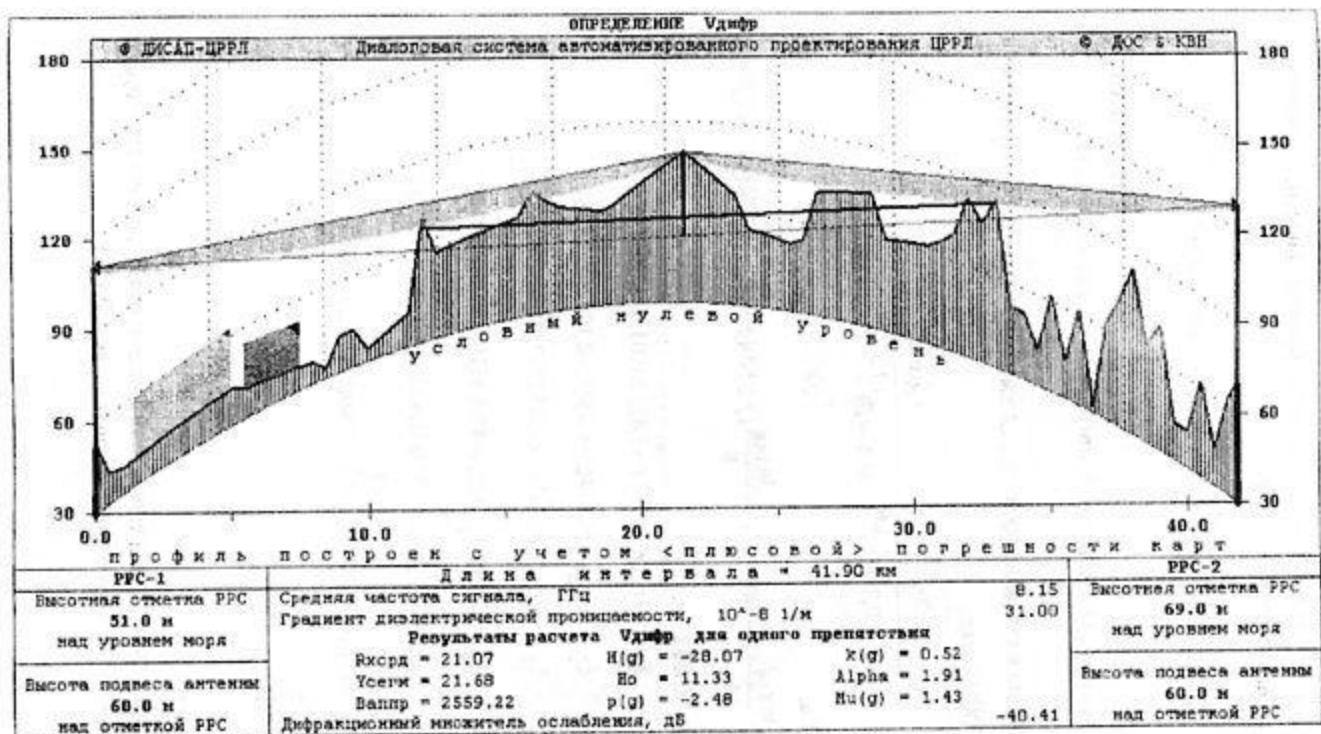


Рис.4.3. Пример расчета дифракционного множителя ослабления на интервале в условиях субрефракции

в соответствии с (4.16) вычисляется показатель неготовности, учитывающий влияние субрефракционных замираний,

$$UR_{SR} = \frac{38,89}{4,7} \exp\left(-\frac{4,7^2}{2}\right) = 0,000132\%.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Формулы для расчета погонного затухания в газах

Затухание в сухом воздухе γ_{O_2} (дБ/км) определяется следующими выражениями [9]:

$$\gamma_{O_2} = \left[\frac{7,2r_t^{2,8}}{f^2 + 0,34r_p^2 r_t^{1,6}} + \frac{0,62\xi_3}{(54-f)^{1,16}\xi_1 + 0,83\xi_2} \right] f^2 r_p^2 \cdot 10^{-3}$$

для $f \leq 54$ ГГц, (П.1)

$$\gamma_{O_2} = \exp\left[\frac{\ln \gamma_{54}}{24} (f-58)(f-60) - \frac{\ln \gamma_{58}}{8} (f-54)(f-60) + \frac{\ln \gamma_{60}}{12} (f-54)(f-58) \right]$$

для 54 ГГц $< f \leq 60$ ГГц, (П.2)

