

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЧАСТОТАМ ПРИ МИНИСТЕРСТВЕ ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЕШЕНИЕ

ОТ 8 ДЕКАБРЯ 2020 ГОДА N 20-56-02-1

ОБ УТВЕРЖДЕНИИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И УСЛОВИЙ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ С РАДИОЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ СУХОПУТНОЙ ПОДВИЖНОЙ СЛУЖБЫ В ПОЛОСЕ ЧАСТОТ 470- 862 МГц

Заслушав сообщение федерального государственного унитарного предприятия "Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И.Кривошеева" (ФГУП НИИР) по вопросу об утверждении Методики расчетов электромагнитной совместимости и условий совместного использования радиоэлектронных средств телевизионного вещания с радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы в полосе частот 470-862 МГц, ГКРЧ

решила:

1. Утвердить Методику расчетов электромагнитной совместимости и условий совместного использования радиоэлектронных средств телевизионного вещания с радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы в полосе частот 470-862 МГц ([прилагается*](#)).

* Приложение см. по ссылке. - Примечание изготовителя базы данных.

2. Рекомендовать использование Методики, указанной в [пункте 1 настоящего решения ГКРЧ](#), при проведении работ по расчетам электромагнитной совместимости и определении условий совместного использования радиоэлектронных средств телевизионного вещания с радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы гражданского назначения (LTE, LTE-A и 5G/IMT-2020), использующих полосу радиочастот 694-862 МГц.

3. Настоящее решение ГКРЧ вступает в силу со дня его принятия.

Электронный текст документа
подготовлен АО "Кодекс" и сверен по:
официальный сайт Министерства
цифрового развития, связи и массовых
коммуникаций Российской Федерации
digital.gov.ru
по состоянию на 10.12.2020

Текст/Редакция документа подготовлены АО "Кодекс"

Приложение
к решению ГКРЧ
от 23 ноября 2020 г.
№ 20-56-02-1

МЕТОДИКА
расчетов электромагнитной совместимости и условий совместного
использования радиоэлектронных средств телевизионного вещания с
радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной службы
в полосе частот 470-862 МГц

г. Москва, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ | 7 |
| 1. Назначение и состав методики | 9 |
| 1.1 Технические характеристики РЭС аналогового телевизионного вещания в диапазоне радиочастот 470-790 МГц..... | 10 |
| 1.2 Технические характеристики РЭС цифрового телевизионного вещания DVB-T2 в диапазоне радиочастот 470-790 МГц..... | 15 |
| 1.3 Технические характеристики РЭС сетей LTE, LTE-A в диапазоне радиочастот 791-862 МГц | 20 |
| 1.4 Технические характеристики РЭС сетей 5G/IMT-2020 | 29 |
| 2. Показатели помехоустойчивости и качества функционирования РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС | 37 |
| 2.1 Показатели помехоустойчивости и качества функционирования РЭС телевизионного вещания | 37 |
| 2.2 Показатели помехоустойчивости и качества функционирования РЭС СПС | 48 |
| 2.2.1 Характеристики частотной избирательности РЭС СПС | 48 |
| 2.2.2 Аппроксимация диаграмм направленности антенн РЭС СПС | 53 |
| 3 Сценарии совместного использования РЭС..... | 61 |
| 4. Критерии обеспечения ЭМС РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС..... | 65 |
| 4.1 Критерии обеспечения ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС сетей СПС на РЭС телевизионного вещания..... | 65 |
| 4.2 Критерии обеспечения ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС | 74 |
| 5 Модели распространения радиоволн, используемые при определении ослабления на открытых и закрытых трассах | 77 |
| 6 Критерии отбора действующих РЭС – потенциальных источников помех | 84 |
| 7 Основные расчеты и определение условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС сетей СПС на РЭС телевизионного вещания .. | 88 |
| 7.1 Расчет напряженности полезного поля для РЭС телевизионного вещания | 88 |

| | |
|---|-----|
| 7.2 Расчет напряженности мешающего поля от РЭС сети СПС на РЭС телевизионного вещания | 89 |
| 7.3 Расчет объединенного поправочного коэффициента местоположений.... | 92 |
| 7.4 Расчет суммарной напряженности мешающего поля от РЭС сети СПС .. | 93 |
| 7.5 Критерии совместимости и алгоритм расчета | 94 |
| 8 Основные расчеты и определение условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС | 100 |
| 8.1 Расчет напряженности мешающего поля от РЭС телевизионного вещания на РЭС сети СПС..... | 100 |
| 8.2 Расчет уровня суммарной помехи на входе приемника РЭС сети СПС . | 105 |
| 8.3 Определение условий обеспечения ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС | 106 |
| 9 Организационно-технические мероприятия по уменьшению помех | 107 |
| 10 Алгоритм и инструкция практического использования Методики..... | 120 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 129 |

В методике использованы термины по ГОСТ 24375-80 [1] и ГОСТ Р 52210-2004 [2], а также приведенные ниже термины и определения.

| Термин | Определение |
|---|--|
| Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств | Способность РЭС одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим РЭС |
| Занимаемая ширина полосы радиоизлучения | Ширина полосы частот радиоизлучения, за пределами которой излучается заданная часть средней мощности излучения радиопередающего устройства |
| Полоса частот радиоизлучения на уровне X дБ | Полоса частот излучения радиопередающего устройства, за пределами которой любая дискретная составляющая спектра внеполосных радиоизлучений или спектральная плотность мощности внеполосных радиоизлучений ослаблена относительно заданного уровня не менее, чем до уровня X дБ |
| Внеполосное излучение | Нежелательное излучение в полосе, примыкающей к необходимой полосе радиочастот, являющееся результатом модуляции сигнала |
| Спектральная маска сигнала | Частотная характеристика радиопередающего устройства задает максимально допустимые значения внеполосных излучений, которые не должны быть превышены в реальном передатчике РЭС |
| Коэффициент утечки мощности радиопередатчика ACLR | Характеристика радиопередающих устройств определяет отношение его средней мощности в основном канале к его средней мощности в смежном канале |

| Термин | Определение |
|---|---|
| Основной канал приема | Полоса частот, находящаяся в пределах полосы пропускания приемника и предназначенная для приема полезного сигнала |
| Побочный (соседний) канал приема | Полоса частот, находящаяся за пределами основного канала приема, в который сигнал проходит на выход радиоприемника |
| Характеристика частотной избирательности радиоприемника | Зависимость уровня сигнала на входе радиоприемного устройства от частоты этого сигнала при заданном отношении сигнал/шум или уровне сигнала на выходе радиоприемника |
| Параметр избирательности радиоприемника ACS | Характеристика приемника определяет степень ослабления сигнала из соседнего (смежного) канала фильтром приемника в полосе основного канала приема |
| Минимальная медианная напряженность поля | Минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения требуемого качества приема в заданном проценте мест приема при наличии естественного или промышленного шума, но без помех от других передатчиков |
| Минимальная напряженность поля | Минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения требуемого качества приема на стандартную установку индивидуального пользования при отсутствии промышленного шума и без помех от других передатчиков |
| Модели потерь | Аналитическое описание затуханий сигнала в среде его распространения под воздействием всевозможных факторов влияния этой среды |
| Блокирование радиоприемника | Характеристика блокирования – мера способности приемника принимать полезный сигнал в присвоенном канале в присутствии источника мешающих сигналов. Помеховый сигнал, исключаяющий такую способность, будет называться сигналом блокирования приемника |

| Термин | Определение |
|--|--|
| Зона обслуживания (зона уверенного приема) | Территория, в пределах которой в присутствии внешних помех и шумов обеспечивается устойчивый прием ТВ-программ телевизионного вещания с заданным качеством приема |
| Зона покрытия (идеальная зона) | Территория, в пределах которой величина напряженности поля равна или превышает величину минимальной медианной напряженности поля, определенную для конкретных условий приема и с заданной вероятностью охвата мест приема |
| Фиксированный прием | <p>Прием ТВ сигнала на фиксированную направленную антенну, установленную:</p> <ul style="list-style-type: none"> • для приема в условиях городской застройки – на высоте не менее 2 м от уровня крыш зданий; • для приема за городом (в сельской местности) – на высоте 10 м от уровня земли |
| Конфигурация антенных решеток | Количество рядов (вертикальных и горизонтальных), содержащих единичные элементы многоэлементной антенны (антенной решетки), к примеру, 8x8 или 16x16 |
| 3D-Beamforming | Формирование лучей ДН антенной решетки, направленных в трехмерном (3D) пространстве для передачи сигнала в точку его приема |

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

| | |
|------------|---|
| АС | Абонентская станция |
| АТВ | Аналоговое телевизионное вещание |
| БС | Базовая станция |
| ГКРЧ | Государственная комиссия по радиочастотам |
| МСЭ | Международный союз электросвязи |
| МСЭ-R | Сектор радиосвязи Международного союза электросвязи |
| ПРД | Передатчик |
| ПРМ | Приемник |
| РФ | Российская Федерация |
| РЭС | Радиоэлектронное средство |
| СПС | Сухопутная подвижная связь |
| ТВ | Телевизионное вещание |
| УВЧ | Ультра высокие частоты |
| ЦТВ | Цифровое телевизионное вещание |
| ЧТР | Частотно-территориальный разнос |
| ЭИМ | Эффективная излучаемая мощность |
| ЭИИМ | Эквивалентная изотропная излучаемая мощность |
| ЭМО | Электромагнитная обстановка |
| ЭМС | Электромагнитная совместимость |
| 5G/IMT2020 | 5 Generation / International mobile telecommunications 2020 (используемое в МСЭ название для стандарта 5-го поколения) |
| AAS | Active antenna system (активная антенная система) |
| ACLR | Adjacent channel leakage ratio (коэффициент утечки мощности в соседний канал) |
| ACS | Adjacent channel selectivity (избирательность по соседнему каналу) |
| BER | Bit error rate (коэффициент битовых ошибок) |

| | |
|-----------|---|
| CBW | Channel bandwidth (ширина полосы сигнала) |
| DL | Down link (линия вниз) |
| DVB-T/T2 | Digital video broadcasting terrestrial (цифровое наземное телевизионное вещание 1-го/2-го поколений) |
| K/SECAM | Sequentiel couleur a memoire (система цветного телевидения со строчным чередованием цветоразностных сигналов и частотной модуляцией двух цветовых поднесущих) |
| LTE/LTE-A | Long term evolution / advanced (стандарт для беспроводной мобильной связи 4-го поколения) |
| MCL | Minimum coupling loss (метод минимальных общих потерь) |
| MIMO | Multiple Input Multiple Output (метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала, в котором передача данных и прием данных осуществляются системами из нескольких антенн) |
| NB-IoT | Narrow band internet of things (стандарт сотовой связи для устройств телеметрии с низкими объемами обмена данными) |
| NR | New radio (новое радио – стандарт 5-го поколения связи) |
| OFDM | Orthogonal frequency-division multiplexing (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) |
| UL | Up link (линия вверх) |

1. Назначение и состав методики

Данная методика предназначена для расчета электромагнитной совместимости и условий совместного использования радиоэлектронных средств телевизионного вещания с радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной служб.

Методика разработана ФГУП НИИР и рекомендована для использования радиочастотными органами России для выполнения анализа электромагнитной обстановки и проведения расчетов ЭМС между РЭС телевизионного вещания и РЭС действующих и перспективных сетей СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020) в диапазоне радиочастот 470-862 МГц.

В первом разделе методики приведены основные технические характеристики РЭС телевизионного вещания, РЭС сетей СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020).

Во втором разделе методики приведены показатели помехоустойчивости и качества функционирования РЭС сетей СПС и телевизионного вещания, необходимые для проведения расчетов ЭМС.

В третьем разделе методики определены основные сценарии совместного использования РЭС ТВ вещания с РЭС сетей СПС, рассмотрены варианты возможного помехового воздействия.

В четвертом разделе методики определены критерии обеспечения ЭМС РЭС телевизионного вещания и РЭС СПС, в том числе защитные отношения, уровни порогов перегрузки и др. характеристики.

В пятом разделе описаны используемые в методике модели распространения радиоволн при расчете ослаблений сигналов на открытых и закрытых трассах.

В шестом разделе методики приведены критерии (частотный и пространственный) отбора РЭС – потенциальных источников помех.

В седьмом разделе методики приведены основные расчеты, включая математический аппарат, используемые при определении условий ЭМС для

сценария помехового воздействия РЭС сетей СПС на РЭС телевизионного вещания.

В восьмом разделе методики приведены основные расчеты, включая математический аппарат, используемые при определении условий ЭМС для сценария помехового воздействия РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС.

В девятом разделе описаны алгоритмы и пошаговые инструкции практического использования данной методики.

В десятом разделе методики описаны организационно-технические мероприятия по уменьшению непреднамеренных помех между РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС.

Методика также содержит ряд рекомендаций по выбору значений некоторых технических характеристик и описания моделей РЭС (шумовых характеристик приемников РЭС, описание моделей позиционирования абонентских терминалов сети СПС и т. д.), по которым может отсутствовать информация в заявочных или разрешительных документах.

Основу методики составили действующие системы сертификации ГОСТ Р, Отчёты и Рекомендации МСЭ-Р, опубликованные консорциумом 3GPP спецификации стандарта LTE и 5G/IMT-2020, а также действующие методики, утвержденные радиочастотными органами Российской Федерации и использующиеся в расчетах ЭМС.

1.1 Технические характеристики РЭС аналогового телевизионного вещания в диапазоне радиочастот 470-790 МГц

Параметры модели сети аналогового ТВ вещания – источника помех сетям сухопутной подвижной службы стандартов LTE, LTE-A, IMT-2020 определяются на основе данных о частотных присвоениях ТВ станциям аналогового вещания с использованием информации о выданных разрешениях на использование радиочастотных каналов действующих и планируемых для использования аналоговыми ТВ вещательными станциями,

содержащихся в базе данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы Российской Федерации или материалов радиочастотной заявки для получения заключения экспертизы ЭМС, подаваемых в организацию радиочастотной службы для получения разрешения на использование радиочастотных каналов для заявляемых ТВ станций аналогового вещания.

Перечень исходных данных о частотных присвоениях ТВ станциям аналогового вещания, которые необходимы для описания модели сети аналогового ТВ вещания источника помех сетям сухопутной подвижной службы стандартов LTE, LTE-A, IMT-2020 на основе данных радиочастотной заявки приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные о частотных присвоениях ТВ станциям аналогового вещания (действующих или заявляемых)

| Обозначение | Характеристика | Источник |
|-------------------------------------|--|---|
| Lat_{Tx_Tv} , $Long_{Tx_Tv}$ | Географические координаты места установки передающей антенны: град., мин., сек. с. ш.; град., мин., сек. в. д. | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ. Приложение к приложению 1-11 ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ (п. 4) |
| h_{Tx_Tv} | Высота подвеса антенны над поверхностью Земли, м | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ. Приложение к приложению 1-11 ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ (п. 12) |
| G_{Tx_Tv} | Максимальный коэффициент усиления передающей антенны относительно полуволнового вибратора, дБ | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ. Приложение к приложению 1-11 ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ (п. 9) |
| Az_{Tx_Tv} | Направление излучения передающей антенны град. | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ Приложение к приложению 1-11 ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ (п. 10) |
| $N_{кан}(f_n - f_e)$ | Номер канала (полоса радиочастот, МГц) | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ. Приложение к приложению 1-11 ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ (п. 5) |
| P_{Tx_Tv} | Мощность передатчика, кВт | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ. Приложение к приложению 1-11 ИД-ТВ, ОВЧ ЧМ (п. 8) |
| $S_{Tx_Tv}(f)$ | Маска спектральных пределов для аналогового телевидения | Таблицы 1.2, 1.3, рисунок 1.1 Рекомендация МСЭ-R SF.1541 [4] |

В таблице 1.2 показаны точки перегиба, соответствующие графику, изображенному на рисунке 1.1, для аналогового телевидения с каналами по 8 МГц и негативной модуляцией.

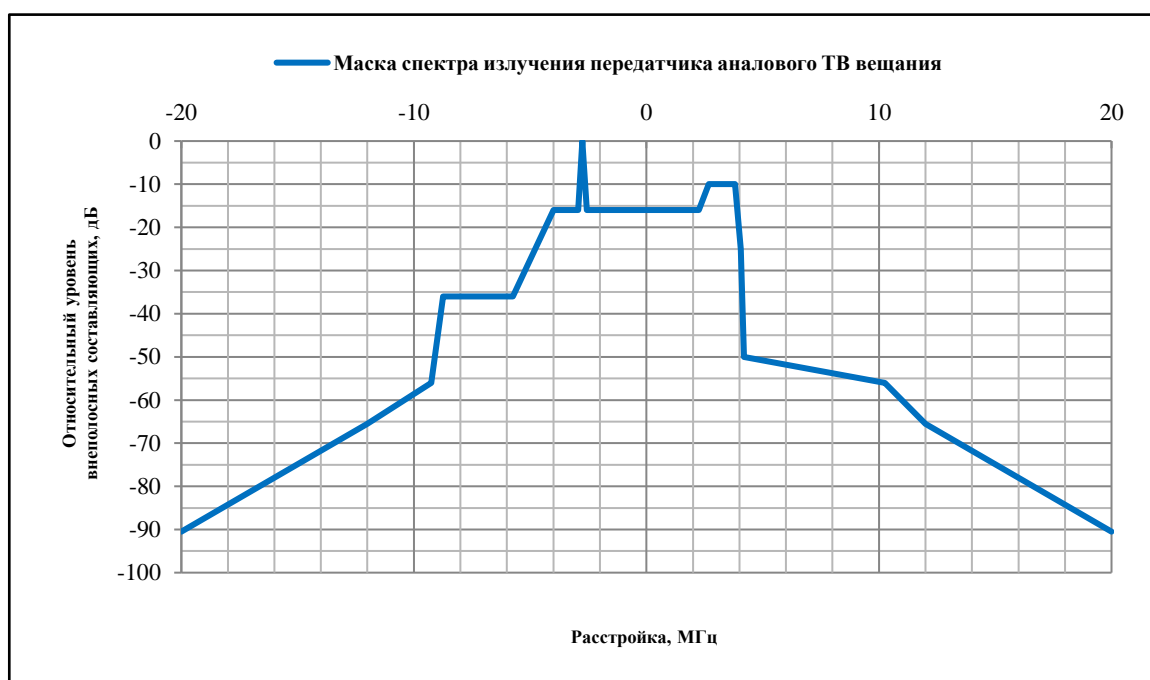


Рисунок 1.1 – Маска спектральных пределов для аналогового телевидения с каналами по 8 МГц и негативной модуляцией

Таблица 1.2 – Точки перегиба для аналогового телевидения с каналами по 8 МГц, негативная модуляция

| Частота относительно частоты видеонесущей | Частота относительно центра 8 МГц канала | Относительный уровень в полосе измерения 50 кГц, (дБ) |
|---|--|---|
| -17,25 | -20 | -90,5 |
| -9,25 | -12 | -65,5 |
| -6,5 | -9,25 | -56 |
| -6 | -8,75 | -36 |
| -3 | -5,75 | -36 |
| -1,25 | -4 | -16 |
| -0,75 | -3,5 | -16 |
| -0,18 | -2,93 | -16 |
| 0 | -2,75 | 0 |
| 0,18 | -2,57 | -16 |
| 5 | 2,25 | -16 |
| 5,435 | 2,685 | -10 |
| 6,565 | 3,815 | -10 |

| Частота относительно частоты видеонесущей | Частота относительно центра 8 МГц канала | Относительный уровень в полосе измерения 50 кГц, (дБ) |
|---|--|---|
| 6,802 | 4,052 | -25 |
| 6,94 | 4,19 | -50 |
| 13 | 10,25 | -56 |
| 14,75 | 12 | -65,5 |
| 22,75 | 20 | -90,5 |

В таблице 1.3 показаны значения конечных точек, которые должны использоваться вместе таблицей 1.2 и рисунком 1.1, применимые к широкому спектру выходных мощностей передатчика, для аналогового телевидения с каналами по 8 МГц, негативной модуляцией.

Таблица 1.3 – Значения конечных точек для аналогового телевидения с каналами по 8 МГц, негативная модуляция

| Значение конечной точки(1) (измерительная полоса 50 кГц) (дБ) | Диапазон мощности(дБВт) | Соответствующий уровень побочных излучений (в измерительной полосе 100 кГц) |
|---|-------------------------|--|
| -80,5 – (P – 9) | $P \leq 9$ | -36 дБм |
| -80,5 | $9 < P \leq 29$ | 75 дБ |
| -80,5 – (P – 29) | $29 < P \leq 39$ | -16 дБм |
| -90,5 | $39 < P \leq 50$ | 85 дБ |
| -90,5 – (P – 50) | $50 < P$ | -5 дБм |

(1) Значение конечной точки определяется верхним пределом 65,5 дБ.

1.2 Технические характеристики РЭС цифрового телевизионного вещания DVB-T2 в диапазоне радиочастот 470-790 МГц

В таблице 1.4 представлены основные технические требования к параметрам излучения передающих устройств DVB-T2, которые определены решением ГКРЧ от 16 марта 2012 года [3].

Таблица 1.4 – Основные технические требования к параметрам излучения передающих устройств цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2

| Наименование параметра | Допускаемое значение параметра | | | |
|---|--|--|-------|-------|
| 1. Отклонение выходной мощности от номинальной величины | ±10% | | | |
| 2. Изменение выходной мощности при медленных колебаниях напряжения сети в пределах (+10÷-15)% от номинального значения и при медленных изменениях частоты электропитания в пределах ±1% от номинального значения | ±0,25 дБ | | | |
| 3. Отклонение центральной частоты спектра излучения от номинальной величины | ±100 Гц | | | |
| 4. Относительный уровень любого из побочных излучений на выходе передатчика: | не менее чем на 40 дБ ниже мощности основного излучения, но не более 25 мкВт | | | |
| для передатчиков IV, V диапазонов с выходной мощностью не более 25 Вт | | | | |
| для передатчиков III-V диапазонов с выходной мощностью более 25 Вт | | | | |
| 5. Уровень мощности внеполосных составляющих спектра выходного сигнала ТВ радиопередатчика | | | | |
| 5.1. Относительный уровень спектральной плотности мощности внеполосных излучений ⁽¹⁾ . | Значение отстройки от центра, МГц | Относительный уровень внеполосных составляющих, дБ | | |
| <u>Примечание 1.</u> Уровень мощности измеряется в полосе 4 кГц, где 0 соответствует полной выходной мощности. | | | | |
| <u>Примечание 2.</u> Приведенная ограничительная маска устанавливает допустимый уровень внеполосных составляющих спектра выходного сигнала радиопередатчика, если в соседних радиоканалах работают аналоговые телевизионные | | | | |
| | | | -12,0 | -110 |
| | | | -6,0 | -85 |
| | | | -4,2 | -73 |
| | | | -3,9 | -32,8 |
| | 3,9 | -32,8 | | |
| | 4,2 | -73 | | |
| | 6,0 | -85 | | |

| Наименование параметра | Допускаемое значение параметра | |
|--|-----------------------------------|--|
| <p>радиопередатчики и выполняются следующие условия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – антенны аналогового и цифрового передатчиков расположены на одной мачте; – излучения аналогового и цифрового сигналов имеют одинаковую поляризацию; – эффективная излучаемая мощность цифрового радиопередатчика $P_{ц}$ и пиковая излучаемая мощность аналогового радиопередатчика $P_{а}$ равны. <p>Если излучаемые мощности передатчиков не равны, то к значениям подавления внеполосных излучений ограничительной маски следует прибавить корректирующую величину ΔP, определяемую по формуле: $\Delta P = 10 \lg P_{а} / P_{ц}$, дБ</p> | 12,0 | -110 |
| <p>5.2. Маска выходного сигнала радиопередатчика для критических случаев по стандарту DVB-T, DVB-T2 (в случае стандартного распределения несущих частот в спектре сигнала), имеющая полосу пропускания 7,61 МГц и требуемое подавление в узловых точках, накладывает более жесткие ограничения на уровень внеполосных составляющих спектра выходного сигнала радиопередатчика и применяется в особых случаях, определяемых государственными органами контроля за использованием радиочастотного спектра.</p> <p>При расширенном наборе несущих в спектре выходного сигнала радиопередатчика по стандарту DVB-T2 полоса пропускания увеличивается до значения 7,77 МГц⁽²⁾.</p> | Значение отстройки от центра, МГц | Относительный уровень внеполосных составляющих, дБ |
| | -12,0 | -120 |
| | -6,0 | -95 |
| | -4,2 | -83 |
| | -3,8 | -32,8 |
| | 3,8 | -32,8 |
| | 4,2 | -83 |
| | 6,0 | -95 |
| <p>Примечание 1. При режиме работы передатчика 8К-32К и величине защитного интервала 1/4, режимы 1К-4К требуют дополнительного уточнения.</p> <p>Примечание 2. Трафарет критической маски в этом случае не определен и требует уточнения.</p> | 12,0 | -120 |

Параметры модели сети цифрового ТВ вещания – источника помех сетям сухопутной подвижной службы стандартов LTE, LTE-A, IMT-2020 определяются на основе данных о частотных присвоениях ТВ станциям цифрового вещания с использованием информации о выданных разрешениях на использование радиочастотных каналов действующих и планируемых для использования аналоговыми ТВ вещательными станциями, содержащихся в базе данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы Российской Федерации или материалов радиочастотной заявки для получения заключения экспертизы ЭМС, подаваемых в организацию радиочастотной службы для получения разрешения на использование радиочастотных каналов для заявляемых ТВ станций цифрового вещания.

Перечень исходных данных о частотных присвоениях ТВ станциям цифрового вещания, которые необходимы для описания модели сети цифрового ТВ вещания источника помех сетям сухопутной подвижной службы стандартов LTE, LTE-A, IMT-2020 на основе данных радиочастотной заявки приведен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Исходные данные о частотных присвоениях ТВ станциям сети цифрового вещания (действующих или заявляемых)

| Обозначение | Характеристика | Источник |
|--|--|---|
| Lat_{Tx_Tv} , $Long_{Tx_Tv}$ | Географические координаты места установки передающей антенны: град., мин., сек. с. ш.; град., мин., сек. в. д. | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ЦТВ. Приложение к приложению № 1-12 ИД-ЦТВ (п. 4) |
| h_{Tx_Tv} | Высота подвеса антенны над поверхностью Земли, м | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ЦТВ. Приложение к приложению № 1-12 ИД-ЦТВ (п. 11) |
| G_{Tx_Tv} | Максимальный коэффициент усиления передающей антенны относительно полуволнового вибратора, дБд ⁽¹⁾ | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ЦТВ. Приложение к приложению № 1-12 ИД-ЦТВ (п. 8) |
| Az_{Tx_Tv} | Направление излучения передающей антенны град. | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ЦТВ. Приложение № 1-12 к приложению № 1 (Таблица 2 ЦТВ) |
| $N_{кан}(f_n - f_e)$ | Номер канала (полоса радиочастот, МГц) | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ЦТВ. Приложение к приложению № 1-12 ИД-ЦТВ (п. 5) |
| P_{Tx_Tv} | Мощность передатчика, кВт | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-ЦТВ. Приложение к приложению № 1-12 ИД-ЦТВ (п. 7) |
| $S_{Tx_Tv}(f)$ | Описание маски спектра выходного сигнала радиопередатчика по стандарту DVB-T2 | Таблица 1.4, Рисунок 1.2 (Приложение к решению ГКРЧ от 16 марта 2012 г. № 12-14-07) |
| Примечание 1. Формула для перевода значения максимального коэффициента усиления передающей антенны относительно полуволнового вибратора в значение максимального коэффициента усиления передающей антенны относительно изотропного излучателя: $G_{max\ Tx\ Tv}(дБд) + 2.14 = G_{max\ Tx\ Tv}(дБи)$ | | |

К параметрам, характеризующим спектральные (избирательные) свойства передатчиков относятся спектральная маска сигнала и коэффициент утечки мощности передатчика в соседний канал ACLR.

Указанные параметры используются в сценарии расчета с участием соседней полосы, когда РЭС, создающее помехи и принимающее помехи,

работают на разных частотах (в смежных полосах радиочастот). В этих случаях учитывают два типа помех: нежелательные излучения передатчика в виде внеполосных (ООВ) и побочных излучений и блокирование приемника на приемной стороне.

