МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ CISPR 16-1-4— 2023

Совместимость технических средств электромагнитная

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОПОМЕХ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Часть 1-4

Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерений излучаемых помех

(CISPR 16-1-4:2019 + AMD1:2020, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Antennas and test sites for radiated disturbance measurements, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» Санкт-Петербургский филиал — «ЛОНИИР» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 августа 2023 г. № 164-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 сентября 2023 г. № 947-ст межгосударственный стандарт ГОСТ CISPR 16-1-4—2023 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 октября 2024 г. с правом досрочного применения

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту CISPR 16-1-4:2019 «Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-4. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерений излучаемых помех» («Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Antennas and test sites for radiated disturbance measurements», IDT), включая изменение AMD 1:2020.

Настоящее издание международного стандарта CISPR 16-1-4:2019 имеет статус основополагающего стандарта по ЭМС в соответствии с Руководством 107 МЭК «Электромагнитная совместимость. Руководство по разработке стандартов на электромагнитную совместимость».

Международный стандарт CISPR 16-1-4:2019 подготовлен Международным специальным комитетом по радиопомехам (CISPR) Международной электротехнической комиссии (IEC), Подкомитетом А «Измерения радиопомех и статистические методы».

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВЗАМЕН ГОСТ CISPR 16-1-4—2013

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 2
3.1 Термины и определения 2
3.2 Сокращения 6
4 Антенны для измерения излучаемых радиопомех 6
4.1 Общие положения 6
4.2 Физический параметр (измеряемая величина) при измерениях излучаемых помех 7
4.3 Антенны для полосы частот от 9 до 150 кГц 7
4.4 Антенны для полосы частот от 150 кГц до 30 МГц 7
4.5 Антенны для полосы частот от 30 до 1000 МГц 8
4.6 Антенны для полосы частот от 1 до 18 ГГц 13
4.7 Специальные расстановки антенн. Система больших рамочных антенн 15
5 Испытательные площадки для измерения напряженности поля радиопомех в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц 15
6 Испытательные площадки для измерения напряженности поля радиопомех в полосе частот от 30 до 1000 МГц 16
6.1 Общие положения 16
6.2 Открытая испытательная площадка (OATS) 16
6.3 Пригодность других испытательных площадок 18
6.4 Валидация испытательной площадки 19
6.5 Основные параметры метода NSA для OATS и SAC 20
6.6 Метод эталонной площадки (RSM) для OATS и SAC 23
6.7 Валидация OATS методом NSA 27
6.8 Валидация OATS с навесом от непогоды или SAC 29
6.9 Возможные причины превышения норм приемлемости площадки 32
6.10 Валидация площадки для FAR 32
6.11 Оценка установочного стола и антенной мачты 39
7 Испытательные площадки для измерения напряженности поля радиопомех в полосе частот от 1 до 18 ГГц 41
7.1 Общие положения 41
7.2 Эталонная испытательная площадка 41
7.3 Валидация испытательной площадки 41
7.4 Требования к антенне при стандартной процедуре валидации площадки по S_{VSWR} 43
7.5 Обязательные положения антенн при испытании для валидации площадки 46
7.6 Валидация площадки с помощью S_{VSWR}. Стандартная процедура испытания 50
7.7 Валидация площадки с помощью S_{VSWR}. Альтернативная процедура испытания с использованием датчика изотропного поля 51
7.8 Требования к дополнительным позициям при измерении S_{VSWR} 52
7.9 Отчет о валидации площадки путем определения S_{VSWR} 53
7.10 Ограничения метода валидации площадки с помощью S_{VSWR} 54
7.11 Альтернативные испытательные площадки 54
8 Поглощающие устройства синфазного режима 54
8.1 Общие положения 54
8.2 Измерения *S*-параметров CMAD 54
8.3 Зажимное устройство для испытания CMAD 54
8.4 Метод измерения с использованием калибровки TRL 55
8.5 Технические требования к CMAD типа ферритовых клещей 57
8.6 Проверка качества функционирования (ухудшения) CMAD с помощью анализатора спектра SA и трекинг-генератора TG 58
9 Реверберационная камера для измерения полной излучаемой мощности 60
9.1 Общие положения 60
9.2 Камера 60
10 ТЕМ-камеры для измерения помехоустойчивости по отношению к излучаемым помехам 62

Приложение A (обязательное) Параметры антенн 63
Приложение B (XXX) Исключено 69
Приложение C (обязательное) Система больших рамочных антенн для измерений тока, наводимого магнитным полем, в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц 70
Приложение D (обязательное) Детали, касающиеся построения открытых испытательных площадок в полосе частот от 30 до 1000 МГц 82
Приложение E (XXX) Исключено 85
Приложение F (справочное) Базис критерия пригодности площадки ± 4 дБ 86
Приложение G (справочное) Примеры бюджетов неопределенности при валидации площадки COMTS с использованием RSM и калиброванной антенной пары 87
Приложение H (справочное) Определение неопределенности при измерении кросс-поляризационной характеристики 90
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 96
Библиография 97

Введение

Настоящее четвертое издание CISPR 16-1-4:2019 с изменением AMD 1:2020 отменяет и заменяет третье издание, опубликованное в 2010 г., изменение AMD 1:2012 и изменение AMD 2:2017 к нему и представляет собой технический пересмотр.

Настоящее издание включает следующие технические изменения относительно предыдущего издания:

a) добавлены положения, касающиеся валидации испытательной площадки в полосе частот от 30 до 1000 МГц с использованием метода эталонной площадки;

b) добавлены положения, учитывающие диаграмму направленности приемной антенны в полосе частот от 1 до 18 ГГц;

c) добавлена дополнительная техническая информация по валидации испытательной площадки с использованием метода NSA (нормализованного затухания площадки) с широкополосными антеннами в полосе частот от 30 до 1000 МГц.

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Совместимость технических средств электромагнитная

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОПОМЕХ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Часть 1-4

Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерений излучаемых помех

Electromagnetic compatibility of technical equipment. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1-4. Radio disturbance and immunity measuring apparatus. Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

Дата введения — 2024—10—01
с правом досрочного применения

1 Область применения

В настоящем стандарте определены характеристики и качество функционирования оборудования, предназначенного для измерения излучаемых помех в полосе частот от 9 кГц до 18 ГГц. В него также включены технические требования к антеннам и испытательным площадкам.

Примечание — CISPR 16-1-4 в соответствии с Руководством IEC 107 является основополагающим стандартом по ЭМС для использования комитетами по продукции IEC. Как указано в IEC 107, комитеты по продукции ответственны за определение применимости ЭМС стандарта. CISPR и его подкомитеты готовы к сотрудничеству с комитетами по продукции в области оценки конкретных ЭМС испытаний определенных изделий.

Требования настоящего стандарта должны выполняться на всех частотах и для всех уровней излучаемых помех в пределах диапазонов измерений CISPR, установленных для измерительных устройств.

Методы измерений представлены в части 2—3, дополнительная информация по радиопомехам приводится в части 3, а неопределенности, статистика и моделирование норм входят в часть 4 CISPR 16.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все его изменения)].

CISPR 16-1-1, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Measuring apparatus (Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-1. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура)

CISPR 16-1-5:2014, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz (Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-5. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Площадки для калибровки антенн и эталонные испытательные площадки для диапазона частот от 5 МГц до 18 ГГц)

Издание официальное

CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — EMC antenna calibration (Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-6. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости — Калибровка ЭМС антенн)

CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2017

CISPR 16-2-3:2016, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity — Radiated disturbance measurements (Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 2-3. Методы измерения помех и помехоустойчивости. Измерения излучаемых помех)

CISPR TR 16-3, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 3: CISPR technical reports (Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 3. Технические отчеты CISPR)

CISPR 16-4-2, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modeling — Measurement instrumentation uncertainty (Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 4-2. Неопределенности, статистика и моделирование норм. Инструментальная неопределенность измерений)

IEC 60050-161, International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility (Международный Электротехнический Словарь. Глава 161: Электромагнитная совместимость)

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем стандарте применены термины, определения и сокращения по CISPR 16-1-1, CISPR 16-1-5 и IEC 60050-161, а также следующие термины с соответствующими определениями.

ISO и IEC поддерживают терминологические базы данных для использования при стандартизации по следующим адресам:

- Электропедия IEC: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru ;
- платформа онлайн-просмотра ISO: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru .

3.1 Термины и определения

3.1.1 **антенна** (antenna): Приемопередатчик, преобразующий канализированную электромагнитную энергию фидерной линии в излучаемую в пространство волну и наоборот.

Примечание 1 — В контексте настоящего стандарта для антенн, в которых симметрирующее устройство является неотъемлемой частью для функционирования антенны, термин «антенна» включает и это симметрирующее устройство.

3.1.2 **коэффициент калибровки антенны F_a** (antenna factor, AF): Отношение напряженности электрического поля плоской волны, падающей с направления, соответствующего конструктивной электрической оси (т. е. главной оси антенны), к напряжению, наводимому на указанной нагрузке, подключенной к антенне, при измерении в условиях свободного пространства.

Примечание 1 — Сокращение AF используют в качестве основного термина для обозначения коэффициента калибровки, а F_a обозначает коэффициент калибровки антенны на электрической оси в свободном пространстве. На AF могут влиять импеданс нагрузки (обычно 50 Ом), подключенной к антенне, а также частота. Для биконической антенны такой импеданс может доходить до 200 Ом. Для антенн без симметрирующего устройства импеданс равен импедансу нагрузки, обычно 50 Ом. На AF могут влиять взаимная связь между антенной и пластиной заземления и направленность. Относительно более подробной информации см. следующие определения и подраздел 4.2 в CISPR 16-1-6:2014.

Примечание 2 — Физическая единица измерения AF — $м^{-1}$, а измеренные данные обычно выражены в дБ относительно 1/м [дБ ($м^{-1}$)]. При измерениях излучаемых помех при известном F_a напряженность поля падающего излучения E можно рассчитать по показанию V измерительного приемника, подключенного к антенне, а именно:

$$E = V + F_a,$$

где E выражается в дБ(мкВ/м), V — в дБ(мкВ) и F_a — дБ($м^{-1}$).

3.1.3 **затухание эталонной площадки с антенной парой A_{APR}** (antenna pair reference site attenuation): Набор результатов измерения затухания при вертикальной и горизонтальной поляризации с использованием пары антенн, отстоящих друг от друга на указанном расстоянии на идеальной открытой испытательной площадке, когда одна антенна находится на указанной фиксированной высоте относительно пластины заземления, а другая сканируется в указанном диапазоне значений высоты, в котором регистрируют минимальные вносимые потери.

Примечание 1 — Параметр A_{APR} является воздействующим фактором при расчете неопределенности измерений при валидации площадки с использованием метода эталонной площадки (RSM).

Примечание 2 — Значения измерений A_{APR} используют для сравнения с соответствующими значениями измерений затухания площадки COMTS для оценки качества функционирования COMTS.

3.1.4 **опорная точка антенны** (antenna reference point): Средняя точка антенны, от которой измеряют расстояние до испытуемого оборудования или второй антенны.

Примечание 1 — Опорная точка антенны определяется либо производителем с помощью маркера на антенне LPDA, либо лабораторией, производящей калибровку.

3.1.5 **симметрирующее устройство** (balun): Устройство для перехода от несимметричной линии передачи к симметричной и наоборот.

Примечание 1 — Симметрирующее устройство используется, например, для согласования элементов симметричной антенны с несимметричной фидерной линией, например коаксиальным кабелем. Симметрирующее устройство может трансформировать собственный импеданс, отличный от единицы.

3.1.6 **испытательная площадка для калибровки антенн** (calibration test site, CALTS): Открытая испытательная площадка с металлической пластиной заземления и строго определенной характеристикой затухания площадки при горизонтальной поляризации электрического поля.

Примечание 1 — CALTS используется для определения коэффициента калибровки антенны в свободном пространстве.

3.1.7 **поглощающее устройство синфазного режима** (common mode absorbing device, CMAD): Устройство, которое можно использовать на кабелях, исходящих из испытательного объема при измерениях излучаемых помех, для уменьшения неопределенности измерений при определении соответствия нормам.

3.1.8 **площадка для испытаний оборудования на соответствие нормам** (compliance test site, COMTS): Площадка с окружающей электромагнитной (ЭМ) средой, обеспечивающей правильность, повторяемость результатов измерений напряженности поля помех от испытуемого оборудования для сравнения их с соответствующей установленной нормой.

3.1.9 **кросс-поляризационная характеристика** (cross-polar response, XPR): Мера подавления антенной поля с поперечной поляризацией при повороте антенны в линейно-поляризованном электромагнитном поле, которое однородно по фазе и амплитуде в апертуре испытуемой антенны.

3.1.10 **объем испытуемого оборудования** (EUT volume): Цилиндр, определяемый габаритным диаметром и высотой испытуемого оборудования (EUT), в который полностью вписываются все части реального EUT, включая кабельные кронштейны и участок кабеля длиной 1,6 м (30 МГц — 1 ГГц) и длиной 0,3 м (1 ГГц и выше).

Примечание 1 — Одним из нескольких критериев, ограничивающих объем EUT, является испытательный объем (см. CISPR 16-2-3).

Примечание 2 — Объем EUT имеет диаметр D (габаритный диаметр) и высоту h.

3.1.11 **полностью безэховая камера** (fully-anechoic room, FAR): Помещение, шесть внутренних поверхностей которого покрыты высокочастотным поглощающим материалом (т. е. ВЧ-поглотителем), который поглощает электромагнитную энергию в рассматриваемом диапазоне частот.

Примечание 1 — В общих целях измерения излучаемых помех FAR следует конструировать внутри экранированного помещения.

3.1.12 **гибридная антенна** (hybrid antenna): Антенна, состоящая из секции логопериодической дипольной решетки с проволочными элементами (LPDA) и широкополосной дипольной секции.

Примечание 1 — Самый длинный элемент секции LPDA обычно имеет резонанс на частоте приблизительно 200 МГц, а несущая конструкция антенной решетки удлиняется на разомкнутом конце для питания подклю-

чаемой секции широкополосного диполя (например, биконического или в виде бабочки). В полосе частот от 30 до 200 МГц широкополосный диполь имеет характеристику, аналогичную биконической антенне, в особенности это касается изменения коэффициента калибровки в зависимости от высоты.

Примечание 2 — Для минимизации паразитных (нежелательных) ВЧ-токов на внешнем проводнике коаксиального кабеля, попадающих в измерительный приемник, на разомкнутом конце несущей конструкции (т. е. сзади) обычно используют катушку синфазного режима.

3.1.13 **идеальная открытая испытательная площадка:** идеальная OATS (ideal open-area test site, ideal OATS): Открытая испытательная площадка с абсолютно гладкой идеально проводящей пластиной заземления бесконечной площади, не имеющая отражающих объектов, за исключением пластины заземления.

Примечание 1 — Идеальная OATS — это теоретическое сооружение, используемое в определении измеряемой величины A_{APR} и в расчетах теоретических вносимых потерь A_N стандартизованной площадки для площадок с пластиной заземления.

3.1.14 **вносимые потери** (insertion loss): Потери, связанные с установкой устройства в линию передачи, выраженные как отношение напряжения непосредственно перед точкой установки испытуемого устройства к напряжению после нее, до и после установки.

Примечание 1 — Вносимые потери равны величине, обратной *S*-параметру передачи, т. е. $|1/S_{21}|$.

3.1.15 **антенна с малой неопределенностью** (low uncertainty antenna): Жесткая биконическая или LPDA-антенна, которая отвечает требованиям к кросс-поляризационной характеристике и характеристике симметричности, приведенным в настоящем стандарте, и неопределенность коэффициента калибровки которой — менее 0,5 дБ, используемая для измерения напряженности электрического поля в конкретной точке пространства.

Примечание 1 — Описание антенн с малой неопределенностью приведено в А.2.3 (приложение А).

3.1.16 **механическая электрическая ось антенны;** *направление максимума диаграммы направленности антенны; опорное направление; электрическая ось направленной антенны* (mechanical boresight, boresight direction, boresight): Направление основного луча, которое определяется геометрическими свойствами антенны.

Примечание 1 — Для ЭМС-антенн направление основного луча как правило: a) соосно направлению в линии с механической продольной осью LPDA-антенн; b) перпендикулярно элементам штыревой антенны, диполя и биконических антенн и c) перпендикулярно фронтальному раскрыву рупорных антенн. В каждом из этих случаев ортогональная линия совпадает с центром антенны.

3.1.17 **ноль** (null): Минимум в уровне сигнала, получающийся из векторной суммы прямого и отраженного от земли сигналов на приемной антенне с уровнем, существенно меньшим при синфазном сложении этих сигналов.

Примечание 1 — Нулевую глубину измеряют по сумме прямого и отраженного от земли сигналов, находящихся в фазе. Ноль в принимаемом сигнале имеет место в случае, когда антенны находятся над пластиной заземления на такой высоте, что прямой и отраженный сигналы будут в противофазе, что может привести к большой неопределенности в измерении напряженности поля. Ноль простирается от 90° до 180° вне зависимости от фазы. Нулевая глубина на 90° составляет приблизительно 6 дБ. Глубина сравнима с ближайшим соседним максимальным сигналом в сканированном по частоте отклике (или при сканировании высоты одной антенны на фиксированной частоте).