где

$$\xi_1 = \varphi(r_p, r_t; 0,0717; -1,8132; 0,0156; -1,6515);$$

$$\xi_2 = \varphi(r_p, r_t; 0,5146; -4,6368; -0,1921; -5,7416)$$

$$\xi_3 = \varphi(r_p, r_t; 0,3414; -6,5851; 0,2130; -8,5854); ;$$

$$\gamma_{58} = 12,59\varphi(r_p, r_t; 1,0045; 3,5610; 0,1588; 1,2834);$$

$$\gamma_{60} = 15,0\varphi(r_p, r_t; 0,9003; 4,1335; 0,0427; 1,6088);$$

$$\varphi(r_p, r_t, a, b, c, d) = r_p^a r_t^b \exp[c(1-r_p) + d(1-r_t)];$$

f – частота, ГГц;

p – давление, гПа;

$r_p = p/1013$;

$r_t = 288/(273 + t)$;

t – температура, град. С (если необходимые данные о температуре отсутствуют, их можно взять из карт, приведенных в рек. Р.1510).

Погонное затухание для паров воды, дБ/км

$$\begin{aligned} \epsilon_{H_2O} = & \left\{ \frac{3,983_1 \exp[2,23(1-r_t)]}{(f-22,235)^2 + 9,423_1^2} g(f,22) + \frac{11,963_1 \exp[0,7(1-r_t)]}{(f-183,31)^2 + 11,143_1^2} + \right. \\ & + \frac{0,0813_1 \exp[6,44(1-r_t)]}{(f-321,226)^2 + 6,293_1^2} + \frac{3,663_1 \exp[1,6(1-r_t)]}{(f-325,153)^2 + 9,223_1^2} + \\ & + \frac{25,373_1 \exp[1,09(1-r_t)]}{(f-380)^2} + \frac{17,43_1 \exp[1,46(1-r_t)]}{(f-448)^2} + \\ & + \frac{844,63_1 \exp[0,17(1-r_t)]}{(f-557)^2} g(f,557) + \frac{2903_1 \exp[0,41(1-r_t)]}{(f-752)^2} g(f,752) + \\ & \left. + \frac{8,3328 \times 10^4 z_2 \exp[0,99(1-r_t)]}{(f-1780)^2} g(f,1780) \right\} f^2 r_t^{2,5} c \cdot 10^{-4}, \end{aligned}$$

где $\eta_1 = 0,955r_p r_t^{0,68} + 0,06\rho$; $z_2 = 0,735r_p r_t^{0,5} + 0,0353r_t^4 c$;

$$g(f, f_i) = 1 + \left(\frac{f - f_i}{f + f_i} \right)^2; \rho - \text{плотность паров воды, г/м}^3.$$

Значения процента P_L для разных сезонов

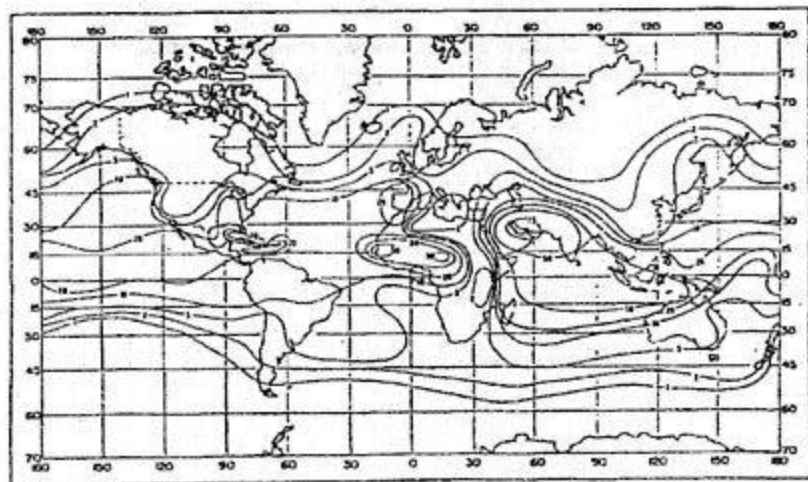
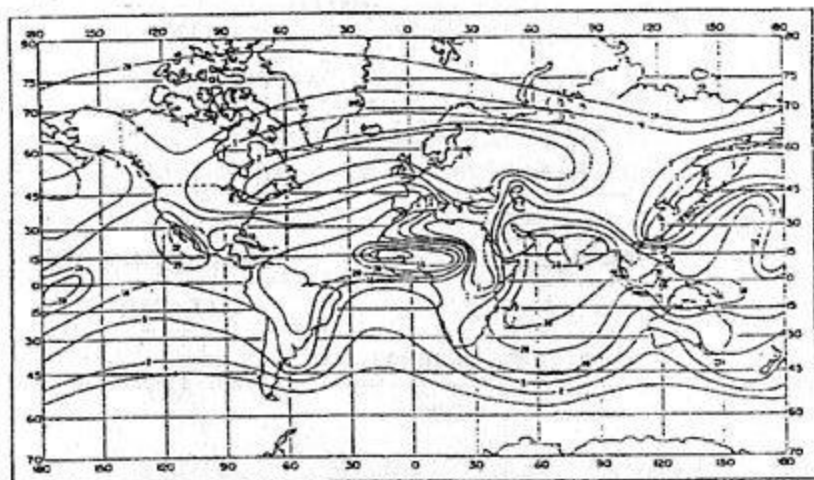