Внеполосные излучения передатчика – нежелательное излучение на частоте (частотах), непосредственно примыкающих к необходимой ширине полосы частот, и является результатом процесса модуляции, но не включает в себя побочных излучений.

Для передатчика РЭС телевизионного вещания внеполосные излучения ООВ могут быть заданы (рассчитаны) двумя способами:

- 1) посредством спектральной маски сигнала;
- 2) через коэффициенты ACLR.

Спектральные маски сигнала задают максимально допустимые значения внеполосных излучений, которые не должны быть превышены в реальном передатчике РЭС.

На рисунке 1.2 приведена ограничительная маска спектра выходного сигнала радиопередатчика по стандарту DVB-T2, построенная в соответствии с данными материалов приложения к решению ГКРЧ от 16 марта 2012 г. № 12-14-07.

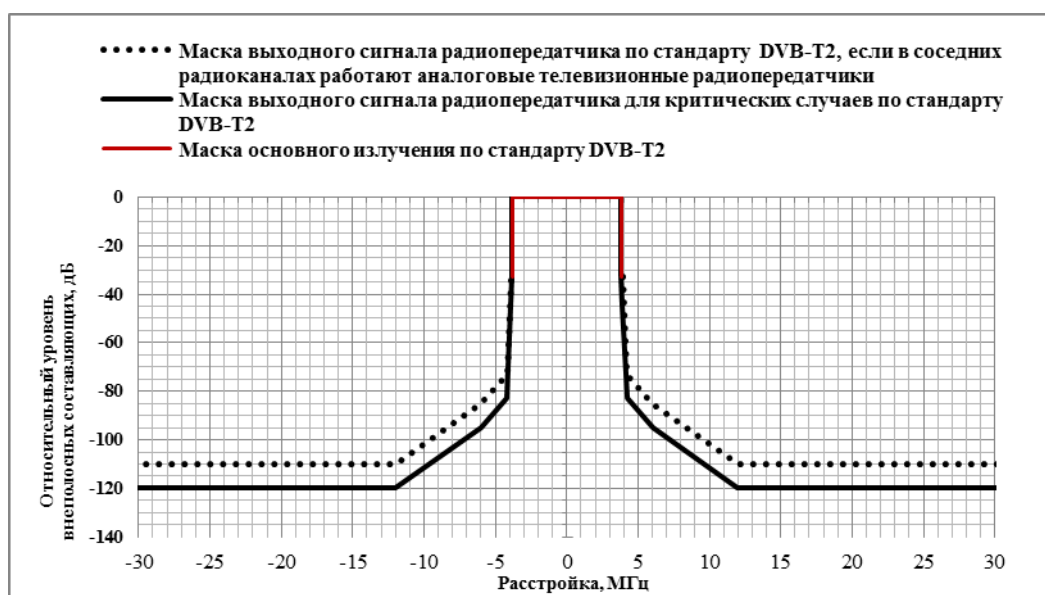


Рисунок 1.2 – Ограничительная маска спектра выходного сигнала радиопередатчика цифрового ТВ вещания по стандарту DVB-T2

1.3 Технические характеристики РЭС сетей LTE, LTE-A в диапазоне радиочастот 791-862 МГц

В Российской Федерации требования к техническим характеристикам РЭС сетей стандарта LTE и последующих его модификаций приведены в Правилах применения оборудования систем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced [21] и в Правилах применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced [22], утвержденных Приказами Минкомсвязи Российской Федерации. Данные документы также основаны на стандартах 3GPP и придают им нормативный характер на территории Российской Федерации.

Перечень радиоэлектронных средств, принадлежащих разным технологиям, находящихся в составе действующих сетей сухопутной подвижной связи, а также разрабатываемых для внедрения в ближайшей перспективе приведен в таблице 1.8. Под перспективными сетями здесь подразумевается технология будущего поколения 5G/IMT-2020. Под диапазоном радиочастот 700 МГц имеется в виду полоса радиочастот 694-790 МГц, а под диапазоном 800 МГц – полоса радиочастот 791-862 МГц.

Таблица 1.8 – Перечень действующих и перспективных РЭС СПС

| Стандарт | Технология | Диапазоны радиочастот, МГц | Требуется экспертиза ЭМС | Решения ГКРЧ | Примечание |
|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|
| LTE | LTE/LTE-A (FDD/TDD) | 700 (СИ), 800 (ПР) – смежная | Да | № 11-12-02 от 08.09.2011 | [17] |
| | LTE-MTC (eMTC) | 700, 800 | Нет ¹⁾ | | |
| | LTE-NB_IoT | 700, 800 | Нет ²⁾ Да ³⁾ | № 17-44-06 от 28.12.2017 | [18] |
| Ретрансляторы и мБС | Разных стандартов | 800 | Нет ⁴⁾ Да ⁵⁾ | № 12-16-02 от 19.12.2012 | [19] |
| | | | | № 16-37-08 от 01.07.2016 | [20] |
| 5G | IMT-2020 | 700 | Да | | Для опытных (тестовых) сетей по методике LTE |

Примечания

- 1) LTE-MTC (eMTC) не имеет специфических особенностей (в сравнении с LTE), влияющих на ЭМС, используется в действующих сетях LTE, в силу чего специальная (дополнительная) экспертиза ЭМС не требуется.
- 2) LTE-NB_IoT не имеет специфических особенностей (в сравнении с LTE), влияющих на ЭМС, используется в действующих сетях LTE, в силу чего специальная (дополнительная) экспертиза ЭМС не требуется.
- 3) В случае отсутствия действующих разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов для РЭС стандарта LTE и последующих его модификаций.
- 4) При соответствии технических характеристик РЭС (ретрансляторы и мБС) основным техническим характеристикам, указанным в решении ГКРЧ от 19 декабря 2012 года № 12-16-02 с учетом последующих соответствующих изменений в нем.
- 5) Экспертиза электромагнитной совместимости ретрансляторов и маломощных БС (мБС), расположенных в зоне обслуживания мБС должна проводиться установленным порядком при размещении Макро-БС (МБС) ближе 25 км, а при использовании полос радиочастот 791-820 МГц/832-862 МГц ближе 100 км от границы Российской Федерации [20].

Указания в таблице на необходимость проведения экспертизы ЭМС («Да»), а также и на ее отсутствие («Нет»), относятся к экспертизе ЭМС для РЭС приведенных технологий по отношению к РЭС гражданского назначения в совместных и смежных (при необходимости) полосах радиочастот, т.е. не касаются экспертизы для этих РЭС в целях оценки условий их совмещения между собой в общих полосах радиочастот в составе сети одного оператора.

Применительно к условиям совмещения РЭС указанных технологий в сетях разных операторов существуют нормы по соблюдению соответствующих минимально допустимых частотных разносов для РЭС различных стандартов. Так, для РЭС стандарта LTE в режиме NB-IoT и другими РЭС разных стандартов в полосах 791-820 МГц и 832-862 МГц (смежные к рассматриваемой полосе радиочастот 694-790 МГц) минимальный частотный разнос между номиналами центральных (средних) частот сигналов NB-IoT и границей полосы радиочастот, выделенной (распределенной) другому оператору, составляет не менее 300 кГц [19].

Перечень исходных данных о частотных присвоениях РЭС сухопутной подвижной радиослужбы, которые необходимы для описания модели сетей СПС, приведен в Таблице 1.9. Характеристики представлены для БС/ретрансляторов и АС стандартов LTE, LTE-A и IMT-2020.

Таблица 1.9 – Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы стандарта LTE, LTE-A и IMT-2020 (действующие или заявляемые)

| Обозначение | Характеристика | Источник |
|-------------------------------------|--|---|
| Базовая станция/Ретранслятор | | |
| Lat_{BC} , $Long_{BC}$ | Географические координаты места установки БС: град., мин., сек. с. ш.; град., мин., сек. в. д. | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 5) |
| h_{BC} | Высота подвеса антенны БС над поверхностью Земли, м | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 6) |
| G_{BC} | Максимальный коэффициент усиления передающей антенны, дБи ¹ | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 8) |
| $G_{E,max}$ | Коэффициент усиления единичного элемента, дБи | Дополнительный параметр к Форме ИД-СПС. Если данные отсутствуют, задаются следующие типовые значения: 1. Антенна с одним столбцом элементов $G_{E,max} = 9$ дБи. 2. Антенна с несколькими столбцами элементов $G_{E,max} = 7.5$ дБи. |
| $N_V \times N_H$ | Количество элементов антенной решётки (ряд x столбец) | Дополнительный параметр к Форме ИД-СПС. |
| d_H/λ и d_V/λ | Горизонтальный и вертикальный шаг излучающих элементов | Дополнительный параметр к Форме ИД-СПС. |

| Обозначение | Характеристика | Источник |
|-----------------------------|---|--|
| θ_3 , φ_3 | Ширина ДНА в горизонтальной и вертикальной плоскостях (на уровне минус 3 дБ), градусы | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 15, 16) |
| θ | Угол места главного лепестка излучения антенны РЭС, градусы | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 14) |
| SLA / A_m | Уровень боковых / задних лепестков диаграммы направленности антенны, дБ | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-1. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 15) |
| A_{zBC} | Азимут главного лепестка излучения антенны | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 7) |
| B_{rxBC} B_{txBC} | Полоса радиочастот передатчика и приемника БС, МГц | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 12) |

| Обозначение | Характеристика | Источник |
|-------------|---|--|
| P_{BC} | Максимальная мощность на выходе передатчика БС, Вт | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 10) |
| Pol_{BC} | Тип и характеристики поляризации | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 18) |
| F_{BC} | Потери в антенно-фидерном тракте БС, дБ | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 9) |
| NF_{BC} | Коэффициент шума приемника БС, дБ | 5 (макро БС); 10 (микро БС); 13 (пико/фемто БС) (в соответствии с Отчетом МСЭ-R М.2292) |
| $H_{BC}(f)$ | Описание маски частотной избирательности приемника БС | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Таблица СПС-1. Полоса пропускания УПЧ приемника (п. 14) Правила применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи. Часть VI. Правила применения оборудования систем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE Приложения 9, 11 и 12. |

| Обозначение | Характеристика | Источник |
|--------------------------------|---|--|
| $Rad_{БС}$ | Радиус зоны обслуживания БС, км | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 19) |
| Абонентская станция | | |
| $Lat_{АС},$ $Long_{АС}$ | Географические координаты места установки АС: град., мин., сек. с. ш.; град., мин., сек. в. д. | Места размещения абонентских терминалов, определяются в соответствии с моделью позиционирования АС сети СПС |
| $h_{АС}$ | Высота подвеса антенны АС над поверхностью Земли, м | Задается равной 1,5 м |
| $G_{АС}$ | Максимальный коэффициент усиления передающей антенны относительно полуволнового вибратора, дБд ¹ | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС или данные из соответствующего решения ГКРЧ. Если данные отсутствуют, то задается равным –3 дБи (Отчет МСЭ-R М.2292 [7]), см. также примечание. |
| $Az_{АС}$ | Описание диаграммы направленности передающей антенны АС | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС или данные из соответствующего решения ГКРЧ. Если данные отсутствуют, то задается круговой для всех азимутов излучения, см. также примечание. |
| $Bt_{x_{АС}}$ $Bv_{x_{АС}}$ | Полоса радиочастот передатчика и приемника АС, МГц | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС. Приложение к приложению N 1-4 ИД-СПС. Таблица СПС-2. Проект частотно-территориального плана РЭС (сети) (п. 12) |

| Обозначение | Характеристика | Источник |
|--|--|--|
| P_{AC} | Максимальная мощность на выходе передатчика АС, дБм | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС или данные из соответствующего решения ГКРЧ. Если данные отсутствуют, то задается равным 26 дБм (Отчет МСЭ-Р М.2292), см. также примечание. |
| F_{AC} | Потери в антенно-фидерном тракте АС, дБ | Принимается равным 0 дБ, если не указано дополнительно в форме ИД-СПС. |
| L_{rAC} | Относительный уровень побочных излучений АС, дБ | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. Форма ИД-СПС или данные из соответствующего решения ГКРЧ. |
| $H_{AC}(f)$ | Описание маски характеристики частотной избирательности приемника АС | База данных о частотных назначениях организации радиочастотной службы РФ. ETSI TS 36.101 LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception |
| NF_{AC} | Коэффициент шума приемника АС, дБ | 9 (в соответствии с Отчетом МСЭ-Р М.2292) |
| Примечание 1. Формула для перевода значения максимального коэффициента усиления передающей антенны относительно полуволнового вибратора в значение максимального коэффициента усиления передающей антенны относительно изотропного излучателя: $G(\text{дБд}) + 2.14 = G(\text{дБи})$ | | |

Для учета суммарной мощности передатчиков БС сети СПС дополнительно указывается количество передатчиков в конфигурации ММО (М_{БС}). Данная информация должна быть отражена в проекте частотно-территориального плана РЭС сети СПС.

При указании мест размещения БС сети СПС необходимо также отразить значение минимального расстояния разнесения от мест приема эфирного ТВ вещания (L_{\min} , м). Для проведения корректной оценки условий ЭМС при защите радиовещательных станций контрольные точки (места размещения ТВ приемников) размещаются не ближе, чем указанное значение L_{\min} , от БС сети СПС.

Места размещения абонентских терминалов, определяются в соответствии со следующей моделью позиционирования АС сети СПС. Абонентские терминалы распределены в зоне обслуживания БС. Зона обслуживания БС определяет территорию, где уровень электромагнитного поля превышает чувствительность абонентских устройств в нисходящем направлении (DL) или БС в восходящем направлении (UL). Мощность передатчика, коэффициент усиления передающей антенны БС и чувствительность приемника АС задаются согласно форме ИД-СПС, подаваемой в организацию радиочастотной службы для получения разрешения на использование радиочастотных каналов для заявляемых РЭС сухопутной подвижной радиослужбы. На основании этих данных может быть определена расчетная зона обслуживания сети СПС для различного качества предоставляемых услуг (скорости передачи данных). В разделе 5 методики описаны методы расчета и построения территориальных зон, в которых абонентская станция может быть обслужена базовой станцией сети СПС. Для расчета потерь распространения между БС и АС сети СПС применяется расширенная модель Хата.

При этом необходимо учитывать, что:

- Местонахождение активного абонента является случайной величиной. Вместе с тем, плотность вероятности местонахождения абонента по территории зоны обслуживания сети СПС не является постоянной величиной, так как абоненты в общем случае имеют повышенную вероятность местонахождения в жилых зонах, деловых центрах, на транспортных объектах и в зонах отдыха. При оценке помехового воздействия на прием ТВ сигнала, рассматривается худший, с точки зрения взаиморасположения, случай, когда АС находится в непосредственной близости от места приема ТВ сигнала. Для наихудшего сценария помехового воздействия, при котором достигается наивысший уровень помех приёму телевизионному вещанию, минимальное горизонтальное расстояние разнесения между фиксированной антенной, размещённой на крыше высотой

10 м, и абонентским терминалом сети СПС (высота 1,5 м) составляет 20 м. При меньшем расстоянии разнесения в рассматриваемом сценарии условия ЭМС улучшаются за счет ослабления диаграммы направленности приемной антенны в вертикальной плоскости или дополнительного ослабления от излучающего РЭС. В случае использования мобильного или портативного приемника телевизионных программ условия разнесения ТВ приемника и АС сети СПС могут не выполняться. При излучении АС сети СПС на максимальной мощности (вероятность данного события невелика) входной тракт ТВ приемника может перегружаться. При рассмотрении помехового воздействия АС сети СПС на входе приемников телевизионного вещания АС сети СПС размещаются на расстоянии 20 м от мест приема телевизионного вещания.

- В соответствии с рекомендациями Исследовательской комиссии 5 МСЭ-R для исследований совместимости принято, что максимальное число абонентских терминалов в каждом секторе антенны базовой станции, работающих одновременно в окрестности места приема программ ТВ вещания, составляет 6 [24] (сценарий оценки помехового воздействия РЭС сети СПС на РЭС телевизионного вещания).

При этом, с учетом использования абонентских терминалов сети СПС для предоставления широкополосного беспроводного доступа, вероятность данного события в пределах зон жилой застройки, деловых и общественных зон, считается достаточной для возникновения указанного события с частотой, влияющей на показатели качества приема программ ТВ вещания.

1.4 Технические характеристики РЭС сетей 5G/IMT-2020

В таблице 1.10 приведены возможные значения технических характеристик для базовой станции и абонентского терминала системы NR 5G. Приведенные значения соответствуют параметрам радиооборудования сетей 5-го поколения, предоставляющего сервисы на базе усовершенствованной подвижной широкополосной связи. Приведенные в

таблице величины соответствуют данным спецификаций 3GPP TS 38.104 [30] и 3GPP TS 36.101-1 [31] для базовой станции и абонентской станции стандарта NR соответственно.

Таблица 1.10 – Значения характеристик базовой станции, абонентского терминала и антенных систем для технологии NR 5G

| Параметр | Значение параметра |
|--|--|
| Диапазон частот | 700/800 МГц |
| Метод дуплексирования | FDD |
| Ширина полосы частотного канала Downlink/Uplink, МГц | 5; 10; 15; 20 |
| Базовая станция | |
| Характеристики передатчика | |
| Максимальная мощность (в том числе и суммарная мощность передатчиков в конфигурации MIMO), дБм | макро БС: предел не лимитирован (предполагаемое значение 46); микро БС: ≤ 38 ; пико БС: ≤ 24 |
| Маска спектра излучения (предельные значения нежелательных излучений в рабочей полосе частот) | см. Табл. 1.11 |
| Коэффициент утечки мощности в соседний канал (ACLR) | 45 дБ (суммарный коэффициент CACLR: -13 дБм/МГц) |
| Характеристики приемника | |
| Коэффициент шума, дБ | 5 (макро БС) |
| Чувствительность, дБм | см. Табл. 1.18 |
| Избирательность по соседнему каналу (ACS) | см. табл. 1.12, 1.13 |
| Параметры блокирования | см. табл. 1.14, 1.15 |
| Абонентская станция | |
| Характеристики передатчика | |
| Мощность в полосе канала, дБм | 23 |
| Маска спектра излучения | см. Табл. 1.16 |
| Коэффициент утечки мощности в | 30 |

| | |
|--|--|
| соседний канал (ACLR), дБ | |
| Характеристики приемника | |
| Коэффициент шума, дБ | от 7 до 9 |
| Уровень шума, дБм/Гц | -174 |
| Чувствительность, дБм | см. Табл. 1.17 |
| Избирательность по соседнему каналу (ACS) | см. Табл. 1.19 |
| Параметры блокирования, дБ | см. Табл. 1.20, 1.21 |
| Характеристики антенны базовой станции | |
| Описание ДН антенны | 1) Панельная секторная антенна (Рек. МСЭ-R F.1336 [25]) 2) Многоэлементная активная антенна (Рек. МСЭ-R M.2101 [24]) |
| Максимальный коэффициент усиления панельной секторной антенны БС | $G_{\max} = 17$ дБи |
| Максимальный коэффициент усиления многоэлементной активной антенны БС, дБи | $G = G_{E,\max} + 10 \cdot \log(n) = 26$, [11] где N – количество элементов антенной решётки (например, 64); $G_{E,\max}$ – коэффициент усиления элемента антенной решётки (например, 8 дБи) |
| Ширина ДНА панельной антенны в горизонтальной плоскости, градусы | 65 |
| Наклон главного лепестка ДНА панельной антенны в вертикальной плоскости | до -6° |
| Потери АФТ | Нет (распределенная архитектура БС на оптокабеле) |
| Тип поляризации | Линейная кросс-поляризация $\pm 45^\circ$ |
| Характеристики антенны абонентской станции | |
| Описание ДНА | круговая |
| Максимальный коэффициент усиления антенны АС, дБи | 0 |
| Потери АФТ, дБ | 0 |
| Тип поляризации | Линейная кросс-поляризация $\pm 45^\circ$ |

Таблица 1.11 – Маска спектра излучения передатчика макро БС (предельные значения нежелательных излучений в рабочей полосе частот базовой станции для ширины полос частотного канала 5, 10, 15, 20 МГц)

| Смещение частоты измерительного фильтра по уровню -3 дБ, Δf | Смещение центральной частоты измерительного фильтра, f_{offset} | Максимальный уровень, дБм | Измерительная ширина полосы |
|---|---|---|-----------------------------|
| $0 \text{ МГц} \leq \Delta f \leq 5 \text{ МГц}$ | $0.05 \text{ МГц} \leq f_{offset} \leq 5.05 \text{ МГц}$ | $-7 \text{ дБм} - \frac{7}{5} \left(\frac{f_{offset}}{\text{МГц}} - 0.05 \right) \text{ дБ}$ | 100 кГц |
| $5 \text{ МГц} \leq \Delta f \leq \min(10 \text{ МГц}, \Delta f_{max})$ | $5.05 \text{ МГц} \leq f_{offset} \leq \min(10.05 \text{ МГц}, f_{offset_{max}})$ | -14 дБм | 100 кГц |
| $10 \text{ МГц} \leq \Delta f \leq \Delta f_{max}$ | $10.05 \text{ МГц} \leq f_{offset} \leq f_{offset_{max}}$ | -13 дБм | 100 кГц |

Избирательность по соседнему каналу (ACS) приемника базовой станции: пропускная способность должна быть не менее 95% максимальной пропускной способности эталонного измерительного канала. Характеристики полезного и интерферирующего сигналов приведены в таблице 1.12, величина частотного сдвига между полезным и интерферирующим сигналами приведена в таблице 1.13.

Таблица 1.12 – Характеристики полезного и интерферирующего сигналов

| Ширина полосы частотного канала, МГц | Средняя мощность полезного сигнала [дБм] | Средняя мощность интерферирующего сигнала [дБм] |
|--------------------------------------|--|---|
| 5, 10, 15, 20 | $P_{REFSENS} + 6 \text{ дБ}$ | -52 (для макро БС) |

Таблица 1.13 – Величина частотного сдвига между полезным и интерферирующим сигналами

| Ширина полосы частотного канала, МГц | Смещение центральной частоты интерферирующего сигнала от края диапазона несущей полезного сигнала [МГц] | Тип интерферирующего сигнала |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 5 | [2.5025] | NR сигнал шириной 5 МГц с SCS 15 кГц |
| 10 | [2.5075] | NR сигнал шириной 5 МГц с SCS 15 кГц |
| 15 | [2.5125] | NR сигнал шириной 5 МГц с SCS 15 кГц |
| 20 | [2.5025] | NR сигнал шириной 5 МГц с SCS 15 кГц |

Таблица 1.14 – Требования по внутриканальной блокировке

| Ширина полосы частотного канала, МГц | Средняя мощность полезного сигнала [дБм] | Средняя мощность интерферирующего сигнала [дБм] | Смещение центральной частоты интерферирующего сигнала от края диапазона несущей полезного сигнала [МГц] | Тип интерферирующего сигнала |
|--------------------------------------|--|---|---|--------------------------------------|
| 5, 10, 15, 20 | $P_{\text{REFSENS}} + 6$ дБ | -43 | ± 7.5 | NR сигнал шириной 5 МГц с SCS 15 КГц |

Внутриканальная блокировка (in-band blocking) является мерой способности приемника принимать полезный сигнал в выделенном ему частотном канале при наличии нежелательного интерферирующего сигнала с характеристиками NR сигнала. Сокращение NR расшифровывается как New Radio (Новое Радио) и означает, что используется сигнал, характерный для сети 5G.

Таблица 1.15 – Требования по внеканальной блокировке

| Средняя мощность интерферирующего сигнала [дБм] | Средняя мощность полезного сигнала [дБм] | Тип интерферирующего сигнала |
|---|--|------------------------------|
| -15 | $P_{\text{REFSENS}} + 6$ дБ | Синусоидальная несущая |

Внеканальная блокировка (out-of-band blocking) является мерой способности приемника принимать полезный сигнал в выделенном ему частотном канале при наличии интерферирующего синусоидального сигнала, находящегося вне рабочей полосы полезного сигнала.

Пропускная способность должна быть не меньше 95% от максимальной пропускной способности эталонного измерительного канала при параметрах полезного и интерферирующего сигналов, принимаемых антенной базовой станции, в соответствии с 3GPP TS 38.104.

Таблица 1.16 – Маска спектра излучения абонентского терминала

| Предел излучения по спектру (spectrum emission limit), дБм / Ширина полосы частотного канала, МГц | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|
| Δf_{OOB} (МГц) | 5 | 10 | 15 | 20 | Измерительная ширина полосы |
| $\pm 0-1$ | -15 | -18 | -20 | -21 | 30 кГц |
| $\pm 1-2.5$ | -10 | -10 | -10 | -10 | 1 МГц |
| $\pm 2.5-2.8$ | -10 | -10 | -10 | -10 | 1 МГц |
| $\pm 2.8-5$ | -10 | -10 | -10 | -10 | 1 МГц |
| $\pm 5-6$ | -13 | -13 | -13 | -13 | 1 МГц |
| $\pm 6-10$ | -25 | -13 | -13 | -13 | 1 МГц |
| $\pm 10-15$ | | -25 | -13 | -13 | 1 МГц |
| $\pm 15-20$ | | | -25 | -13 | 1 МГц |
| $\pm 20-25$ | | | | -25 | 1 МГц |

Таблица 1.17 – Чувствительность приемника абонентского терминала для режима модуляции QPSK (номер диапазона рабочих частот n28, расстояние между поднесущими 15 кГц)

| Ширина полосы несущей | Чувствительность приемника абонентского терминала, дБм |
|-----------------------|--|
| 5 МГц | -98.5 |
| 10 МГц | -95.5 |
| 15 МГц | -93.5 |
| 20 МГц | -90.8 |

Таблица 1.18 – Чувствительность приемника макро БС (расстояние между поднесущими 15 кГц)

| Ширина полосы несущей | Чувствительность приемника абонентского терминала, дБм |
|-----------------------|--|
| 5, 10, 15 МГц | -101.7 |
| 20 МГц | -95.3 |

Таблица 1.19 – Избирательность по соседнему каналу (ACS) абонентского терминала. ACS для NR диапазонов с FDL_high < 2700 МГц и FUL_high < 2700 МГц

| Параметр | Ширина полосы частотного канала, МГц | | | |
|----------|--------------------------------------|----|----|----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 |
| ACS, дБ | 33 | 33 | 30 | 27 |

Таблица 1.20 – Параметры блокировки приемника абонентского терминала. Внутриканальная блокировка (In-band blocking)

| Параметр | Значение |
|------------------|----------|
| Pinterferer, дБм | -56 |

Внутриканальная блокировка (In-band blocking) определяется для нежелательного интерферирующего сигнала, попадающего в полосу приема абонентского терминала или в непосредственно соседний частотный диапазон на 3CBW (CBW – ширина полосы полезного сигнала) ниже или выше полосы приема абонентского терминала. Пропускная способность полезного сигнала должна быть не менее 95% от максимальной пропускной способности эталонного измерительного канала (3GPP TS 38.101, Таблица 7.6.1-4).

Таблица 1.21 – Внеканальная блокировка (Out of-band blocking)

| Параметр | Значение |
|------------------|----------|
| Pinterferer, дБм | -44 |

Внеканальная блокировка (Out of-band blocking) определяется для синусоидального интерферирующего сигнала, попадающего вне частотного диапазона 3CBW (CBW – ширина полосы полезного сигнала) ниже или выше полосы приема абонентского терминала. Пропускная способность полезного сигнала должна быть не менее 95% от максимальной пропускной способности эталонного измерительного канала (3GPP TS 38.101, Таблица 7.6.2-4).

2. Показатели помехоустойчивости и качества функционирования РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС

2.1 Показатели помехоустойчивости и качества функционирования РЭС телевизионного вещания

При оценке качества функционирования аналогового телевизионного приемника решающее значение имеет величина минимальной используемой напряженности. Величины минимальной используемой напряженности поля для аналоговой системы телевизионного вещания К/SECAM рассчитываются по формуле [10]:

$$E_{\text{мин исп}} = 64 + 20 \log_{10} \left(\frac{f}{474} \right), \text{ дБ(мкВ/м)} \quad (2.1)$$

где

f – центральная частота ТВ канала, МГц (см. таблицу 1.1);

$E_{\text{мин исп}}$, дБ (мкВ/м) – значение минимальной используемой напряженности поля, необходимое для обеспечения желаемого качества приема для заданных условий приема при наличии естественных или индустриальных шумов, но при условии отсутствия помех от других передающих станций.