Примечание 2 — Провал в уровне сигнала на электрической оси для некоторых антенн в виде двойного гребенчатого волноводного рупора/двухгребневых рупорных антенн (DRH) иногда рассматривают как ноль. Данное определение к таким провалам не относится.

Примечание 3 — В IEC 60050-726:1982, 726-02-07, определен минимум стоячей волны с синонимом «узел (стоячей волны)» как местоположение в среде распространения, где векторная сумма, имеющая указанную величину поля двух волн, создающих стоячую волну, минимальна.

3.1.18 **испытательная площадка с квазисвободным пространством** (quasi-free space test-site): Средство для измерений излучаемых помех, предназначенное для обеспечения условий свободного пространства.

Примечание 1 — Для обеспечения критерия пригодности площадки, который применим к рассматриваемой процедуре измерения излучаемых помех, нежелательные отражения от окружающих объектов должны быть сведены к минимуму.

3.1.19 **эталонная испытательная площадка** (reference test site, REFTS): Открытая испытательная площадка с металлической пластиной заземления и строго определенной характеристикой затухания площадки при горизонтальной и вертикальной поляризации электрического поля.

Примечание 1 — Для оценки качества функционирования COMTS используют результаты измерения затухания площадки REFTS и сравнивают их с соответствующими результатами измерения затухания COMTS.

3.1.20 **коэффициент отражения** (reflection coefficient): Отношение общего значения к отраженной волне и к падающей бегущей волне.

Примечание 1 — Следовательно, коэффициент отражения по напряжению определяют как отношение комплексного напряжения отраженной волны к комплексному напряжению падающей волны. Коэффициент отражения напряжения равен параметру рассеяния *S*11.

3.1.21 **резонансная дипольная антенна;** *настроенная дипольная антенна* (resonant dipole antenna, tuned dipole antenna): Антенна, состоящая из двух прямых коллинеарных проводников равной длины, расположенных концами друг к другу, с небольшим разделительным расстоянием/зазором, обеспечивающим симметричное питание, при этом длина каждого проводника диполя, находящегося в свободном пространстве, составляет приблизительно четверть длины волны, так что на указанной частоте входное полное сопротивление проволочной антенны, измеренное на этом расстоянии/зазоре, будет иметь нулевую реактивную составляющую.

3.1.22 **параметры рассеяния;** *S-параметры* (scattering parameters, *S*-parameters): Набор из четырех параметров, используемый для описания свойств двухпортовой схемы, установленной в линии передачи.

3.1.23 **полубезэховая камера** (semi-anechoic chamber, SAC): Экранированное помещение, в котором пять из шести внутренних поверхностей облицованы ВЧ-поглощающим материалом (т. е. ВЧ-поглотителем), который поглощает электромагнитную энергию в рассматриваемом диапазоне частот, а нижняя горизонтальная поверхность является проводящей пластиной заземления для использования с испытательными установками на OATS.

3.1.24 **метод калибровки «КЗ — ХХ — нагрузка — насквозь» [«насквозь — ХХ — КЗ — согласование»]** (short-open-load-through calibration method, SOLT; through-open-short-match calibration method, TOSM): Метод калибровки векторного анализатора цепей с использованием трех известных стандартов импеданса: короткое замыкание, холостой ход и согласованная нагрузка, — и одного стандарта передачи — насквозь.

Примечание 1 — Метод SOLT широко используется, и, как правило, имеется необходимый для калибровки комплект элементов с характеристическим импедансом 50 Ом. Полная модель погрешностей для двух портов включает шесть элементов погрешности для каждого из прямых и обратных направлений (при двенадцати отдельных элементах погрешности), что требует для проведения калибровки двенадцать эталонных измерений.

3.1.25 **затухание площадки A_S** (site attenuation, SA): Минимальные вносимые потери площадки, измеряемые между двумя согласованными по поляризации антеннами, находящимися на испытательной площадке, когда одну из них перемещают по вертикали в определенном диапазоне высот, а другую устанавливают на фиксированной высоте.

Примечание 1 — Термины «вносимые потери площадки» (см. 3.1.26) и «затухание площадки» фактически обозначают одну и ту же измеряемую величину, однако термин «затухание площадки» (SA) используют в контексте определения минимальных вносимых потерь площадки (SIL) между парой антенн, когда одну из них перемещают по высоте относительно пластины заземления.

3.1.26 **вносимые потери площадки A_I** (site insertion loss, SIL): Потери передачи между парой согласованных по поляризации антенн, когда непосредственное электрическое соединение между выходом генератора и входом приемника заменяют передающей и приемной антеннами, установленными в определенных точках на испытательной площадке.

3.1.27 **испытательный объем** (test volume): Аттестованный объем в испытательном средстве, в котором устанавливается испытуемое оборудование (EUT).

Примечание 1 — Для определения испытательного объема в настоящем стандарте используют процедуры валидации.

Примечание 2 — Как определено в настоящем стандарте, испытательный объем имеет цилиндрическую форму. В других стандартах были даны определения испытательных объемов другой формы, например кубической — в IEC 61000-4-20 [22] (TEM-волноводы).

3.1.28 **калибровка «насквозь — отражение — линия»** [through-reflect-line (TRL) calibration]: Метод калибровки векторного анализатора цепей с использованием трех известных стандартов импеданса: «насквозь», «отражение» и «линия» для внутренней и внешней калибровки такого анализатора.

Примечание 1 — Для такой калибровки требуется проводить четыре эталонных измерения.

3.1.29 **векторный анализатор цепей** (vector network analyzer, VNA): Векторный анализатор, который может измерять комплексные значения четырех *S*-параметров: S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте помимо сокращений, приведенных в 3.1, использованы следующие сокращения:

AUT — испытуемая антенна;
DRH — двойной гребенчатый рупор;
EUT — испытуемое оборудование;
FSOATS — OATS с условиями свободного пространства;
HP — горизонтальная поляризация;
LLA — большая рамочная антенна;
LLAS — система больших рамочных антенн;
LPDA — антенная решетка на логопериодических диполях;
NSA — нормализованное затухание площадки;
OATS — открытая испытательная площадка;
PDF — функция плотности вероятностей;
RF — радиочастота, РЧ (высокая частота, ВЧ);
RSM — метод эталонной площадки;
RX — приемник/приемная (антенна);
S_{VSWR} — коэффициент стоячей волны площадки по напряжению;
TX — передатчик/передающая (антенна);
VP — вертикальная поляризация;
VSWR — коэффициент стоячей волны по напряжению;
XP — кросс-поляризация.

4 Антенны для измерения излучаемых радиопомех

4.1 Общие положения

Для измерения напряженности поля следует использовать тот тип антенн, который используют для измерений излучаемых помех (антенны необходимо откалибровать), при этом учитывают их диаграммы направленности и взаимосвязь с окружающей средой. Антенна и схемы, включенные между ней и измерительным приемником, не должны существенным образом воздействовать на общие характеристики измерительного приемника. Если антенна подсоединяется к измерительному приемнику, измерительная система должна соответствовать требованиям по ширине полосы, сформулированным в CISPR 16-1-1 для рассматриваемого диапазона частот.

Антенна должна иметь линейную поляризацию. Ее ориентируют так, чтобы возможно было измерить все поляризации падающего излучения. Может потребоваться, чтобы высота центра антенны над землей или над поглощающим материалом в FAR могла регулироваться в соответствии с указанной методикой испытания.

Точность измерения напряженности поля в случае однородного поля синусоидальной волны должна быть выше ±3 дБ при использовании антенны, отвечающей требованиям настоящего подраздела, и измерительного приемника, отвечающего требованиям CISPR 16-1-1.

Примечание — Данное требование не учитывает влияние испытательной площадки.

Относительно дополнительной информации о параметрах широкополосных антенн см. приложение А.

4.2 Физический параметр (измеряемая величина) при измерениях излучаемых помех

Физическим параметром при измерениях излучаемых помех, проводимых по отношению к норме на помехи, выраженной в В/м, является напряженность электрического поля, измеренная в определенной точке пространства относительно позиции испытуемого оборудования (EUT). В частности, при измерениях в полосе частот от 30 до 1000 МГц на OATS (открытой испытательной площадке) или в SAC (полубезэховой камере) измеряемой величиной является максимальная напряженность поля в функции от горизонтальной и вертикальной поляризации, при значениях высоты от 1 до 4 м и при расстоянии по горизонтали 10 м от EUT, когда EUT поворачивают под всеми углами в азимутальной плоскости.

4.3 Антенны для полосы частот от 9 до 150 кГц

4.3.1 Общие положения

Опыт показывает, что в данной полосе частот именно магнитная составляющая поля главным образом «ответственна» за наблюдаемые случаи помех.

4.3.2 Антенна для измерения магнитного поля

Для измерения магнитной составляющей излучения допускается использовать либо электрически экранированную рамочную антенну с таким размером, чтобы антенна могла быть полностью закрыта квадратом, имеющим стороны 60 см, либо соответствующую ферритовую штыревую антенну.

Единицей измерения напряженности магнитного поля является мкА/м. В логарифмических единицах H измеряется в дБ (мкА/м) или выражается через 20lg измеренного уровня напряженности поля. Соответствующая норма на помехи выражается в тех же единицах.

Примечание — Можно проводить прямые измерения напряженности магнитной составляющей излучаемого поля в дБ (мкА/м) или мкА/м при всех условиях, т. е. и в ближнем, и в дальнем поле. Однако многие приемники для измерения напряженности поля откалиброваны в единицах напряженности эквивалентного электрического поля плоской волны, дБ (мкВ/м), т. е. при допущении, что соотношение составляющих E и H равно 120π или 377 Ом. Расчеты для H будут следующими:

$$H = \frac{E}{377\ \text{Ом}}, \tag{1}$$

где H обычно выражена в мкА/м, а E — в мкВ/м.

При измерениях в дБ:

$$H = E - 51{,}5, \tag{2}$$

где H обычно выражена в дБ (мкА/м), а E — в дБ (мкВ/м).

Импеданс Z = 377 Ом при 20lg$Z$ = 51,5 дБ (Ом), используемый в приведенных выше преобразованиях, представляет собой постоянную величину, получаемую из калибровки установки для измерения напряженности поля, регистрирующей магнитное поле в мкВ/м [или дБ (мкВ/м)].

4.3.3 Экранирование рамочной антенны

Неадекватное экранирование рамочной антенны может вызвать отклик в виде электрического поля. Распознавание антенной электрического поля следует оценить путем вращения антенны в однородном поле так, чтобы плоскость рамки оставалась параллельной вектору электрического поля. Когда плоскость рамочной антенны перпендикулярна магнитному потоку, а затем антенну поворачивают так, что ее плоскость становится параллельной магнитному потоку, измеренный отклик должен быть меньше по крайней мере на 20 дБ.

4.4 Антенны для полосы частот от 150 кГц до 30 МГц

4.4.1 Антенны для измерения электрического поля

Для измерений электрической составляющей излучения допускается использовать симметричную или несимметричную антенну. Если используется несимметричная антенна, измерения будут относиться только к воздействию электрического поля на однополюсную (штыревую) антенну. Тип используемой антенны необходимо указать вместе с результатами измерений.

Информация, относящаяся к расчету характеристик качества функционирования однополюсной (штыревой) антенны и характеристик ее схемы согласования, приведена в CISPR 16-1-6. В CISPR 16-1-6 указано, что при коэффициенте калибровки антенны, полученном методом замещения

эквивалентной емкости (ECSM), неопределенности больше, когда длина однополюсной антенны больше одной восьмой длины волны.

Единица измерения напряженности электрического поля — мкВ/м. В логарифмических единицах *E* должна выражаться в дБ (мкВ/м) или через 20lg измеренного уровня напряженности поля. Соответствующая норма на помехи выражается в тех же единицах.

4.4.2 Антенны для измерения магнитного поля

Для измерений магнитной составляющей излучения необходимо использовать электрически экранированную рамочную антенну, указанную в 4.3.2.

Примечание — Настроенные электрически-симметричные рамочные антенны допускается использовать для проведения измерений напряженности магнитного поля вплоть до минус 51,5 дБ (мкА/м) с использованием квазипикового детектирования в полосе частот от 1,6 до 30 МГц, т. е. ниже, чем при использовании ненастроенных электрически-экранированных рамочных антенн, когда уровень шума приблизительно на 25 дБ выше.

4.4.3 Симметрия антенн и прием ими электрического поля

Если используют симметричную антенну электрического поля, она должна соответствовать требованию, приведенному в 4.5.4. Если используют симметричную антенну магнитного поля, она должна соответствовать требованию, приведенному в 4.3.3.

4.5 Антенны для полосы частот от 30 до 1000 МГц

4.5.1 Общие положения

В этой полосе частот измеряют напряженность электрического поля, поэтому антенны магнитного поля сюда не включены. Антенна представляет собой антенну дипольного типа, разработанную для измерения напряженности электрического поля; необходимо использовать коэффициент калибровки антенн в свободном пространстве. Антенны могут быть следующих типов:

- настроенные дипольные антенны, пары элементов которых представляют собой прямые штыри или являются коническими по форме;
- дипольные решетки, например антенны на базе логопериодической дипольной решетки (LPDA), состоящей из наборов прямых штыревых элементов, расположенных в шахматном порядке;
- гибридные антенны.

4.5.2 Антенна с малой неопределенностью для использования при обнаружении несоответствия норме напряженности электрического поля помех

Чтобы получить малую неопределенность измерения, рекомендуется измерять значение напряженности электрического поля типичной биконической антенной или антенной LPDA, а не гибридными антеннами. Типичные биконические антенны и антенны LPDA указаны в приложении А, при этом необходимо использовать только калиброванные антенны.

Примечание 1 — Возможно улучшить неопределенности, если в полосе частот от 30 до 250 МГц использовать биконические антенны, а в полосе частот от 250 МГц до 1 ГГц — антенны LPDA. В качестве альтернативы можно использовать частоту 200 МГц в качестве «граничной» частоты, но из-за изменений фазового центра LPDA неопределенности будут больше.

Примечание 2 — Неопределенность измерения излучаемых от EUT помех зависит от многих воздействующих факторов, например от качества площадки, неопределенности коэффициента калибровки антенны, типа антенны и характеристик измерительного приемника. Смысл определения (выделения) антенн с малой неопределенностью состоит в том, чтобы ограничить другие воздействия антенны на неопределенность измерения, например влияние взаимосвязи с пластиной заземления, диаграммы направленности относительно сканирования высоты и меняющейся позиции фазового центра. Проверка влияния этих воздействий заключается в сравнении показаний двух антенн на выбранной граничной частоте, которые должны показывать одно и то же значение напряженности электрического поля с точностью ±1 дБ.

4.5.3 Характеристики антенн

Так как в полосе частот от 300 до 1000 МГц чувствительность простой дипольной антенны низкая, допускается использовать более сложную антенну. Такая антенна должна иметь следующие характеристики:

a) антенна должна иметь линейную поляризацию, которую можно оценить, используя процедуру испытания на кросс-поляризацию, приведенную в 4.5.5;

b) симметричные дипольные антенны, например настраиваемые диполи и биконические антенны, должны иметь аттестованную характеристику симметрирующего устройства, что можно оценить, используя процедуру испытания на симметричность, приведенную в 4.5.4. Это требование также применяют к гибридным антеннам на частоте ниже 200 МГц;

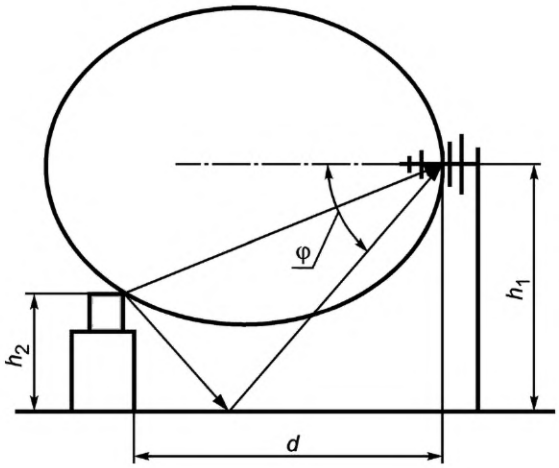
c) возвратные потери антенны при подключенном антенном фидере не должны быть меньше 10 дБ. При необходимости выполнения этого требования частью антенного фидерного кабеля может быть согласующий аттенюатор;

d) необходимо задавать коэффициент калибровки антенн (AF) для выполнения требования по точности измерений, приведенного в 4.1.

Количественная оценка направленности антенны: при представлении приведенных ниже характеристик антенны предполагается использование испытательной площадки с проводящей пластиной заземления. Амплитуда принимаемого сигнала будет уменьшаться, если прямой и отраженный от земли сигналы (или один из них), идущие от испытуемого оборудования к антенне, не попадают на пик главного лепестка диаграммы направленности антенны. Пик обычно находится в направлении пеленга антенны. Считают, что это уменьшение амплитуды является погрешностью в результате измерения излучаемых помех; получающийся при этом допуск на неопределенность базируется на ширине диаграммы направленности 2φ (см. рисунок 1).

Условия, гарантирующие, что данная погрешность составляет не более +1 дБ, приведены ниже в перечислении 1) для площадки 10 м и в перечислении 2) для площадки 3 м. В качестве альтернативы в перечислении 3) приведено условие, основанное на коэффициенте усиления антенны, для того чтобы «обойти» трудные условия, касающиеся диаграммы излучения.