Рис. П.2.1. Значение процента времени P_L в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N ед./км (февраль – май)

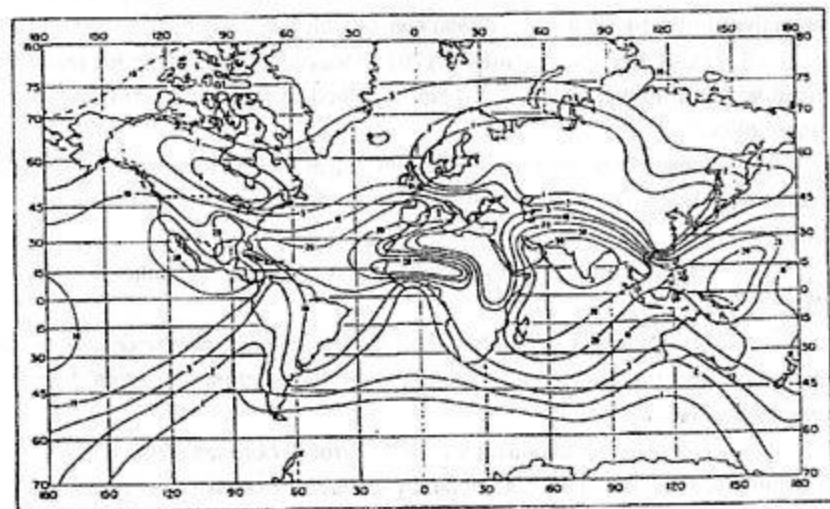
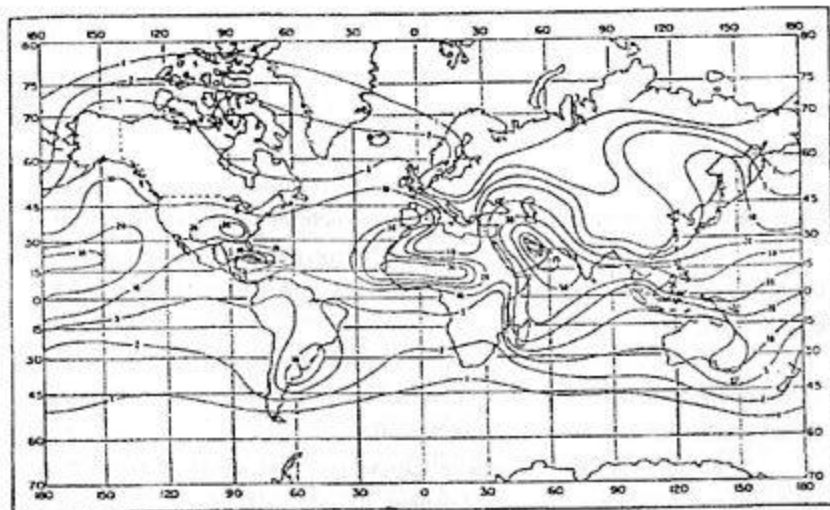


Рис. П.2.2. Значение процента времени P_L в течение которого градиент рефракции в нижнем 100-метровом слое тропосферы меньше минус 100 N ед./км (август – ноябрь)