Условия приема включают тип передачи и используемый диапазон частот, характеристики приемной аппаратуры (усиление, высота подвеса, направленность приемной антенны, характеристики приемника и т. д.), режимы работы приемника.

Приведенные значения относятся к напряженности поля на высоте 10 м над уровнем земли для 50% мест и 50% времени.

Ограниченная по шумам чувствительность приемников $\text{Sen}_{\text{ТВ}}$, как показано в Рекомендации МСЭ-R ВТ.804, в диапазоне УВЧ составляет -88 дБВт [26].

Чувствительность приемника DVB-T2 определяется минимальным уровнем радиосигнала на его входе для квазибезошибочного приема. При этом учитывается только влияние собственных шумов приемника.

Квазибезошибочный прием – это прием со специфицированной низкой частотой появления ошибок, при которой обеспечивается качество приема, близкое к идеальному. В стандарте DVB-T2 в соответствии с [8] принято определение квазибезошибочного приема (QEF), согласно которому с учетом действия системы предкоррекции ошибок и при условии, что отношение сигнала к шуму и помехе $C/(N+I)$ выше установленного порога, допускается появление не более одной нескорректированной ошибки за час передачи для декодера телевизионной программы, передаваемой с потоком 5 Мбит/с, что приблизительно соответствует частоте пакетных ошибок PER менее 10^{-7} на входе демультимплектора.

Поскольку стандарт DVB-T2 позволяет осуществлять прием в разных условиях (для этого введено понятие «тип приема» сигнала), то условия распространения радиосигналов и работы приемников DVB-T2 для различных режимов приема будут значительно отличаться друг от друга и на практике могут иметь большой диапазон значений. Основные каналы приема, которые встречаются в наземном радиовещании, характеризуются определенным значением отношения сигнал/шум C/N , которое отражает, насколько требователен канал для приемника. Применительно к системам ЦТВ следует различать несколько типов каналов.

Гауссов (гауссовский) канал (Gaussian Channel, AWGN channel) – этот канал характеризуется одним полезным сигналом без возмущений, где присутствует только гауссовский шум. Это наименее требовательный канал и обычно используется только в качестве справочного, а не в практическом сетевом планировании и оценках ЭМС.

Канал Райса (Ricean channel) – используется для оценок (планирования) фиксированного приема на крыше, где преобладает единственный прямой сигнал и совокупность отраженных сигналов с меньшей амплитудой.

Канал Рэля (Rayleigh channel) – в основном используется для оценок (планирования) портативного приема внутри и вне помещений. В этой модели канала принятые сигналы состоят только из нескольких отраженных сигналов, а прямой сигнал отсутствует. При моделировании DVB-T2, в том числе оценках ЭМС рекомендовано использовать канал Рэля со статическими путями переотражений. Из-за статического характера этой модели канала ее следует рассматривать как «наилучший случай» при оценках приема на портативное наружное и переносное внутреннее оборудование, поскольку обычно невозможно избежать медленных изменений канала. Даже если сам приемник находится в неподвижном состоянии, часто рядом с приемником находятся другие объекты, например, автомобили, деревья или люди. Эта модель канала часто считается наихудшим случаем для приемника DVB-T2.

В таблице 2.1 приведены значения требуемых отношений сигнал/шум C/N для идеального Гауссова типа канала.

Таблица 2.1 – Значения C/N для raw-Гауссова канала

| Модуляция | Скорость кодирования | C/N _{Gauss-raw} (дБ) |
|-----------|----------------------|-------------------------------|
| QPSK | 1/2 | 1.0 |
| QPSK | 3/5 | 2.3 |
| QPSK | 2/3 | 3.1 |
| QPSK | 3/4 | 4.1 |
| QPSK | 4/5 | 4.7 |
| QPSK | 5/6 | 5.2 |
| 16-QAM | 1/2 | 6.0 |
| 16-QAM | 3/5 | 7.6 |
| 16-QAM | 2/3 | 8.9 |
| 16-QAM | 3/4 | 10.0 |
| 16-QAM | 4/5 | 10.8 |
| 16-QAM | 5/6 | 11.4 |
| 64-QAM | 1/2 | 9.9 |
| 64-QAM | 3/5 | 12.0 |
| 64-QAM | 2/3 | 13.5 |
| 64-QAM | 3/4 | 15.1 |
| 64-QAM | 4/5 | 16.1 |
| 64-QAM | 5/6 | 16.8 |
| 256-QAM | 1/2 | 13.2 |
| 256-QAM | 3/5 | 16.1 |
| 256-QAM | 2/3 | 17.8 |
| 256-QAM | 3/4 | 20.0 |
| 256-QAM | 4/5 | 21.3 |
| 256-QAM | 5/6 | 22.0 |

В таблице 2.1 приведены значения C/N для значений вероятности ошибки BER = 10^{-7} при кодировании кодом LDPC для «идеального» (“raw”) канала. Для реальных (“final”) гауссовских каналов следует применять несколько видов поправок [12]:

- А (BER Correction) = 0,1 дБ – поправка (дополнение) к C/N для соответствия реальной вероятности ошибки BER= 10^{-7} для кода LDPC;
- В (Pilot Boost) – поправка усиление пилот-сигналов при разной их конфигурации;
- С (Teal channel estimation) – поправка на предполагаемые потери C/N при реальной оценке канала, в т.ч. и несовершенного декодирования LDPC (рекомендована разработчиками оборудования);

- D – поправка к C/N, соответствующая уровню дополнительных шумов (фазовый шум тюнера, шум квантования в аналого-цифровых преобразователях).

Таким образом, учитывая эти поправки, можно скорректировать значение требуемого C/N для реального Гауссова канала:

$$C/N_{\text{Gauss}} = C/N' + D \quad (2.1)$$

$$C/N' = C/N_{\text{Gauss-raw}} + A + B + C \quad (2.2)$$

В таблице 2.2 приведены значения описанных поправок для разных конфигураций пилот-сигналов PP.

Таблица 2.2 – Значения поправок к C/N для raw-Гауссова канала (дБ)

| Конфигурации Pilot Pattern | PP1 | PP2 | PP3 | PP4 | PP5 | PP6 | PP7 | PP8 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Коэффициент А | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Коэффициент В | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.4 |
| Коэффициент С | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

Для определения коэффициента D используется расчетное значение C/N' для конкретного типа канала. В таблице 2.3 приведены значения C/N' в диапазоне от 15 до 32 дБ и соответствующие величины коэффициента D. Для значений C/N' менее 15 дБ коэффициент D задается равным 0.

Таблица 2.3 – Определение величины коэффициента D

| C/N', дБ | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D, дБ | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,46 | 0,58 | 0,75 | 0,97 | 1,26 | 1,65 | 2,20 | 3,02 | 4,33 | 6,87 |

Рассмотренные поправки позволяют на основе значений C/N_{Gauss-raw} получить в интересах оценок ЭМС значения для других типов каналов (каналы Райса и Рэлея):

$$C/N'_{\text{Rice}} = C/N_{\text{Gauss-raw}} + \text{DELTA}_{\text{Rice}} + A + B + C \quad (2.3)$$

$$C/N_{\text{Rice}} = C/N'_{\text{Rice}} + D \quad (2.4)$$

$$C/N'_{\text{Rayleigh}} = C/N_{\text{Gauss-raw}} + \text{DELTA}_{\text{Rayleigh}} + A + B + C \quad (2.5)$$

$$C/N_{\text{Rayleigh}} = C/N'_{\text{Rayleigh}} + D \quad (2.6)$$

Значения параметра DELTA приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значения параметра DELTA для каналов Райса и Рэлея

| Модуляция | Скорость кодирования | DELTA _{Rice} (дБ) | DELTA _{Rayleigh} (дБ) |
|-----------|----------------------|----------------------------|--------------------------------|
| QPSK | 1/2 | 0.2 | 1.0 |
| QPSK | 3/5 | 0.2 | 1.3 |
| QPSK | 2/3 | 0.3 | 1.8 |
| QPSK | 3/4 | 0.3 | 2.1 |
| QPSK | 4/5 | 0.3 | 2.4 |
| QPSK | 5/6 | 0.4 | 2.7 |
| 16-QAM | 1/2 | 0.2 | 1.5 |
| 16-QAM | 3/5 | 0.2 | 1.7 |
| 16-QAM | 2/3 | 0.2 | 1.9 |
| 16-QAM | 3/4 | 0.4 | 2.4 |
| 16-QAM | 4/5 | 0.4 | 2.8 |
| 16-QAM | 5/6 | 0.4 | 3.1 |
| 64-QAM | 1/2 | 0.3 | 2.0 |
| 64-QAM | 3/5 | 0.3 | 2.0 |
| 64-QAM | 2/3 | 0.3 | 2.1 |
| 64-QAM | 3/4 | 0.3 | 2.6 |
| 64-QAM | 4/5 | 0.5 | 3.1 |
| 64-QAM | 5/6 | 0.4 | 3.4 |
| 256-QAM | 1/2 | 0.4 | 2.4 |
| 256-QAM | 3/5 | 0.2 | 2.2 |
| 256-QAM | 2/3 | 0.3 | 2.3 |
| 256-QAM | 3/4 | 0.3 | 2.6 |
| 256-QAM | 4/5 | 0.4 | 3.0 |
| 256-QAM | 5/6 | 0.4 | 3.4 |

Для фиксированного приема используются значения C/N, рассчитанные для канала Райса.

Для мобильного и портативного приема используются значения C/N , рассчитанные для канала Рэля.

Минимальные уровни сигнала для преодоления шума в приемнике определяются минимальной мощностью на входе приемника и соответствующим минимальным эквивалентным напряжением на входе приемника, предполагая значение шум-фактора приемника 6 дБ. Если при планировании будет использоваться отличное от заданного значение шум-фактора, то минимальный уровень сигнала на входе приемника должен быть скорректирован.

Минимальные медианные значения плотности потока мощности для DVB-T2 вычисляются для:

- каналов шириной 8 МГц.
- условий фиксированного приема (канал Райса) и мобильного / портативного приема (канал Рэля);
- двух частот, представляющих диапазон IV и диапазон V:
 - 500 МГц;
 - 800 МГц;
- характерных отношений C/N .

Для вычисления значений минимальной медианной плотности потока мощности и минимальной медианной напряженности поля, необходимых для обеспечения того, чтобы минимальные значения уровней сигнала могли достигаться в требуемом проценте мест приема, используются следующие формулы:

$$P_n = F + 10 \log_{10} (k T_0 B) \quad (2.7)$$

$$P_{s \text{ мин}} = C/N + P_n \quad (2.8)$$

$$A_a = G_D + 10 \log_{10} (1,64 \cdot \lambda^2 / 4\pi) \quad (2.9)$$

$$\varphi_{\text{мин}} = P_{s \text{ мин}} - A_a + L_f \quad (2.10)$$

$$E_{\text{мин}} = \varphi_{\text{мин}} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{\text{мин}} + 145,8 \quad (2.11)$$

$$\varphi_{\text{мед}} = \varphi_{\text{мин}} + P_{\text{тмп}} + C_l \quad (2.12)$$

$$E_{мед} = \varphi_{мед} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{мед} + 145,8, \quad (2.13)$$

где:

- A_a : эффективный раскрыв антенны (дБм²);
- C/N : отношение РЧ сигнал/шум, требуемое системой (дБ);
- C_i : поправочный коэффициент местоположений (дБ);
- $E_{мед}$: минимальная медианная напряженность поля, планируемое значение (дБ(мкВ/м));
- $E_{мин}$: минимальная напряженность поля в месте приема (дБ(мкВ/м));
- G_D : усиление антенны относительно полуволнового диполя (дБ);
- L_f : потери в фидере (дБ);
- $P_{тмп}$: поправка на индустриальный шум (дБ);
- $\Phi_{мин}$: минимальная плотность потока мощности в месте приема (дБ(Вт/м²));
- $\Phi_{мед}$: минимальная медианная плотность потока мощности, планируемое значение (дБ(Вт/м²));
- λ : длина волны (м);
- P_n : мощность шума на входе приемника (дБВт);
- F : шум-фактор приемника (дБ);
- k : постоянная Больцмана ($k = 1,38 \times 10^{-23}$) Дж/К;
- T_0 : абсолютная температура ($T_0 = 290$ К);
- V : ширина шумовой полосы приемника ($6,66 \times 10^6$ Гц для канала 7 МГц, $7,61 \times 10^6$ Гц для канала 8 МГц, $7,77 \times 10^6$ Гц для канала 8 МГц для режима расширенного использования несущих);
- $P_{s мин}$: минимальная мощность сигнала на входе приемника (дБВт).

Дополнительно, только для информации представлена следующая формула:

$$U_{s мин} = P_{s мин} + 120 + 10 \log_{10} R \quad (2.14)$$

$U_{s\text{ мин}}$: минимальное эквивалентное напряжение на входе приемника, на 75 Ом (дБмкВ);

R : входное полное сопротивление приемника ($R = 75$ Ом).

При вычислении поправочного коэффициента местоположений C_l , предполагается логарифмически нормальное распределение приемного сигнала. Следует отметить, что это стандартное отклонение относится только к статистическим данным в местах приема, а неточности, присущие методу прогнозирования распространения во внимание не принимаются. Поправочный коэффициент местоположений подлежит переоценке при поступлении дополнительной информации.

Поправочный коэффициент местоположений может быть вычислен по формуле:

$$C_l = \mu \cdot \sigma, \quad (2.15)$$

где:

μ : коэффициент распределения, равный 0,52 для 70%, 1,64 для 95% и 2,32 для 99%;

σ : стандартное отклонение, принимаемое равным 5,5 дБ при приеме вне помещений и 7,8 дБ в случае приема внутри помещений.

При расчетах напряженности поля в случае фиксированного приема считается, что для радиовещательной службы является типичной высота приемной антенны 10 м над уровнем земли, а в случае мобильного и портативного приема типичной является высота 1,5 м.

Для оценки пространственной избирательности приемных антенн наземного телевизионного вещания в полосах частот III, IV и V диапазонов должны использоваться характеристики приемных антенн, представленные на рисунке 2.1 [9].

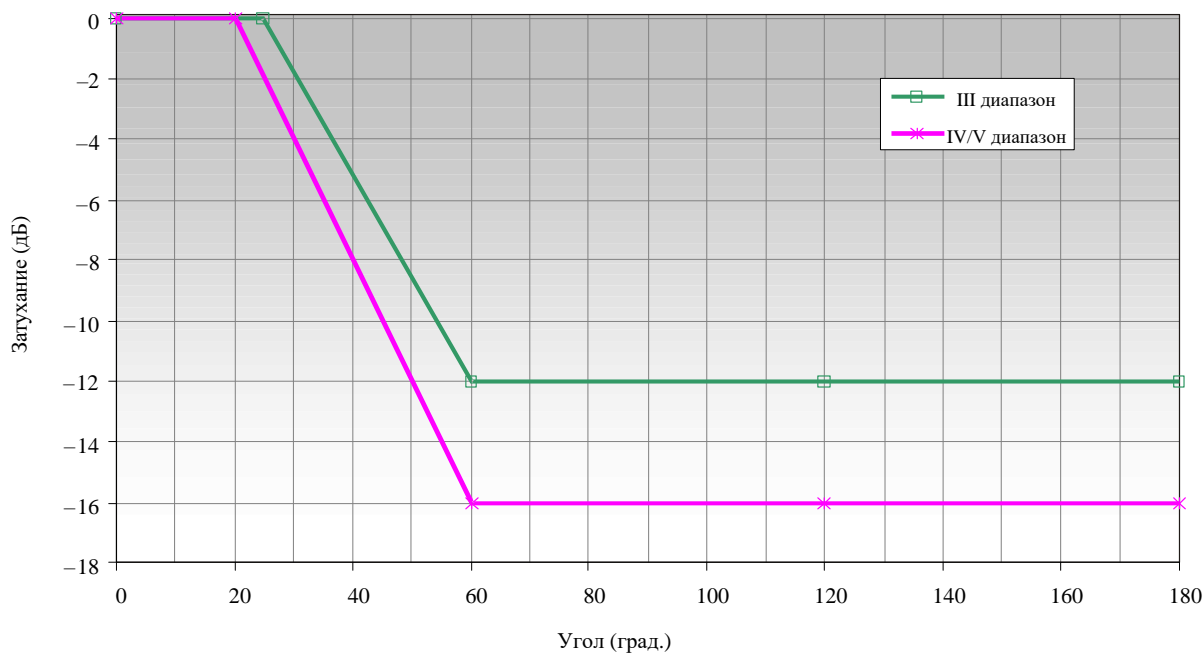


Рисунок 2.1 – Диаграмма направленности приемной направленной ТВ антенны

Значения коэффициента усиления антенны (относительно полуволнового симметричного вибратора) $F_{ТВ_ПР}$, используемые при определении минимальных медианных уровней полезного сигнала, приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Коэффициент усиления антенны (относительно полуволнового симметричного вибратора) $F_{ТВ_ПР}$ для диапазонов IV, V

| Частота (МГц) | 500 | 800 |
|-----------------------|-----|-----|
| Усиление антенны (дБ) | 10 | 12 |

Эти значения рассматриваются в качестве реалистичных минимальных значений. В пределах любого диапазона частот изменение коэффициента усиления антенны с частотой может учитываться путем добавления поправочного коэффициента

$$\text{Corr} = 10 \log (F_A/F_R), \quad (2.16)$$

где

F_A – фактическая рассматриваемая частота

F_R – соответствующая опорная частота, указанная в таблице 2.5.

Значения потерь в фидере $G_{ТВ_ПР}$, используемые при определении минимальных медианных уровней полезного сигнала, приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Значения потерь в фидере $G_{ТВ_ПР}$ для диапазонов IV, V

| | | |
|----------------------|-----|-----|
| Частота (МГц) | 500 | 800 |
| Потери в фидере (дБ) | 3 | 5 |

Изменение значений потерь в фидере при изменении частоты в диапазонах IV и V определяется путем линейной интерполяции между двумя экстремальными значениями.

Влияние индустриального шума для диапазонов IV, V не учитывается.

Для других частот эталонные значения минимальной медианной напряженности поля, рассчитанные выше, должны корректироваться путем добавления поправочного коэффициента по следующей формуле:

$$(E_{мед})_f = (E_{мед})_{fr} + Corr \quad , \quad (2.17)$$

где

$(E_{мед})_f$ – значение медианной напряженности для рабочей частоты f , дБ(мкВ/м);

$(E_{мед})_{fr}$ – значение медианной напряженности для эталонной частоты fr , дБ(мкВ/м);

$Corr$ – значение поправочного коэффициента, который определяется при фиксированном приеме как $Corr = 20 \log_{10} (f/fr)$, при приеме на портативное оборудование и при подвижном приеме как $Corr = 30 \log_{10} (f/fr)$.

2.2 Показатели помехоустойчивости и качества функционирования РЭС СПС

2.2.1 Характеристики частотной избирательности РЭС СПС

Для проведения анализа возможностей совместного использования частот в ходе проведения экспертизы ЭМС необходимо знание показателей помехоустойчивости и качества функционирования РЭС сетей СПС, а также характеристики приемо-передающих антенн. Набор параметров РЭС сетей СПС (технические характеристики), необходимые для оценки условий ЭМС с РЭС телевизионного вещания, указан в таблице. 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики РЭС СПС для расчета ЭМС

| Технические характеристики (параметры) | LTE/ LTE-A, IMT-2020 | LTE-NB_IoT |
|---|-------------------------|------------|
| Приемник | | |
| Частота приема | + | + |
| Полоса пропускания приемника | + | + |
| Коэффициент шума приемника (NF) | + | + |
| Чувствительность приемника | + | + |
| Маски характеристики частотной избирательности приемников РЭС сети СПС | + | + |
| Антенно-фидерное устройство | | |
| Тип антенны | + | + |
| Количество секторов в соте | + | + |
| ДН антенны в горизонтальной (азимутальной) плоскости | + | + |
| ДН антенны в вертикальной (угломестной) плоскости | + | + |
| Уровень задних и боковых лепестков ДН антенны | + | + |
| Азимут антенны (сектора) | + | + |
| Угол наклона антенны (угол места) | + | + |
| Высота подъема антенны | + | + |
| Коэффициент усиления антенны / единичного элемента | + | - |
| Конфигурация MIMO (Beamforming) | + | - |
| Конфигурация антенной решетки (ряд × столбец) | + | - |
| Горизонтальный и вертикальный шаг излучающих элементов антенной решетки | + | - |
| Потери в фидере | + | + |

Под чувствительностью радиоприемника БС понимают такое значение минимальной мощности полезного сигнала на его антенном входе, при котором коэффициент ошибок на бит (BER) не превышает заданных значений.

Требуемая чувствительность приемника представляет собой минимально потребную мощность полезного сигнала на входе приемника, при которой обеспечивается заданное качество его приема для определенных условий.

Значения коэффициента шума приемников БС и АС сети СПС зависят от конкретного типа оборудования.

В зависимости от типа БС сети СПС в расчетах используются следующие значения коэффициента шума приемников $N_{БС}$:

- макро – 5 дБ;
- микро – 10 дБ;
- фемто – 13 дБ.

При проведении расчетов ЭМС коэффициент шума приемников АС сети СПС принимается $N_{АС} = 9$ дБ.

В таблице 2.8 приведены параметры масок характеристик частотной избирательности приемников БС сети СПС для значений ширины полосы канала 5 МГц и 10 МГц.

Таблица 2.8 – Маски характеристики частотной избирательности приемников БС сети СПС в диапазонах частот 700/800 МГц

| Ширина полосы каналов 5 МГц | | Ширина полосы каналов 10 МГц | | Ширина полосы каналов 20 МГц | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| Отстройка, МГц | Ослабление, дБ | Отстройка, МГц | Ослабление, дБ | Отстройка, МГц | Ослабление, дБ |
| ±(0-2.5) | 0 | ±(0-5) | 0 | ±(0-10) | 0 |
| ±(2.5-7.5) | 43.5 | ±(5-10) | 43.5 | ±(10-20) | 43.5 |
| более ±7.5 | 52.5 | более ±10 | 52.5 | более ±20 | 52.5 |

На рисунках 2.2–2.4 приведены маски характеристики частотной избирательности приемника БС для значений ширины полосы канала 5 МГц, 10 МГц и 20 МГц соответственно.

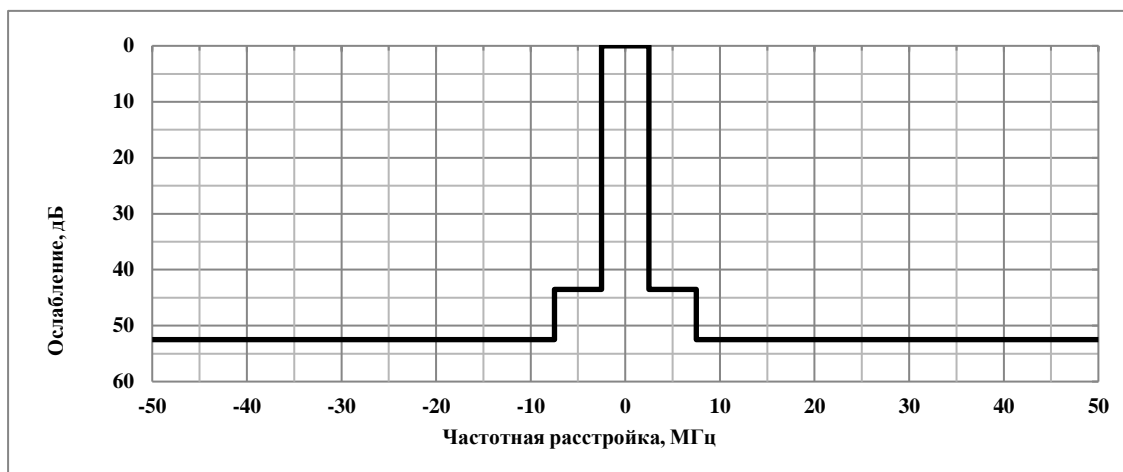


Рисунок 2.2 – Маска характеристики частотной избирательности приемника БС (ширина полосы канала 5 МГц)

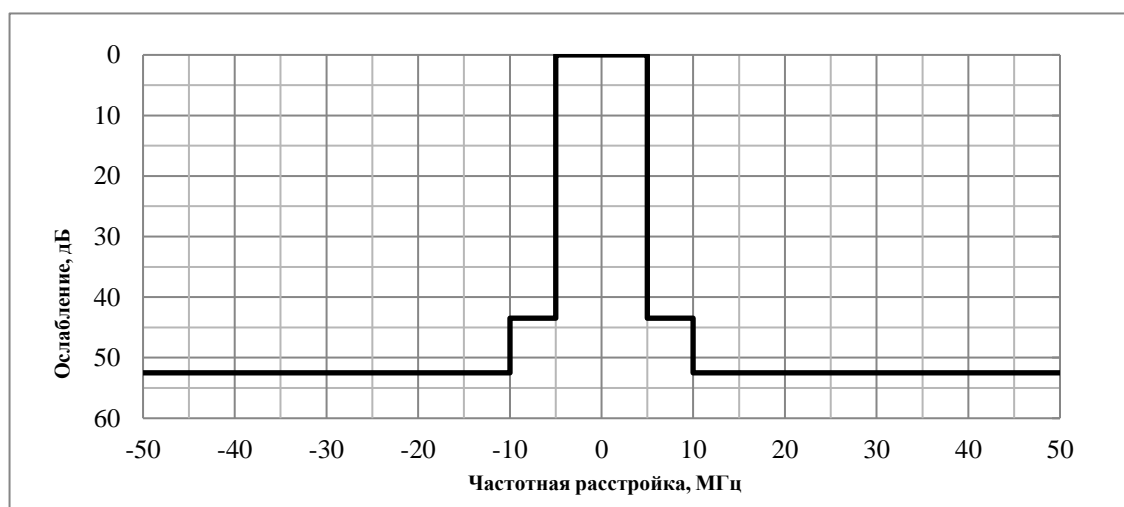


Рисунок 2.3 – Маска характеристики частотной избирательности приемника БС (ширина полосы канала 10 МГц)

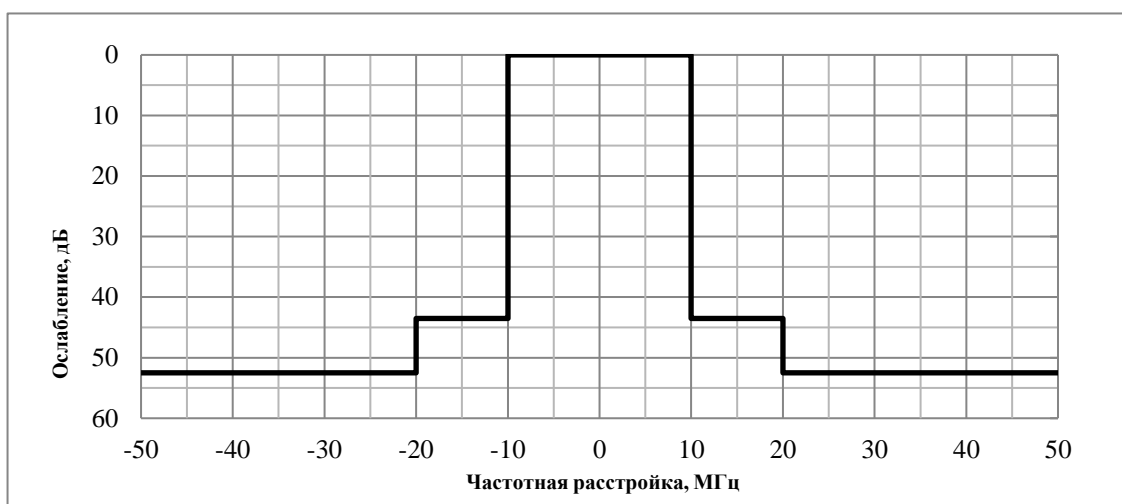


Рисунок 2.4 – Маска характеристики частотной избирательности приемника БС (ширина полосы канала 20 МГц)

В таблице 2.9 приведены параметры масок характеристик частотной избирательности приемников АС сети СПС для значений ширины полосы канала 5 МГц, 10 МГц и 20 МГц.