Измерения излучаемых помех проводят при горизонтальной и вертикальной поляризации антенн по очереди. Если принято решение проводить измерения диаграмм излучения только в одной плоскости, то следует использовать результаты при более узких диаграммах направленности и при условии, что диаграмму направленности антенны проверяют в горизонтальной плоскости, когда антенна ориентирована для горизонтальной поляризации.



Примечание — Параметры указаны в уравнении (4).

Рисунок 1 — Схема излучения от EUT, попадающего на антенну LPDA (логопериодическую дипольную решетку) напрямую и за счет отражения от земли на площадке с расстоянием 3 м, демонстрирующая половину ширины диаграммы направленности φ при отраженном луче h_2

1) При OATS или SAC с расстоянием 10 м отклик антенны в направлении прямого луча несущественно отличается от амплитуды на электрической оси антенны, когда антенна юстирована так, что направление максимума диаграммы направленности параллельно пластине заземления. При измерении помех составляющая неопределенности, обусловленная направленностью, может сохраняться на значении менее +1 дБ, если отклик антенны в направлении отраженного луча будет не более чем на 2 дБ ниже отклика антенны в направлении максимума диаграммы направленности. Чтобы обеспечить это условие, полная ширина луча в вертикальной плоскости 2φ измерительной антенны, в рамках которой коэффициент усиления антенны находится в пределах 2 дБ от максимума, должна быть такой, чтобы

$$\varphi > \tan^{-1}\frac{h_1 + h_2}{d}. \quad (3)$$

2) Для площадок с разделительным расстоянием менее 10 м (обычно 3 м) полная ширина луча в вертикальной плоскости 2φ измерительной антенны, в рамках которой коэффициент усиления антенны находится в пределах 1 дБ от максимума, должна быть такой, чтобы

$$2\varphi > \left(\tan^{-1}\frac{h_1+h_2}{d}\right) - \left(\tan^{-1}\frac{h_1-h_2}{d}\right), \quad (4)$$

где h_2 — высота испытуемого оборудования;

h_1 — высота измерительной антенны;

d — расстояние по горизонтали между фазовым центром измерительной антенны и испытуемым устройством.

При наклоне антенны вниз соответствующие неопределенности могут уменьшиться; если это неприменимо, то по диаграммам излучения вычисляют уменьшение принимаемого сигнала и применяют в качестве поправки к соответствующим неопределенностям, обусловленным направленностью. Примерные бюджеты неопределенностей приведены в CISPR 16-4-2.

Примечание 1 — Полагая, что диаграмма излучения в плоскости *E* нормализована к единице на электрической оси антенны (т. е. максимум диаграммы направленности), снимают показание электрического поля при углах наклона от антенны для прямого E_D и отраженного E_R лучей. Погрешность при сравнении с электрическим полем единичной величины для каждого прямого и отраженного луча задается формулой 20 lg[2/(E_D + E_R)] и выражается в децибелах.

Примечание 2 — Уменьшение напряженности сигнала, вызванное снижением направленности при углах, отстоящих от электрической оси антенны, является систематической погрешностью, а следовательно, может быть скорректировано. Если проводят корректировку на основании того, что известны диаграммы излучения на каждой частоте и при каждой поляризации, возможно соответственно уменьшить неопределенность измерений напряженности излучаемого сигнала.

3) Для типов антенн с широкой диаграммой направленности, используемых для испытаний на излучаемые помехи, например биконических, LPDA и гибридных антенн, ширина диаграммы направленности обратно пропорциональна направленности антенн. Альтернативой критерию, основанному на ширине диаграммы направленности, используемому в перечислениях 1) и 2), является определение максимального коэффициента усиления (направленного действия) антенны и соотнесение с допусками общей неопределенности для компоненты, обусловленной направленностью, в бюджете неопределенности для результатов измерения помех. Общие неопределенности, основанные на самых узких диаграммах направленности, в полосе частот, используемой для конкретной антенны, приведены в CISPR 16-4-2. Максимальный коэффициент усиления изотропных антенн для биконических антенн должен составлять 2 дБ, а для антенн LPDA и гибридных антенн — 8 дБ. Для антенн LPDA V-типа, у которых ширина диаграммы направленности в плоскости *H* равна ширине диаграммы направленности в плоскости *E*, максимальный допустимый изотропный коэффициент усиления должен составлять 9 дБ.

4.5.4 Симметричность антенны

4.5.4.1 Общие положения

При измерениях излучаемых помех на кабеле, подключаемом к приемной антенне (антенном кабеле), могут присутствовать токи синфазного (СМ) режима. Эти токи, в свою очередь, создают электромагнитные поля, которые воспринимает приемная антенна, если симметрирующее устройство не полностью симметрично. Это может оказывать влияние на результаты измерения излучаемых помех.

Наибольшие вклады в токи СМ-режимов антенных кабелей обусловлены:

а) напряженностью электрического поля, подлежащей измерению, если это поле имеет составляющую, параллельную антенному кабелю, и

б) преобразованием антенного сигнала дифференциального режима (полезного сигнала) в СМ-сигнал из-за несовершенства симметрирующего устройства приемной антенны.

В общем случае антенны LPDA не имеют существенного преобразования «дифференциальный режим/синфазный режим» (DM/CM). Поэтому к дипольным и биконическим антеннам во всем их рабочем частотном диапазоне и к гибридным антеннам в полосе частот секции широкополосного диполя (в большинстве случаев от 30 до 200 МГц) применяют приведенную ниже проверку.

4.5.4.2 Проверка преобразования «дифференциальный режим/синфазный режим» (DM/CM) симметрирующим устройством

В приведенном ниже методе проводят измерение двух напряжений V_1 и V_2. Отношение этих напряжений, выраженных в одинаковых единицах, например в мкВ, является условием преобразования

«дифференциальный режим/синфазный режим» (DM/CM) (также известным как несимметричность симметрирующего устройства, симметричностью симметрирующего устройства или симметричностью антенны).

a) Устанавливают вертикально поляризованную испытуемую приемную антенну (AUT) так, чтобы ее центр находился на высоте 1,0 м над пластиной заземления на OATS или в SAC. Конец антенны должен находиться на высоте не менее 0,25 м над пластиной заземления. Увеличивают длину антенного кабеля (1,5 ± 0,1) м, идущего горизонтально сзади тыльного активного элемента приемной антенны на высоте 1,0 м относительно пластины заземления, и опускают вертикально вниз к пластине заземления.

b) При стандартном измерении характеристик симметричности приемной антенны устанавливают вторую вертикально поляризованную (передающую) антенну на расстоянии по горизонтали 10 м от центра AUT. Центр передающей антенны должен находиться на высоте 1,0 м относительно пластины заземления, а ее конец отстоять от пластины заземления по крайней мере на 0,25 м. Передающая антенна должна иметь линейную поляризацию и коэффициент подавления кросс-поляризации более 20 дБ в полосе частот, в которой испытывают симметрирующее устройство. В полосе частот выше 200 МГц необходимо менять высоту антенны, чтобы не допустить появления нулей в характеристике SIL. Допускается проводить измерения на более коротких расстояниях (например, 3 и 5 м), чтобы определить вклад в неопределенность симметричности симметрирующего устройства на этих расстояниях.

c) Подключают передающую антенну к источнику сигнала (например, к трекинг-генератору или выходу источника векторного анализатора). Затем устанавливают выходной уровень этого источника сигнала так, чтобы в рассматриваемом диапазоне частот и при двух вертикальных ориентациях антенны отношение сигнал/шум окружающей среды на приемнике составляло 34 дБ (17 дБ при детекторе средних значений) или более.

d) Регистрируют напряжение V_1 на приемнике в рассматриваемой полосе частот.

e) Разворачивают приемную антенну (т. е. поворачивают антенну на 180°), ничего не меняя в испытательной установке, в частности кабель приемной антенны и установку источника сигнала.

f) Регистрируют напряжение V_2 на приемнике в рассматриваемой полосе частот.

g) Преобразование «дифференциальный режим/синфазный режим» (DM/CM) будет достаточно низким, если $|20 \lg(V_1/V_2)| < 1$ дБ.

Примечание 1 — При измерениях излучаемых помех, если не выполняется критерий преобразования DM/CM, уменьшить преобразование DM/CM могут ферритовые кольца, надетые на антенный кабель. Лаборатория для испытаний на ЭМС может повторить испытание с четырьмя ферритовыми кольцами, с расстоянием между ними приблизительно 20 см; при этом первое кольцо должно находиться в пределах 10 см от входа в симметрирующее устройство. Если при использовании таких колец критерий выполняется, их также необходимо установить при реальных измерениях помех. Аналогично взаимодействие с кабелем можно уменьшить за счет его удлинения на несколько метров по горизонтали за антенной до его спуска к земле.

Примечание 2 — Если приемную антенну используют в FAR, проверку DM/CM допускается проводить в этой комнате при установке приемной антенны в обычном месте, а передающей антенны — на расстоянии 3 м от нее. Антенны лучше позиционировать в центре комнаты с просветом за ними не менее 1 м (между вертикальным участком кабеля и верхушками поглощающего материала).

Примечание 3 — Считается, что измерительная площадка (OATS или SAC) и ее проводящая пластина заземления или FAR отвечают требованиям валидации, приведенным для соответствующей площадки.

Примечание 4 — Расстояние по горизонтали 1,5 м, на протяжении которого антенный кабель идет горизонтально за центром антенны, считается минимальным расстоянием, которое допустимо при реальных измерениях вертикально поляризованных излучаемых помех.

Примечание 5 — В общем случае необходимо четко определить испытательную установку, потому что на эффект преобразования в основном влияет взаимодействие антенны и той части антенного кабеля, которая идет параллельно элементам антенны. Также существует намного меньшее влияние, которое зависит от однородности поля, падающего на приемную антенну в стандартных установках при ЭМС измерении на OATS или в FAR.

Примечание 6 — Для симметрирующих устройств, имеющих разъем приемного кабеля, смонтированный на боковой стороне (90° к несущей конструкции антенны), для уменьшения подвижности кабеля следует использовать угловой разъем.

Примечание 7 — Неопределенность результата измерения преобразования DM/CM симметрирующего устройства будет определяться только нелинейностью приемника, так как все остальное меняться во время измерений V_1 и V_2 не будет. Для выполнения критерия 1 дБ достаточно хорошей будет нелинейность менее 0,1 дБ в рамках области ±1 дБ от эталонного показания V_1.

4.5.5 Кросс-поляризационная характеристика антенны

При установке антенны в линейно-поляризованном электромагнитном поле напряжение на зажиме, когда антенна и поле имеют ортогональную поляризацию, должно быть по крайней мере на 20 дБ ниже напряжения на зажиме при их одинаковой поляризации. Это требование применяют во всем диапазоне частот от 30 МГц до 18 ГГц. На практике этому требованию не отвечают некоторые типы антенн LPDA, у которых две половинки каждого вибратора расположены эшелоном, что по сути генерирует кросс-поляризационную характеристику (XPR).

Большинство испытаний с антеннами LPDA проводится при частоте выше 200 МГц. Для обеспечения условий свободного пространства допускается использовать полностью безэховую камеру высокого качества или антенные башни, имеющие достаточную высоту относительно земли на открытом полигоне; относительно соответствующих характеристик площадки см. 6.3.2 и CISPR 16-1-5:2014 (раздел 6). На эффективной длине испытуемой антенны поле должно быть однородным. Расстояние между центром испытуемой антенны (AUT) и передающей антенной должно быть больше одной длины волны. При использовании антенны LPDA расстояние относится к отметке ее центра. Когда самая низкая частота составляет 200 МГц, рекомендуется использовать фиксированное расстояние 1,5 м во всем частотном диапазоне.

Необходимо установить передающую и AUT так, чтобы поляризация была вертикальной, и снять показания уровня сигнала в диапазоне частот. Затем следует повернуть передающую антенну на 90° и отметить разницу уровня сигнала относительно показания при одинаковой поляризации.

Примечание — Для обеспечения однородного поля в эффективной площади AUT требуется площадка хорошего качества. Выделение кросс-поляризации при линейно-поляризованной волне можно доказать с помощью передачи между парой рупорных антенн со стандартным коэффициентом усиления или волноводов с открытым концом в качестве испытательных антенн и проверки того, что комбинация погрешности площадки и собственной кросс-поляризационной характеристики испытательных антенн обеспечивает подавление горизонтальной составляющей более чем на 30 дБ. Если погрешности площадки очень малы и если характеристики испытательных антенн идентичны, подавление кросс-поляризации одной испытательной антенны будет приблизительно на 6 дБ ниже суммарного кросс-поляризационного взаимодействия пары испытательных антенн. Например, если суммарный уровень кросс-поляризации составляет 30 дБ, тогда уровень одной испытательной антенны равен 36 дБ. Критерием пригодности площадки, включая разнесение антенн и качество функционирования площадки, является обеспечение суммарного уровня кросс-поляризации 30 дБ. Допускается установить пару рупорных антенн с горизонтальной поляризацией и разделительным расстоянием между их фронтальными апертурами 1,5 м. SIL регистрируют в рассматриваемом частотном диапазоне. Одну из антенн поворачивают на 90°, чтобы поляризация стала вертикальной. Изменение в SIL по крайней мере на 30 дБ обеспечивает приемлемую неопределенность измерения. На частотах ниже 1 ГГц для обеспечения пригодности площадки можно использовать вместо рупорных антенн антенны LPDA V-типа. Допускается использовать дипольные или биконические антенны, но из-за однородности их диаграмм излучения в плоскости *H* потребуется бóльшая высота подвеса антенны.

Мешающий сигнал, уровень которого ниже полезного на 20 дБ, дает максимальную погрешность по полезному сигналу ±0,9 дБ. Максимальная погрешность существует тогда, когда кросс-поляризационный сигнал находится в фазе с сигналом, поляризация которого совпадает с основной поляризацией. Если XPR антенны LPDA хуже 20 дБ, оператору необходимо рассчитать неопределенность и указать ее вместе с результатом. Например, при кросс-поляризационном уровне 14 дБ предполагают максимальную неопределенность от +1,6 дБ до −1,9 дБ; при расчете стандартной неопределенности следует использовать большее значение и предполагаемое треугольное распределение.

Для добавления сигнала 0 дБ к другому сигналу −14 дБ сначала необходимо получить относительные значения напряжения путем деления на 20 и взятия антилогарифма. Затем следует добавить более слабый сигнал к единичному сигналу. Необходимо умножить логарифм на 20. В результате получится положительная погрешность в децибелах. Необходимо повторить действие, но с вычитанием более слабого сигнала из единичного сигнала и получить отрицательную погрешность в децибелах.

При расчете неопределенности измерения излучаемых помех если уровень сигнала, измеряемого при одной поляризации, превышает сигнал, измеряемый при ортогональной поляризации, на 6 дБ или больше, то антенну LPDA, XPR которой составляет только 14 дБ, следует считать отвечающей техническому требованию 20 дБ. Если разность между уровнями сигналов с вертикальной и горизонтальной поляризацией меньше 6 дБ, следует рассчитать дополнительную неопределенность, если сумма этой разницы и XPR меньше 20 дБ.

Положение, касающееся неопределенности результатов измерения XPR, представлено в приложении Н. В приложении Н также приведен пример кросс-поляризационной характеристики AUT, отвечающей требованию XPR 20 дБ при измерении.

4.6 Антенны для полосы частот от 1 до 18 ГГц

4.6.1 Общие положения

Измерения излучаемых помех выше 1 ГГц необходимо проводить с использованием калиброванных, линейно поляризованных антенн. К ним относятся антенны LPDA, двойные гребенчатые волноводные рупоры и рупорные антенны со стандартным усилением. «Луч» или главный лепесток диаграммы направленности любой используемой антенны должен быть достаточно большим, чтобы «вместить» испытуемое оборудование при его размещении на измерительном расстоянии. Ширина главного лепестка определяется как ширина луча антенны на уровне 3 дБ, а информацию, позволяющую определить этот параметр, указывают в документации на антенну. Для рупорных антенн должно выполняться следующее условие:

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda}, \tag{5}$$

где d — измерительное расстояние, м;

D — наибольший размер раскрыва антенны, м;

λ — длина волны в свободном пространстве на частоте измерения, м.

Требование к XPR антенны, указанное в 4.5.5, применяют также в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц.

4.6.2 Приемная антенна

4.6.2.1 Общие положения

Приемная антенна должна иметь линейную поляризацию, и при валидации площадки тип антенны должен быть таким же, какой использовали при измерениях помех от EUT.

Некоторые модели антенн могут иметь несколько разных версий и, возможно, разные диаграммы излучения, поэтому пользователям предлагается проверять указанное выше условие.

Примечание 1 — Термин «тип антенны» означает форму или вид антенны, например, рупорная антенна или антенна LPDA.

Примечание 2 — Термин «модель антенны» означает конкретный номер модели антенны конкретного производителя.

Примечание 3 — Термин «версия» означает конкретный номер версии антенны конкретного производителя, при наличии, или особый номер модели антенны.

4.6.2.2 Диаграмма излучения приемной антенны

Диаграммы излучения в плоскости *E* и в плоскости *H* должны измеряться относительно электрической оси антенны. Измеряемой величиной является диаграмма направленности антенны в дБ, представленная на графике в полярных координатах, как, например, на рисунке 2. Графики диаграммы излучения должны нормироваться к 0 дБ. Угол 0° должен находиться на механической электрической оси антенны.