ЛИТЕРАТУРА

1. ITU-T Recommendation G.826. End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections, 2002.
2. ITU-T Recommendation G.828. Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate synchronous digital paths, 2000.
3. ITU-R Recommendation F.1668. Error performance objectives for real digital fixed wireless links used in 27 500 km hypothetical reference paths and connections, 2003.
4. ITU-T Recommendation G.821. Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network, 2002.
5. Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральных и внутризональных первичных сетей, 1996.
6. ITU-T Recommendation G.827. Availability performance parameters and objectives for end-to-end international constant bit-rate digital paths, 2003.
7. ITU-R Recommendation F.1703. Availability objectives for real digital fixed wireless links used in 27 500 km hypothetical reference paths and connections, 2005.
8. Справочник по радиорелейной связи / Н.Н. Каменский, А.М. Модель, Б.С. Надененко и др.; под ред. С.В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
9. ITU-R Recommendation P.676-6. Attenuation by atmospheric gases, 2005.
10. ITU-R Recommendation F.751-2. Transmission characteristics and performance requirements of radio-relay systems for synchronous digital hierarchy-based networks, 1997.
11. ITU-R Recommendation F.1605. Error performance and availability estimation for synchronous digital hierarchy terrestrial fixed wireless systems, 2003.
12. ITU-R Recommendation P.530-8. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems, 1999.
13. ITU-R Recommendation P.530-11. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems, 2005.
14. ITU-R Recommendation P.453-9. The radio refractive index: its formula and refractivity data, 2003.

15. ITU-R Recommendation P.837-4. Characteristics of precipitation for propagation modelling, 2003.

16. ITU-R Recommendation P.838-3. Specific attenuation model for rain for use in prediction methods, 2005.

17. ITU-R Recommendation F.746-8. Radio-frequency arrangements for fixed service systems, 2006.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АВТ** – антенно-волноводный тракт
АРМН – автоматическая регулировка мощности передатчика
ГЭЦТ – гипотетический эталонный цифровой тракт
МСЭ – Международный союз электросвязи
МСЭ-Р – Международный союз электросвязи (сектор радиосвязи)
МСЭ-Т – Международный союз электросвязи (сектор стандартизации)
МСОН – мешающие сигналы обратного направления
ПКО – показатель качества по ошибкам
ПНГ – показатель неготовности
РРЛ – радиорелейная линия
РРС – радиорелейная станция
ЦРРЛ – цифровая радиорелейная линия
ЧСЗ – частотно-селективные замирания
Access – (участок) доступа
AR (Availability Ratio) – коэффициент (показатель) готовности
BBER (Background Block Error) – блок с фоновыми ошибками
BBER (Background Block Error Ratio) – показатель блоков с фоновыми ошибками
BER (Bit Error Ratio) – коэффициент битовых ошибок
CRC (Cyclic Redundancy Check) – циклическая проверка избыточности
EB (Errored Block) – блок с ошибками
EDC (Error Detection Code) – код, обнаруживающий ошибки
ES (Errored Second) – пораженная ошибками секунда
ESR (Errored Second Ratio) – показатель (коэффициент) пораженных (ошибками) секунд
HRC (hypothetical reference connections) – гипотетические эталонные соединения
HRP (hypothetical reference paths) – гипотетические эталонные тракты
IG (International Gateway) – международные ворота
LH (Long Haul) – (участок) большой протяженности

OI (outage intensity) – интенсивность периодов неготовности
PEP (Path End Point) – конечная точка тракта
PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) – плездохронная цифровая иерархия
SC (Switching Centre) – центр коммутации
SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронная цифровая иерархия
SES (Severely Errored Second) – сильно пораженная ошибками секунда
SESR (Severely Errored Second Ratio) – показатель (коэффициент) сильно пораженных (ошибками) секунд
SH (Short Haul) – (участок) малой протяженности
TIC (Terminal International Centre) – окончательный международный центр
UR (Unavailability Ratio) – показатель (коэффициент) неготовности
XPD (Cross Polarization Discrimination) – ослабление кроссполяризованного сигнала
XPIC (Cross Polarization Interference Canceller) – подавитель кроссполяризованных мешающих сигналов
XPIF (Cross Polarization Improvement Factor) – показатель улучшения ослабления кроссполяризованного сигнала

ДАНИЛОВИЧ
Олег Сигизмундович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЦИФРОВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ**
Расчет показателей качества передачи

Издательство «Линк»
191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61, к. 532
Тел.: +7(812)315-8390, e-mail: link@sut.ru
<http://www.dvo.sut.ru>

Редактор *Л.А. Медведева*
Набор *М.Ю. Кусовой*

Подписано к печати 30.10.2009.
Формат 60×90 $\frac{1}{16}$. Объем 4,75 печ. л. Бумага офсетная.
Тираж 300 экз. Зак. 632

Отпечатано СТ «Факультет ДВО». 191186 СПб, наб. р. Мойки, д. 61