Таблица 2.9 – Маски характеристики частотной избирательности приемников АС сети СПС в диапазонах частот 700/800 МГц

| Ширина полосы каналов 5 МГц | | Ширина полосы каналов 10 МГц | | Ширина полосы каналов 20 МГц | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| Отстройка, МГц | Ослабление, дБ | Отстройка, МГц | Ослабление, дБ | Отстройка, МГц | Ослабление, дБ |
| ±(0-2.5) | 0 | ±(0-5) | 0 | ±(0-10) | 0 |
| ±(2.5-7.5) | 33 | ±(5-10) | 33 | ±(10-20) | 33 |
| ±(7.5-12.5) | 36.5 | ±(10-15) | 33.5 | ±(20-25) | 33.5 |
| ±(12.5-17.5) | 48.5 | ±(15-20) | 45.5 | ±(25-30) | 45.5 |

На рисунках 2.5, 2.6 и 2.7 приведены маски характеристики частотной избирательности приемника АС для значений ширины полосы канала 5 МГц, 10 МГц и 20 МГц соответственно.

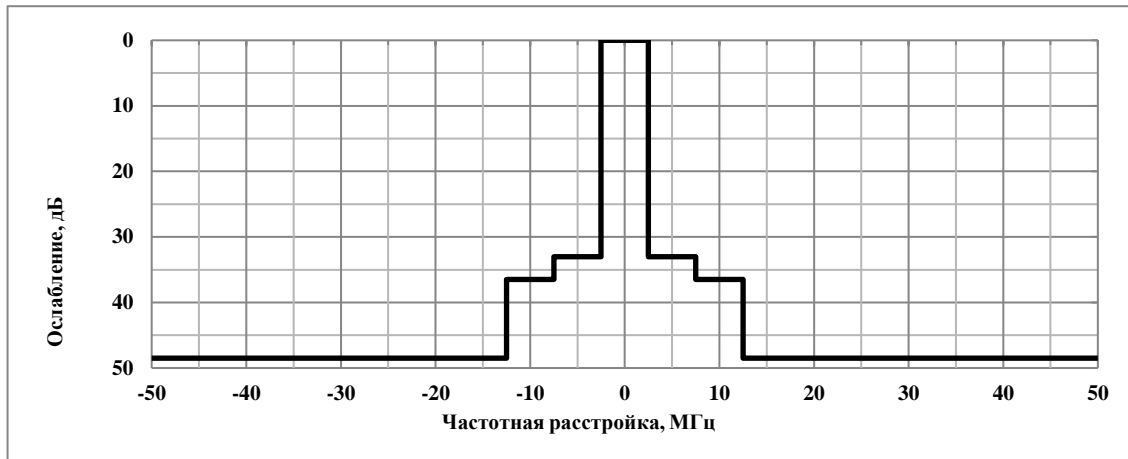


Рисунок 2.5 – Маска характеристики частотной избирательности приемника АС (ширина полосы канала 5 МГц)

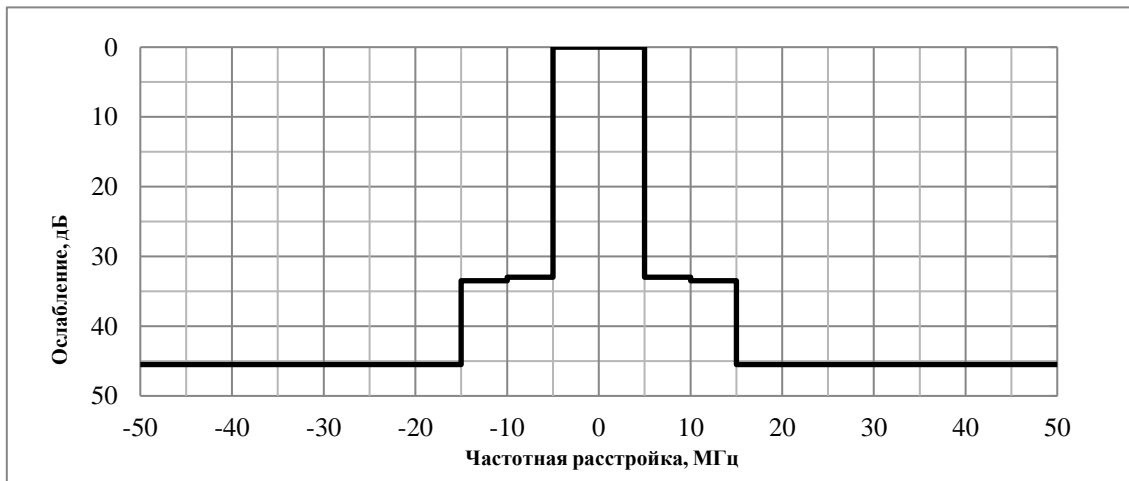


Рисунок 2.6 – Маска характеристики частотной избирательности приемника АС (ширина полосы канала 10 МГц)

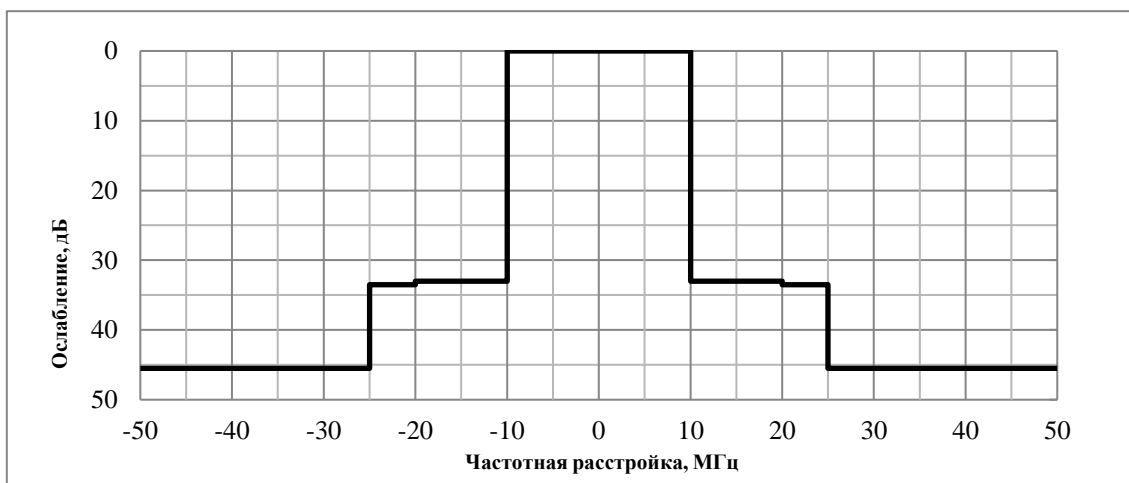


Рисунок 2.7 – Маска характеристики частотной избирательности приемника АС (ширина полосы канала 20 МГц)

2.2.2 Аппроксимация диаграмм направленности антенн РЭС СПС

Традиционно в сетях СПС стандартов LTE/LTE-A используются панельные секторные антенны. В данной методике для аппроксимации диаграмм направленности панельных секторных антенн БС сети СПС используется метод, изложенный в Рекомендации МСЭ-R F.1336 [25].

В случаях применения всенаправленных (по азимуту) антенн, диаграммы направленности описываются следующими уравнениями для углов места в интервале от -90° до 90° :

$$G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_3} \right)^2 & \text{при } 0 \leq |\theta| < \theta_3 \\ G_0 - 15 + 10 \log(k+1) & \text{при } \theta_3 \leq |\theta| < \theta_5 \\ G_0 - 15 + 10 \log \left[\left(\frac{|\theta|}{\theta_3} \right)^{-1,5} + k \right] & \text{при } \theta_5 \leq |\theta| \leq 90^\circ \end{cases} \quad (2.20)$$

при

$$\theta_5 = \theta_3 \sqrt{1,25 - \frac{1}{1,2} \log(k+1)} \quad (2.21)$$

$$\theta_3 = 107,6 \times 10^{-0,1 G_0} \quad , \quad (2.22)$$

где

$G(\theta)$ – усиление относительно изотропной антенны (дБи);

G_0 – максимальное усиление антенны в азимутальной плоскости (дБи)

определяется в соответствии с перечнем исходных данных (параметр $G_{БС}$);

θ – угол места относительно угла максимального усиления (градусы) ($-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$);

θ_3 – ширина луча по уровню 3 дБ в угломестной плоскости (градусы);

k – параметр, который учитывает повышенные уровни боковых лепестков относительно ожидаемых уровней для антенны с улучшенной характеристикой боковых лепестков; в расчетах принимается $k = 0,7$.

В случаях применения панельных секторных антенн, диаграммы направленности описываются следующими уравнениями для углов места в интервале от -90° до 90° и углов азимута в интервале от -180° до 180° :

$$G(\varphi, \theta) = G_0 + G_{hr}(x_h) + R \cdot G_{vr}(x_v) \text{ (дБи)} , \quad (2.23)$$

где

$G_{hr}(x_h)$ – относительное усиление эталонной антенны в азимутальной плоскости в нормализованном направлении $(x_h, 0)$ (дБ);

$$x_h = |\varphi|/\varphi_3;$$

φ – азимутальный угол, соответствующий углу максимального усиления в горизонтальной плоскости (градусы);

φ_3 – ширина луча по уровню 3 дБ в азимутальной плоскости (градусы) (обычно равна ширине луча секторной антенны);

$G_{vr}(x_v)$ – относительное усиление эталонной антенны в угломестной плоскости в нормализованном направлении $(0, x_v)$ (дБ);

$$x_v = |\theta|/\theta_3;$$

R – коэффициент сжатия горизонтального усиления при смещении азимутального угла от 0° к φ , определяемый как:

$$R = \frac{G_{hr}(x_h) - G_{hr}(180^\circ/\varphi_3)}{G_{hr}(0) - G_{hr}(180^\circ/\varphi_3)} \quad (2.24)$$

Относительное минимальное усиление (G_{180}) рассчитывается следующим образом:

$$G_{180} = -12 + 10 \log(1 + 8k_p) - 15 \log\left(\frac{180^\circ}{\theta_3}\right) , \quad (2.25)$$

где

k_p – параметр, который реализует относительное минимальное усиление для пиковых диаграмм направленности по боковым лепесткам; в расчетах принимается $k_p=0,7$.

Относительное усиление антенны в азимутальной плоскости;

$$G_{hr}(x_h) = -12x_h^2 \quad \text{при } x_h \leq 0,5;$$

$$G_{hr}(x_h) = -12x_h^{(2-k_h)} - \lambda_{kh} \quad \text{при } 0,5 < x_h; \quad (2.26)$$

$$G_{hr}(x_h) \geq G_{180};$$

$$\lambda_{kh} = 3(1 - 0,5^{-k_h}),$$

где

k_h – коэффициент корректировки азимутальной диаграммы направленности на основе протекающей мощности; в расчетах принимается $k_h=0,7$.

Относительное усиление антенны в угломестной плоскости определяется следующим образом:

$$G_{vr}(x_v) = -12x_v^2 \quad \text{при } x_v < x_k;$$

$$G_{vr}(x_v) = -12 + 10 \log(x_v^{-1,5} + k_v) \quad \text{при } x_k \leq x_v < 4;$$

$$G_{vr}(x_v) = -\lambda_{kv} - C \log(x_v) \quad \text{при } 4 \leq x_v < 90^\circ/\theta_3; \quad (2.27)$$

$$G_{vr}(x_v) = G_{180} \quad \text{при } x_v = 90^\circ/\theta_3;$$

$$x_k = \sqrt{1 - 0,36 k_v};$$

$$\lambda_{kv} = 12 - C \log(4) - 10 \log(4^{-1,5} + k_v),$$

где

k_v – коэффициент корректировки угломестной диаграммы направленности на основе протекающей мощности ($k_v=0,3$);

Коэффициент наклона затухания C выражается следующим образом:

$$C = \frac{10 \log \left(\frac{\left(\frac{180^\circ}{\theta_3} \right)^{1,5} \cdot (4^{-1,5} + k_v)}{1 + 8k_p} \right)}{\log \left(\frac{22,5^\circ}{\theta_3} \right)} \quad (2.28)$$

При использовании панельных секторных антенн с шириной луча по уровню 3 дБ в азимутальной плоскости менее приблизительно 120° соотношение между максимальным усилением и шириной луча по уровню

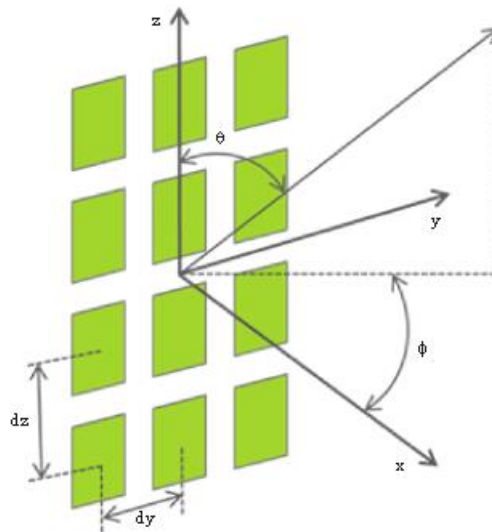
3 дБ в азимутальной плоскости и угломестной плоскости принимается равным:

$$\theta_3 = \frac{31\,000 \times 10^{-0.1 G_0}}{\Phi_3} \quad (2.29)$$

Концепция реализации Massive MIMO предполагает использование многоэлементных активных фазированных антенных решеток (АФАР). При этом, отдельные элементы решетки могут обслуживать одновременно несколько абонентов, находящихся в пределах углов обзора АФАР. В большинстве систем IMT-2020 предполагается использование технологий формирования направленного на конкретное абонентское устройство луча Beamforming.

Диаграмма направленности многоэлементной активной антенны при формировании направленных лучей Beamforming [7] имеет ряд специфических особенностей. Такие антенны состоят из некоторого числа идентичных излучающих элементов, расположенных в плоскости yz с фиксированным расстоянием разнеса, все элементы имеют одинаковые диаграммы излучения и имеют максимальное излучение вдоль оси x (см. рисунок 2.8). Общее усиление антенны является суммой (в логарифмическом масштабе) усиления решетки и усиления элементов.

Как показано на рисунке 2.8, определение направлений луча θ и φ основано на системе координат. Излучающие элементы размещаются равномерно вдоль вертикальной оси z в декартовой системе координат. Плоскость xu обозначает горизонтальную плоскость. Угол места направления сигнала обозначается символом θ (определяется в пределах от 0° до 180° , при этом 90° представляет угол, перпендикулярный к апертуре антенной решетки). Угол по азимуту обозначается символом φ (определяется в пределах от -180° до 180°).



M210H10

Рисунок 2.8 – Модель многоэлементной антенны

Модель антенной решетки определяется диаграммой направленности единичного элемента антенны и составной диаграммой направленности антенны, с учетом конфигурации размещения множества элементов. Диаграмма направленности элемента для модели антенной решетки представлена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Диаграмма направленности единичного антенного элемента

| | |
|---|---|
| Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости, дБ | $A_{E,H}(\varphi) = -\min \left[12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right] dB$ |
| Ширина полосы луча единичного элемента по уровню 3 дБ в горизонтальной плоскости, φ_{3dB} , градусы | Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы (см. Таблица 1.9) |
| Уровень задних лепестков диаграммы направленности антенны A_m , дБ | Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы (см. Таблица 1.9) |
| Диаграмма направленности в вертикальной плоскости, дБ | $A_{E,V}(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta - 90}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right]$ |
| Ширина полосы луча единичного элемента по уровню 3 дБ в вертикальной плоскости, θ_{3dB} , градусы | Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы (см. Таблица 1.9) |
| Уровень боковых лепестков диаграммы направленности антенны, SLA_v , дБ | Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы (см. Таблица 1.9) |
| Диаграмма направленности единичного элемента, дБ | $A_E(\varphi, \theta) = G_{E,max} - \min \left\{ -[A_{E,H}(\varphi) + A_{E,V}(\theta)], A_m \right\}$ |
| Коэффициент усиления единичного элемента, $G_{E,max}$, дБи | Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы (см. Таблица 1.9) |

Модель составной диаграммы направленности многоэлементной антенной решетки представлена в таблице 2.9. Составная диаграмма направленности антенны с формированием луча, $A_A(\theta, \varphi)$, определяется по логарифмической сумме усиления решетки, $10 \log_{10} \left(\left| \sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m} \right|^2 \right)$, и усиления единичного элемента, $A_E(\theta, \varphi)$.

Составная диаграмма направленности антенны БС СПС должна использоваться, когда антенная решетка обслуживает одну или несколько мобильных (абонентских) станций с помощью одного или нескольких лучей, каждый луч при этом определяется параметром i .

Таблица 2.9 – Составная диаграмма направленности антенной решетки

| | |
|--|---|
| Конфигурация | Несколько столбцов ($N_V \times N_H$ элементов) |
| Составная диаграмма направленности антенной решетки $A_A(\theta, \varphi)$, дБ | <p>Для луча i:</p> $A_{A,Beam_i}(\theta, \varphi) = A_E(\theta, \varphi) + 10 \log_{10} \left(\left \sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m} \right ^2 \right)$ <p>супер-вектор положения определяется следующим образом:</p> $v_{n,m} = \exp \left(i \cdot 2\pi \left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \cos(\theta) + (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) \right) \right),$ $n = 1, 2, \dots, N_V; m = 1, 2, \dots, N_H;$ <p>взвешивание определяется следующим образом:</p> $w_{i,n,m} = \frac{1}{\sqrt{N_H N_V}} \exp \left(i \cdot 2\pi \left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \sin(\theta_{i,tilt}) - (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \cos(\theta_{i,tilt}) \cdot \sin(\varphi_{i,scan}) \right) \right)$ |
| Конфигурация антенной решетки (ряд \times столбец) | Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы (см. Таблица 1.9) |
| Горизонтальный и вертикальный шаг излучающих элементов d_H/λ и d_V/λ | Исходные данные о РЭС сухопутной подвижной радиослужбы (см. Таблица 1.9). Если информация отсутствует, принимается $d_H/\lambda = d_V/\lambda = 0,5$ |

Одно из различий между пассивной антенной системой (например, на базе Рекомендации МСЭ-R F.1336) и активной антенной системой (AAS) заключается в том, что в AAS режим работы антенны в случае нежелательных (за пределами рабочего частотного блока) излучений отличается от режима в случае полезных (в пределах рабочего частотного блока) излучений.

Использующая AAS система ИМТ-2020 будет активно контролировать все отдельные сигналы, поступающие на отдельный антенный элемент антенной решетки, для того чтобы формировать диаграмму излучения антенны и определять ее направление, добиваясь желаемой формы, например, узкий луч, направленный на пользователя. Нежелательный сигнал, вызванный модуляцией внеполосных излучений передатчика, интермодуляционными помехами и компонентами побочных излучений,

будет находиться в иных условиях корреляции, создаваемой антенной, и будет иметь иную диаграмму излучения. Диаграмма излучения антенны некоррелированной ААС аналогична диаграмме единичного антенного элемента.

Условия в соседней полосе частот в случае ИМТ-2020, действующей как источник помехи: диаграмма направленности антенны для нежелательных излучений может быть принята аналогичной диаграмме излучений единичного антенного элемента. Для учета излучений системы ИМТ-2020 в пределах ширины полосы канала (при работе РЭС сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах) необходимо имитировать составную диаграмму направленности антенны.

Условия в соседней полосе частот в случае ИМТ-2020, действующей как рецептор помехи: при расчете помех по соседним каналам диаграмма направленности антенны может быть принята аналогичной диаграмме направленности единичного антенного элемента. Для учета помех в пределах ширины полосы канала системы ИМТ-2020 необходимо имитировать составную диаграмму направленности антенны.

3 Сценарии совместного использования РЭС

Существует два основных механизма создания помех приему ТВ сигнала от сетей СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020):

1. Помехи, создаваемые базовыми станциями.
2. Помехи, создаваемые пользовательскими (абонентскими) устройствами.

Воздействие помех, создаваемых передающими станциями РЭС ТВ вещания сетям СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020), необходимо оценить как для приемников базовых станций (линия Uplink), так и для приемников абонентских станций (линия Downlink).

Существует два основных сценария совместного использования РЭС ТВ вещания с РЭС сетей СПС:

- сценарий А:

- ЦТВ / АТВ в полосах радиочастот 470-790 МГц;
- СПС в полосах радиочастот 791-862 МГц.

- сценарий Б:

- ЦТВ / АТВ в полосах радиочастот 470-790 МГц;
- СПС в полосах радиочастот 694-790 МГц.

Совместное использование РЭС телевизионного вещания и сетей СПС для сценария А

В общем случае помеховое влияние РЭС подразумевает влияние сети СПС на приемники ТВ вещания со стороны БС и АС сети СПС с одной стороны и влияние РЭС телевизионного вещания на приемники БС и АС сети СПС с другой стороны в смежных полосах частот (диапазон радиочастот 800 МГц).

Варианты сценария А представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Варианты сценария А

| Суб-сценарий | Характер взаимодействия РЭС | | |
|--------------|-------------------------------|--|------------|
| | Направление взаимодействия | Радиочастоты взаимодействия | Типы помех |
| А1 | ПРД ЦТВ / АТВ → ПРМ БС СПС | ЦТВ / АТВ 470-790 МГц СПС: 791-862 МГц (смежные полосы частот) | Внешние |
| А2 | ПРД ЦТВ / АТВ → ПРМ АС СПС | | Внешние |
| А3 | ПРД БС СПС → ПРМ ЦТВ / АТВ | | Внешние |
| А4 | ПРД АС СПС → ПРМ ЦТВ / АТВ | | Внешние |

Совместное использование РЭС телевизионного вещания и сетей СПС для сценария Б

В общем случае помеховое влияние РЭС подразумевает влияние сети СПС на приемники ТВ вещания со стороны БС и АС сети СПС с одной стороны и влияние РЭС телевизионного вещания на приемники БС и АС сети СПС с другой стороны в совместной и смежных полосах частот (диапазон радиочастот 700 МГц).

Варианты сценария Б представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Варианты сценария Б

| Суб-сценарий | Характер взаимодействия РЭС | | |
|--------------|-------------------------------|---|------------|
| | Направление взаимодействия | Радиочастоты взаимодействия | Типы помех |
| Б1 | ПРД ЦТВ / АТВ → ПРМ БС СПС | ЦТВ / АТВ 470-694 МГц СПС: 694-790 МГц (смежные полосы частот) | Внешние |
| Б2 | ПРД ЦТВ / АТВ → ПРМ АС СПС | | Внешние |
| Б3 | ПРД БС СПС → ПРМ ЦТВ / АТВ | | Внешние |
| Б4 | ПРД АС СПС → ПРМ ЦТВ / АТВ | | Внешние |
| Б5 | ПРД ЦТВ / АТВ → ПРМ БС СПС | ЦТВ / АТВ 694-790 МГц СПС: 694-790 МГц (совместная полоса частот) | Внешние |
| Б6 | ПРД ЦТВ / АТВ → ПРМ АС СПС | | Внешние |
| Б7 | ПРД БС СПС → ПРМ ЦТВ / АТВ | | Внешние |
| Б8 | ПРД АС СПС → ПРМ ЦТВ / АТВ | | Внешние |

При совместном использовании диапазонов радиочастот 700/800 МГц РЭС ТВ вещания и РЭС СПС возможны следующие варианты создания помех РЭС сетей ТВ вещания приемникам сетей СПС:

1) Помехи от одиночных передатчиков аналогового ТВ вещания на линии Uplink приемникам базовых станций сети СПС при работе станций сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах и размещенных в общих и соседних территориальных районах;

2) Помехи от одиночных передатчиков аналогового ТВ вещания на линии Downlink приемникам абонентских станций сети СПС при работе станций сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах и размещенных в общих и соседних территориальных районах;

3) Помехи от одиночных передатчиков цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2 на линии Uplink приемникам базовых станций сети СПС при работе станций сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах и размещенных в общих и соседних территориальных районах;

4) Помехи от одиночных передатчиков цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2 на линии Downlink приемникам абонентских станций сети СПС при работе станций сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах и размещенных в общих и соседних территориальных районах;

Учитывая высокие значения ЭИМ передатчиков ТВ вещания, возможные большие высоты подвеса их антенн над поверхностью Земли, а также параметры характеристик частотной избирательности приемников сетей СПС, возможны помехи от передатчиков ТВ вещания на соседних каналах приемников СПС, а также помехи при работе передатчиков ТВ вещания на каналах за полосой частот, выделенной для работы сетям СПС.

Сети цифрового ТВ вещания могут образовывать сети синхронизированных передающих станций, излучающих одинаковые сигналы в одном и том же радиочастотном канале (одночастотные сети).

Поэтому возможны следующие варианты создания помех, учитывающие эти условия:

1) Помехи от одиночных и одновременно нескольких передатчиков аналогового ТВ вещания на линии Uplink приемникам базовых станций сети СПС по соседним каналам приема приемников и за полосой частот, выделенной для работы сетям СПС, при размещении РЭС в общих и соседних территориальных районах;

2) Помехи от одиночных и одновременно нескольких передатчиков аналогового ТВ вещания на линии Downlink приемникам абонентских станций сети СПС по соседним каналам приема приемников и за полосой частот, выделенной для работы сетям СПС, при размещении РЭС в общих и соседних территориальных районах;

3) Помехи от одиночных и одновременно нескольких передатчиков (в том числе ОЧС) цифрового ТВ вещания на линии Uplink приемникам базовых станций сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах, по соседним каналам приема приемников и за полосой частот, выделенной для работы сетям СПС, при размещении РЭС в общих и соседних территориальных районах;

4) Помехи от одиночных и ОЧС цифрового ТВ вещания на линии Downlink приемникам абонентских станций сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах, по соседним каналам приема приемников и за полосой частот, выделенной для работы сетям СПС, при размещении РЭС в общих и соседних территориальных районах.

4. Критерии обеспечения ЭМС РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС

4.1 Критерии обеспечения ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС сетей СПС на РЭС телевизионного вещания

Создание помех со стороны РЭС СПС на РЭС телевизионного вещания возможно в рамках приведенных ниже помеховых сценариев:

- в совмещенном канале (перекрывающиеся полосы частот);
- по соседним каналам (смежные полосы частот).

При определении критериев защиты ЭМС РЭС ТВ вещания учитывались положения существующих нормативных и международных документов в области управления использованием радиочастотного спектра и обеспечения электромагнитной совместимости.

Критерии ЭМС для сценариев воздействия помех со стороны РЭС СПС на РЭС ТВ вещания представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Критерии ЭМС для сценариев воздействия помех со стороны РЭС СПС на РЭС ТВ вещания

| № | Диапазон, МГц | Радиотехнологии | | Критерии ЭМС | |
|-----|---------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| | | Источники помех | Рецепторы помех | Отношение Сигнал/Помеха, С/Л, дБ | Порог перегрузки E_{th} , дБ(мкВ/м) |
| 1.1 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение цифровое 470 – 694 | $C/L[PR^1; OPK^2]$ | $E_{меш}^3 < E_{th}$ |
| 1.2 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение аналоговое 470 – 694 | $C/L[PR^1]$ | $E_{меш}^3 < E_{th}$ |
| 1.3 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение цифровое 694 – 790 | $C/L[PR^1; OPK^2]$ | $E_{меш}^3 < E_{th}$ |
| 1.4 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение аналоговое 694 – 790 | $C/L[PR^1]$ | $E_{меш}^3 < E_{th}$ |
| 2.1 | 800 | LTE, LTE-A, IMT-2020 791 – 862 | телевидение цифровое 470 – 790 | $C/L[PR^1; OPK^2]$ | $E_{меш}^3 < E_{th}$ |
| 2.2 | 800 | LTE, LTE-A, IMT-2020 791 – 862 | телевидение аналоговое 470 – 790 | $C/L[PR^1]$ | $E_{меш}^3 < E_{th}$ |

Примечания.

(1) PR – защитное отношение, дБ (см. таблицы 4.2, 4.5).