Диаграммы излучения в плоскости *E* и в плоскости *H* каждой отдельной антенны должны регистрироваться в частотной полосе данной антенны с шагом 500 МГц или менее в соответствии с приложением I CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016.

Результаты испытания по одобрению типа, включая статистические данные, предоставляемые производителем, могут использоваться для обеспечения подтверждения соответствия диаграммы излучения приемной антенны требованиям. В течение «жизненного цикла» антенны для подтверждения неизменности диаграммы направленности необходимо проводить обслуживание.

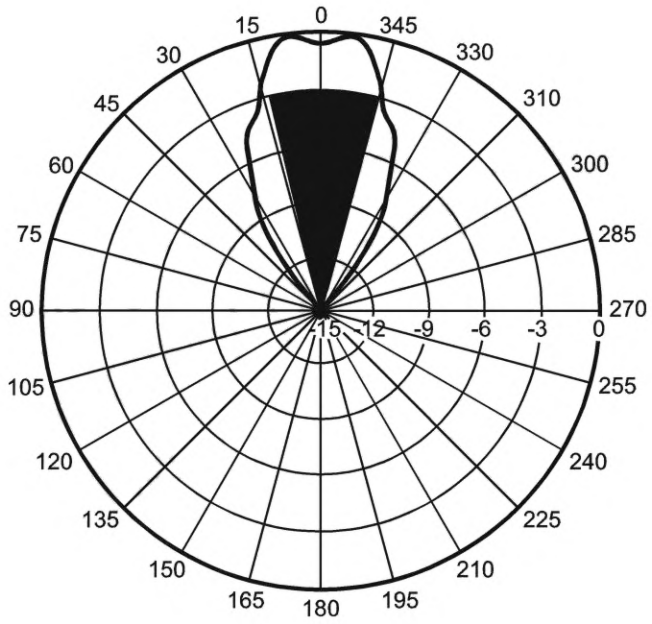


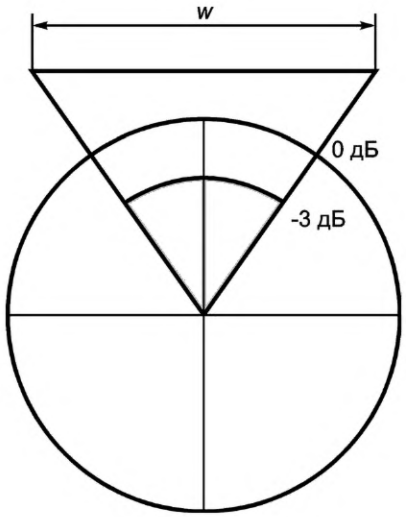
Рисунок 2 — Пример диаграммы направленности приемной антенны в плоскости *E* с ограничительной областью, заштрихованной для расстояния 3 м и размера EUT 2 м

Примечание — В общем случае направление электрической оси — это направление максимального излучения антенны. Однако в некоторых случаях диаграмма направленности имеет два максимума излучения, ни один из которых не находится в направлении механической электрической оси, например, как на рисунке 2.

4.6.2.3 Требования к диаграмме направленности приемной антенны

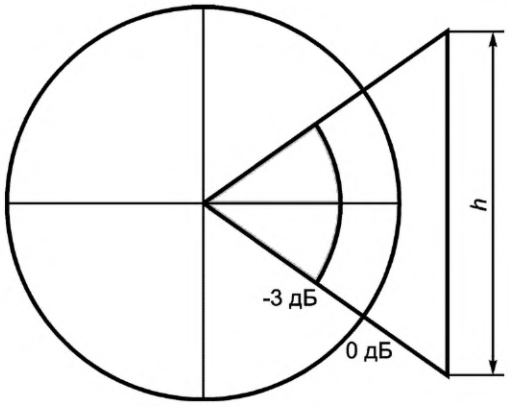
Заштрихованные области, обозначенные в полярных координатах на рисунках 3 и 4, определяются максимальной высотой *h* и максимальной шириной *w* испытуемого оборудования, а также испытательным расстоянием *d*.

Чтобы в достаточной мере облучить EUT, у приемной антенны ширина луча с половиной мощности не должна попадать в заштрихованную зону сечений диаграммы направленности в плоскости *E* и плоскости *H*, приведенных на рисунках 3 и 4.



w — максимальная ширина EUT

Рисунок 3 — Определение максимальной используемой ширины EUT с помощью ширины луча половинной мощности



h — максимальная высота EUT

Рисунок 4 — Определение максимальной используемой высоты EUT с помощью ширины луча половинной мощности

4.7 Специальные расстановки антенн. Система больших рамочных антенн

В полосе частот от 9 кГц до 30 МГц мешающая способность магнитной составляющей поля излучения одного EUT может определяться с помощью системы больших рамочных антенн (LLAS). В системе LLAS мешающую способность измеряют в значениях токов, наводимых магнитным полем в каждой антенне LLA системы LLAS. Система LLAS измеряет ток, наведенный магнитной составляющей поля одного EUT. Эта система позволяет проводить измерения в помещении.

Система LLAS состоит из трех взаимно-перпендикулярных круговых больших рамочных антенн, каждая из которых имеет диаметр 2 м, и находится на неметаллической основе. Полное описание LLAS приведено в приложении С.

EUT позиционируется в центре LLAS на установочном столе из непроводящего материала. Максимальные размеры EUT ограничиваются таким образом, чтобы расстояние между EUT и каждой рамкой в LLAS составляло не менее 0,20 м. Рекомендации по проводке кабелей EUT приведены в С.3 и на рисунке С.6. Кабели должны идти вместе, выходить из объема LLAS в одном октанте и быть не ближе чем 0,4 м от любой из рамок системы LLAS.

Систему LLAS можно размещать в любой окружающей обстановке. Допускается размещение внутри экранированной комнаты, в SAC, FAR или на OATS с защитным навесом от непогоды. Принимая во внимание более высокую чувствительность к излучениям испытуемого оборудования, для исключения сигналов внешней среды рекомендуют размещение в экранированной окружающей обстановке. Рекомендуемое минимальное расстояние между LLAS и любой металлической пластиной составляет 0,5 м. Для учета воздействия окружающей среды валидацию LLAS необходимо проводить там, где обычно проводят измерения с использованием LLAS (см. С.4).

Три взаимно-перпендикулярные рамочные антенны системы LLAS позволяют проводить измерения мешающей способности всех поляризаций излучаемого поля с предписанной точностью и без вращения EUT или изменения ориентации рамочных антенн системы LLAS.

Каждая из трех рамочных антенн системы LLAS должна отвечать требованиям по валидации, приведенным в С.4.

Примечание — В системе LLAS можно использовать круглые рамочные антенны, диаметры которых отличаются от стандартного диаметра 2 м при условии, что их диаметр $D \leq 4$ м, а расстояние в метрах между EUT и рамкой в LLAS составляет не менее $0{,}10 \times D$. Коэффициенты преобразования при нестандартных диаметрах приведены в С.6.

5 Испытательные площадки для измерения напряженности поля радиопомех в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц

(Отсутствует)

6 Испытательные площадки для измерения напряженности поля радиопомех в полосе частот от 30 до 1000 МГц

6.1 Общие положения

Необходимо создать окружающую ЭМ обстановку, которая обеспечивает достоверные, повторяемые результаты измерений напряженности поля помех от EUT. При EUT, которое можно испытывать только на месте его эксплуатации, необходимо придерживаться других положений (т. е. смотри подробную информацию по измерениям на месте эксплуатации в CISPR 16-2-3).

6.2 Открытая испытательная площадка (OATS)

6.2.1 Общие положения

OATS — это площадка, характеризуемая гладкой просматриваемой территорией и наличием проводящей пластины заземления. Для выполнения требований по параметрам валидации настоящего стандарта рекомендуется использовать металлическую пластину заземления. Такие испытательные площадки должны быть свободны от зданий, электрических линий, ограждений, деревьев и т. п.; их также необходимо освободить от подземных кабелей, трубопроводов и т. п. за исключением тех, которые необходимы для питания и работы испытуемого оборудования. Рекомендации по конкретным конструкциям открытых испытательных площадок для измерений напряженности поля помех в полосе частот от 30 до 1000 МГц приведены в приложении D. Процедуры валидации OATS приведены в подразделах 6.6 и 6.7. В Приложении F рассматривается базис для критерия приемлемости.

6.2.2 Ограждение для защиты от непогоды

Если испытательная площадка используется весь год, то желательно иметь защиту от неблагоприятных погодных условий. Конструкция защитного сооружения может защищать либо всю испытательную площадку, включая испытуемое оборудование и измерительную антенну для измерения напряженности поля, либо только испытуемое оборудование. Используемые материалы должны быть прозрачными для радиочастоты, чтобы не вызывать нежелательных отражений и затухания поля, излучаемого испытуемым оборудованием (см. 6.3.1).

Конструкция сооружения, защищающая от непогоды, должна иметь форму, позволяющую легко удалять снег, лед или воду. Более подробная информация представлена в приложении D.

6.2.3 Зона, свободная от препятствий

Для открытых испытательных площадок требуется свободная от препятствий зона вокруг испытуемого оборудования и антенны для измерений напряженности поля. Зона, свободная от препятствий, должна быть освобождена от значимых объектов, рассеивающих электромагнитные поля, и быть достаточно большой, чтобы рассеивающие объекты вне зоны, свободной от препятствий, оказывали небольшое воздействие на поля, измеряемые с помощью антенны для измерений напряженности поля. Для определения адекватности данной зоны необходимо провести испытания при валидации площадки.

Так как величина поля, рассеиваемого от объекта, зависит от многих факторов (размера объекта, расстояния от испытуемого оборудования, ориентации относительно EUT, удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости объекта, частоты и т. п.), то определять приемлемую свободную от препятствий зону, необходимую и достаточную для всех применений, — непрактично. Размер и очертания свободной от препятствий зоны зависят от измерительного расстояния и от того, будут ли поворачивать испытуемое оборудование. Если площадка оборудована поворотной платформой (столом), то рекомендуется, чтобы свободная от препятствий зона имела форму эллипса, при этом приемную антенну и испытуемое оборудование располагают в двух фокусах, главная ось должна быть равна удвоенному измерительному расстоянию, а малая ось — произведению измерительного расстояния на $\sqrt{3}$ (см. рисунок 5).

Для этого эллипса трасса мешающего луча, отраженного от любого объекта на периметре, равна удвоенной длине трассы прямого луча между фокусами. Если испытуемое оборудование больших размеров устанавливают на поворотную платформу, то свободную от препятствий зону необходимо расширить таким образом, чтобы по периметру испытуемого оборудования были свободные от препятствий просветы.

Если площадка не оборудована поворотной платформой (столом), т. е. EUT стационарно, то рекомендуемая свободная от препятствий зона представляет собой круг такого размера, чтобы радиальное расстояние от контура испытуемого оборудования до границы зоны было больше или равно измери-

тельному расстоянию, умноженному на 1,5 (см. рисунок 6). В этом случае антенну перемещают вокруг испытуемого оборудования на измерительном расстоянии.

Территория в пределах зоны, свободной от препятствий, должна быть плоской. Допустимы небольшие скаты для обеспечения необходимого дренажа. Гладкость металлической заземляющей пластины, если она используется, оговаривается в D.2 (приложение D). Измерительная аппаратура и персонал, проводящий испытания, должны находиться вне зоны, свободной от препятствий.

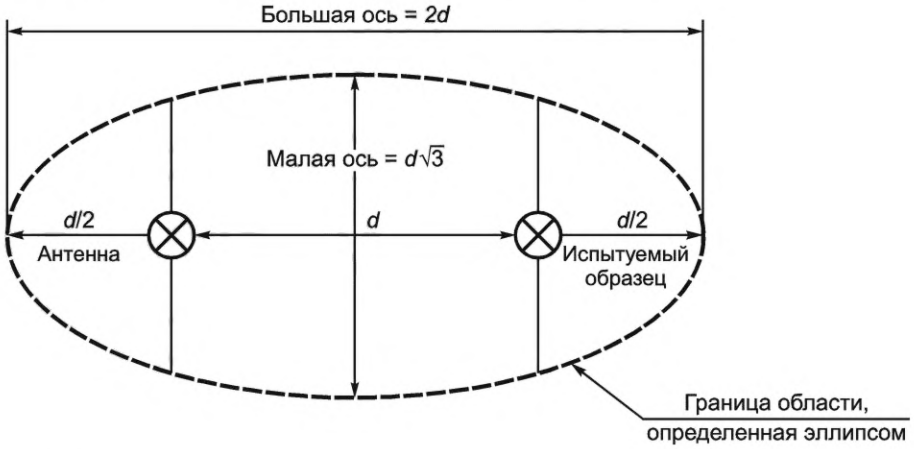


Рисунок 5 — Свободная от препятствий зона испытательной площадки с поворотным столом

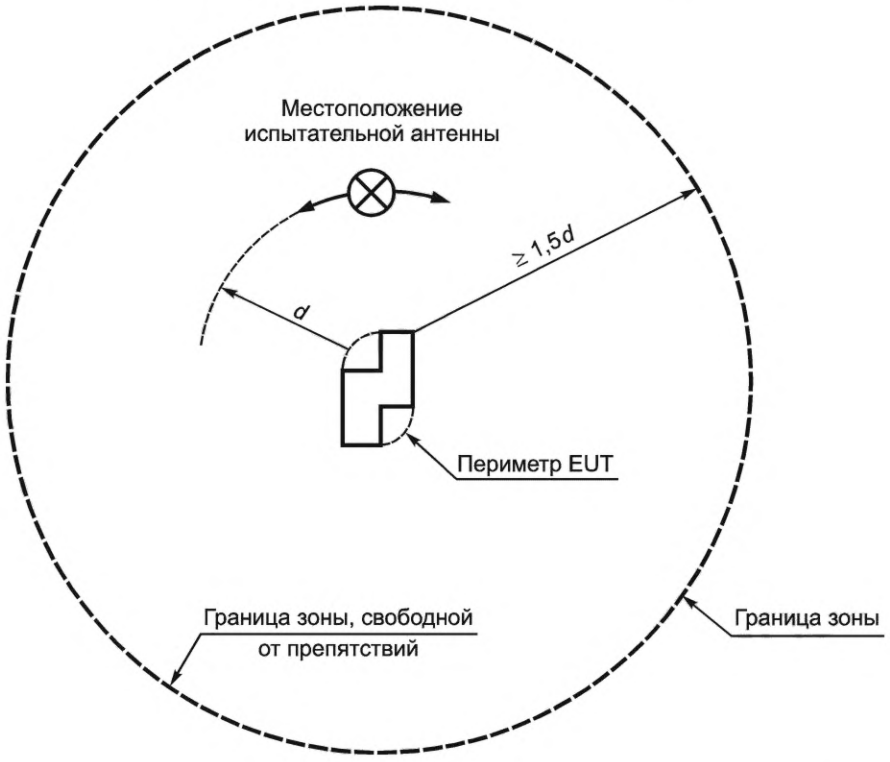


Рисунок 6 — Зона, свободная от препятствий, со стационарным испытуемым оборудованием

6.2.4 Окружающая обстановка на испытательной площадке с точки зрения радиочастот

Радиочастотные уровни окружающей среды на OATS должны быть достаточно низкими по сравнению с уровнями подлежащих измерению помех. Исходя из этого качество площадки возможно оценивать по четырем категориям, приведенным ниже в порядке степени их важности:

a) излучения окружающей среды не менее чем на 6 дБ ниже измеряемых уровней;

b) некоторые излучения окружающей среды находятся в пределах 6 дБ от измеряемых уровней;

c) некоторые излучения окружающей среды выше измеряемых уровней, но либо апериодичны (т. е. время между передачами достаточно велико, чтобы позволить провести измерения), либо непрерывны, но только на ограниченных идентифицируемых частотах;

d) уровни окружающей среды выше измеряемых уровней на большом участке частотного измерительного диапазона и при этом существуют непрерывно.

Выбор испытательной площадки должен гарантировать, что точность измерения поддерживается на заданном уровне, а окружающая обстановка и степень технического мастерства вполне приемлемы.

Помимо ВЧ окружающей среды в неопределенность результатов измерения излучаемых помех вносит вклад коэффициент собственного шума приемника. Следовательно, и то, и другое необходимо минимизировать, чтобы сравнение измеренного уровня помех с нормой на помеху было достоверным.

6.2.5 Пластина заземления

Пластина заземления OATS может находиться на уровне земли или подниматься на платформу подходящих размеров или горизонтальную поверхность крыши. Рекомендуется использовать металлическую пластину заземления, но в стандартах на продукцию для конкретного оборудования и при конкретных применениях встречаются рекомендации по использованию площадок другого типа. Пригодность металлической заземляющей пластины будет зависеть от того, соответствует ли испытательная площадка требованиям по валидации площадки, приведенным в 6.4. Если металлический материал для пластины заземления не используется, необходимо внимательно выбирать площадку, чтобы ее отражающие свойства не менялись со временем, в зависимости от погодных условий или из-за находящихся в земле металлических материалов (таких, как трубы, трубопроводы) и из-за неоднородности почвы. Такие площадки обычно имеют характеристики затухания, которые отличаются от затухания площадок с металлическими поверхностями.