(2) OPK – объединенный поправочный коэффициент местоположений (применяется при защите цифрового ТВ вещания), дБ.

(3) Значения PR применяются до тех пор, пока уровень напряженности поля мешающего сигнала $E_{меш}$ не превысит соответствующий уровень E_{th} (см. таблицы 4.2, 4.5). Если уровень напряженности поля мешающего сигнала выше соответствующего уровня E_{th} , то приемник испытывает помехи от мешающего сигнала независимо от отношения сигнала к помехе.

Для цифрового телевизионного вещания нормируется также длительность интервала времени, в течение которого не должно быть повторных помех (допускается не более чем одно помеховое событие). Для современных систем ЦТВ количество допустимых помех нормируется на уровне не более одной помехи продолжительностью более 1 с в течение часа работы приемника.

РЭС подвижной связи относятся к категории РЭС, имеющих динамически меняющиеся во времени характеристики излучаемого сигнала (как БС, так и АС сети СПС). По этой причине при определении суммарной напряженности поля помех от РЭС подвижной связи в месте установки телевизионного приемника необходимо учитывать максимальный уровень по мешающему воздействию, который может быть сформирован всей группой РЭС сети СПС на протяжении интервала времени длительностью 1 час при расположении данного интервала на любой возможной временной позиции в пределах предполагаемого срока совместной работы рассматриваемых РЭС (временной интервал анализа ограничивается величиной не более года).

Приведенные в таблице критерии ЭМС предназначены для применения при оценке электромагнитной совместимости по методу минимальных общих потерь (MCL) с использованием моделей распространения сигналов точка-площадка, позволяющих оценить местностные параметры распределения напряженности поля сигнала.

Защитное отношение определяется как минимально допустимое (пороговое) отношение допустимой мощности полезного сигнала к мощности мешающего сигнала на входе приемника, которое позволяет получить на его выходе заданное качество полезного сигнала. Обычно защитные отношения выражаются в децибелах.

На величину защитного отношения влияют многие факторы, такие, как частотный разнос между полосами частот полезного и мешающего сигналов, вид и глубина их модуляции, способ обработки сигнала и метод его

кодирования, характеристики приемника (его чувствительность, избирательность) и др.

Величина требуемого защитного отношения используется в составе критерия защиты радиовещательной службы при оценке помехового воздействия от РЭС сети СПС. Метод оценки условий ЭМС основан на сравнении расчетных значений суммарной напряженности поля помех от РЭС сети СПС в пределах зоны покрытия (идеальной зоны) РЭС телевизионного вещания и величины полезной напряженности поля данного РЭС.

Критерием отсутствия помех является обеспечение условия непревышения величины суммарной напряженности поля помех РЭС сети СПС с учетом запаса на наличие в радиоканале помех от РЭС других радиослужб относительно полезной напряженности поля РЭС телевизионного вещания. Проверка данного критерия осуществляется в контрольных точках зоны покрытия (идеальной зоны) для всего перечня РЭС телевизионного вещания, сформированного в результате отбора потенциальных источников помех (п. 6 Методики).

Значения PR применяются до тех пор, пока уровень напряженности поля мешающего сигнала не превысит соответствующий уровень E_{th} . Если уровень напряженности поля мешающего сигнала выше соответствующего уровня E_{th} , то приемник испытывает помехи от мешающего сигнала независимо от отношения сигнала к помехе. В этом случае для обеспечения условий ЭМС должно выполняться неравенство:

$$E_{\text{меш_сум}} < E_{\text{th}}, \quad (4.1)$$

где

$E_{\text{меш_сум}}$ – суммарный уровень напряженности поля мешающего сигнала на входе приемника, дБ(мкВ/м);

E_{th} – порог перегрузки (допустимый уровень напряженности поля мешающего сигнала на входе приемника), дБ(мкВ/м).

В таблице 4.2 указаны значения защитных отношений и порога перегрузки, рекомендуемые для использования в исследованиях совместного использования частот сухопутной подвижной службы стандарта LTE и системой цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения DVB-T2 [27]. Приведенные значения защитных отношений (PR) справедливы для эталонной конфигурации полезного сигнала DVB-T2 (64-QAM 4/5). В таблице 4.3 указаны теоретические поправочные коэффициенты к защитным отношениям для различных вариантов полезной системы DVB-T2. Применяя поправку к представленным в таблице 4.2 величинам PR, определяем значения защитных отношений для используемой системы DVB-T2. Порог перегрузки считается независимым от варианта системы и условий приема, поэтому значения E_{th} тождественны рекомендуемым в таблице 4.2.

В настоящее время в международных и национальных документах отсутствуют данные по защитным отношениям для сигнала DVB-T2, испытывающего помехи от сигналов перспективных сетей 5G/IMT2020. Приведенные значения защитных отношений и порогов перегрузки применяются при защите радиовещательной службы от сетей СПС следующих технологий: LTE, LTE-A и 5G/IMT2020.

Таблица 4.2 – Значения защитных отношений и порога перегрузки для сигнала DVB-T2 (64-QAM 4/5), испытывающего помехи от сигналов БС и АС сетей СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020)

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех, МГц | БС СПС | | АС СПС | |
|--|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | Защитное отношение PR, дБ | Порог перегрузки E_{th} , дБ(мкВ/м) | Защитное отношение PR, дБ | Порог перегрузки E_{th} , дБ(мкВ/м) |
| Перекрываемые каналы | 17.4 | NR ⁽³⁾ | 17.4 | NR ⁽²⁾ |
| 1 | -26.6 | 110 | -12.9 | 96 |
| 9 | -34.6 | 114 | -14.6 | 115 |
| 17 | -37.6 | 115 | -29.6 | 116 |
| 25 | -41.6 | 113 | -38.6 | 106 |
| 33 | -44.6 | 115 | -39.6 | 116 |
| 41 | -47.6 | 115 | -41.6 | 117 |
| 49 | -48.6 | 115 | -43.6 | 117 |
| 57 | -47.6 | 115 | -44.6 | 116 |
| $\geq 65^{(1)}$ | -47.6 | 116 | -45.6 | 116 |

Примечания:

- (1) Значения защитных отношений и порогов перегрузки для сдвигов между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех более 65 МГц приняты эквивалентными сдвигу 65 МГц. В случае не точного совпадения сдвига выбирается защитное отношение и порог перегрузки для сдвига, имеющего наименьший частотный разнос в интервале между двумя ближайшими указанными значениями. Указанные значения применяются для РЭС телевизионного вещания дециметрового диапазона длин волн (470-790 МГц).
- (2) NR – порог перегрузки не достигнут. То есть при этом сдвиге граничных частот защитное отношение (PR) является главным критерием.

Таблица 4.3 – Оценки теоретических поправочных коэффициентов для защитных отношений (дБ) для различных вариантов полезной системы DVB-T2 (испытывающей помехи от сигналов сетей СПС) по отношению к эталонному режиму 64-QAM 4/5

| Модуляция | Кодовая скорость | Райсовский канал | Рэлеевский (статический) канал |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|
| QPSK | 1/2 | -15.5 | -14.7 |
| QPSK | 3/5 | -14.3 | -13.2 |
| QPSK | 2/3 | -13.3 | -11.8 |
| QPSK | 3/4 | -12.3 | -10.5 |
| QPSK | 4/5 | -11.6 | -9.6 |
| QPSK | 5/6 | -11.1 | -8.8 |
| 16-QAM | 1/2 | -10.3 | -9 |
| 16-QAM | 3/5 | -8.9 | -7.4 |
| 16-QAM | 2/3 | -7.6 | -5.9 |
| 16-QAM | 3/4 | -6.3 | -4.2 |
| 16-QAM | 4/5 | -5.5 | -3 |
| 16-QAM | 5/6 | -5 | -2.2 |
| 64-QAM | 1/2 | -5.9 | -4.1 |
| 64-QAM | 3/5 | -4 | -2.3 |
| 64-QAM | 2/3 | -2.7 | -0.9 |
| 64-QAM | 3/4 | -1.2 | 1.2 |
| 64-QAM | 4/5 | 0 | 2.8 |
| 64-QAM | 5/6 | 0.6 | 3.7 |
| 256-QAM | 1/2 | -1.8 | 0.2 |
| 256-QAM | 3/5 | 0.4 | 2.4 |
| 256-QAM | 2/3 | 1.9 | 4 |
| 256-QAM | 3/4 | 3.9 | 6.5 |
| 256-QAM | 4/5 | 5.5 | 8.5 |
| 256-QAM | 5/6 | 6.3 | 9.9 |

Применение этих значений обеспечивает защиту 90% приемников (при исследованиях выборка включала 14 приемников разных типов) при любой загрузке канала передачи данных сети СПС.

Защитные отношения для системы K/SECAM получены методом математического моделирования на основании известных различий между

защитными отношениями для системы DVB-T2 при помехе от DVB-T2 и LTE с учетом результатов измерений защитных отношений при помехе от РЭС ШПД в полосе частот 470-698 МГц приему программ аналогового ТВ вещания. Уточнение данных защитных отношений будет возможно после разработки положений о порядке и методах проведения натурных и стендовых испытаний на опытных сетях СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020).

Результирующие значения защитных отношений для сигнала аналогового ТВ, испытывающего помехи от сигналов БС и АС сети СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020), приведены в Таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Смоделированные значения защитных отношений и порога перегрузки для сигнала аналогового ТВ, испытывающего помехи от сигналов БС и АС сетей СПС (LTE, LTE-A, IMT-2020)

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех, МГц | БС СПС | | АС СПС | |
|--|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | Защитное отношение PR, дБ | Порог перегрузки E_{th} , дБ(мкВ/м) | Защитное отношение PR, дБ | Порог перегрузки E_{th} , дБ(мкВ/м) |
| Перекрываемые каналы | 39.5 | NR ⁽³⁾ | 39.5 | NR ⁽²⁾ |
| 1 | 2.4 | 110 | 21.4 | 96 |
| 9 | -24.6 | 114 | -4.6 | 115 |
| 17 | -27.6 | 115 | -19.6 | 116 |
| 25 | -31.6 | 113 | -28.6 | 106 |
| 33 | -34.6 | 115 | -29.6 | 116 |
| 41 | -37.6 | 115 | -31.6 | 117 |
| 49 | -38.6 | 115 | -33.6 | 117 |
| 57 ⁽³⁾ | -7.6 | 115 | 11.4 | 116 |
| 65 ⁽³⁾ | -7.6 | 115 | 11.4 | 116 |
| ≥ 73 ⁽¹⁾ | -38.6 | 115 | -33.6 | 117 |

Примечания:

(1) Значения защитных отношений и порогов перегрузки для сдвигов между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех более 73 МГц приняты эквивалентными сдвигу 49 МГц. В случае не точного совпадения сдвига выбирается защитное отношение и порог перегрузки для сдвига, имеющего наименьший частотный разнос в интервале между двумя ближайшими указанными значениями. Указанные значения применяются для РЭС телевизионного вещания дециметрового диапазона длин волн (470-790 МГц).

(2) NR – порог перегрузки не достигнут. То есть при этом сдвиге граничных частот защитное отношение (PR) является главным критерием.

(3) Зеркальные каналы.

4.2 Критерии обеспечения ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС

Для обеспечения защиты сетей СПС от систем, использующихся в совместных полосах частот УВЧ, наиболее приемлемым критерием обеспечения ЭМС РЭС при определении минимального необходимого взаимного удаления антенн приемников и передатчиков является выполнение в заданном проценте времени требуемого отношения (помеха / собственный шум приемника I/N) на входе приемника, обеспечивающим условия обеспечения ЭМС РЭС. Помеха / собственный шум приемника – это отношение допустимого уровня межсистемных помех, поступающих на вход приемника, к уровню шума приемника (тепловой шум + коэффициент шума приемника).

Требуемые значения отношения (помеха / собственный шум) приемника на входе приемника, при которых обеспечивается сохранение допустимых значений качества функционирования приемников при воздействии помех, задаются нормативными документами на приемники сетей связи СПС и приемники РЭС гражданского назначения.

Критерий помех $(I/N)_{\text{треб}} = -6$ дБ [7] имеет приемлемое значение для обеспечения защиты систем СПС от систем, использующихся в совместных полосах частот УВЧ. Значение этого показателя эквивалентно повышению уровня шума приемника системы СПС на 1 дБ. Чувствительность системы СПС может снижаться под воздействием других факторов, например промышленного шума или других помех, однако при этом показатель чувствительности может быть больше значения, определяемого только минимальным уровнем шума. В этом случае наблюдается увеличение чувствительности и порогового значения напряженности поля мешающих сигналов.

Максимально допустимая напряженность поля мешающего сигнала от РЭС телевизионного вещания на входе приемника сети СПС, соответствующая требуемому значению $(I/N)_{\text{треб}}$, рассчитывается следующим образом [15]:

$$E_{\text{доп}} = -37 + NF + \left(\frac{I}{N}\right)_{\text{треб}} - G_{\text{ант}} + F + 10 \log B_w + 20 \log f, \quad (4.2)$$

где

NF – коэффициент шума приемников БС/АС сети СПС, (дБ);

$(I/N)_{\text{треб}}$ – критерий соотношения между помехой и шумом приемника системы СПС, (дБ);

$G_{\text{ант}}$ – усиление антенны БС/АС сети СПС в направлении РЭС телевизионного вещания, (дБи);

F – потери в антенно-фидерном тракте приемника СПС, (дБ);

B_w – ширина полосы частот ТВ канала, (МГц);

f – центральная частота мешающего сигнала РЭС телевизионного вещания, (МГц).

С учетом требуемого значения $(I/N)_{\text{треб}} = -6$ дБ и фиксированной ширины полосы частот ТВ канала $B_w = 8$ МГц, уравнение 4.3 может быть приведено к виду:

$$E_{\text{доп}} = -34 + NF - G_{\text{ант}} + F + 20 \log f \quad (4.3)$$

Определение максимально допустимой напряженности поля мешающего сигнала от РЭС телевизионного вещания на входе приемника сети СПС осуществляется как для БС, так и АС сети СПС ($E_{\text{БСдоп}}$ и $E_{\text{АСдоп}}$ соответственно).

Величина максимально допустимой напряженности поля мешающего сигнала от нескольких РЭС телевизионного вещания, использующих различные радиочастотные каналы, определяется как минимальное из рассчитанных значений $E_{\text{доп}}$.

Расчеты помех на АС сети СПС проводятся для высоты приемной антенны 1,5 м.

При расчете помех на БС сети СПС используется высота приемной антенны $h_{БС}$, указанная в перечне исходных данных о частотных присвоениях РЭС сухопутной подвижной радиослужбы, необходимых для описания модели сетей СПС (см. таблицу 1.9).

Критерии ЭМС для сценариев воздействия помех со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сети СПС представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Критерии ЭМС для сценариев воздействия помех со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сети СПС

| Диапазон, МГц | Радиотехнологии | | Критерии ЭМС | |
|---------------|---|--------------------------------|---|--|
| | Источники помех | Рецепторы помех | Отношение помеха/шум, $(I/N)_{гр\epsilon б}$, (дБ) | Макс. допустимая напряженность поля мешающего сигнала $E_{доп}$, дБ(мкВ/м) ⁽¹⁾ |
| 700 | телевидение цифровое и аналоговое 470 – 790 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | Не более -6 дБ | $E_{БСсум}^{(2)} < E_{БСдоп}$, $E_{АСсум}^{(3)} < E_{АСдоп}$ |
| 800 | телевидение цифровое и аналоговое 470 – 790 | LTE, LTE-A, IMT-2020 791 – 862 | Не более -6 дБ | $E_{БСсум}^{(2)} < E_{БСдоп}$, $E_{АСсум}^{(3)} < E_{АСдоп}$ |

Примечание.

(1) Проверка условия обеспечения критерия ЭМС по критерию непревышения максимально допустимой напряженности поля мешающего сигнала от РЭС телевизионного вещания осуществляется для БС и АС сети СПС.

(2) $E_{БСсум}$ – уровень напряженности поля суммарной помехи на входе приемника БС сети СПС, дБ(мкВ/м);

(3) $E_{АСсум}$ – уровень напряженности поля суммарной помехи на входе приемника АС сети СПС, дБ(мкВ/м).

5 Модели распространения радиоволн, используемые при определении ослабления на открытых и закрытых трассах

В настоящее время признанными методами прогнозирования распространения радиоволн для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне УВЧ являются расчетные модели, приведенные в Рекомендациях МСЭ-Р Р.1546, Р.1812.

Рекомендация МСЭ-Р Р.1546 предназначена для использования в линиях радиосвязи в условиях тропосферы над сухопутными трассами, морскими трассами и/или смешанными трассами, состоящими из сухопутных и морских участков, длиной до 1000 км для эффективной высоты передающей антенны менее 3000 м. Этот метод основан на интерполяции/экстраполяции по полученным эмпирическим путём кривым напряженности поля как функциям от расстояния, высоты антенны, частоты и процента времени. Процедура расчета включает также внесение исправлений в результаты, полученные на основе интерполяции/экстраполяции, для того чтобы учесть угол просвета местности и мешающие отражения от препятствий в терминале.

Рекомендация МСЭ-Р Р.1812 предназначена для прогнозирования работы систем радиосвязи, использующих наземные сети с длиной трасс от 0,25 км до примерно 3000 км, когда оба терминала находятся на высоте не более 3 км над уровнем земли. Настоящая Рекомендация дополняет Рекомендацию МСЭ-Р Р.1546.

Рекомендация МСЭ-Р Р.1546 представляет собой обширную совокупность статистических данных, в то время как в Рекомендации МСЭ-Р Р.1812 используются детерминированные методы прогнозирования уровня напряженности электрического поля.

Экспериментально установлено, что использование метода, описанного в Рекомендации МСЭ-Р Р.1546, на коротких расстояниях ведет к значительному ослаблению сигнала. Учитывая, что абонентские терминалы

сети СПС могут располагаться в непосредственной близости от места приема ТВ сигнала, точность определения затухания на небольших расстояниях имеет первостепенное значение при определении необходимого расстояния разнесения от источников помех.

В методике применяется метод Рекомендации МСЭ-R P.1812 (актуальная версия данной Рекомендации) с использованием цифровых карт местности с морфологическими данными и данными о профиле трассы. При отсутствии подробных цифровых карт местности с морфологическими данными целесообразно применять комбинированный метод, основанный на статистической модели (Рекомендация МСЭ-R P.1546) и детерминированной модели (Рекомендация МСЭ-R P.1812). В том случае, если потери по дифракционной модели превышают потери, определенные по эмпирической модели, в расчете полезного сигнала учитывается величина потерь в соответствии с дифракционной моделью. В частности, использование второй модели распространения позволяют более точно моделировать потери распространения радиоволн в пересеченной и горной местности.

При расчете помех от станций ТВ вещания на приемники сети СПС на трассе распространения целесообразно применять, в качестве основной, модель потерь, описанную в Рекомендации МСЭ-R P.1812, с использованием цифровых карт местности с морфологическими данными и данными о профиле трассы. Если для рассматриваемой территории отсутствуют конкретные данные о растительности и застройке, то при расчете помех на РЭС сети СПС допускается использование категорий «плотная городская застройка» или «высотная городская застройка» для моделирования потерь из-за препятствий в модели потерь Рекомендации МСЭ-R P.1812. Данные категории ассоциируются со зданиями высотой 30 м и выше.

Метод прогнозирования, описанный в Рекомендации МСЭ-R P.1812, был разработан специально для оценки уровней сигнала в наземных системах радиосвязи в полосах частот УВЧ/ОВЧ. Этот метод может использоваться

для прогнозирования уменьшения области обслуживания и готовности из-за мешающих сигналов, в совмещенном и соседних каналах. Для выполнения основных расчетов, предусмотренных в данной работе, это является необходимым условием при выборе оптимальной модели распространения радиоволн при оценке помехового влияния. Для расстояний менее 250 м от мест приема расчет проводится по формуле ослабления радиоволн в свободном пространстве:

$$E_{CR} (dB\mu V/m) = \Delta ERP + 106.9 - 20 \log (d) \quad (5.1)$$

где

ΔERP (дБВт) – поправка к эквивалентной излучаемой мощности относительно эталонного передатчика с ЭИМ = 30 дБВт;

d (км) – расстояние.

Для адекватного учета влияния местных факторов шаг расчета должен составлять не более 10 метров в случае наличия информации о клаттерных объектах (застройка, лесные массивы и пр.) и 100 метров в остальных случаях. При этом необходимо учитывать, что точность оценки, полученной с учетом дифракционной модели распространения, будет в большой степени зависеть от точности исходных данных, включая используемые картографические данные и трехмерные модели препятствий на пути распространения сигнала.

Необходимо также отметить, что расчеты и многочисленные измерения на существующих сетях наземного ТВ вещания и сетях СПС указывают на имеющийся разброс экспериментальных и прогнозируемых величин напряженности электрического поля. Величина разброса зависит от многочисленных факторов, таких как геофизические условия на трассе распространения радиосигнала, радиометеорологические параметры, зависящие от климатических особенностей региона, окружающая приемный терминал местность и отражения от окружающих объектов. В совокупности

эти факторы приводят как к завышению, так и занижению напряженности электрического поля относительно прогнозируемой величины.

Для оценки дополнительных потерь на входе в здание используется расчетная модель, приведенная в Рекомендации МСЭ-R P.2109 [5]. В настоящей Рекомендации представлен метод оценки потерь на входе в здание на частотах в интервале примерно от 80 МГц до 100 ГГц. Этот метод не зависит от местных условий и предназначен в первую очередь для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости.

Проведение расчетов осуществляется с использованием с следующих картографических данных:

- цифровая модель рельефа местности (цифровая матрица высот);
- цифровая модель гидрографии;
- цифровая модель клаттеров (искусственные сооружения / растительность).

Точность проведения расчетов зависит от пространственного разрешения цифровых моделей местности. Для цифровых моделей рельефа местности и гидрографии должна быть обеспечена точность не менее 100 м.

Для расчета потерь распространения между БС и АС сети СПС применяется расширенная модель Хата.

В таблице 5.1 приведены расчетные соотношения для определения медианного значения потерь распространения при использовании расширенной модели Хата [29]. Перед началом проведения моделирования зоны обслуживания БС сети СПС необходимо определить условия функционирования (город, пригород или сельская местность), в зависимости от места размещения БС.

Таблица 5.1 – Медианное значение потерь распространения в расширенной модели Хата

| Протяженность трассы | Условия функционирования РЭС | Медианные значения потерь распространения, дБ |
|---|------------------------------------|---|
| $d \leq 0.04 \text{ км}$ | Город, пригород, | $L_x = 32.4 + 20 \log(f_{ac}) + 10 \log \left[d^2 + \frac{(H_b - H_m)^2}{10^6} \right]$ |
| $0.04 \text{ км} < d < 0.1 \text{ км}$ | открытая зона / сельская местность | $L_x = L_x(0.04) + \frac{[\log(d) - \log(0.04)]}{[\log(0.1) - \log(0.04)]} [L_x(0.1) - L_x(0.04)]$ |
| $d \geq 0.1 \text{ км}$ | Город | $L_x(\text{город}) = 69.6 + 26.2 \log(f_{ac}) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) + [44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})](\log(d))^\alpha - a(H_m) - b(H_b)$ |
| | Пригород | $L_x(\text{пригород}) = L_x(\text{город}) - 2 \left\{ \log \left[\frac{(\min\{\max\{150, f_{ac}\}, 2000\})^2}{28} \right] \right\} - 5.4$ |
| | Открытая зона / сельская местность | $L_x(\text{открытая зона/сельская местность}) = L_x(\text{город}) - 4.78 \{\log[\min\{\max\{150, f_{ac}\}, 2000\}]\}^2 + 18.33 \log[\min\{\max\{150, f_{ac}\}, 2000\}] - 40.94$ |
| <p>где:</p> $H_m = \min(h_{BC}, h_{AC});$ $H_b = \max(h_{BC}, h_{AC});$ $a(H_m) = (1.1 \log(f_{ac}) - 0.7) \min\{10, H_m\} - (1.56 \log(f_{ac}) - 0.8) + \max\{0, 20 \log(H_m/10)\};$ $b(H_b) = \min\{0, 20 \log(H_b/30)\}$ $\alpha = \begin{cases} 1, & \text{при } d \leq 20 \text{ км;} \\ 1 + (0.14 + 1.87 * 10^{-4} * f_{ac} + 1.07 * 10^{-3} H_b) (\log \frac{d}{20})^{0.8}, & \text{при } 20 \text{ км} < d < 100 \text{ км.} \end{cases}$ <p>f_{ac} – центральная частота передатчика AC определяется в соответствии с полосой радиочастот передатчика AC ($Bt_{x_{ac}}$), МГц;</p> <p>h_{BC} – высота подвеса антенны BC над поверхностью Земли, м;</p> <p>h_{AC} – высота подвеса антенны AC над поверхностью Земли, м;</p> <p>d – взаимное расстояние между BC и AC сети СПС, км.</p> | | |

В таблице 5.2 приведены расчетные соотношения для определения значений суммарного среднеквадратического отклонения сигнала по месту и времени σ , в зависимости от взаимного расстояния между BC и AC сети СПС [29].

Таблица 5.2 – Суммарное среднеквадратическое отклонение сигнала по месту и времени для подвижного приема на уровне земли

| Расстояние, км | Суммарное среднеквадратическое отклонение сигнала по месту и времени, дБ |
|---------------------|--|
| $d \leq 0.04$ | $\sigma = 3.5$ |
| $0.04 < d \leq 0.1$ | $\sigma = 3.5 + 225(d - 0.04)$ |
| $0.1 < d \leq 0.2$ | $\sigma = 17$ |
| $0.2 < d \leq 0.6$ | $\sigma = 17 - 20(d - 0.2)$ |
| $d > 0.6$ | $\sigma = 9$ |

Максимальные азимутальные расстояния $R_{СПС}$ зоны обслуживания АС сети СПС в направлении Uplink определяются из уравнения:

$$10 \log(P_{AC}) + G_{AC} + G_{BC} - F_{AC} - F_{BC} - L_X(R_{СПС}) - Sens_{BC} - \mu \sigma = 0, \quad (5.2)$$

где

P_{AC} – мощность передатчика АС, Вт;

G_{AC} – коэффициент усиления антенны АС, дБд;

G_{BC} – коэффициент усиления антенны БС корректируется в соответствии с азимутальным направлением на АС, дБд;

F_{BC} – потери в антенно-фидерном тракте БС, дБ;

F_{AC} – потери в антенно-фидерном тракте АС, дБ;

L_X – медианные потери на радиотрассе, определенные в соответствии с расширенной моделью Хата при заданных условиях функционирования сети СПС (город, пригород, сельская местность), дБ;

$Sens_{BC}$ – реальная чувствительность приемника БС сети СПС, дБВт;

μ – параметр логнормального распределения уровня сигнала по месту и времени с заданной вероятностью (в расчетах принимается равным 1.96, что соответствует 95%);

σ – суммарное среднеквадратическое отклонение сигнала по месту и времени, дБ.

Реальная чувствительность приемника БС сети СПС зависит от конкретного типа БС и указывается заявителем в форме ИД-СПС в таблице СПС-1 (Общие технические данные РЭС).

Для решения уравнения (5.2) применяется рекурсивный метод расчета с использованием функции:

$$v(R_{\text{СПС}}) = 10 \log(P_{\text{АС}}) + G_{\text{АС}} + G_{\text{БС}} - F_{\text{АС}} - F_{\text{БС}} - L_{\text{X}}(R_{\text{СПС}i}) - \text{Sens}_{\text{БС}} - \mu \sigma, \quad (5.3)$$

$$R_{\text{СПС}}^{(n)} = R_{\text{СПС}}^{(n-2)} - \frac{R_{\text{СПС}}^{(n-2)} - R_{\text{СПС}}^{(n-1)}}{v(R_{\text{СПС}}^{(n-2)}) - v(R_{\text{СПС}}^{(n-1)})} v(R_{\text{СПС}}^{(n-2)}), \quad (5.4)$$

где

n – номер итерации (порядковый номер расчетов), $n = 2, 3, \dots$,
 $R_{\text{СПС}}^{(0)} = 0,001$ км и $R_{\text{СПС}}^{(1)} = \text{Rad}_{\text{БС}}$.

$\text{Rad}_{\text{БС}}$ – радиус зоны обслуживания БС указывается заявителем в форме ИД-СПС в таблице СПС-2 (Общие технические данные РЭС), км.

Критерий остановки расчетов определяется неравенством:

$$\left| \frac{R_{\text{СПС}}^{(n)} - R_{\text{СПС}}^{(n-1)}}{R_{\text{СПС}}^{(n)}} \right| \leq 0,001 \quad (5.5)$$

6 Критерии отбора действующих РЭС – потенциальных источников помех

При оценке ЭМС необходимо ограничить список рассматриваемых РЭС – потенциальных источников помех, участвующих в формировании помех на рецепторы помех. Для этого используется выборка РЭС по пространственному и частотному критерию. Формируется отдельный перечень РЭС – источников помех.

Частотный диапазон отбора определяется минимальным частотным разносом полос частот для отсутствия помеховых воздействий по основному каналу передачи и внеполосному излучению передатчика при воздействии на основной канал приема без учета излучений на гармониках. Критерии отбора действующих РЭС – потенциальных источников помех по частоте приведены в таблице 6.1.

Критерии пространственного отбора для РЭС сети СПС и РЭС телевизионного вещания, как потенциальных источников помех, приведены ниже.

1. Критерии пространственного отбора РЭС сети СПС – потенциальных источников помех приемникам телевизионного вещания.

Под БС и ассоциированными АС сети СПС – источниками помех, рассматриваемыми при оценке ЭМС, понимаются все БС сетей СПС в определенном частотном диапазоне, которые размещены ближе предельного расстояния от приемников ТВ вещания – рецептора помех. Предельное расстояние (r) определяется на основании ослабления (основными потерями передачи) в свободном пространстве [13] и может быть получено с использованием следующего выражения:

$$10 \lg(M_{\text{БС}} P_{\text{БС}}) + G_{\text{БС}} - F_{\text{БС}} + G_{\text{ТВ_ПР}} - F_{\text{ТВ_ПР}} - 32,4 - 20 \lg(f_{\text{БС}} \cdot r) - \text{Sen}_{\text{СТВ}} = 0, \quad (6.1)$$

где

$P_{\text{БС}}$ – мощность передатчика БС, Вт;

M_{BC} – количество передатчиков в конфигурации ММО (для учета суммарной мощности передатчиков в конфигурации ММО, если данная технология используется);

G_{BC} – коэффициент усиления передающей антенны БС корректируется в соответствии с азимутальным направлением на РЭС телевизионного вещания, дБд;

F_{BC} – потери в антенно-фидерном тракте БС, дБ;

$G_{ТВ_ПР}$ – коэффициент усиления приемной телевизионной антенны, дБд;

$F_{ТВ_ПР}$ – потери в антенно-фидерном тракте ТВ приемника, дБ;

f – центральная частота передачи БС, МГц;

r – предельное расстояние отбора РЭС, км;

$Sens_{ТВ}$ – чувствительность телевизионного приемника, дБВт.

Чувствительность телевизионного приемника DVB-T2 ($P_{s\ min}$) определяется с использованием формулы 2.8.

Эталонная величина чувствительности телевизионного приемника аналогового сигнала $Sens_{ТВ}$ приведена в п. 2.1.

Коэффициент усиления и диаграмма направленности передающей антенны БС зависит от типа используемой антенны и определяется в соответствии с положениями п. 2.2.2.

2. Критерии пространственного отбора РЭС телевизионного вещания – потенциальных источников помех приемникам сети СПС.

Под РЭС телевизионного вещания – источниками помех, рассматриваемыми при оценке ЭМС, понимаются РЭС цифрового и аналогового ТВ вещания в диапазоне УВЧ, которые размещены ближе предельного расстояния от БС сети СПС – рецептора помех. Предельное расстояние (r) определяется на основании ослабления (основными потерями передачи) в свободном пространстве [13] и может быть получено с использованием следующего выражения:

$$10 \log(P_{Tx_Tv}) + G_{Tx_Tv} + G_{BC} - F_{BC} - 2,4 - 20 \log(f_{ТВ} \cdot r) - Sens_{BC} = 0, \quad (6.2)$$

где

P_{Tx_Tv} – мощность передатчика телевизионного вещания, кВт;

G_{Tx_Tv} – коэффициент усиления передающей антенны корректируется в соответствии с азимутальным направлением на заданную расчетную точку, дБд.

F_{BC} – потери в антенно-фидерном тракте БС, дБ;

G_{BC} – коэффициент усиления передающей антенны БС корректируется в соответствии с азимутальным направлением на РЭС телевизионного вещания, дБд;

f_{TV} – центральная частота канала РЭС телевизионного вещания, МГц;

r – предельное расстояние отбора РЭС, км;

$Sens_{BC}$ – реальная чувствительность приемника БС сети СПС, дБВт.

Реальная чувствительность приемника БС сети СПС зависит от конкретного типа БС и указывается заявителем в форме ИД-СПС в таблице СПС-1 (Общие технические данные РЭС).

Величина расстояния при отборе РЭС – источников помех может быть снижена в случае использования моделей расчета ослабления сигнала, учитывающих рельеф местности, гидрографию, растительность и застройку.

В практических целях при оценке условий ЭМС используются рекомендуемые значения расстояний отбора РЭС – потенциальных источников помех (см. таблицу 6.1).

Для учета суммарных помех при формировании перечня РЭС (источников помех) используются данные как по действующим частотным назначениям, так и по планируемым (заявляемым).

В таблице 6.1 приведены обобщенные критерии отбора действующих РЭС – потенциальных источников помех по частоте и расстоянию, используемых в методике.

Таблица 6.1 – Критерии отбора действующих РЭС – потенциальных источников помех по частоте и расстоянию

| № | Диапазон, МГц | Радиотехнологии | | Критерии отбора действующих РЭС – потенциальных источников помех | |
|---|---------------|--|-------------------------------------|--|---|
| | | Источники помех | Рецепторы помех | Частотный диапазон отбора, МГц ⁽¹⁾ | по расстоянию до РЭС, км |
| 2.1 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение цифровое 470 – 694 | 694 – 790 | 150 (сухопутные трассы), 300 (морские трассы ²) |
| 2.2 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение аналоговое 470 – 694 | 694 – 790 | 150 (сухопутные трассы), 300 (морские трассы ²) |
| 2.3 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение цифровое 694 – 790 | 694 – 790 | 600 (сухопутные трассы), 1000 (морские трассы ²) |
| 2.4 | 700 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | телевидение аналоговое 694 – 790 | 694 – 790 | 600 (сухопутные трассы), 1000 (морские трассы ²) |
| 2.5 | 700 | телевидение цифровое и аналоговое 470 – 790 | LTE, LTE-A, IMT-2020 694 – 790 | 470 – 790 | 600 (сухопутные трассы), 1000 (морские трассы ²) |
| 3.1 | 800 | LTE, LTE-A, IMT-2020 791 – 862 | телевидение цифровое 470 – 790 | 791 – 862 | 150 (сухопутные трассы), 300 (морские трассы ²) |
| 3.2 | 800 | LTE, LTE-A, IMT-2020 791 – 862 | телевидение аналоговое 470 – 790 | 791 – 862 | 150 (сухопутные трассы), 300 (морские трассы ²) |
| 3.3 | 800 | телевидение цифровое и аналоговое 470 – 790 | LTE, LTE-A, IMT-2020 791 – 862 | 470 – 790 | 150 (сухопутные трассы), 300 (морские трассы ²) |
| <p>Примечание.</p> <p>⁽¹⁾ Определяется минимальным частотным разнесом полос частот для отсутствия помеховых воздействий по основному каналу передачи и внеполосному излучению передатчика при воздействии на основной канал приема без учета излучений на гармониках.</p> <p>⁽²⁾ При наличии морских участков протяженностью не менее 1% от общей протяженности трассы между источником и рецептором помех.</p> | | | | | |

7 Основные расчеты и определение условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС сетей СПС на РЭС телевизионного вещания

7.1 Расчет напряженности полезного поля для РЭС телевизионного вещания

Расчет напряженности полезного поля для РЭС телевизионного вещания в заданной расчетной точке:

$$E_{\text{пол}} = E(50, 50) + \Delta P, \text{ дБ(мкВ/м)} \quad (7.1)$$

где

$E(50, 50)$ – напряженность поля, определяемая для эталонного передатчика с ЭИМ=30 дБВт, 50% местоположений и 50% времени приема, дБ(мкВ/м);

ΔP – эффективная излучаемая мощность РЭС телевизионного вещания относительно 1 кВт, дБВт.

Приведенная к 30 дБВт эффективная излучаемая мощность РЭС телевизионного вещания определяется как:

$$\Delta P = 10 \lg(P_{\text{Tx_Tv}}) + G_{\text{Tx_Tv}}, \text{ дБВт} \quad (7.2)$$

где

$P_{\text{Tx_Tv}}$ – мощность передатчика, кВт;

$G_{\text{Tx_Tv}}$ – коэффициент усиления передающей антенны корректируется в соответствии с азимутальным направлением на заданную расчетную точку, дБд.

Напряженность поля вычисляется в соответствии с определенной в п. 5 моделью потерь на радиотрассе. Для более точного прогнозирования уровня напряженности поля желательно иметь информацию о наземном покрове (препятствиях, плотности застройки, рельефе местности) вдоль трассы. Категории препятствий удобно хранить в дополнительном массиве из n точек для согласования с данными о высотах профиля.

7.2 Расчет напряженности мешающего поля от РЭС сети СПС на РЭС телевизионного вещания

Напряженность мешающего поля от РЭС сети СПС в заданной расчетной точке определяется по формуле:

$$E_{\text{меш}} = E(50, 1) + \Delta P + PR + \Delta A + \text{ОПК}, \text{ дБ(мкВ/м)} \quad (7.3)$$

где

$E(50, 1)$ – напряженность поля, определяемая для эталонного передатчика с ЭИМ=30 дБВт, 50% местоположений и 1% времени приема, дБ(мкВ/м);

ΔP – эффективная излучаемая мощность РЭС сети СПС относительно 1 кВт, дБВт;

PR – защитное отношение, дБ;

ΔA – поправка, учитывающая пространственную и поляризационную помехозащищенность приемной антенны (применяется только для фиксированного приема), дБ;

ОПК – объединенный поправочный коэффициент местоположений (применяется при защите приемников цифрового ТВ вещания), дБ.

Указанная напряженность поля мешающего сигнала определяется при использовании модели потерь на радиотрассе, определенной в п. 5, для расчета величины напряженности поля, которая не превышает более чем в течение 1% времени.

Эффективная излучаемая мощность БС сети СПС относительно 1 кВт определяется как:

$$\Delta P_{\text{БС}} = 10 \lg(M_{\text{БС}} P_{\text{БС}}) + G_{\text{БС}} - F_{\text{БС}} - 30, \text{ дБВт} \quad (7.4)$$

где

$P_{\text{БС}}$ – мощность передатчика БС, Вт;

M_{BC} – количество передатчиков в конфигурации MIMO (для учета суммарной мощности передатчиков в конфигурации MIMO, если данная технология используется);

G_{BC} – коэффициент усиления передающей антенны БС корректируется в соответствии с азимутальным направлением на заданную расчетную точку, дБд;

F_{BC} – потери в антенно-фидерном тракте БС, дБ.

Коэффициент усиления и диаграмма направленности передающей антенны БС зависит от типа используемой антенны и определяется в соответствии с положениями п. 2.2.2.

Эффективная излучаемая мощность АС сети СПС относительно 1 кВт определяется как:

$$\Delta P_{AC} = 10 \lg(P_{AC}) + G_{AC} - F_{AC} - 30, \text{ дБВт} \quad (7.5)$$

где

P_{AC} – мощность передатчика АС, Вт;

G_{AC} – коэффициент усиления передающей антенны АС, дБд;

F_{AC} – потери в антенно-фидерном тракте АС, дБ.

В качестве значений PR используются:

- защитные отношения для определенной частотной отстройки и варианта системы DVB-T2 (тип модуляции и скорость кода), испытывающего помехи от сигналов БС и АС сетей СПС. При определении значений PR используются данные, приведенные в таблицах 4.2 и 4.3;
- смоделированные защитные отношения для определенной частотной отстройки сигнала аналогового ТВ вещания, испытывающего помехи от сигналов БС и АС сетей СПС. При определении значений PR используются данные, приведенные в таблице 4.4.

В случае применения дополнительных фильтров на передающей стороне (источник помех – РЭС сети СПС) и/или на приемной стороне

(телевизионные приемники) требуется провести процедуру пересчета величин защитных отношений, описанную в пункте 9.1 Методики. Использование фильтрации является одним из эффективных способов для недопущения создания непреднамеренных помех в смежных полосах частот.

Ослабление антенны по направлению для фиксированного приема зависит от взаиморасположения приемной антенны ТВ сигналов и элементов сети СПС (базовых станций и абонентских терминалов). Поскольку расположение АС является случайным параметром, а диаграмма направленности типовой приемной антенны ТВ вещания для данной полосы частот является достаточно широкой (55 градусов по уровню -3 дБ), ослабление приемной антенны ТВ вещания по направлению в данном случае принимается равным 0 дБ.

Ослабление антенны по направлению относительно БС сети СПС зависит от конкретных мест размещения РЭС и телевизионного приемника. В этом случае поправка, учитывающая пространственную помехозащищенность приемной антенны, определяется в соответствии рекомендацией МСЭ-R P.419-3 и составляет от 0 до 16 дБ в полосе частот 470-690 МГц. Как известно, в сетях ТВ вещания преимущественно используются антенны с горизонтальной поляризацией, в редких случаях – с вертикальной. В сетях СПС широко используются антенны с кросс-поляризацией, то есть двойной $+45^\circ$ и -45° наклонной поляризацией. Согласно отчету МСЭ-R ВТ.2339 [6] поляризационная развязка в этом случае составляет 3 дБ. Поэтому при расчете поправки ΔA в случае мешающего воздействия БС сети СПС на приемники ТВ вещания учитывается дополнительное ослабление за счет поляризационной развязки.

Для оценки помех портативному и мобильному приему DVB-T2, поправка на пространственную и поляризационную помехозащищенность приемной антенны не учитывается.

7.3 Расчет объединенного поправочного коэффициента местоположений

При защите сигнала DVB-T2 объединенный поправочный коэффициент местоположений рассчитывается по формуле:

$$ОПК = \mu \sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_n^2} \text{ дБ}, \quad (7.6)$$

где

σ_w – стандартное отклонение изменения местоположения для полезного сигнала (дБ).

σ_n – стандартное отклонение изменения местоположения для мешающего сигнала (дБ).

μ – коэффициент распределения.

В зависимости от процента местоположений коэффициент распределения равен:

- 0,52 для 70% местоположений;
- 1,64 для 95%, местоположений;
- 2,33 для 99% местоположений.

В расчетах для полезного сигнала РЭС телевизионного вещания стандартное отклонение принимается:

- для приема вне зданий $\sigma_w = 5,5$ дБ;
- для приема внутри зданий $\sigma_w = 7,8$ дБ.

Стандартное отклонение для мешающего сигнала РЭС сети СПС зависит от конкретных условий места размещения. В городских условиях стандартное отклонение может достигать значений порядка 8 дБ. В расчетах принимается $\sigma_n = 7,8$ дБ для закрытых трасс и 3,5 дБ на открытых трассах.

Выбор значения охвата мест зависит от типа полезной станции. В соответствии с соглашением «Женева-06» и методикой оценки ЭМС и условий совместного использования РЭС цифрового телевизионного вещания с РЭС аналогового телевизионного вещания [10] защита РЭС

телевизионного вещания осуществляется в 95% местоположений. Таким образом, объединенный поправочный коэффициент местоположений ОПК составляет 15,6 дБ для случая приема вне зданий и 18,1 дБ при приеме внутри зданий (для 95% местоположений) для закрытых трасс и 10,7 дБ на открытых трассах.

7.4 Расчет суммарной напряженности мешающего поля от РЭС сети СПС

Напряженность мешающего поля от сети СПС в месте приема ТВ сигнала находится как суммарное поле от всех передатчиков БС и АС сети СПС.

Эффект суммирования множественных помех от АС, работающих в зоне обслуживания одного сектора БС сети СПС, учитывается в виде запаса IM (дБ) к величине мешающего поля от одной АС в секторе БС сети СПС. Значение данного параметра может определяться статистическим моделированием типовых конфигураций совместной работы сетей вещательных станций и сетей СПС или по аналитическим формулам. При общем подходе к расчету можно рассчитать этот запас по формуле:

$$IM = 10\lg(N) , \text{ дБ}, \quad (7.7)$$

где N – это количество активных элементов сети СПС.

Запас на множественную помеху для абонентских терминалов рассчитывается исходя из предположения, что максимальное число абонентских терминалов в каждом секторе антенны базовой станции, работающих одновременно в режиме передачи, составляет 6. Таким образом, запас на множественную помеху для абонентских терминалов $IM = 7,8$ дБ.

Для определения суммарной напряженности поля помехи в месте приема ТВ сигнала находятся значения напряженности мешающего поля от каждого из передатчиков БС и АС сети СПС в соответствии с формулой 7.3. Затем все полученные значения складываются методом сложения мощностей по формуле:

$$E_{\text{пом сумм}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m 10^{\frac{E_{\text{BC}i}}{10}} + \sum_{i=1}^m 10^{\frac{E_{\text{AC}i} + IM}{10}} \right) \quad (7.8)$$

где

$E_{\text{BC}i}$ – напряженность мешающего поля от i -ого передатчика БС, дБ(мкВ/м);

m – количество передатчиков БС – источников помех (в случае использования нескольких секторных панельных антенн общее количество передатчиков одной БС определяется количеством входящих в состав радиомодулей);

$E_{\text{AC}i}$ – напряженность мешающего поля от i -ого передатчика АС, дБ(мкВ/м);

IM – запас на множественную помеху от АС сети СПС;

$E_{\text{пом сумм}}$ – суммарная напряженность мешающего поля от сети СПС, дБ(мкВ/м).

Найденное значение принимается за суммарную напряженность мешающего поля от сети СПС.

При расчете суммарной помехи учитываются только те помехи от передатчиков БС и АС сети СПС, которые не более чем на 40 дБ ниже уровня максимальной помехи от каждого из передатчиков БС и АС сети СПС.

7.5 Критерии совместимости и алгоритм расчета

Критерии совместимости РЭС телевизионного вещания и сетей СПС должны учитывать необходимость сохранения зон покрытия РЭС аналогового и цифрового ТВ вещания.

Одним из критериев, обеспечивающим выполнение условий ЭМС при защите РЭС телевизионного вещания, является условие неперевышения суммарной напряженности поля помех от РЭС сети СПС с учетом запаса на наличие в радиоканале помех от РЭС других радиослужб относительно полезной напряженности поля РЭС телевизионного вещания:

$$E_{\text{пол}} \geq E_{\text{пом сумм}} + K_{\text{сум}} \quad (7.9)$$

где

$E_{\text{пол}}$ – напряженность полезного поля для РЭС телевизионного вещания, дБ(мкВ/м);

$E_{\text{пом сум}}$ – суммарная напряженность мешающего поля от действующих, имеющих разрешение на использование (получивших положительное заключение экспертизы) и исследуемых РЭС СПС, дБ мкВ/м;

$K_{\text{сум}}$ – коэффициент запаса на суммирование, учитывающий наличие в радиоканале помех от РЭС других радиослужб (в том числе радиовещательной службы), дБ.

Если выполняется неравенство (формула 7.9) в любой из контрольных точек расчета, то радиовещательная РЭС и источник помех сети СПС совместимы.

Для оценки напряженности поля полезного сигнала в ОЧС применяется правило выбора максимального по уровню сигнала из ансамбля полезных сигналов станций, входящих в состав ОЧС.

При расчетах величина коэффициента запаса на суммирование, учитывающего наличие в радиоканале помех от РЭС других радиослужб ($K_{\text{сум}}$), составляет 4,8 дБ. Значение коэффициента запаса соответствует критерию защиты радиовещательных станций, указанному в Соглашении «Женева-06» (п. 4.1.3.2 Соглашения) [28].

Если для сети цифрового вещания заявлено несколько типов приема, проверка условий ЭМС проводится последовательно для каждого из заявленных типов приема. При портативном и мобильном приеме максимальное защитное расстояние между АС сети СПС и приемником ТВ вещания, которое может быть обеспечено на практике, принимается равным 1,5 метра.

Дополнительным критерием ЭМС между РЭС является проверка условия неперевышения порога перегрузки на входе телевизионного приемника в соответствии с п. 4.1 методики. Данная проверка

осуществляется только для сценария использования отдельных полос радиочастот РЭС телевизионного вещания и РЭС сети СПС.

Значения PR применяются до тех пор, пока уровень напряженности поля мешающего сигнала не превысит соответствующий уровень E_{th} . Если уровень напряженности поля мешающего сигнала выше соответствующего уровня E_{th} , то приемник испытывает помехи от мешающего сигнала независимо от отношения сигнала к помехе. Уровень напряженности поля мешающего сигнала i -ой БС сети СПС на входе телевизионного приемника определяется как:

$$E_{\text{меш_БС}} = E_{\text{БС}}(50, 1) + \Delta P_{\text{БС}} + \Delta A_{\text{БС}}, \quad (7.10)$$

где

$E_{\text{меш_БС}}$ – уровень напряженности поля мешающего сигнала БС на входе телевизионного приемника, дБ(мкВ/м);

$E_{\text{БС}}(50, 1)$ – напряженность поля, определяемая для эталонного передатчика БС с ЭИМ=30 дБВт, 50% местоположений и 1% времени приема, дБ(мкВ/м);

$\Delta P_{\text{БС}}$ – эффективная излучаемая мощность БС относительно 1 кВт, дБВт;

$\Delta A_{\text{БС}}$ – поправка, учитывающая пространственную и поляризационную помехозащищенность приемной антенны (применяется только для фиксированного приема), дБ.

Указанная напряженность поля мешающего сигнала определяется при использовании модели потерь на радиотрассе, определенной в п. 5, для расчета величины напряженности поля, которая не превышает более чем в течение 1% времени.

Уровень напряженности поля мешающего сигнала АС сети СПС на входе телевизионного приемника определяется как:

$$E_{\text{меш_АС}} = E_{\text{АС}}(50, 1) + \Delta P_{\text{АС}} + \Delta A_{\text{АС}}, \quad (7.11)$$

где

$E_{\text{меш_АС}}$ – уровень напряженности поля мешающего сигнала АС сети СПС на входе телевизионного приемника, дБ(мкВ/м);

$E_{\text{АС}}(50, 1)$ – напряженность поля, определяемая для эталонного передатчика АС с ЭИМ=30 дБВт, 50% местоположений и 1% времени приема, дБ(мкВ/м);

$\Delta P_{\text{АС}}$ – эффективная излучаемая мощность АС относительно 1 кВт, дБВт;

$\Delta A_{\text{АС}}$ – поправка, учитывающая пространственную и поляризационную помехозащищенность приемной антенны (применяется только для фиксированного приема), дБ.

Указанная напряженность поля мешающего сигнала определяется при использовании модели потерь на радиотрассе, определенной в п. 5, для расчета величины напряженности поля, которая не превышает более чем в течение 1% времени.

Расчет уровня напряженности поля суммарной помехи на входе приемника телевизионного вещания от БС сети СПС производится в соответствии с выражением:

$$E_{\text{меш_БСсум}} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^m 10^{\frac{E_{\text{меш_БС}i}}{10}} \right), \quad (7.12)$$

где

$E_{\text{меш_БС}i}$ – уровень напряженности поля помехи на входе ТВ приемника от i -ой БС сети СПС, дБ;

m – количество БС сети СПС – источников помех;

$E_{\text{меш_БСсум}}$ – уровень напряженности поля суммарной помехи на входе ТВ приемника от БС сети СПС, дБ.

Найденные значения $E_{\text{меш_БСсум}}$ принимаются за суммарную напряженность поля помехи на входе ТВ приемника от БС сети СПС.

Расчет уровня напряженности поля суммарной помехи на входе приемника телевизионного вещания от АС сети СПС производится в соответствии с выражением:

$$E_{\text{меш_АСсум}} = E_{\text{меш_АС}} + IM, \quad (7.13)$$

где

$E_{\text{меш_АС}}$ – уровень напряженности поля помехи на входе ТВ приемника от АС сети СПС, дБ;

IM – запас на множественную помеху от АС сети СПС;

$E_{\text{меш_АСсум}}$ – уровень напряженности поля суммарной помехи на входе ТВ приемника от АС сети СПС, дБ.

Найденные значения $E_{\text{меш_АСсум}}$ принимаются за суммарную напряженность поля помехи на входе ТВ приемника от АС сети СПС.

При расчете суммарной напряженности поля помехи учитывается полный перечень РЭС телевизионного вещания, сформированный в результате отбора потенциальных источников помех.

Проверка условия непревышения порога перегрузки на входе телевизионного приемника осуществляется отдельно для суммарной напряженности поля помехи от БС сети СПС и суммарной напряженности поля помехи от АС сети СПС. Соответствующие значения порогов перегрузки для различных частотных сдвигов между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех приведены в таблицах 4.2 и 4.4.

Условия ЭМС при защите радиовещательной РЭС от источника помех – РЭС сети СПС считаются выполненными, если при проведении проверки обоих критериев (условия непревышения значения используемой напряженности поля относительно полезной напряженности поля РЭС телевизионного вещания и непревышения порога перегрузки на входе телевизионного приемника) соблюдены условия ЭМС. В противном случае условия ЭМС данных РЭС не выполняются.

Расчеты проводятся в пределах зоны покрытия (идеальной зоны) защищаемого РЭС телевизионного вещания, определяемой в соответствии с минимальной используемой напряженностью поля РЭС телевизионного вещания.

Минимальная используемая напряженность поля для РЭС аналогового телевизионного вещания определяется в соответствии с формулой 2.1 (см. п. 2.1).

Минимальная используемая напряженность поля для РЭС цифрового телевизионного вещания определяется в соответствии с формулой 2.13 (см. п. 2.1). Минимальная напряженность поля для РЭС цифрового телевизионного вещания должна соответствовать режиму модуляции и расчетному типу приема (фиксированный, портативный, мобильный).

Если по результатам проведенных расчетов для хотя бы одной контрольной точки (элементарной площадки) в пределах ее зоны покрытия не выполняется критерий ЭМС, считается что условие ЭМС для рассматриваемых источников и рецепторов помех не выполнено. Определение зон покрытия РЭС телевизионного вещания осуществляется в соответствии с утвержденным ГКРЧ методиками [10] и [16].

8 Основные расчеты и определение условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС

Расчет электромагнитной совместимости базовых и абонентских станций сетей СПС (LTE, LTE-A, 5G/IMT-2020) от РЭС сетей цифрового ТВ вещания, работающих в совместных полосах частот, проводится для сценариев воздействия помех от основных и внеполосных излучений передатчиков сетей цифрового ТВ вещания по основным и внеполосным каналам приема приемников базовых и абонентских станций сетей СПС.

Критерием допустимой помехи приемникам является допустимая деградация порогового уровня TD приемников сетей СПС, которая не должна быть превышена для заданного процента времени RT% и пунктов местоположения PL%.

Для сетей СПС, значение допустимой деградации порогового уровня принимается $TD < 1$ дБ, что соответствует выполнению неравенства $I/N < -6$ дБ.

8.1 Расчет напряженности мешающего поля от РЭС телевизионного вещания на РЭС сети СПС

При воздействии помех от основных и внеполосных излучений передатчиков сетей ТВ вещания по основным и внеполосным каналам приема приемников базовых и абонентских станций сетей СПС уровень напряженности поля помехи от передающей станции сети ТВ вещания на входе РЭС сети СПС определяется как:

$$E_{\text{меш_СПС}} = E(90, 10) + \Delta P_{\text{ТВ}} + D_{\text{пол}} - L(\Delta F) - \Delta Z, \text{ дБ(мкВ/м)} \quad (8.1)$$

где

$E(90, 10)$ – напряженность поля, определяемая для эталонного передатчика с ЭИМ=30 дБВт, 90% местоположений и 10% времени приема, дБ(мкВ/м);

$\Delta P_{ТВ}$ – эффективная излучаемая мощность РЭС телевизионного вещания относительно 1 кВт, дБВт;

D_{pol} – поправка, учитывающая поляризационную помехозащищенность приемной антенны БС/АС сети СПС, дБ;

$L(\Delta F)$ – коэффициент ослабления воздействия непреднамеренной помехи за счет частотного разнеса ΔF ;

ΔZ – поправка, учитывающая ослабление радиопомехи за счет применения методов уменьшения помех, дБ.