6.3 Пригодность других испытательных площадок

6.3.1 Другие испытательные площадки с пластиной заземления

Существует большое количество различных испытательных площадок и средств испытаний, сконструированных и используемых для проведения измерений излучаемых помех. Большинство из них защищены от неблагоприятных погодных условий и ВЧ-воздействий окружающей среды. Например, в SAC все стены и потолок облицованы соответствующим ВЧ-поглощающим материалом, а на полу имеется металлическая пластина заземления для имитации условий OATS. В SAC приемная антенна изолирована от условий ВЧ-окружающей среды, что позволяет испытывать EUT вне зависимости от погодных условий.

Если испытательная площадка с пластиной заземления ограждена каким-либо строительным материалом, то для демонстрации пригодности такой альтернативной площадки результаты измерения при проведении валидации в одной позиции, как указано в 6.7, могут оказаться недостоверными.

Поэтому для оценки пригодности альтернативной испытательной площадки с пластиной заземления необходимо использовать процедуру, приведенную в 6.8, в основу которой положено проведение измерений параметров валидации в нескольких позициях в объеме, занимаемом EUT. Для площадки, которую признают подходящей в качестве эквивалента OATS, результаты таких измерений параметров валидации должны находиться в пределах допуска ±4 дБ.

Примечание — Камеры SAC обычно отвечают категории качества площадки, приведенной в перечислении a) пункта 6.2.4.

6.3.2 Испытательные площадки без пластины заземления (FAR)

Экранированное помещение, полностью облицованное поглощающим материалом, также известное как полностью безэховая комната/камера (FAR), можно использовать для измерений излучаемых помех. При использовании FAR в соответствующих стандартах (общетехнических стандартах, стандартах на продукцию или стандартах на семейство изделий) необходимо указать соответствующие нормы на излучаемые помехи. Соответствие EUT требованиям по защите радиослужб (т. е. нормам) устанавливают для FAR с помощью тех же методов, которые используются при измерениях на открытой испытательной площадке (OATS).

FAR предназначена для моделирования свободного пространства таким образом, чтобы на приемную антенну приходил только прямой луч от передающей антенны или EUT. Все непрямые и отраженные волны должны минимизироваться за счет использования соответствующего поглощающего материала на всех стенах, потолке и полу FAR. В FAR, как и в SAC, приемная антенна изолирована от

ВЧ-окружающей среды и позволяет проводить испытания испытуемого оборудования вне зависимости от погодных условий.

Примечание — Камеры FAR обычно отвечают категории качества площадки, приведенной в перечислении а) пункта 6.2.4.

6.4 Валидация испытательной площадки

6.4.1 Общие положения

Для целей настоящего стандарта допускается использовать три метода валидации COMTS:

- метод нормализованного затухания площадки (NSA) с настроенными диполями;
- метод NSA с широкополосными антеннами;
- метод эталонной площадки (RSM) с широкополосными антеннами.

Метод NSA с настроенными диполями не имеет конкретного описания, но его допускается использовать согласно настоящему стандарту. В [20][1)] приведены таблицы с теоретическими значениями NSA с настроенными диполями, включая таблицы теоретических коэффициентов коррекции взаимного импеданса.

Методы валидации испытательных площадок с пластиной заземления (т. е. OATS и SAC) приведены в 6.4.2 и 6.5.1, а более подробные процедуры для метода RSM — в 6.6 и для метода NSA — в 6.7. Для валидации SAC и OATS с навесом для защиты от непогоды требуются дополнительные измерения, указанные в 6.8.

Методы валидации площадки, которые применяют к этим конкретным типам испытательных площадок, приведены в таблице 1. Как видно из этой таблицы, для каждого из типов испытательных площадок указаны два или три метода валидации. Эти методы считаются отвечающими целям настоящего стандарта; соответствие критерию валидации можно оценить с помощью только одного метода. Более того, ни один из этих методов не указан в качестве эталонного.

Методы валидации площадки, приведенные в настоящем стандарте, обеспечивают меру унифицируемости аттестуемого испытательного объема путем сравнения идеального (теоретического) и измеренного затухания площадки между передающей и приемной антеннами. Передающая антенна не моделирует EUT, поэтому процедура валидации не определяет максимальный объем EUT. Вопросы, касающиеся размеров EUT в зависимости от измерительного расстояния, рассматриваются в CISPR 16-2-3.

Таблица 1 — Методы валидации площадки, применимые к площадкам типа OATS, площадкам на базе OATS, к SAC и FAR

Тип испытательной площадки	Применимость методов валидации площадки		
	Настроенные диполи NSA	Широкополосные антенны, NSA	Широкополосные антенны, RSM
OATS	Да	Да	Да
OATS с защитой от непогоды	Нет	Да	Да
SAC	Нет	Да	Да
FAR	Нет	Да	Да

6.4.2 Рассмотрение методов валидации испытательной площадки

Валидация испытательной площадки проводится с использованием двух одинаково поляризованных антенн. Валидацию следует проводить по отдельности для двух поляризаций: горизонтальной и вертикальной.

Затухание площадки (SA) получают из разницы:

- уровня напряжения источника V_i, поступающего на передающую антенну;
- максимального уровня принимаемого напряжения V_R, измеряемого на зажимах приемной антенны во время сканирования высоты указанной антенны.

Измерения напряжения выполняют в системе 50 Ом.

[1)] Цифры в квадратных скобках обозначают номер источника, указанного в разделе «Библиография».

Измеренные значения SA на OATS (см. 6.2) и на других испытательных площадках с пластиной заземления (см. 6.3.1) сравнивают с характеристиками SA, полученными на идеальной OATS — это определение измеряемой величины при валидации испытательной площадки. В результате этого сравнения получают девиацию SA, т. е. ΔA_s в дБ, см. уравнения (6) и (7). Площадка считается подходящей, когда отклонение SA находится в пределах допуска ±4 дБ.

При выходе за пределы допуска ±4 дБ конфигурацию испытательной площадки необходимо исследовать согласно 6.9.

Примечание — Основание для критерия приемлемости площадки ±4 дБ приведено в приложении F.

Помимо этого, отклонения значений SA не следует использовать для корректировки данных измерения напряженности поля EUT. Процедуры, указанные в 6.4, необходимо использовать только для валидации испытательной площадки.

6.5 Основные параметры метода NSA для OATS и SAC

6.5.1 Общие уравнения и таблица теоретических значений NSA

Значения NSA, рассчитанные на определенных частотах для широкополосных антенн, приведены в таблице 2. Используемые величины d, h_1, h_2, f_M и A_N определены в конце таблицы 2.

Примечание 1 — Значения NSA на частотах, отличных от указанных в таблице 2, можно получить путем линейной интерполяции между табулированными значениями.

Примечание 2 — Просветное расстояние d между частями антенны LPDA измеряют от проекции средней точки продольной оси каждой антенны на пластину заземления.

Примечание 3 — Просветное расстояние d между коническими антеннами измеряют от осей центральных линий элементов у точки питания.

При измерениях с каждой поляризацией в методе NSA требуется провести два разных измерения напряжения на приемном конце V_R.

Первое показание V_R (V_{DIRECT}) снимают при отсоединении двух коаксиальных кабелей от двух антенн и подключении их один к другому через адаптер. Второе показание V_R (V_{SITE}) снимают, когда коаксиальные кабели снова подсоединяются к своим антеннам, и измеряют максимальный сигнал при сканировании приемной антенны по высоте (1—4 м для разделительных расстояний 3, 5, 10 и 30 м). При обоих измерениях напряжение источника сигнала V_i поддерживается постоянным. Полученные результаты вместе с теоретическим NSA (A_N) используют в уравнении (6) для получения результатов отклонения SA. Все члены уравнения имеют размерность в дБ.

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{aT} - F_{aR} - A_N, \quad (6)$$

где ΔA_s — отклонение SA;

F_{aT} — коэффициент калибровки передающей антенны;

F_{aR} — коэффициент калибровки приемной антенны;

A_N — теоретическое NSA согласно таблице 2.

F_{aT} и F_{aR} должны калиброваться как коэффициенты калибровки антенны в свободном пространстве; см. 6.5.2.

Следует отметить, что первые два члена уравнения характеризуют реальное измерение затухания площадки, то есть (V_{DIRECT} — V_{SITE}) представляет собой классический вид затухания площадки, которое определяется вносимыми потерями на трассе распространения с учетом свойств двух используемых антенн.

Для подтверждения отсутствия сдвига напряжения из-за температурных изменений в устройствах измерения или кабелях и для подтверждения стабильности результатов необходимо произвести повторное измерение V_{DIRECT} после соответствующего периода времени.

При соответствующем используемом методе измерения NSA (методе частотной развертки согласно 6.7.2 или методе дискретных частот согласно 6.7.1) критерий валидации должен выполняться на всех частотах рассматриваемого диапазона частот.

В таблице 2 приведены значения NSA для широкополосных антенн, например биконической и LPDA, как при горизонтальной, так и при вертикальной поляризации (относительно пластины заземления).

Если ΔA_s больше ±4 дБ, см. 6.9.

Таблица 2 — Теоретическое нормализованное затухание площадки A_N. Рекомендуемая геометрия широкополосных антенн[a]

Поляризация	Горизонтальная											Вертикальная										
d м	3	3	5	5	5	10	10	10	10	30	30	3	3	5	5	5	10	10	10	10	30	30
h_1 м	1	2	1	2	2,5	1	2	3	4	1	2	1	1,5	1	1,5	2,0	1	1,5	2,5	3,5	1	1,5
$h_{2,min}$ м	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$h_{2,max}$ м	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
f_M, МГц	A_N, дБ(м^2)																					
30	15,8	11,0	20,7	15,6	14,3	29,8	24,1	21,3	19,7	47,8	41,7	8,2	9,3	11,4	12,0	12,7	16,7	16,9	17,4	18,2	26,0	26,0
35	13,4	8,8	18,2	13,3	12,2	27,1	21,6	18,9	17,4	45,1	39,1	6,9	8,0	10,1	10,7	11,5	15,4	15,6	16,1	16,9	24,7	24,7
40	11,3	7,0	16,0	11,4	10,5	24,9	19,4	16,9	15,6	42,8	36,8	5,8	7,0	8,9	9,6	10,4	14,2	14,4	15,0	15,8	23,5	23,5
45	9,4	5,5	14,1	9,8	9,1	22,9	17,5	15,2	14,2	40,8	34,7	4,9	6,1	7,9	8,6	9,5	13,2	13,4	14,0	14,9	22,5	22,5
50	7,8	4,2	12,4	8,5	7,9	21,1	15,9	13,7	13,1	38,9	32,9	4,0	5,4	7,1	7,8	8,7	12,3	12,5	13,2	14,1	21,6	21,6
60	5,0	2,2	9,5	6,3	6,0	18,0	13,1	11,5	11,3	35,8	29,8	2,6	4,1	5,6	6,3	7,4	10,7	11,0	11,7	12,7	20,0	20,0
70	2,8	0,6	7,2	4,6	4,4	15,5	10,9	9,9	9,9	33,1	27,2	1,5	3,2	4,3	5,2	6,4	9,4	9,7	10,5	11,7	18,7	18,7
80	0,9	-0,7	5,3	3,2	3,2	13,3	9,2	8,6	8,7	30,8	24,9	0,6	2,6	3,3	4,3	5,6	8,3	8,6	9,5	10,9	17,5	17,5
90	-0,7	-1,8	3,7	2,0	2,1	11,4	7,8	7,5	7,7	28,8	23,0	-0,1	2,1	2,4	3,5	5,1	7,3	7,6	8,7	10,2	16,5	16,5
100	-2,0	-2,8	2,3	1,0	1,1	9,7	6,7	6,6	6,7	27,0	21,2	-0,7	1,9	1,6	2,9	4,7	6,4	6,8	8,0	9,6	15,6	15,6
120	-4,2	-4,4	0,1	-0,7	-0,5	7,0	5,0	4,9	5,1	23,9	18,2	-1,5	1,3	0,3	2,1	3,4	4,9	5,4	7,0	6,8	14,0	14,0
140	-6,0	-5,8	-1,7	-2,1	-1,9	4,8	3,5	3,5	3,8	21,2	15,8	-1,8	-1,5	-0,6	1,7	1,0	3,7	4,3	6,2	5,2	12,7	12,7
160	-7,4	-6,7	-3,1	-3,3	-3,1	3,1	2,3	2,4	2,6	19,0	13,8	-1,7	-3,7	-1,3	1,0	-0,7	2,6	3,4	4,1	3,9	11,5	11,6
180	-8,6	-7,2	-4,3	-4,4	-4,1	1,7	1,2	1,3	1,6	17,0	12,0	-1,3	-5,3	-1,8	-1,0	-2,2	1,8	2,7	2,8	2,8	10,5	10,6
200	-9,6	-8,4	-5,3	-5,3	-4,7	0,6	0,3	0,4	0,6	15,3	10,6	-3,6	-6,7	-2,0	-2,6	-3,3	1,0	2,1	1,6	1,7	9,6	9,7
250	-11,7	-10,6	-7,5	-6,7	-6,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,2	11,6	7,8	-7,7	-9,1	-3,2	-5,5	-5,6	-0,5	0,3	-0,6	-0,3	7,7	7,9
300	-12,8	-12,3	-9,2	-8,5	-8,4	-3,3	-3,3	-3,0	-2,8	8,8	6,1	-10,5	-10,9	-6,2	-7,5	-7,3	-1,5	-1,9	-2,4	-1,9	6,2	6,5
400	-14,8	-14,9	-11,8	-11,2	-11,0	-5,9	-5,8	-5,6	-5,4	4,6	3,5	-14,0	-12,6	-10,0	-10,5	-10,0	-4,1	-5,0	-5,1	-4,5	3,9	4,3
500	-17,3	-16,7	-13,0	-13,3	-13,0	-7,9	-7,6	-7,6	-7,3	1,8	1,6	-16,4	-15,1	-12,5	-12,6	-11,6	-6,7	-7,2	-7,1	-6,3	2,1	2,8

Окончание таблицы 2

Поляризация	Горизонтальная											Вертикальная										
d м	3	3	5	5	5	10	10	10	10	30	30	3	3	5	5	5	10	10	10	10	30	30
h_1 м	1	2	1	2	2,5	1	2	3	4	1	2	1	1,5	1	1,5	2,0	1	1,5	2,5	3,5	1	1,5
$h_{2,min}$ м	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$h_{2,max}$ м	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
f_M, МГц	A_N, дБ(м^2)																					
600	-19,1	-18,3	-14,9	-14,9	-14,5	-9,5	-9,3	-9,2	-8,9	0,0	0,0	-16,3	-16,9	-14,4	-13,5	-13,4	-8,7	-9,0	-8,7	-8,0	0,8	1,8
700	-20,6	-19,7	-16,4	-16,1	-15,9	-10,8	-10,6	-10,5	-10,2	-1,3	-1,4	-18,4	-18,4	-15,9	-15,1	-14,8	-10,2	-10,4	-9,9	-9,3	-0,3	-0,9
800	-21,3	-20,8	-17,6	-17,3	-17,1	-12,0	-11,8	-11,6	-11,4	-2,5	-2,5	-20,0	-19,3	-17,2	-16,5	-16,0	-11,5	-11,6	-11,1	-10,5	-1,1	-2,3
900	-22,5	-21,8	-18,7	-18,4	-18,0	-12,8	-12,9	-12,7	-12,4	-3,5	-3,5	-21,3	-20,4	-17,4	-17,6	-16,9	-12,6	-12,7	-12,1	-11,5	-1,7	-3,4
1000	-23,5	-22,7	-19,7	-19,3	-19,0	-13,8	-13,8	-13,6	-13,6	-4,4	-4,5	-22,4	-21,4	-18,5	-18,6	-17,9	-13,6	-13,6	-13,1	-12,4	-3,5	-4,3

[a] Эти данные применяются к антеннам, которые имеют просвет не менее 25 см от пластины заземления, когда центр антенн находится на высоте 1 м над пластиной заземления при вертикальной поляризации.

Значения на других частотах находят посредством линейной интерполяции.

d — расстояние по горизонтали между проекциями средних точек передающей и приемной антенн на пластину заземления;

h_1 — высота центра передающей антенны относительно пластины заземления;

h_2 — диапазон значений высоты центра приемной антенны относительно пластины заземления. В результатах NSA используют максимальный принимаемый сигнал в этом диапазоне сканирования высоты;

f_M — частота;

A_N — NSA.

6.5.2 Калибровка антенн

При валидации площадки с использованием метода NSA применяют коэффициенты калибровки антенн в свободном пространстве, измеряемые по методам, указанным в CISPR 16-1-6.

При использовании коэффициентов калибровки антенн в свободном пространстве для расчета NSA согласно уравнению (6) могут возникнуть погрешности, в частности, при биконических и настроенных дипольных антеннах на частоте ниже 300 МГц. Это объясняется тем, что модель для теоретических значений NSA, приведенных в таблице 2, основана на диполе Герца, а не на реальных антеннах, используемых для измерения SA. В данной модели не учитывается существенное изменение коэффициента калибровки антенны из-за взаимосвязи с пластиной заземления или диаграммы направленности антенны. Такая проблема не возникает при методе RSM, так как в нем не используются коэффициенты калибровки антенн. Частное решение можно найти в [19]; оно существенно уменьшает неопределенности коэффициентов калибровки антенн в методе NSA.