Эффективная излучаемая мощность РЭС телевизионного вещания относительно 1 кВт определяется как:

$$\Delta P = 10 \lg(P_{Tx_Tv}) + G_{Tx_Tv}, \text{ дБВт} \quad (8.2)$$

где

P_{Tx_Tv} – мощность передатчика РЭС телевизионного вещания, кВт;

G_{Tx_Tv} – коэффициент усиления передающей антенны РЭС телевизионного вещания корректируется в соответствии с азимутальным направлением на заданную расчетную точку, дБд.

В сетях ТВ вещания используются антенны с горизонтальной и вертикальной поляризацией. В сетях СПС широко используются антенны с кросс-поляризацией, то есть двойной $+45^\circ$ и -45° наклонной поляризацией. Согласно отчету МСЭ-R ВТ.2339 [6] поляризационная развязка в этом случае составляет 3 дБ. При расчете поправки D_{pol} в случае мешающего воздействия РЭС телевизионного вещания на приемники БС сети СПС учитывается дополнительное ослабление за счет поляризационной развязки.

В случае абонентского терминала поляризационная развязка между может не обеспечиваться и принимается равной 0.

Точное выражение для коэффициента ослабления воздействия непреднамеренной помехи за счет частотного разнеса ΔF приводится в Рекомендации МСЭ-P SM.337 [27] и имеет следующий вид:

$$L(\Delta F) = -10 \lg \frac{\int_{470}^{862} P(f) |H(f+\Delta F)|^2 df}{\int_{470}^{862} P(f) df}, \quad (8.3)$$

где:

$P(f)$ – спектральная плотность мощности мешающего сигнала (Вт/Гц);

$H(f)$ – эквивалентная амплитудно-частотная характеристика по УПЧ приемника, испытывающего помеху;

ΔF – частотный разнос между приемником, испытывающим помеху, и мешающим передатчиком.

Относительный уровень спектральной плотности мощности внеполосных излучений мешающего сигнала DVB-T2 определяется на основании данных, приведенных в таблице 1.5.

Относительный уровень спектральной плотности мощности внеполосных излучений мешающего аналогового сигнала определяется на основании данных, приведенных в таблицах 1.3, 1.4.

При работе РЭС сети СПС на совпадающих или частично перекрывающихся с каналами ТВ вещания радиочастотных каналах коэффициент ослабления воздействия непреднамеренной помехи за счет частотного разноса ΔF не используется при расчетах $E_{\text{меш_СПС}}$.

Эквивалентная амплитудно-частотная характеристика по УПЧ приемника БС и АС сети СПС, испытывающего помеху, определяется на основании данных, приведенных в таблице 1.10. Дополнительно в таблицах 2.8, 2.9 приведено описание масок характеристик частотной избирательности приемников БС и АС сети СПС LTE в диапазонах частот 700/800 МГц.

В таблицах 8.1 – 8.3 приведены расчетные значения коэффициента ослабления воздействия непреднамеренной помехи за счет частотного разноса для двух вариантов спектральной плотности мощности сигналов РЭС телевизионного вещания стандарта DVB-T2 (для критических и некритических случаев), РЭС аналогового телевизионного вещания и различных вариантов полос частотных каналов в сетях СПС.

Таблица 8.1 – Значения коэффициента ослабления воздействия непреднамеренной помехи за счет частотного разноса со стороны РЭС телевизионного вещания стандарта DVB-T2 для некритического случая, $L(\Delta F)$, дБ

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех, МГц | Ширина полосы канала БС сети СПС | | | Ширина полосы канала АС сети СПС | | |
|--|-------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| | 5 МГц | 10 МГц | 20 МГц | 5 МГц | 10 МГц | 20 МГц |
| 0 | 1.9 | 0 | 0 | 1.9 | 0 | 0 |
| ±1 | 46 | 46 | 43.5 | 34.4 | 33.2 | 33 |
| ±9 | 52.5 | 52.5 | 49.9 | 44.2 | 41.2 | 34.5 |
| ≥ ±17 | 52.5 | 52.5 | 52.5 | 48.5 | 45.5 | 45.5 |

Примечание.
(1) Отрицательное значение сдвига между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех означает, что центральная частота блока БС/АС сети СПС меньше центральной частоты РЭС ТВ вещания.

Таблица 8.2 – Значения коэффициента ослабления воздействия непреднамеренной помехи за счет частотного разноса со стороны РЭС телевизионного вещания стандарта DVB-T2 для критического случая, $L(\Delta F)$, дБ

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех, МГц | Ширина полосы канала БС сети СПС | | | Ширина полосы канала АС сети СПС | | |
|--|-------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| | 5 МГц | 10 МГц | 20 МГц | 5 МГц | 10 МГц | 20 МГц |
| 0 | 1.8 | 0 | 0 | 1.8 | 0 | 0 |
| ±1 | 46 | 46 | 43.5 | 34.4 | 33.2 | 33 |
| ±9 | 52.5 | 52.5 | 50.1 | 44.4 | 41.4 | 34.5 |
| ≥ ±17 | 52.5 | 52.5 | 52.5 | 48.5 | 45.5 | 45.5 |

Примечание.
(1) Отрицательное значение сдвига между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех означает, что центральная частота блока БС/АС сети СПС меньше центральной частоты РЭС ТВ вещания.

Таблица 8.3 – Значения коэффициента ослабления воздействия непреднамеренной помехи за счет частотного разноса со стороны РЭС аналогового телевизионного вещания, $L(\Delta F)$, дБ

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех ⁽¹⁾ , МГц | Ширина полосы канала БС сети СПС | | | Ширина полосы канала АС сети СПС | | |
|--|-------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| | 5 МГц | 10 МГц | 20 МГц | 5 МГц | 10 МГц | 20 МГц |
| ≤ -17 | 52.5 | 52.5 | 52.5 | 48.5 | 45.5 | 45.5 |
| -9 | 52.1 | 52.1 | 48.3 | 42.1 | 39.1 | 35.2 |
| -1 | 40.6 | 40.2 | 39.4 | 33.7 | 32.7 | 32.4 |
| 0 | 4.9 | 0 | 0 | 4.9 | 0 | 0 |
| 1 | 24.6 | 24.6 | 24.5 | 24.2 | 24 | 24 |
| 9 | 52.1 | 52.1 | 50.2 | 44.8 | 41.8 | 35.3 |
| ≥ 17 | 52.5 | 52.5 | 52.5 | 48.5 | 45.5 | 45.5 |

Примечание.
(1) Отрицательное значение сдвига между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех означает, что центральная частота блока БС/АС сети СПС меньше центральной частоты РЭС ТВ вещания.

При расчете помех от станций ТВ вещания на приемники сети СПС на трассе распространения используются модели потерь, определенные в п. 5 методики.

Размещение абонентских терминалов носит случайный характер, но в условиях города, как правило, вблизи абонентов всегда располагаются препятствия, влияющие на уровень воздействующих помеховых сигналов. Для БС характерно размещение как на отдельных высотных антенно-мачтовых сооружениях, так и на крышах зданий.

Расчеты помех на АС сети СПС проводятся для высоты приемной антенны 1,5 м.

При расчете помех на БС сети СПС используется высота приемной антенны $h_{БС}$, указанная в перечне исходных данных о частотных присвоениях РЭС сухопутной подвижной радиослужбы, необходимых для описания модели сетей СПС (см. таблицу 1.9).

8.2 Расчет уровня суммарной помехи на входе приемника РЭС сети СПС

Расчет уровня напряженности поля суммарной помехи на входе приемника БС сети СПС производится в соответствии с выражением:

$$E_{БС\text{сум}} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^m 10^{\frac{E_{БСi}}{10}} \right) \quad (8.4)$$

где

$E_{БСi}$ – уровень напряженности поля помехи на входе приемника БС сети СПС от i -ой передающей станции сети ТВ вещания, дБ(мкВ/м);

m – количество передающих станций ТВ вещания – источников помех;

$E_{БС\text{сум}}$ – уровень напряженности поля суммарной помехи на входе приемника БС сети СПС, дБ(мкВ/м).

Найденные значения $E_{БС\text{сум}}$ принимаются за суммарную напряженность поля помех на входе приемника БС сети СПС.

Расчет уровня напряженности поля суммарной помехи на входе приемника АС сети СПС производится в соответствии с выражением:

$$E_{АС\text{сум}} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^m 10^{\frac{E_{АСi}}{10}} \right), \quad (8.5)$$

где

$E_{АСi}$ – уровень напряженности поля помехи на входе приемника АС сети СПС от i -ой передающей станции сети ТВ вещания, дБ(мкВ/м);

m – количество передающих станций ТВ вещания – источников помех;

$E_{АС\text{сум}}$ – уровень напряженности поля суммарной помехи на входе приемника АС сети СПС, дБ(мкВ/м).

Найденные значения $E_{АС\text{сум}}$ принимаются за суммарную напряженность поля помех на входе приемников АС сети СПС.

При расчете суммарной помехи учитываются только те помехи от РЭС телевизионного вещания, которые не более чем на 20 дБ ниже уровня максимальной помехи от каждого из передатчиков РЭС телевизионного вещания.

8.3 Определение условий обеспечения ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС

При определении помехового воздействия приемнику БС сети СПС от РЭС телевизионного вещания сравнивается уровень напряженности поля суммарной помехи на входе приемника БС сети СПС $E_{БС\text{сум}}$ с максимально допустимой напряженностью поля мешающего сигнала $E_{БС\text{доп}}$, дБ(мкВ/м). При определении помехового воздействия приемнику АС сети СПС от РЭС телевизионного вещания сравнивается уровень напряженности поля суммарной помехи на входе приемника АС сети СПС $E_{АС\text{сум}}$ с максимально допустимой напряженностью поля мешающего сигнала $E_{АС\text{доп}}$, дБ(мкВ/м). Условия ЭМС считаются обеспеченными, если уровни напряженности поля суммарной помехи на входе приемника БС и АС сети СПС не превышают соответствующих уровней допустимой напряженностью поля мешающего сигнала. В противном случае условия обеспечения ЭМС между РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС не выполняются.

Проверка критерия совместимости проводится для каждого места размещения БС и АС сети СПС в пределах зоны покрытия базовых станций. По результатам данной проверки определяется возможность беспомехового функционирования рассматриваемой сети СПС.

При определении условий ЭМС в качестве источников помех учитываются только РЭС телевизионного вещания. Условия внутрисетевой интерференции между отдельными РЭС сети СПС в данной методике не рассматриваются.

9 Организационно-технические мероприятия по уменьшению помех

9.1 Организационно-технические мероприятия по уменьшению помех приему телевизионного вещания

Эффект блокирования телевизионного приемника может наблюдаться у абонентов эфирного вещания, расположенных в непосредственной близости от БС сети СПС (до 500 м) при превышении порогового уровня на входе приемника вне зависимости от частотной расстройки и уровня телевизионного сигнала в месте приема. Комплексным решением проблемы блокировки телевизионного приемника является расположение базовых станций на достаточном удалении от мест приема наземного ТВ вещания. Экспериментальные исследования показывают, что на практике необходимый пространственный разнос в большинстве случаев находится в диапазоне от 100 до 250 м, в зависимости от параметров БС сети СПС, условий приема ТВ вещания и механизмов распространения помехового сигнала в условиях реальной обстановки местности.

Применение фильтров на передающей стороне (источник помех – РЭС сети СПС) и/или на приемной стороне (телевизионные приемники) является одним из эффективных способов для недопущения создания непреднамеренных помех приему в смежных полосах частот.

Основным методом уменьшения уровня помех приему ТВ вещания является установка диапазонного режекторного фильтра с высоким коэффициентом подавления в полосе заграждения, обеспечивающего ослабление помехового сигнала БС сети СПС, работающих в смежных полосах радиочастот. Обычно их включают непосредственно на выходе приемной эфирной антенны в целях защиты от возможной межсигнальной интерференции. Улучшение избирательности ТВ приемников по соседним каналам (коэффициент ACS) в полосе частот 694-790 / 694-862 МГц может быть обеспечено установкой фильтров в антенно-фидерный тракт ТВ

приемника, заменой имеющихся у абонентов антенн на модели со встроенным фильтром или заменой ТВ приемников на новые модели, специально адаптированные к использованию полосы радиочастот 694-790 МГц / 791-862 МГц сетями СПС. Негативным последствием включения фильтра в антенно-фидерный тракт приемника ТВ вещания является привнесение дополнительных энергетических потерь, что может сказаться на качестве приема, особенно вблизи границы зоны обслуживания РЭС телевизионного вещания.

Дополнительное ослабление помехового сигнала также может быть достигнуто введением дополнительной фильтрации внеполосных излучений в передающем тракте БС сети СПС. Результаты измерений уровней внеполосных излучений передатчиков БС стандарта LTE/LTE-A подтверждают практическую возможность снижения нормированного уровня более чем на 20 дБ.

Блокировка телевизионного приемника может происходить также и в случае размещения активных абонентских терминалов вблизи мест приема ТВ сигнала. В пункте 1.3 было отмечено, что при расстоянии разнесения менее 20 м в рассматриваемом сценарии условия ЭМС улучшаются за счет ослабления диаграммы направленности фиксированной приемной антенны в вертикальной плоскости. При расстоянии разнесения более 20 м дополнительное ослабление помехового сигнала АС сети СПС обеспечивается также установкой диапазонного режекторного фильтра. Улучшение коэффициента ACLR абонентских станций СПС аппаратными средствами трудно реализуемо и в практических условиях может быть обеспечено за счет изменения режимов работы управляющей системы БС сети СПС специальным образом, чтобы ограничить воздействие помех.

Коэффициент ACLR является характеристикой передатчика и определяет отношение его средней мощности в основном канале к его средней мощности в смежном канале (на выходе фильтра приемника с прямоугольной характеристикой). Используемые значения ACLR для

определения защитных отношений при помеховом воздействии РЭС сетей СПС на приемники телевизионного вещания приведены в Таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Использованные значения ACLR для определения защитных отношений

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех, МГц | ACLR ₀ , дБ АС сети СПС | ACLR ₀ , дБ БС сети СПС |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| ±1 | 31 | 60 |
| ±9 | 32,2 | 88 |
| ≥ ±17 | 88 | 88 |

В случае, если внеполосные излучения от РЭС сети СПС (коэффициент ACLR) или селективность телевизионного приемника (коэффициент ACS) отличаются от расчетных величин, использованных при получении защитных отношений в Таблице 9.1, необходим пересчет защитных отношений для уточненных параметров. Для этого вначале для сдвига частоты Δf рассчитывается селективность телевизионного приемника по соседнему каналу (коэффициент ACS) с использованием измеренного защитного отношения при частотном сдвиге $PR(\Delta f)$, защитного отношения для совмещенного канала PR_0 и величины $ACLR_0$, для которой было определено защитное отношение PR_0 :

$$ACS(\Delta f) = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{PR_0 - PR(\Delta f)}{10}} + 10^{-\frac{ACLR_0}{10}} \right) \quad (9.1)$$

Значения PR_0 для совмещенного канала, соответствуют величине защитного отношения для БС/АС LTE, приведенных в Таблицах 4.2 и 4.4.

Затем полученное значение $ACS(\Delta f)$ используется для определения соответствующих защитных отношений по соседним каналам. С учетом дополнительной фильтрации в приемниках телевизионного вещания значение ACS может быть увеличено на величину 20..30 дБ, в зависимости от характеристик (глубина режекции) применяемых фильтров. Улучшение

характеристик селективности может быть реализовано как на уровне разработчика при выпуске новых моделей, так и путем установки внешних фильтров на входе телевизионного приемника. Например, в соответствии с требованиями Европейского института телекоммуникационных стандартов ETSI, селективность ТВ приемников должна быть улучшена с 60 до 80 дБ. В этом случае также потребуется пересчет защитных отношений.

Итоговое защитное отношение, $PR'(\Delta f)$, зависит от коэффициентов ACS и ACLR при частотном сдвиге (Δf), $ACLR'$:

$$PR'(\Delta f) = PR_0 + 10 \log_{10} \left(10^{\frac{-ACS}{10}} + 10^{\frac{-ACLR'}{10}} \right) \quad (9.2)$$

Как видно из формулы 1.8, для существенного улучшения условий ЭМС ТВ вещания и сетей LTE по соседним каналам необходимо одновременное снижение уровня нежелательных излучений станциями LTE и значительное улучшение селективности ТВ приемников, т.е. увеличение коэффициентов ACLR и ACS соответственно.

Пересчитанные величины защитных отношений используются при расчете напряженности мешающего поля от РЭС сети СПС на РЭС телевизионного вещания в формуле 7.3.

В качестве ограничений по маске излучений абонентских терминалов в полосах частот ниже 694 МГц (для сценариев использования РЭС сетей СПС в полосах частот 694-790 и 791-862 МГц) необходимо введение ограничений уровня внеполосных излучений на частотах ниже 694 МГц. В настоящий момент в Рекомендацию МСЭ-R М.2090 включены компромиссные величины -25 дБм / 8 МГц и -42 дБм / 8 МГц, не обеспечивающие устранения помех в большинстве случаев. Для сокращения числа затронутых помехой домохозяйств целесообразно рекомендовать величину подавления до уровня -52 дБм / 8 МГц или -56 дБм / 8 МГц. Данное ограничение может быть достигнуто, например, выключением нескольких ресурсных блоков, расположенных вблизи границы используемого частотного блока, и

применения дополнительной фильтрации для снижения уровня внеполосных излучений абонентских терминалов.

В таблице 9.1 приведены пересчитанные защитные отношения PR [14] для случая помехи от АС сети СПС приёму программ наземного цифрового ТВ вещания системы DVB-T2 (64-QAM 4/5), а в таблице 9.2 пересчитанные защитные отношения PR для случая помехи от АС сети СПС приёму программ аналогового телевизионного вещания. Пересчет защитных отношений проведен для различных предельных уровней нежелательных излучений от одиночного терминала подвижной связи, работающего в диапазонах частот 700 МГц и 800 МГц, в полосу частот ТВ сигнала. Кроме того, проведен расчет влияния улучшения селективности ТВ приемников по отношению к существующим величинам за счет установки дополнительных фильтров на вход тюнера или иных мер, соответствующий подавлению сигналов в полосе АС сети СПС на некоторую величину.

Таблица 9.1 – Пересчитанные защитные отношения PR для ТВ вещания системы DVB-T2 (64-QAM 4/5) при помехе со стороны абонентских терминалов сети СПС

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех, МГц | Исходное защитное отношение PR, дБ | Пересчитанное защитное отношение PR, дБ без улучшения селективности ТВ приемника, для предела излучений АС сети СПС, дБм/8 МГц | | | | |
|--|------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | -25 | -36 | -42 | -52 | -56 |
| 1 | -7.6 | -20.6 | -21.0 | -21.1 | -21.1 | -21.1 |
| 9 | -14.6 | -26.1 | -27.9 | -28.0 | -28.1 | -28.1 |
| 17 | -29.6 | -27.1 | -29.3 | -29.5 | -29.6 | -29.6 |
| 25 | -38.6 | -30.0 | -36.8 | -38.1 | -38.5 | -38.6 |
| 33 | -39.6 | -30.1 | -37.5 | -39.0 | -39.5 | -39.6 |
| 41 | -41.6 | -30.3 | -38.6 | -40.6 | -41.5 | -41.6 |
| 49 | -43.6 | -30.4 | -39.5 | -42.2 | -43.4 | -43.5 |
| 57 | -44.6 | -30.4 | -39.8 | -42.8 | -44.4 | -44.5 |
| ≥65 | -45.6 | -30.5 | -40.1 | -43.5 | -45.3 | -45.5 |
| | | С дополнительным подавлением сигналов в полосе частот АС сети СПС на 30 дБ | | | | |
| | | -25 | -36 | -42 | -52 | -56 |
| 1 | -7.6 | -30.6 | -41.1 | -46.0 | -50.2 | -50.7 |
| 9 | -14.6 | -30.6 | -41.5 | -47.2 | -54.8 | -56.5 |
| 17 | -29.6 | -30.6 | -41.5 | -47.3 | -55.5 | -57.5 |
| 25 | -38.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.3 | -60.8 |
| 33 | -39.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.3 | -61.0 |
| 41 | -41.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.4 | -61.2 |
| 49 | -43.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.5 | -61.3 |
| 57 | -44.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.5 | -61.4 |
| ≥65 | -45.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.5 | -61.4 |
| | | С дополнительным подавлением сигналов в полосе частот АС сети СПС на 40 дБ | | | | |
| | | -25 | -36 | -42 | -52 | -56 |
| 1 | -7.6 | -30.6 | -41.6 | -47.4 | -56.0 | -58.3 |
| 9 | -14.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.2 | -60.7 |
| 17 | -29.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.3 | -61.0 |
| 25 | -38.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.6 | -61.5 |
| 33 | -39.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.6 | -61.5 |
| 41 | -41.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.6 | -61.6 |
| 49 | -43.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.6 | -61.6 |
| 57 | -44.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.6 | -61.6 |
| ≥65 | -45.6 | -30.6 | -41.6 | -47.6 | -57.6 | -61.6 |

Таблица 9.2 – Пересчитанные защитные отношения PR для аналогового ТВ вещания при помехе со стороны абонентских терминалов сети СПС

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и приемника помех, МГц | Исходное защитное отношение PR, дБ | Пересчитанное защитное отношение PR, дБ без улучшения селективности ТВ приемника, для предела излучений АС сети СПС, дБм/8 МГц | | | | |
|--|------------------------------------|--|------------|------------|------------|------------|
| | | -25 | -36 | -42 | -52 | -56 |
| 1 | 21.4 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 |
| 9 | -4.6 | -4.6 | -4.6 | -4.6 | -4.6 | -4.6 |
| 17 | -19.6 | -8.2 | -16.5 | -18.6 | -19.5 | -19.6 |
| 25 | -28.6 | -8.5 | -19.0 | -23.8 | -27.8 | -28.3 |
| 33 | -29.6 | -8.5 | -19.1 | -24.1 | -28.7 | -29.2 |
| 41 | -31.6 | -8.5 | -19.2 | -24.6 | -30.2 | -31.0 |
| 49 | -33.6 | -8.5 | -19.3 | -24.9 | -31.5 | -32.7 |
| 57 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 |
| 65 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.4 |
| ≥73 | -33.6 | -8.5 | -19.3 | -24.9 | -31.5 | -32.7 |
| | | С дополнительным подавлением сигналов в полосе частот АС сети СПС на 30 дБ | | | | |
| | | -25 | -36 | -42 | -52 | -56 |
| 1 | 21.4 | -6.0 | -9.1 | -9.4 | -9.5 | -9.5 |
| 9 | -4.6 | -8.5 | -19.4 | -25.0 | -32.0 | -33.4 |
| 17 | -19.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.3 | -39.1 |
| 25 | -28.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.4 |
| 33 | -29.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 41 | -31.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 49 | -33.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 57 | 11.4 | -8.1 | -16.0 | -17.8 | -18.5 | -18.6 |
| 65 | 11.4 | -8.1 | -16.0 | -17.8 | -18.5 | -18.6 |
| ≥73 | -33.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| | | С дополнительным подавлением сигналов в полосе частот АС сети СПС на 40 дБ | | | | |
| | | -25 | -36 | -42 | -52 | -56 |
| 1 | 21.4 | -8.2 | -16.5 | -18.6 | -19.4 | -19.5 |
| 9 | -4.6 | -8.5 | -19.5 | -25.4 | -35.0 | -38.3 |
| 17 | -19.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 25 | -28.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 33 | -29.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 41 | -31.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 49 | -33.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |
| 57 | 11.4 | -8.5 | -19.0 | -23.8 | -27.8 | -28.3 |
| 65 | 11.4 | -8.5 | -19.0 | -23.8 | -27.8 | -28.3 |
| ≥73 | -33.6 | -8.5 | -19.5 | -25.5 | -35.5 | -39.5 |

Дополнительным методом обеспечения беспомехового приема может являться использование направленных свойств приемной антенны абонентского ТВ приемника за счет многослойности и синхронности построенной сети телевизионного вещания (в большинстве точек на границах зон обслуживания телевизионных передатчиков DVB-T2 прием телевизионного сигнала возможен от различных РЭС, что позволяет переориентировать приемную ТВ антенну и ослабить помеховое воздействие на входе приемника). Данный подход может применяться для сценариев использования РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС в совместных и смежных полосах частот.

Возможность и степень поражения абонентских приемников ТВ вещания должна определяться на стадии проектирования конкретных БС сети СПС.

На основании указанной информации на стадии проектирования для оператора сотовой связи должен быть определен перечень и объем мероприятий, направленных на устранение помех эфирному телевидению. Необходимо иметь в виду, что наличие у абонентов эфирного телевизионного вещания широкого спектра приемного оборудования (в том числе высокоэффективных приемных антенн, а также антенн, оснащенных высокочувствительными широкополосными усилителями) не исключает возникновения непрогнозируемых случаев поражения приема. Устранение подобных ситуаций возможно только в индивидуальном порядке с заменой проблемных элементов приемного тракта. Кроме того, практически не прогнозируется поражение приема сигналов телевизионного вещания излучением абонентских терминалов расположенных в непосредственной близости от приемного телевизионного оборудования.

Другим методом уменьшения помех является введение ограничений излучения в заданном секторе антенной системы БС сети СПС в направлении размещения приемников ТВ вещания, т.е. уменьшения ЭИИМ. В случае применения антенн типа АФАР ограничения в заданном секторе могут быть

достигнуты с использованием программно-аппаратных средств для формирования необходимой диаграммы направленности в рабочей полосе частот. Изменение величины и / или фазы сигнала на отдельных антенных элементах формирует излучение в заданных направлениях. При этом алгоритмы обработки сигналов предоставляют возможность увеличения коэффициента усиления за счет сложения волн в направлении предполагаемого передатчика / приемника и ослабления излучения в направлении как источников, так и рецепторов помех (приемных установок). Ввиду отсутствия конкретных типов оборудования для диапазона радиочастот меньше 1 ГГц, возможность практической реализации ограничений излучения в заданном секторе для данного типа антенн в настоящее время сложно оценить.

Кроме того, существующими международными документами не предусмотрена согласованная методология расчета побочных лепестков излучения и диаграмм направленности для программно-формируемых антенн, отсутствуют сведения программных и аппаратных средствах для управления электрически формируемой диаграммой направленности для частотных диапазонов ниже 1 ГГц.

По этим причинам в рамках данной методики не предполагается возможность наложения регуляторных ограничений на динамические или статические диаграммы направленности активных антенных решеток (АФАР) для диапазонов частот ниже 1 ГГц.

Приведенные методы снижения помех могут применяться как по отдельности, так и в сочетании друг с другом.

В качестве альтернативы проведению мероприятий по ограничению уровня помех, по результатам проведения расчетов могут быть сформированы ограничения на максимальный уровень мощности БС и абонентских терминалов сети СПС в районах со слабым уровнем ТВ сигнала, или предписаны иные методы по ограничению мешающего влияния от РЭС сети СПС, например, касающиеся адаптации топологии сетей СПС для

сокращения мощности передатчика или ЭИИМ РЭС сети СПС в районах со слабым уровнем ТВ сигнала или особые настройки режимов работы РЭС сетей СПС, при поддержке соответствующих настроек оборудованием.

9.2 Организационно-технические мероприятия по уменьшению помех на РЭС сети СПС

При использовании РЭС телевизионного вещания и РЭС сетей СПС в совмещенных и пересекающихся полосах частот пространственное разнесение и выбор места расположения РЭС является одним из эффективных методов минимизации возможных помех.

Другим способом снижения уровня помех базовым станциям сети СПС может быть использование направленных секторных антенн с узкими диаграммами направленности. В секторе такой направленной антенны передача и прием сигнала осуществляется преимущественно в одном направлении, при этом уровень излучения по остальным направлениям также сокращается до минимума. Однако, это может привести к нежелательному сокращению зоны обслуживания БС сети СПС.

Применение интеллектуальных антенных систем на БС сети СПС сочетает многочисленные элементы антенны и возможность обработки сигналов в целях автоматической оптимизации диаграммы направленности излучения и/или приема в зависимости от среды сигнала. Выгода от использования интеллектуальных антенн в отношении совместного использования частот обусловлена тем, что энергия, излучаемая антенными решетками, ниже по сравнению с обыкновенными антеннами при той же ЭИИМ и сосредоточена в ограниченных конкретных областях соты, а не в широких секторах. При соответствующей ориентации диаграммы направленности антенной системы снижается уровень помех как на приемники РЭС телевизионного вещания, так и на приемники БС сети СПС со стороны РЭС радиовещательных сетей.

Основным методом уменьшения уровня помех приемникам РЭС сети СПС является применение дополнительной фильтрации внеполосных излучений в передающем тракте БС сети СПС с коэффициентом подавления, обеспечивающего ослабление помехового сигнала РЭС телевизионного вещания, работающих в смежных полосах радиочастот. Результаты измерений уровней внеполосных излучений передатчиков БС стандарта LTE/LTE-A подтверждают практическую возможность снижения нормированного уровня более чем на 20 дБ.

В таблице 9.3 приведены расчетные значения поправки ΔZ , учитывающей ослабление радиопомехи со стороны РЭС телевизионного вещания стандарта DVB-T2 для критических и некритических случаев, за счет применения дополнительной фильтрации в приемниках РЭС сети СПС и различных вариантов улучшенных амплитудно-частотных характеристик приемников РЭС сетей СПС (5, 10 и 20 МГц).

Рекомендованные в ходе проведения экспертизы о возможности использования заявленных радиоэлектронных средств организационно-технические мероприятия по уменьшению помех должны быть отражены в разрешении на использование радиочастот.

Таблица 9.3 – Значения поправки, учитывающей ослабление радиопомехи со стороны РЭС телевизионного вещания стандарта DVB-T2 для критических и некритических случаев, за счет применения дополнительной фильтрации в приемниках РЭС сети СПС, ΔZ , дБ

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех, МГц | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника БС сети СПС | | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника АС сети СПС | |
|--|---|-------|---|-------|
| | 20 дБ | 30 дБ | 10 дБ | 20 дБ |
| ± 1 | 20 | 30 | 10 | 20 |
| ± 9 | 20 | 30 | 10 | 20 |
| $\geq \pm 17 $ | 20 | 30 | 10 | 20 |

Примечание.
 (1) Отрицательное значение сдвига между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех означает, что центральная частота блока БС/АС сети СПС меньше центральной частоты РЭС ТВ вещания.

В таблицах 9.4-9.6 приведены расчетные значения поправки ΔZ , учитывающей ослабление радиопомехи со стороны РЭС аналогового телевизионного вещания, за счет применения дополнительной фильтрации в приемниках РЭС сети СПС, и различных вариантов улучшенных амплитудно-частотных характеристик приемников РЭС сетей СПС.

Таблица 9.4 – Значения поправки, учитывающей ослабление радиопомехи со стороны РЭС аналогового телевизионного вещания, за счет применения дополнительной фильтрации в приемниках РЭС сети СПС (5 МГц), ΔZ , дБ

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех, МГц | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника БС сети СПС | | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника АС сети СПС | |
|--|---|-------|---|-------|
| | 20 дБ | 30 дБ | 10 дБ | 20 дБ |
| ≤ -17 | 19.2 | 25.2 | 10 | 19.7 |
| -9 | 10.7 | 11.1 | 9.7 | 17.6 |
| -1 | 1.4 | 1.4 | 6.3 | 8.1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 10.7 | 11.1 | 9.4 | 16.2 |
| ≥ 17 | 19.2 | 25.2 | 10 | 19.7 |

Примечание.
 (1) Отрицательное значение сдвига между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех означает, что центральная частота блока БС/АС сети СПС меньше центральной частоты РЭС ТВ вещания.

Таблица 9.5 – Значения поправки, учитывающей ослабление радиопомехи со стороны РЭС аналогового телевизионного вещания, за счет применения дополнительной фильтрации в приемниках РЭС сети СПС (10 МГц), ΔZ , дБ

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех, МГц | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника БС сети СПС | | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника АС сети СПС | |
|--|---|-------|---|-------|
| | 20 дБ | 30 дБ | 10 дБ | 20 дБ |
| ≤ -17 | 18.5 | 23 | 10 | 19.7 |
| -9 | 10.6 | 11 | 9.9 | 18.6 |
| -1 | 1 | 1.4 | 6.6 | 8.6 |
| 1 | 0 | 0 | 0.5 | 0.6 |
| 9 | 10.6 | 11 | 9.7 | 17.6 |
| ≥ 17 | 18.5 | 23 | 10 | 19.7 |

Примечание.
 (1) Отрицательное значение сдвига между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех означает, что центральная частота блока БС/АС сети СПС меньше центральной частоты РЭС ТВ вещания.

Таблица 9.6 – Значения поправки, учитывающей ослабление радиопомехи со стороны РЭС аналогового телевизионного вещания, за счет применения дополнительной фильтрации в приемниках РЭС сети СПС (20 МГц), ΔZ , дБ

| Сдвиг между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех, МГц | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника БС сети СПС | | Улучшение характеристик частотной избирательности приемника АС сети СПС | |
|--|---|-------|---|-------|
| | 20 дБ | 30 дБ | 10 дБ | 20 дБ |
| ≤ -17 | 17.4 | 20.5 | 9.9 | 19.4 |
| -9 | 13.6 | 14.5 | 9.9 | 19.3 |
| -1 | 2.1 | 2.2 | 6.8 | 8.9 |
| 1 | 0 | 0 | 0.6 | 0.6 |
| 9 | 12 | 12.7 | 9.9 | 19.3 |
| ≥ 17 | 17.4 | 20.5 | 9.8 | 19.3 |

Примечание.
 (1) Отрицательное значение сдвига между ближайшими граничными частотами источника и рецептора помех означает, что центральная частота блока БС/АС сети СПС меньше центральной частоты РЭС ТВ вещания.

10 Алгоритм и инструкция практического использования Методики

На первом этапе задаются ТТХ и технические параметры источников и рецепторов помех, выполняется их обработка и определяются допустимые уровни помех на входе приемника рецептора помех в соответствии с определенным сценарием помехового воздействия. Затем для каждой станции сети источника помех задаются технические характеристики, рассчитываются величины ожидаемых помех на входе приемника рецептора помех и сравнивают их с допустимыми значениями. Если ожидаемые уровни помех, создаваемые станциями источника помех, не превышают допустимые значения, то принимается решение о выполнении условий ЭМС источника и рецептора помех в целом. Если хотя бы для одной станции источника помех указанные условия не выполняются, то делается вывод о невыполнении условий ЭМС.

Алгоритм расчета и пошаговая инструкция практического использования Методики для сценария помехового воздействия со стороны РЭС сетей СПС на радиовещательную службу:

1. Формирование перечня РЭС телевизионного вещания для определения мест размещения приемников ТВ вещания – рецепторов помех ($i=0..I$).
2. Отбор РЭС сети СПС – потенциальных источников помех, в соответствии с частотным и пространственным критериями ($n=0..N$) (таблица 6.1).
3. Расчет зон покрытия для РЭС сети СПС и РЭС телевизионного вещания.
4. Формирование списка контрольных точек ($j=0..J$). Контрольные точки соответствуют местам приема телевизионного вещания и размещаются в зоне покрытия РЭС телевизионного вещания, в том числе на границе зоны или в ее пределах.

5. Определение мест размещения ассоциированных с БС сети СПС абонентских терминалов. В случае пересечения зон покрытия БС сети СПС и РЭС телевизионного вещания, АС сети СПС размещается на расстоянии 20 м от места приема ТВ вещания с наименьшим значением напряженности полезного поля для РЭС телевизионного вещания в пределах пересечения. В остальных случаях АС сети СПС размещается на границе зоны покрытия БС в ближайшей к месту размещения ТВ приемника точке.
6. Расчет уровня напряженности поля мешающего сигнала АС сети СПС ($E_{\text{меш_АС}}$) на входе телевизионного приемника в j -ой контрольной точке зоны покрытия РЭС телевизионного вещания (формула 7.11).
7. Расчет уровня напряженности поля мешающего сигнала от n -ого передатчика БС сети СПС ($E_{\text{меш_БС}}$) на входе телевизионного приемника в j -ой контрольной точке зоны покрытия РЭС телевизионного вещания (формула 7.10).
8. Расчет уровня напряженности поля суммарной помехи от БС сети СПС ($E_{\text{меш_БСсум}}$) на входе телевизионного приемника в j -ой контрольной точке зоны покрытия РЭС телевизионного вещания (формула 7.12).
9. Расчет уровня напряженности поля суммарной помехи от АС сети СПС ($E_{\text{меш_АСсум}}$) на входе приемника телевизионного вещания (формула 7.13).
10. Проверка условия непревышения порога перегрузки на входе телевизионного приемника отдельно для суммарной помехи от БС и АС сети СПС (формула 4.1, таблицы 4.2, 4.4).
11. Расчет полезной напряженности поля ($E_{\text{пол}}$) для i -ого РЭС телевизионного вещания в j -ой контрольной точке зоны покрытия РЭС телевизионного вещания (формула 7.1).
12. Расчет напряженности мешающего поля ($E_{\text{меш}}$) от АС сети СПС в контрольной точке (формулы 7.3, 7.5).
13. Расчет напряженности мешающего поля ($E_{\text{меш}}$) от n -ого передатчика БС сети СПС в контрольной точке (формулы 7.3, 7.4).

14. Расчет суммарной напряженности мешающего поля ($E_{пом\ сумм}$) от всех БС и АС сети СПС (формула 7.8) с учетом запаса на множественную помеху (формула 7.7).
15. Проверка условия непревышения суммарной напряженности поля помех от РЭС сети СПС с учетом запаса на наличие в радиоканале помех от РЭС других радиослужб относительно полезной напряженности поля РЭС телевизионного вещания (формула 7.9).
16. Если по результатам проверки условий п. 10 и п. 15 условия ЭМС соблюдены, повторяются действия пунктов 5–15 в следующей контрольной точке зоны покрытия i -ого РЭС телевизионного вещания. В случае пересечения зон покрытия БС сети СПС и РЭС телевизионного вещания, расчеты проводятся для одной контрольной точки (переход к п. 17).
17. Повторение действий пунктов 2–16 для остальных отобранных РЭС телевизионного вещания ($i=0..I$).
18. Если условия ЭМС не выполняются, формируется перечень организационно-технических мероприятий по уменьшению помех приему телевизионного вещания (п. 9.1 Методики). После чего осуществляется повторение действий пунктов 6–17.
19. Результаты расчета выводятся на экран и записываются в специальный файл.

Расчеты проводятся в пределах зоны покрытия (идеальной зоны) защищаемого РЭС телевизионного вещания. Если по результатам проведенных расчетов для хотя бы одной контрольной точки (элементарной площадки) в пределах ее зоны покрытия не выполняется критерий ЭМС, считается что условие ЭМС для рассматриваемых источников и рецепторов помех не выполнено. Рекомендуемый размер элементарных площадок (и соответствующий шаг расчета) составляет не более 10 метров в случае наличия информации о клаттерных объектах (застройка, лесные массивы и пр.) и 100 метров в остальных случаях.

Для проведения корректной оценки условий ЭМС при защите радиовещательных станций расчетные контрольные точки (места размещения ТВ приемников) размещаются не ближе, чем значение L_{\min} , от БС сети СПС. Значение минимального расстояния разнесения от мест приема эфирного ТВ вещания (L_{\min} , м) рекомендуется указывать в пояснительной записке к проекту частотно-территориального плана РЭС сети СПС.

Блок-схема алгоритма расчета и определение условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС сетей СПС на радиовещательную службу приведена на рисунке 10.1.

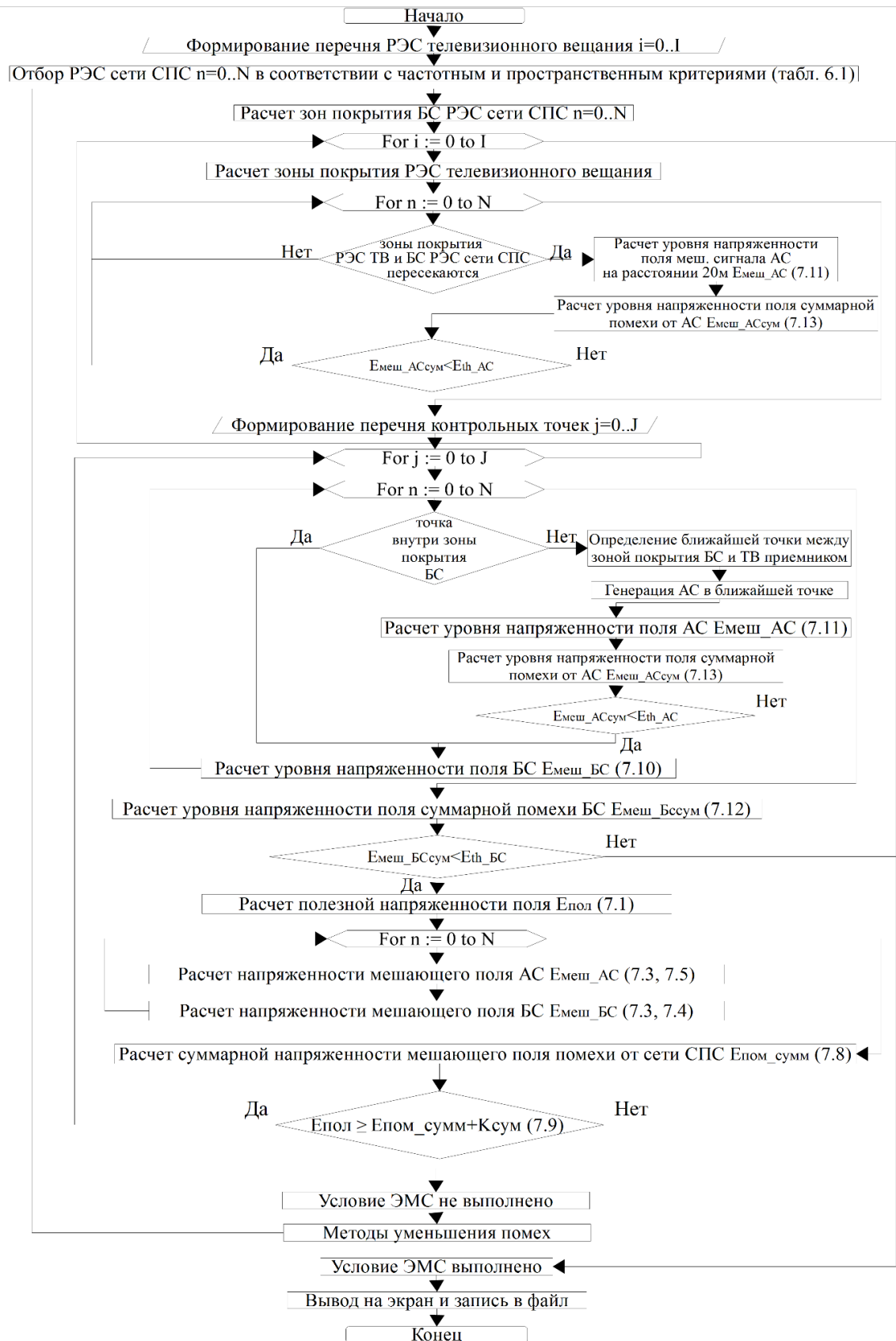


Рисунок 10.1 – Блок-схема алгоритма расчета и определение условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС сетей СПС на радиовещательную службу

Алгоритм расчета и пошаговая инструкция практического использования Методики для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС:

1. Формирование перечня БС сети СПС – рецепторов помех ($i=0..I$).
2. Отбор РЭС телевизионного вещания – потенциальных источников помех, в соответствии с частотным и пространственным критериями (таблица 6.1).
3. Расчет зон покрытия БС сети СПС с использованием расширенной модели Хата.
4. Определение максимально допустимой напряженности поля мешающего сигнала ($E_{БСдоп}$) от РЭС телевизионного вещания на входе приемника БС сети СПС (формула 4.4).
5. Определение максимально допустимой напряженности поля мешающего сигнала ($E_{АСдоп}$) от РЭС телевизионного вещания на входе приемника АС сети СПС (формула 4.4).
6. Расчет уровня напряженности поля помехи ($E_{БС}$) от k -ой передающей станции ТВ вещания на входе i -ой БС сети СПС (формула 8.1).
7. Расчет уровня напряженности поля суммарных помех ($E_{БСсум}$) для всех отобранных передающих станций ТВ вещания на входе i -ой БС сети СПС (формула 8.4).
8. Формирование списка контрольных точек ($j=0..J$). Контрольные точки соответствуют АС сети СПС и размещаются в зоне покрытия БС сети СПС, в том числе на границе зоны или в ее пределах.
9. Расчет уровня напряженности поля помехи ($E_{АС}$) от k -ой передающей станции ТВ вещания на входе i -ой АС сети СПС в j -ой контрольной точке зоны покрытия БС сети СПС (формула 8.1).
10. Расчет уровня напряженности поля суммарных помех ($E_{АСсум}$) для всех отобранных передающих станций ТВ вещания на входе АС сети СПС в j -ой контрольной точке зоны покрытия БС сети СПС (формула 8.5).

11. Проверка условия обеспечения ЭМС РЭС сети СПС с РЭС телевизионного вещания – не превышение максимально допустимой напряженности поля мешающего сигнала от РЭС телевизионного вещания на входе приемников БС и АС сети СПС (таблица 4.5). При проведении проверки используются минимальные значения $E_{БСдоп}$ и $E_{АСдоп}$.
12. Если условия ЭМС соблюдены (пункт 11), повторяются действия пунктов 8-11 в следующей контрольной точке зоны покрытия БС сети СПС, включая проверку условия обеспечения ЭМС АС сети СПС с РЭС телевизионного вещания.
13. Повторение действий пунктов 3–12 для остальных РЭС сети СПС из сформированного перечня.
14. Если условия ЭМС не выполняются, формируется перечень организационно-технических мероприятий по уменьшению помех на РЭС сети СПС и определяется значение соответствующей поправки ΔZ , учитывающей ослабление радиопомехи за счет применения методов уменьшения помех (п. 9.2 Методики). После чего осуществляется повторение действий пунктов 3–13.
15. Результаты расчета выводятся на экран и записываются в специальный файл.

Расчеты проводятся в пределах зоны покрытия защищаемых БС сети СПС. Если по результатам проведенных расчетов для хотя бы одной контрольной точки (элементарной площадки) в пределах ее зоны покрытия не выполняется критерий ЭМС, считается что условие ЭМС для рассматриваемых источников и рецепторов помех не выполнено. Рекомендуемый размер элементарных площадок (и соответствующий шаг расчета) составляет не более 10 метров в случае наличия информации о клаттерных объектах (застройка, лесные массивы и пр.) и 100 метров в остальных случаях.

Блок-схема алгоритма расчета и определение условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС приведена на рисунке 10.2.

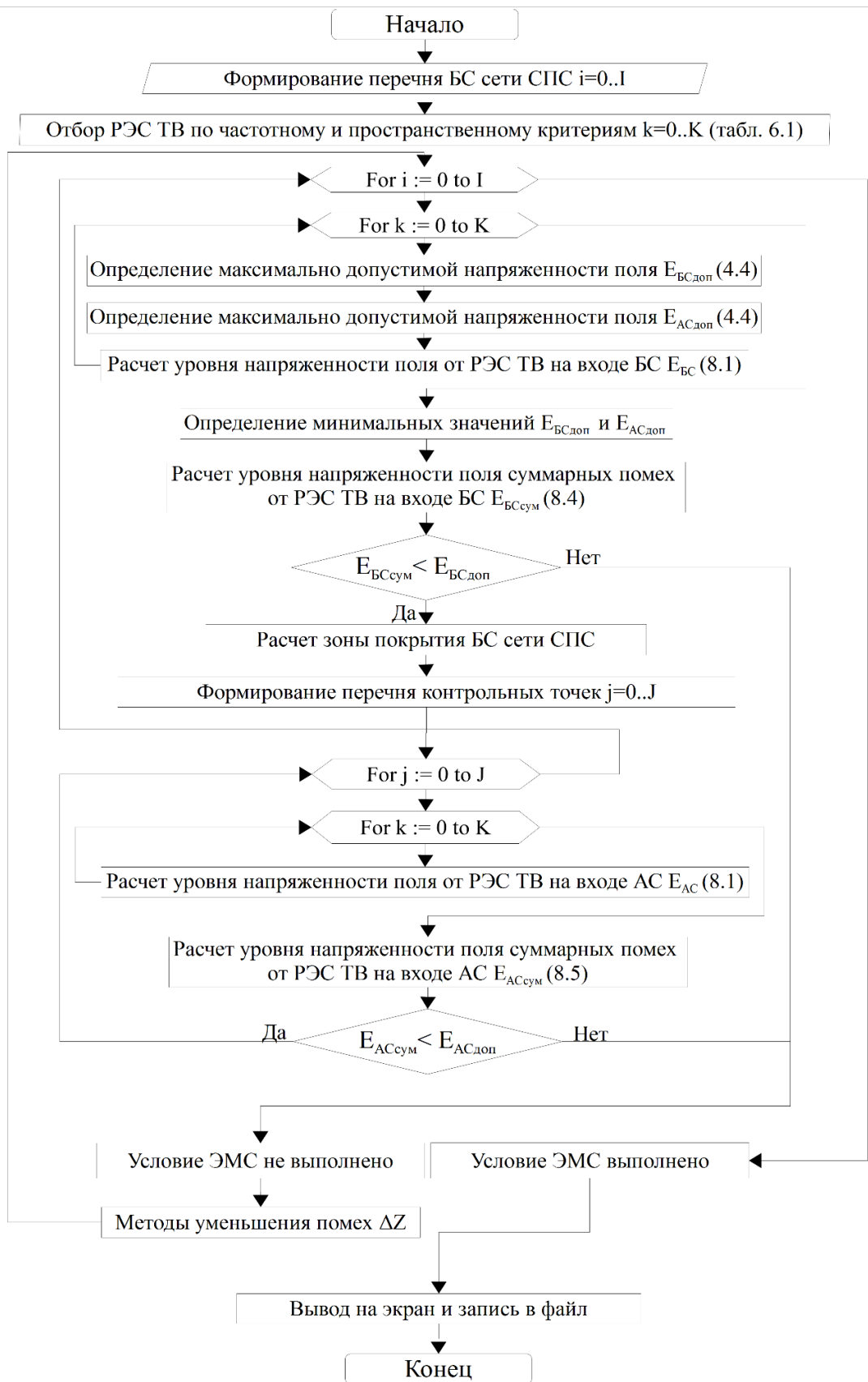


Рисунок 10.2 – Блок-схема алгоритма расчета и определения условий ЭМС для сценария помехового воздействия со стороны РЭС телевизионного вещания на РЭС сетей СПС

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 24375-80 «Радиосвязь. Термины и определения».
2. ГОСТ Р 52210-2004 «Телевидение вещательное цифровое. Термины и определения».
3. Решение ГКРЧ от 16 марта 2012 года № 12-14-07 «Об использовании радиоэлектронными средствами цифрового эфирного телевизионного вещания стандарта DVB-T2 полос радиочастот 174 – 230 МГц и 470 – 790», г. Москва.
4. Рекомендация МСЭ-R SM.1541-6 Нежелательные излучения в области внеполосных излучений.
5. Рекомендации МСЭ-R P.2109 «Прогнозирование потерь на входе в здание». МСЭ, Женева, 2019.
6. Отчет МСЭ-R VT.2339 «Исследования совместного использования и совместимости в совмещенном канале между цифровым наземным телевизионным вещанием и международной подвижной связью в полосе частот 694–790 МГц в зоне планирования Соглашения «Женева-06». МСЭ, Женева, 2014.
7. Отчет МСЭ-R M.2292 «Характеристики наземных систем IMT-Advanced для анализа совместного использования/совместимости», МСЭ, Женева, 2015.
8. ETSI EN 302 755 (European Standard ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04)). Цифровое телевизионное вещание (DVB). Структура кадра, канальное кодирование и модуляция для системы цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2) (Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)).
9. Рекомендация МСЭ-R P.419-3 «Направленность и поляризационная развязка приемных антенн в телевизионном вещании».
10. Методика оценки ЭМС и условий совместного использования РЭС цифрового телевизионного вещания с РЭС аналогового телевизионного вещания (утверждена решением ГКРЧ от 20.01.2009 № 09-01-03).
11. Отчёт МСЭ-R M.2412-0 «Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020».

12. Отчёт МСЭ-R ВТ.2254-3. Частотные аспекты при планировании сетей DVB-T2. 2017.
13. Рекомендация МСЭ-R Р.525-3 «Расчет ослабления в свободном пространстве».
14. Рекомендация МСЭ-R ВТ.2033-1. Критерии планирования, включая защитные отношения, для систем цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения в диапазонах ОВЧ/УВЧ. МСЭ, Женева, 2015.
15. Рекомендации МСЭ-R М.1767 «Защита сухопутных подвижных систем от наземных цифровых систем видео- и аудиовещания в совместно используемых полосах частот ОВЧ и УВЧ, распределенных на первичной основе».
16. Методика расчета зоны обслуживания РЭС наземного цифрового телевизионного вещания системы DVB-T2 для фиксированного приема в полосе частот 174-230 и 470-790 МГц (утверждена решением ГКРЧ от 22 июля 2014 г. № 14-26-10).
17. Решение ГКРЧ от 08 сентября 2011 года № 11-12-02. «Об использовании радиочастотного спектра радиоэлектронными средствами стандарта LTE и последующих его модификаций».
18. Решение ГКРЧ от 28 декабря 2017 года № 17-44-06. «Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами стандарта LTE и последующих его модификаций в режиме NB-IoT».
19. Решение ГКРЧ от 19 декабря 2012 года № 12-16-02. «Об использовании полос радиочастот 791-862 МГц, 890-915 МГц, 935-960 МГц, 1710-1785 МГц, 1805-1880 МГц, 1920-1980 МГц, 2010-2025 МГц, 2110-2170 МГц, 2300-2400 МГц и 2500-2690 МГц маломощными радиоэлектронными средствами».
20. Решение ГКРЧ от 01 июля 2016 года № 16-37-08. «О внесении изменений в решение ГКРЧ, регулирующие использование маломощных радиоэлектронных средств».
21. Приказ от 29 октября 2018 года № 572 «Об утверждении Правил применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи. Часть VI. Правила применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced». Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.
23. Приказ от 6 июня 2011 года № 128 (с изменениями на 22 июня 2018 года) «Об утверждении Правил применения абонентских терминалов

сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE». Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

24. Рекомендация МСЭ-Р М.2101 «Моделирование и имитация сетей и систем ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости». МСЭ, Женева, 2017.

25. Рекомендация МСЭ-Р F.1336 «Эталонные диаграммы направленности всенаправленных, секторных и других антенн для фиксированной и подвижной служб в целях применения в исследованиях совместного использования частот в диапазоне от 400 МГц до приблизительно 70 ГГц». МСЭ, Женева, 2014.

26. Рекомендация МСЭ-Р ВТ.804 «Характеристики телевизионных приемников, используемые при частотном планировании телевизионных систем PAL / SECAM / NTSC». МСЭ, Женева, 1992.

27. Рекомендация МСЭ-Р SM.337-6 «Частотный и территориальный разнос». МСЭ, Женева, 2008.

28. Заключительные акты Региональной конференции радиосвязи по планированию цифровой наземной радиовещательной службы в частях Районов 1 и 3 в полосах частот 174-230 МГц и 470-862 МГц (РКР-06). МСЭ. Женева, 2006.

29. ЕСС Отчёт 252. SEAMCAT. Handbook, 2016.

30. Спецификация 3GPP TS 38.104 «5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 15)».

31. Спецификация 3GPP TS 36.101-1 «5G; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone (Release 15)».