6.6 Метод эталонной площадки (RSM) для OATS и SAC

6.6.1 Общие положения

Другим методом валидации испытательной площадки на пригодность является метод RSM с использованием широкополосных антенн. Как и в методе NSA требуется произвести оценку V_{DIRECT} и V_{SITE}. Результаты получают с использованием приблизительно той же геометрии и видов поляризации, которые указаны для метода NSA. При OATS с укрытием от непогоды или SAC конфигурации будут следующими:

- испытательное расстояние 3, 5 или 10 м.

Примечание 1 — Хотя метод RSM допускается применять и на площадках 30 м, это непрактично из-за ограниченного количества соответствующих эталонных испытательных площадок;

- при горизонтальной поляризации значение высоты передающей антенны составляет 1 и 2 м, а при вертикальной поляризации — 1 и 1,5 м.

Примечание 2 — Относительно других значений высоты передающей антенны см. таблицу 2;

- диапазон сканирования высоты приемной антенны составляет 1—4 м.

Основная разница между методами RSM и NSA состоит в расчете отклонений SA с помощью уравнения

$$\Delta A_s = V_{DIRECT} - V_{SITE} - A_{APR}. \quad (7)$$

Помимо использования коэффициентов калибровки антенны для передающей и приемной антенн и расчетных значений NSA (A_N), как представлено в уравнении (6) метода NSA, используют измеренные результаты для эталонного SA (A_{APR}) пары антенн.

Примечание 3 — A_{APR} не включает коэффициенты калибровки антенны, но учитывает связь между антеннами, включая воздействия связи каждой антенны с землей. Помимо этого, учитывают диаграммы излучения антенн в отличие от метода NSA, когда диаграммы излучения аппроксимируются как диаграммы диполей Герца.

При OATS с укрытием от непогоды и SAC требуется наличие четырех наборов данных, т. е. при двух значениях высоты антенн и двух поляризациях. Для каждого дополнительного расстояния, каждой поляризации и высоты антенны требуется разное A_{APR}, как показано на примерном шаблоне в виде таблицы 3.

Таблица 3 — Примерный шаблон наборов данных A_{APR}

Частота, МГц	Затухание эталонной площадки с парой антенн A_{APR}, дБ			
	Горизонтальная поляризация		Вертикальная поляризация	
	h_1 = 1 м	h_1 = 2 м	h_1 = 1 м	h_1 = 1,5 м
30	…	…	…	…
31	…	…	…	…
32	…	…	…	…
…	…	…	…	…

При использовании векторного анализатора или приемника с пошаговой регулировкой частоты для выполнения измерения по методу RSM необходимо использовать частотные шаги, указанные в таблице 4.

Примечание 4 — RSM — это метод развертки частоты; в таблице 4 указан максимальный частотный шаг.

Примечание 5 — При использовании для измерения по методу RSM приемника с непрерывной настройкой частоты или анализатора спектра частотный шаг, указанный в таблице 4, не применяют.

Таблица 4 — Значения частотного шага в методе RSM

Диапазон частот, МГц	Максимальный частотный шаг, МГц
30—100	1
100—500	5
500—1000	10

Частоты, используемые при измерении испытательной площадки методом RSM, должны быть идентичными частотам, используемым для получения данных A_{APR} (например, при REFTS; см. 6.6.3).

На частотах, приведенных в таблице 4, должен выполняться критерий ΔA_s [см. уравнение (7)].

6.6.2 Антенны, не разрешенные для измерений по методу RSM

В соответствии с настоящим стандартом для измерений при валидации площадки по методу RSM не допускается использовать гибридные антенны.

Примечание 1 — Когда аттестуются определенные площадки SAC с использованием биконических и гибридных антенн, наблюдается большое отклонение в результатах измерений. Основной причиной отклонений является разное расстояние между фазовыми центрами антенн, например, 10 м для биконических антенн и приблизительно 11,2 м для типичных гибридных антенн. Чтобы избежать таких проблем с воспроизводимостью результатов измерений, гибридные антенны не применяют.

Примечание 2 — Обычные гибридные антенны не используют при валидации площадки из-за больших неопределенностей в позиционировании таких обычно больших и жестких антенн, особенно на испытательных площадках с расстоянием 3 м, когда общая длина двух гибридных антенн может составлять почти 3 м.

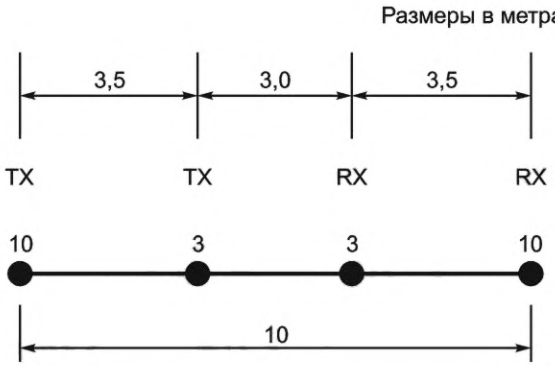
Примечание 3 — Обычно более хорошее качество функционирования в SAC получают при стандартных антеннах (биконических или LPDA) при более низких ΔA_s; настоятельно рекомендуется производить настройку параметров конструкции SAC для обеспечения соответствия требованиям при валидации площадки с использованием гибридных антенн. Для построения SAC с улучшенным качеством функционирования относительно требуемого в стандарте требуется, чтобы производитель выполнил, например, следующее условие: ΔA_s = 3,5 дБ.

6.6.3 Определение затухания эталонной площадки с помощью пары антенн на REFTS

В одном из способов измерения AAPR необходимо использовать эталонную испытательную площадку (REFTS), качество функционирования которой установлено в соответствии с процедурами, приведенными в CISPR 16-1-5. Второй отдельный метод приведен в 6.6.4.

При испытательном расстоянии 10 м для определения A_{APR} необходимо использовать те же позиции на REFTS, которые использовались при валидации REFTS согласно процедурам, приведенным в CISPR 16-1-5.

При испытательном расстоянии 3 м измерения необходимо выполнять на оси, проведенной между позициями передающей и приемной антенн, как это было при валидации REFTS согласно процедурам, приведенным в CISPR 16-1-5 (см. рисунок 7).



TX — передающая антенна; RX — приемная антенна

Рисунок 7 — Расположение испытательных точек при испытательных расстояниях 3 и 10 м

Для определения A_{APR} необходимо выполнить следующее:

a) определить V_{DIRECT};

b) установить передающую антенну с горизонтальной поляризацией на высоте 1 м;

c) разместить приемную антенну с той же поляризацией на расстоянии d;

d) определить V_{SITE} при сканировании высоты подвеса приемной антенны от 1 до 4 м;

e) рассчитать A_{APR} из уравнения (8).

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE}; \quad (8)$$

f) повторить шаги b) — e) при высоте подвеса передающей антенны 2 м с горизонтальной поляризацией, а затем при значениях высоты передающей антенны 1 и 1,5 м с вертикальной поляризацией.

6.6.4 Определение затухания эталонной площадки с помощью пары антенн посредством метода усреднения на большой OATS

Другой метод определения A_{APR} заключается в измерениях на большой OATS (см. приведенные ниже пункты данного подраздела при более высоких критериях). Отклонения SA от идеальной характеристики обусловлены ограниченной зоной и степенью неровности пластины заземления и отражениями от объектов в ближней зоне, например, зданий и деревьев. Также отражения от углов пластины заземления могут вызывать синусоидальные пульсации в измеряемом SA, главным образом при измерениях с вертикальной поляризацией. Величина и фаза пульсаций также будут меняться при изменении позиции антенной пары на пластине заземления.

Для минимизации таких влияний SA измеряют при нескольких позициях антенной пары и рассчитывают среднее значение. Среднее значение будет приближаться к SA идеальной площадки.

Примечание 1 — Аналогичный метод приведен в [19].

Большая OATS должна отвечать следующим требованиям:

- минимальный размер пластины заземления — 30 × 20 м;
- неровность — в пределах ±10 мм;
- отсутствие защитного слоя (диэлектрика) на металлической пластине заземления.

Для определения AAPR необходимо выполнить следующее:

a) определить парные точки испытания на OATS в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 8. Все девять точек для каждой антенны должны находиться на пластине заземления. Если на OATS имеется укрытие от непогоды, минимальное расстояние между любой точкой испытания и любой частью навеса — более 3 м. Запрещается выбирать позиции измерения под навесом.

Примечание 2 — Рекомендуется, чтобы схема размещения позиций (координатная система) находилась под некоторым ненулевым углом относительно углов (прямых) пластины заземления, т. е. под некоторым ненулевым углом относительно сварочных швов. Пример такой схемы приведен на рисунке 9.

Допускается использовать менее девяти позиций измерения (18 точек) при следующих условиях:

1) если соответствие было продемонстрировано ранее:

Если соответствие критерию стандартного отклонения $s \leq 0{,}3$ дБ [см. уравнение (10)] было продемонстрировано как минимум для одной пары антенн в каждом частотном поддиапазоне за последние

24 месяца, допускается использовать следующее минимальное количество измерительных позиций пары антенн:

- одна позиция (в центре) для биконических антенн при горизонтальной поляризации,
- три позиции (в центре, плюс две другие позиции) для биконических антенн при вертикальной поляризации,
- одна позиция (в центре) для антенн LPDA при обеих поляризациях;

2) если соответствие можно продемонстрировать с меньшим количеством точек, то, если критерий соответствия выполняется при количестве точек меньше девяти, допускается использовать это количество точек.

Примечание 3 — При определении наиболее точного значения A_{APR} использование всех девяти позиций антенных пар улучшит усредненный результат;

b) нумеруют выбранные позиции измерения от 1 до N ($N \le 9$);

c) устанавливают антенны в позицию 1;

d) измеряют $A_{APR,1}$ при всех требуемых значениях высоты и поляризациях на всех частотах, указанных в таблице 4;

e) повторяют шаг d) при всех других позициях;

f) рассчитывают среднее значение измеренных $A_{APR,i}$, выраженных в дБ, с помощью уравнения

$$A_{APR} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} A_{APR,i}; \tag{9}$$

g) рассчитывают стандартное отклонение среднего значения (т. е. A_{APR}) в дБ с помощью уравнения

$$s(A_{APR}) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N}(A_{APR,i} - A_{APR})^2}. \tag{10}$$

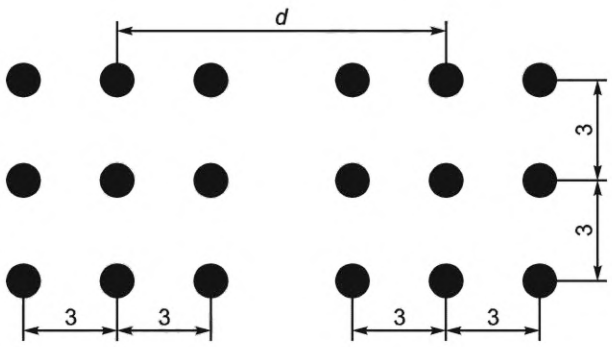
Считается, что калиброванные значения A_{APR} приемлемы для использования в последующей валидации COMTS, если $s \le 0{,}6$ дБ на всех измеряемых частотах.

Если $N \ge 2$, уравнение (10) следует использовать для расчета точности $s(A_{APR})$, необходимой для расчета неопределенности. Если $N = 1$, считается, что $s = 0{,}6$ дБ.

Необходимо принять соответствующие меры, чтобы не было общего сдвига в данных (систематическое воздействие) для всех выбранных позиций. Такое воздействие возможно объяснить влиянием антенной мачты. При некоторых антенных мачтах может возникать значительная связь между металлической крышкой отсека двигателя и антенной. Величину такого влияния проверяют путем изменения расстояния между антенной и крышкой двигателя d_{Ant} (см. рисунок 10) и повторения измерений A_{APR} при этих новых конфигурациях. Такое влияние необходимо включить в расчет неопределенности.

Другой причиной общего сдвига могут выступать отражения от антенного кабеля. Для минимизации такого влияния кабель должен идти горизонтально за антенной как минимум 2 м до спуска вниз к земле. Для уменьшения поверхностных токов на кабеле необходимо использовать обжимные ферриты. Этот фактор воздействия также необходимо включить в расчет неопределенности.

Размеры в метрах



d — расстояние между проекциями опорных точек двух антенн

Рисунок 8 — Позиции парных испытательных точек при всех испытательных расстояниях

Размеры в метрах

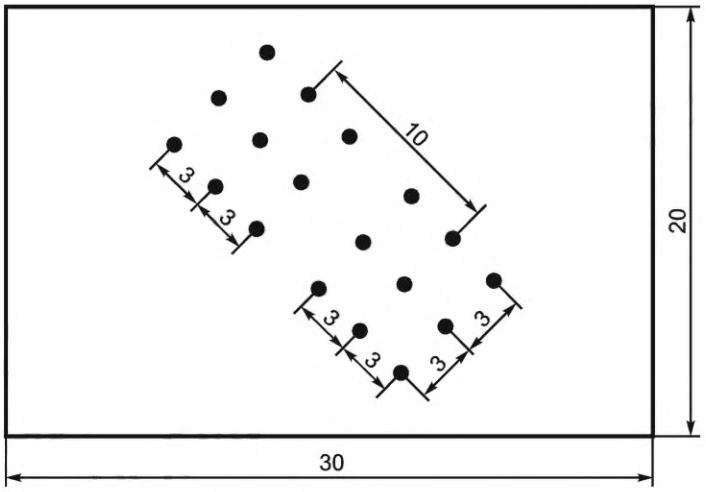


Рисунок 9 — Пример выбора парных испытательных точек при испытательном расстоянии 10 м

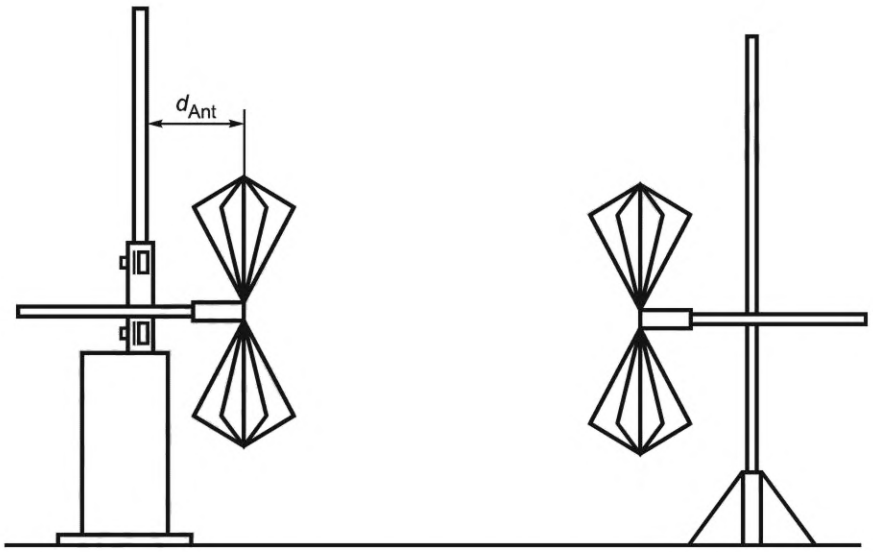


Рисунок 10 — Пример исследования влияния антенной мачты на A_{APR}

6.7 Валидация OATS методом NSA

6.7.1 Метод дискретной частоты

6.7.1.1 Измерительная установка

Относительно конкретной информации по испытательной установке см. рисунки 11 и 12 в 6.8. Генератор сигналов подключают к передающей антенне кабелем соответствующей длины. Передающую антенну устанавливают в заданную позицию. Высоту передающей антенны устанавливают на h_1 (относительно значений h_1 см. таблицу 2) и выбирают нужную поляризацию. Для широкополосных антенн значения высоты антенн должны быть $h_1 = h_{2,min} = 1$ м.

Приемную антенну монтируют на мачте, что позволяет выполнять сканирование по всему диапазону значений высоты от $h_{2,min}$ до $h_{2,max}$, устанавливают на расстоянии d от передающей антенны и подключают к измерительному приемнику или анализатору спектра с помощью кабеля подходящей длины. Выбирают ту же поляризацию, как для передающей антенны.

Примечание — В отличие от испытательной установки, приведенной на рисунках 11 и 12, при валидации OATS требуется только одно измерение затухания площадки.

6.7.1.2 Процедура измерения

Для каждой частоты, приведенной в таблице 2, необходимо выполнять указанные далее шаги. Сначала измерения проводят для горизонтально ориентированных антенн, затем для вертикально ориентированных антенн с установкой высоты передающей антенны на h_1.

a) Регулируют выходной уровень генератора сигналов так, чтобы показание напряжения на приеме было заметно выше шума окружающей среды и шума измерительного приемника или анализатора спектра.

b) Поднимают приемную антенну на мачте в диапазоне сканирования для h_2, как указано в таблице 2.

Регистрируют максимальный уровень сигнала; это значение — V_{SITE} для уравнения (6) (см. 6.5).

c) Отсоединяют кабели от приемной и передающей антенн, затем соединяют эти кабели вместе сквозным переходником.

d) Регистрируют уровень сигнала с соединенными кабелями приемной и передающей антенн. Это значение — V_{DIRECT} для уравнения (6).

e) Вводят значения, полученные при выполнении шагов b) и d), в уравнение (6) для каждой частоты и для каждой поляризации.

f) Вставляют в уравнение (6) коэффициенты калибровки приемной и передающей антенн на частоте измерения.

g) Решают для A_s уравнение $A_s = V_{DIRECT} - V_{SITE} - F_{aT} - F_{aR}$, что является стандартизованным затуханием площадки (NSA) при используемой частоте измерения и поляризации.

h) Для определения ΔA_s вычитают значение, полученное в шаге g), из соответствующего теоретического NSA, указанного в таблице 2.

i) Если результаты ΔA_s из шага h) меньше ±4 дБ, площадка считается приемлемой на этой частоте и при этой поляризации.

j) Повторяют шаги a) — i) для следующей комбинации частоты и поляризации.

Примечание — При измерениях NSA рассогласование полного сопротивления на выходе источника сигнала или на входе измерительного приемника или анализатора спектра может привести к отражениям, вызывающим ошибки. Это необходимо устранить посредством использования аттенюаторов на 10 дБ, т. е. одного на передающей антенне и одного на приемной антенне. Если позволяет чувствительность системы, то эти аттенюаторы должны оставаться в кабелях в течение всего процесса измерения NSA.

6.7.2 Метод развертки частоты

6.7.2.1 Измерительная установка

Измерительная установка аналогична установке, представленной в 6.7.1, за исключением того, что используются только широкополосные антенны. Из-за физически малого размера таких широкополосных антенн (по сравнению с настраиваемыми диполями) нет необходимости ограничивать сканирование высоты антенны с вертикальной поляризацией. Значения высоты антенн должны быть $h_1 = h_{2,min} = 1$ м.

6.7.2.2 Процедура измерения

При использовании автоматического измерительного оборудования, имеющего функцию «удержания пика (peak hold)» [«удержание максимума (max. hold)»] и возможность запоминания, и трекинг-генератора, необходимо выполнить указанные далее шаги. В данном методе высота приемной антенны h_2 и частота сканируются или разворачиваются по всем требуемым диапазонам высоты и частоты. Диапазоны частот обычно определяют типом используемых широкополосных антенн. Скорость развертки частоты должна быть намного больше скорости сканирования высоты антенны. Устанавливают высоту передающей антенны на h_1.

a) Регулируют выходной уровень трекинг-генератора так, чтобы показание напряжения на приеме было заметно выше шума окружающей среды и шума измерительного приемника или анализатора спектра.

b) Поднимают приемную антенну на мачте на максимальную высоту сканируемого диапазона, указанного в таблице 2.

c) Устанавливают анализатор спектра на развертку нужного диапазона частот. Следует убедиться, что анализатор спектра отрегулирован так, что аналогичный сигнал на 60 дБ больше возможно отобразить на той же амплитудной шкале. Это обеспечит визуализацию уровней, которые необходимо зарегистрировать в шаге d).

d) Медленно опускают приемную антенну на минимальную высоту диапазона сканирования, указанного в таблице 2 для соответствующей геометрии площадки. Следует запомнить или зарегистриро-

вать максимальное показание напряжения на приеме V_{SITE} в дБ (мкВ). (Время, которое требуется для опускания антенны должно быть намного больше времени развертки частоты).

e) Отсоединяют кабели от передающей и приемной антенн и соединяют их вместе сквозным переходником. Следует запомнить или зарегистрировать отображаемое полученное напряжение V_{DIRECT} в дБ (мкВ).

f) На каждой частоте вычитают значение напряжения, измеренное в шаге d), из значения напряжения, измеренного в шаге e). Также вычитают коэффициенты калибровки приемной и передающей антенн: F_{AT} в дБ ($м^{-1}$) и F_{AR} в дБ ($м^{-1}$) соответственно (коэффициенты калибровки антенн как непрерывную функцию частоты можно определить с помощью простой линейной кривой, соответствующей набору дискретных значений коэффициентов калибровки антенн). Результатом является измеренное A_s по всему используемому диапазону частот, которое необходимо нанести на график. Также следует нарисовать график теоретического NSA, указанного в таблице 2 для идеальной площадки.

g) Получившиеся значения разницы ΔA_s должны находиться в пределах критерия ±4 дБ.

Примечание — Для методов измерения NSA рассогласование полного сопротивления на выходе источника сигнала или на входе измерительного приемника или анализатора спектра может привести к отражениям, вызывающим ошибки. Это должно быть устранено за счет использования сопрягающих аттенюаторов на 10 дБ, т. е. аттенюатор 10 дБ между каждым разъемом передающей и разъемом приемной антенны и соответствующими антенными кабелями. Если чувствительность системы позволяет, то эти аттенюаторы должны оставаться в кабелях в течение всего процесса измерения NSA.

6.8 Валидация OATS с навесом от непогоды или SAC

Для OATS с навесом от непогоды или SAC недостаточно провести одно измерение затухания площадки, чтобы выявить возможные отражения от конструктивных материалов и/или ВЧ-поглощающих материалов, которыми покрыты стены и потолок камеры. Для этих площадок «испытательный объем» определяется как объем, очерченный самым большим испытуемым оборудованием или системой, которую следует испытывать при ее повороте вокруг своего центра на 360°, как на поворотном столе. При оценке горизонтальной и вертикальной поляризации в соответствии с рисунками 11 и 12 может потребоваться максимум 20 отдельных измерений затухания площадки (SA), т. е. пять позиций в горизонтальной плоскости (в центре, справа, слева, спереди и сзади, измеренные по отношению к центру и линии, прочерченной от центра к позиции измерительной антенны), при двух поляризациях (горизонтальной и вертикальной) и для двух значений высоты (1 и 2 м при горизонтальной поляризации; 1 и 1,5 м при вертикальной поляризации).

Эти измерения проводят с широкополосными антеннами и расстояния отмеряют по отношению к центру антенн. Передающую и приемную антенны необходимо юстировать так, чтобы их элементы были параллельны друг другу и перпендикулярны оси измерения.

При вертикальной и горизонтальной поляризации все позиции антенн находятся на периферии испытательного объема за исключением центральной позиции. Рекомендуется, чтобы испытательный объем обеспечивал не менее 25 см между концом антенны и ближайшим концом поглотителя или не менее 1 м между средней точкой антенны и ближайшим концом поглотителя. При вертикальной поляризации нижний конец антенны должен отстоять от пола более чем на 25 см, что может потребовать размещение центра антенны чуть выше 1 м для измерения на самой малой высоте.

Количество требуемых измерений возможно уменьшить при следующих условиях.

a) Измерения при вертикальной и горизонтальной поляризации в позиции «сзади» допускается не проводить, если ближайшая точка конструкции и/или поглощающих материалов находится на расстоянии более 1 м от задней границы испытательного объема.

Примечание — Источники излучаемых помех, расположенные вблизи диэлектрических интерфейсов, показали, что имеются изменения в распределении тока, который может влиять на излучаемые свойства источника в этом месте. Если EUT возможно разместить вблизи этих интерфейсов, необходимо проводить дополнительные измерения SA.

b) Общее количество измерений при горизонтальной поляризации по диаметру испытательного объема, куда входят позиции «справа» и «слева», допускается уменьшить до минимального количества, необходимого для того, чтобы площадь проекции диаграммы направленности антенны покрыла 90 % диаметра.

c) Измерения при вертикальной поляризации на высоте 1,5 м допускается не проводить, если вершина EUT с учетом монтажного стола находится на высоте менее 1,5 м.

d) Если испытательный объем имеет размеры не более 1 м в глубину на 1,5 м в ширину и на 1,5 м в высоту, включая установочный стол (если используется), измерения при горизонтальной поляризации необходимо проводить только в центральной, передней и задней позициях, но при значениях высоты 1 и 2 м. Если применяется условие пункта a), позицию «сзади» можно не использовать. Это потребует минимум восьми измерений: четыре позиции при вертикальной поляризации (слева, в центре, справа и спереди) для одной высоты и четыре позиции при горизонтальной поляризации (в центре и спереди) для двух значений высоты; см. рисунки 13 и 14.

Приемную антенну необходимо передвинуть, чтобы сохранить соответствующее расстояние по линии направления к центру поворотного стола (см. рисунки 11, 12, 13 и 14). Испытательная площадка считается пригодной для проведения измерений на излучаемые помехи, если результаты всех прописанных выше измерений отвечают требованиям 6.4.2.

Если высота испытательного объема h более 2 м, необходимо использовать два значения высоты передающей антенны h_1, т. е. h_1 = 1 м и $h_1 = h$ м при горизонтальной поляризации и h_1 = 1 м и $h_1 = (h - 0{,}5)$ м при вертикальной поляризации. Например, если высота испытательного объема h = 3 м, тогда значения высоты передающей антенны h_1 должны быть 1 и 3 м при горизонтальной поляризации и 1 и 2,5 м при вертикальной поляризации; если высота испытательного объема h = 4 м, тогда h_1 должна быть 1 и 4 м при горизонтальной поляризации и 1 и 3,5 м при вертикальной поляризации.

Данные по NSA при дополнительных значениях высоты передающей антенны 3,0 и 4,0 м (горизонтальная поляризация) и 2,5 и 3,5 м (вертикальная поляризация) на измерительном расстоянии 10 м и при дополнительных значениях высоты передающей антенны 2,5 м (горизонтальная поляризация) и 2,0 м (вертикальная поляризация) на измерительном расстоянии 5 м приведены в таблице 2.

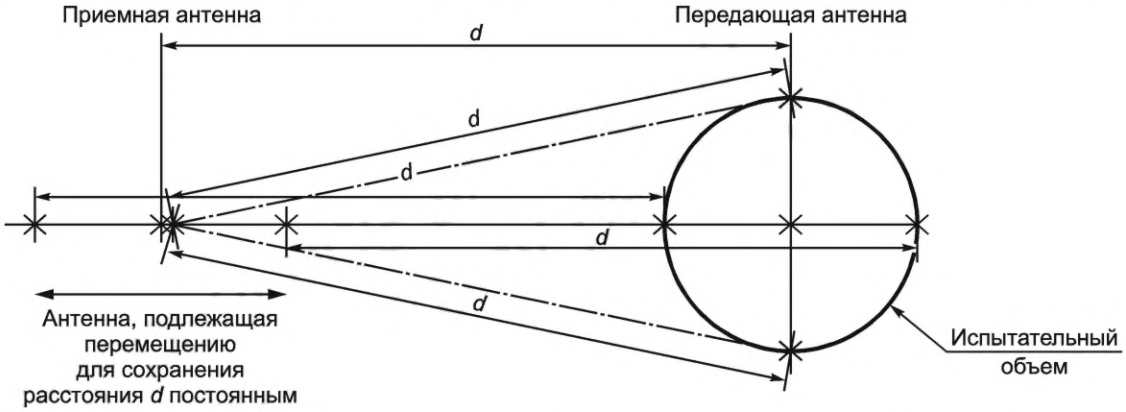


Рисунок 11 — Типичные позиции антенн для OATS с защитой от непогоды или SAC. Измерения параметров валидации при вертикальной поляризации

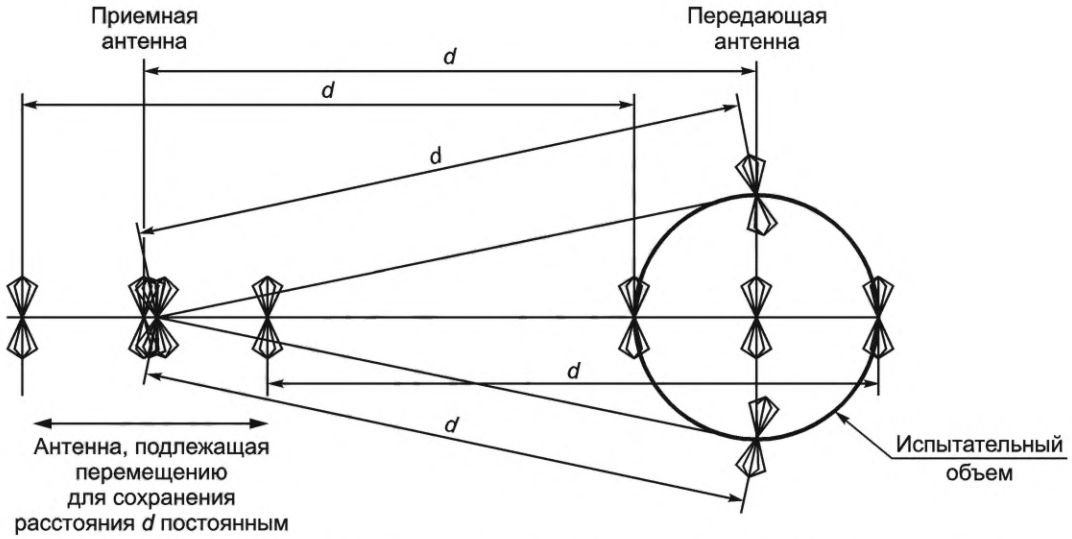
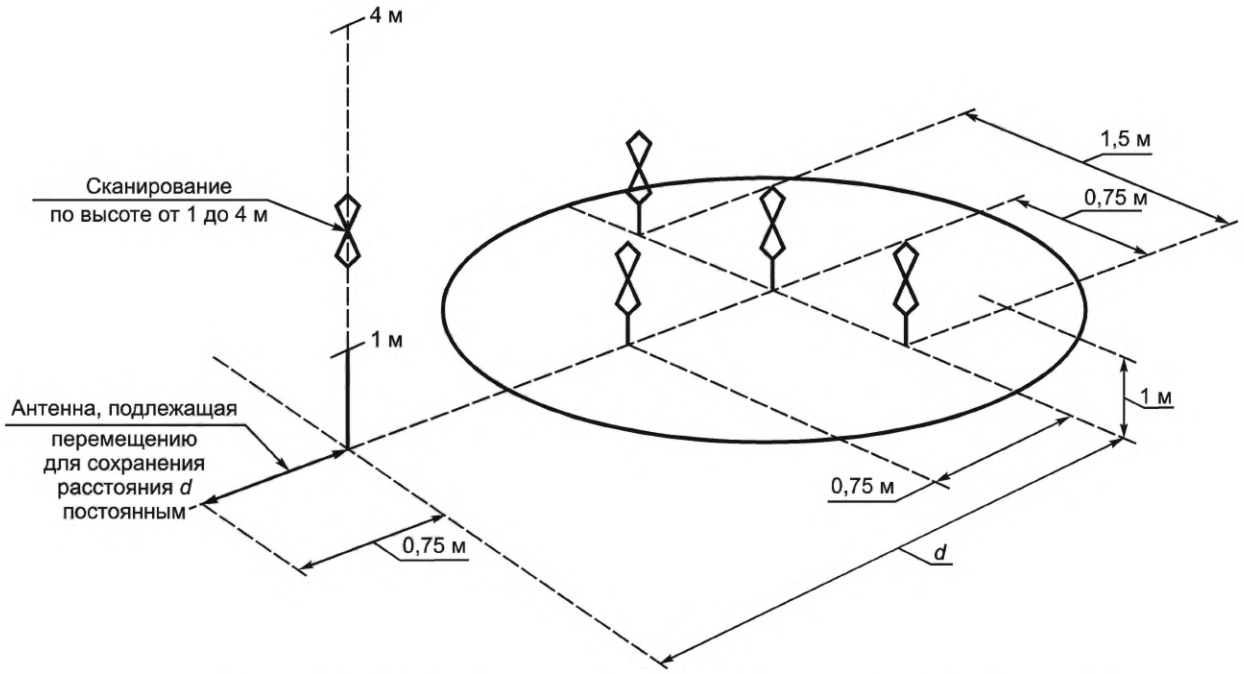


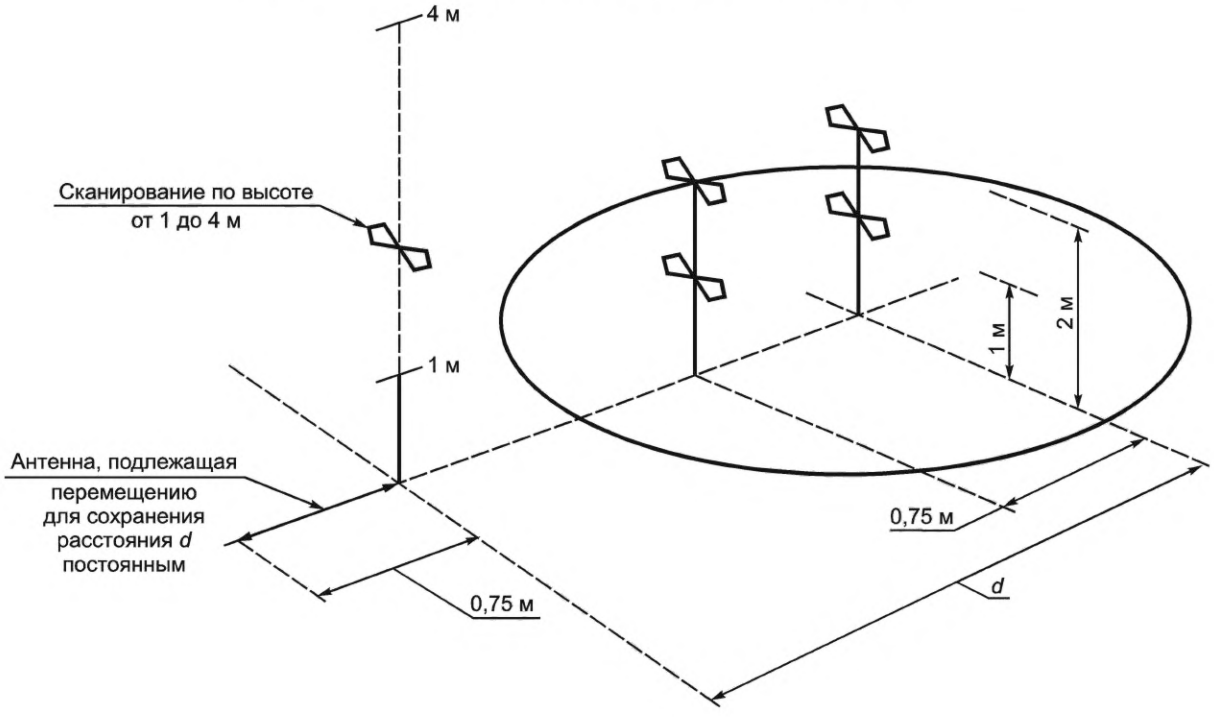
Рисунок 12 — Типичные позиции антенн для OATS с защитой от непогоды или SAC. Измерения параметров валидации при горизонтальной поляризации



d — сохраняемое расстояние между вертикальной проекцией центра передающей и приемной антенн

Примечание — EUT не превышает объем глубиной 1 м, шириной 1,5 м, высотой 1,5 м с периферией более 1 м от ближайшего материала, который может вызвать нежелательные отражения.

Рисунок 13 — Типичные позиции антенны для OATS с защитой от непогоды или SAC. Измерения параметров валидации при вертикальной поляризации для EUT небольшого размера



d — сохраняемое расстояние между вертикальной проекцией центра передающей и приемной антенн

Примечание — EUT не превышает объем глубиной 1 м, шириной 1,5 м, высотой 1,5 м с периферией более 1 м от ближайшего материала, который может вызвать нежелательные отражения.

Рисунок 14 — Типичные позиции антенны для OATS с защитой от непогоды или SAC. Измерения параметров валидации при горизонтальной поляризации для EUT небольшого размера

6.9 Возможные причины превышения норм пригодности площадки

Если девиация ΔA_S, полученная с помощью уравнения (6) [или уравнения (7) при использовании метода RSM], превышает критерий ±4 дБ, необходимо перепроверить следующее:

- процедуру измерения;
- точность коэффициентов калибровки антенн;
- дрейф источника сигнала или точность входного аттенюатора приемника или анализатора спектра;
- показания измерительных приборов.

При отсутствии погрешностей в параметрах приведенного выше перечня «виноватой» будет считаться площадка, и потребуется произвести детальное исследование возможных причин несоответствия площадки требованиям. В приложении F представлены погрешности, которые могут появиться при измерениях NSA.

Следует отметить, что поскольку измерения при вертикальной поляризации обычно более критичны, аномалии площадки необходимо исследовать по результатам этого более чувствительного измерения, а не по результатам измерения NSA при горизонтальной поляризации. Прежде всего, необходимо проверить следующее:

a) адекватность размера и конструкции заземляющей пластины;

b) объекты в периметре площадки, которые могут вызывать нежелательные отражения;

c) отражения от навеса для обеспечения проведения измерений при любой погоде;

d) неоднородность заземляющей пластины по окружности (периметру) поворотного стола при конфигурациях, когда поверхность поворотного стола выполнена из проводящего материала и находится на той же высоте, что и пластина заземления;

e) толщину любых диэлектрических покрытий заземляющей пластины;

f) отверстия в заземляющей пластине, например для лестниц, ведущих в заглубленные/подземные диспетчерские помещения.

6.10 Валидация площадки для FAR

6.10.1 Общие положения

В FAR NSA должно отвечать требованию 6.10.4 во всем цилиндрическом испытательном объеме, создаваемом вращением EUT на поворотном столе. В данном контексте «EUT» включает все элементы многокомпонентного EUT и межсоединительные кабели. В таблице 5 указана максимальная высота и диаметр ($h_{max} = d_{max}$) испытательного объема как функция испытательного расстояния. Это соотношение между диаметром и испытательным расстоянием гарантирует приемлемую неопределенность измерения помех EUT.

Таблица 5 — Максимальные размеры испытательного объема относительно испытательного расстояния

Максимальный диаметр d_{max} и высота h_{max} испытательного объема, м	Испытательное расстояние $d_{nominal}$, м
1,5	3,0
2,5	5,0
5,0	10,0

Измерения SA в одной позиции может быть недостаточно для обнаружения возможных отражений от материалов конструкции экранированной камеры и/или поглощающих материалов, покрывающих стены, пол, потолок и поворотный стол FAR.

Поэтому измерения при валидации площадки FAR необходимо проводить в 15 измерительных позициях при горизонтальной и вертикальной поляризациях передающей антенны в испытательном объеме (см. рисунок 15), а именно:

- при трех значениях высоты испытательного объема: внизу, в середине и наверху;
- в пяти позициях во всех трех горизонтальных плоскостях: в центре, слева, справа, спереди и сзади в каждой горизонтальной плоскости. Заднюю позицию можно не учитывать, если расстояние между этой позицией и поглощающими материалами больше 0,5 м. Во время испытаний EUT позиция «сзади» на поворотном столе при повороте меняется на позицию «спереди», и тогда вклад отражения «сзади» не будет влиять на максимальный сигнал.

Для измерений SA необходимо использовать две широкополосные антенны: одна передающая антенна, опорная точка которой находится в точках измерения внутри испытательного объема, и одна

приемная антенна вне этого испытательного объема с предписанной ориентацией и позицией. Передающая антенна должна иметь почти ненаправленную диаграмму излучения в плоскости *H*, обычно присущую небольшой биконической антенне.

Максимальный размер передающей антенны не должен превышать 40 см для испытательного расстояния 3 м; на бóльших расстояниях размах биконической антенны может быть максимум 44 см для проволочной конструкции или 50 см, если она складная или имеет форму вогнутого конуса.

Типичными приемными антеннами являются гибридные антенны для полосы частот от 30 до 1000 МГц или отдельные антенны (биконические для полосы от 30 до 200 МГц и логопериодические (LPDA) для полосы от 200 до 1000 МГц).

Примечание 1 — Не рекомендуется использовать гибридную антенну для измерения помех от EUT или для валидации FAR при расстоянии 3 м из-за относительно большого физического размера типичных гибридных антенн.

Антенны, используемые для измерения затухания площадки (SA) FAR, следует использовать и для измерения эталонного SA на испытательной площадке с условиями квазисвободного пространства (см. 6.10.2). Приемная антенна, используемая во время валидации FAR, должна быть того же типа, который использовался во время измерений EUT на излучаемые помехи.

При валидации испытательного объема с двумя поляризациями — горизонтальной и вертикальной — и при всех позициях передающей антенны в испытательном объеме позиция высоты приемной антенны в FAR должна сохраняться постоянной в середине испытательного объема, как показано на рисунках 15 и 16. Необходимо чтобы антенны имели наклон для выравнивания осей максимального направления диаграммы направленности обеих антенн в одну ось измерения вдоль линии между испытательными точками. Расстояние между опорной точкой антенны (определяется калибровкой антенны) и передней позицией испытательного объема обозначают как $d_{nominal}$. Если передающую антенну передвигают на другие позиции в испытательном объеме, приемная антенна должна перемещаться вдоль оси измерения для сохранения расстояния $d_{nominal}$ постоянным. Ось измерения — это линия между передающей и приемной антеннами, вдоль которой устанавливается $d_{nominal}$. Для всех позиций и поляризаций приемная и передающая антенны должны стоять лицом друг к другу, когда элементы обеих антенн параллельны (при наклоне антенн см. рисунок 16). Во время измерений при валидации площадки любые антенные мачты и подставки должны находиться на своих местах.

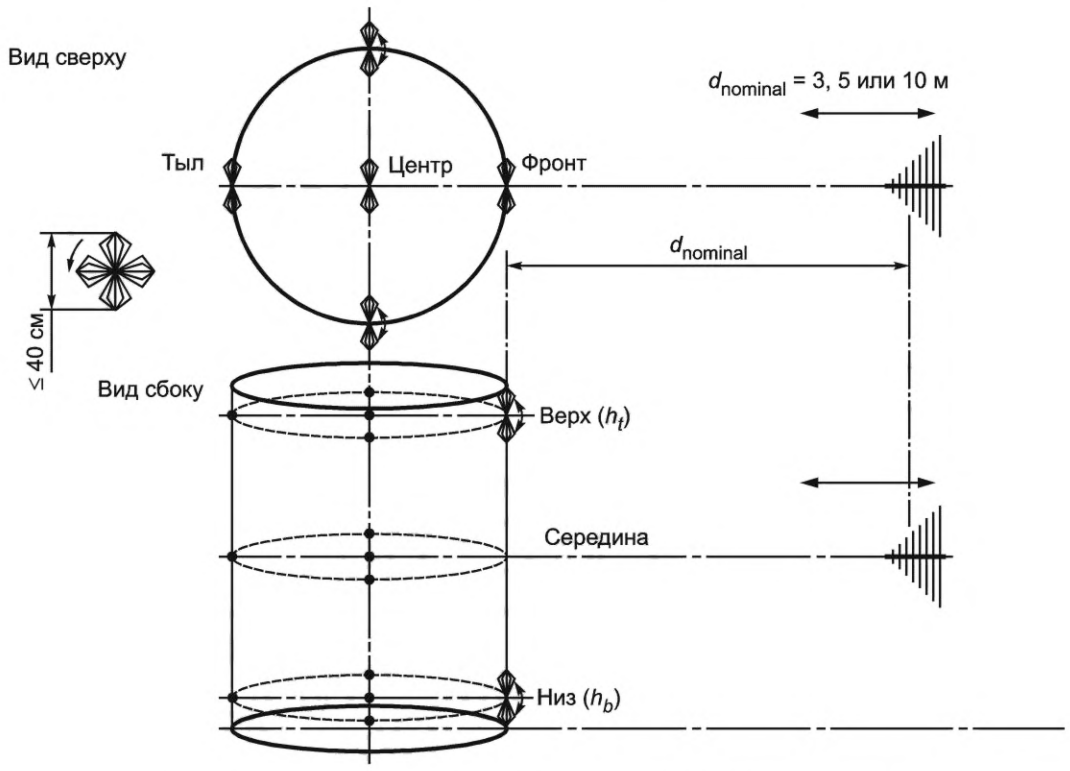


Рисунок 15 — Измерительные позиции при валидации площадки FAR

При всех позициях передающей антенны в испытательном объеме при горизонтальной и вертикальной поляризациях передающую и приемную антенны необходимо юстировать вдоль оси измерения.

$d_{nominal}$ { - испытательное расстояние EUT, связанное с нормой;
- фиксированное расстояние антенны в измерениях при аттестации площадки;
- разнесение антенн, используемое во время измерения эталонного SA при использовании метода RSM.

Позицию высоты передающей антенны в испытательном объеме определяют следующим образом:

- позиция «Середина» (h_m): если возможно, вдоль виртуальной оси, расположенной на середине высоты и середине ширины FAR;

- позиции «Верх» (h_t) и «Низ» (h_b): половина h_{max} (см. таблицу 5) минус половина размера передающей антенны (например, 20 см для небольшой биконической антенны).

Эти установленные позиции необходимо использовать при вертикальной и горизонтальной поляризациях. Расстояние между верхней и нижней плоскостями и поглощающим материалом на потолке и полу, соответственно, задается характеристикой поглотителя, определяемой испытанием NSA в объеме; чтобы избежать связи EUT с поглотителем, расстояние должно быть не менее 0,5 м.

Максимальный размер шага для дискретно-частотных измерений должен быть таким, как указано в таблице 6.

При валидации площадки FAR приемлемыми являются два метода:

a) метод эталонной площадки (RSM) (см. 6.10.2), который требуется при испытательных расстояниях менее 5 м; или

b) метод NSA (см. 6.10.3), который является предпочтительным для испытательных расстояний, которые больше или равны 5 м.

Примечание 2 — На разделительных расстояниях менее 5 м взаимной связью антенн пренебрегать нельзя. Кроме того, определять A_{APR} методом RSM на расстояниях более 5 м нецелесообразно.

Методы измерения при валидации площадки предназначены обеспечить девиацию 0 дБ затухания площадки (SA), полученную на идеальной площадке. Критерий валидации площадки определен в 6.10.4. Для снижения неопределенности измерения допускается использовать любые средства, если они не будут противоречить определенной испытательной установке и процедурам или скрывать любые недостатки площадки, например, сглаживать резонансные отклики в результатах измерений.

Неопределенность измерения при валидации площадки возможно уменьшить посредством следующих мер.

a) При вертикально поляризованной антенне экранированные кабели необходимо протянуть на расстояние не менее 2 м за каждой антенной, перед тем как кабель спустится к земле. Если возможно, кабели протягивают прямо к проходным разъемам в стене FAR. Другой возможностью является использование пристяжных ферритов на кабелях. Еще одной альтернативой для снижения влияния ВЧ кабелей является использование вместо них оптических линий.

b) Аттенюаторы на антенных разъемах (например, 6 или 10 дБ) снизят влияние любого большого рассогласования полного сопротивления на антеннах.

c) Следует использовать антенны с хорошей симметрией симметрирующего устройства (т. е., чтобы показания приемника изменялись менее чем на ±0,5 дБ при повороте антенны на 180° по отношению к ее оси в направлении максимума диаграммы направленности). Методы проверки симметрии антенны указаны в 4.5.4.

d) Если для испытания EUT применяют отдельные биконические и логопериодические (LDPA) антенны, их можно использовать при валидации FAR (различные типы антенн ниже и выше 200 МГц). Гибридную антенну используют, если механические размеры относительно испытательных расстояний достаточно малы.

Измерения при валидации площадки FAR следует проводить периодически, для выявления долгосрочных изменений в характеристиках FAR, и при появлении изменений, которые могут влиять на характеристики передачи электромагнитных волн в FAR.

Примечание — Горизонтальная поляризация антенн, позиция наверху, справа.

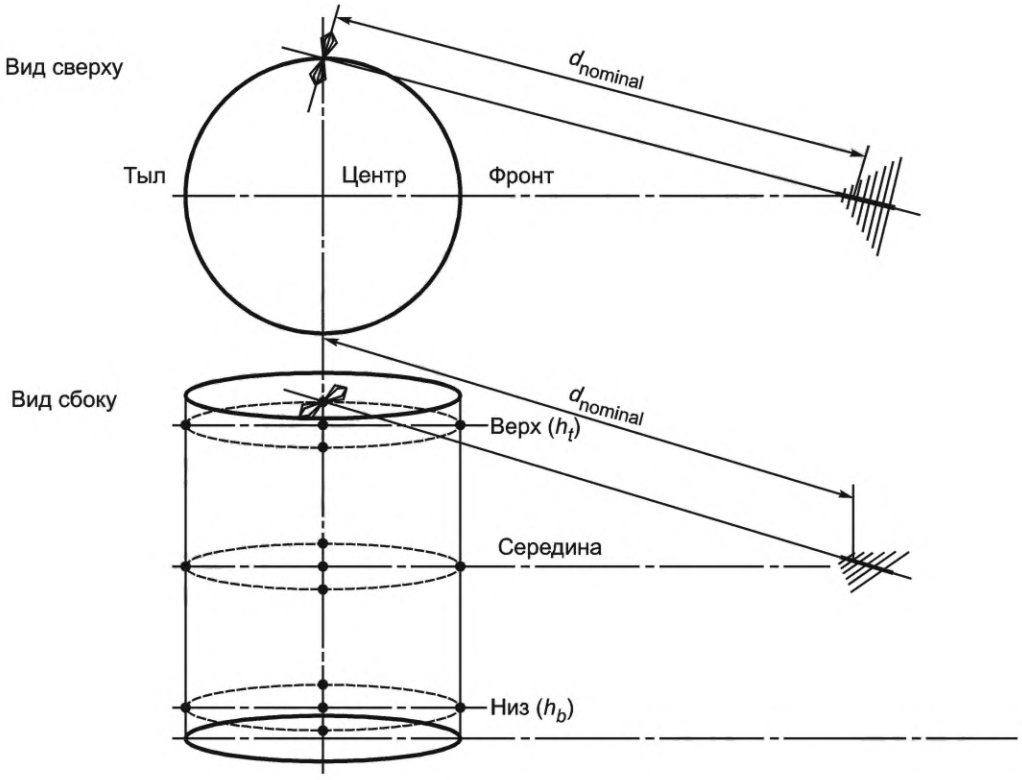


Рисунок 16 — Пример одной измерительной позиции и наклона антенны при валидации площадки FAR

Таблица 6 — Частотные диапазоны и размеры шага частоты при валидации площадки FAR

Диапазон частот, МГц	Максимальный шаг частоты, МГц
от 30 до 100	1
от 100 до 500	5
от 500 до 1000	10

6.10.2 Метод эталонной площадки (RSM) для площадок FAR

В методе RSM учитывают воздействия ближнего поля антенны и конусообразное сужение поля, которые могут оказать значительное влияние на результаты измерений на испытательном расстоянии 3 м, включая биконическую приемную антенну. Когда эти воздействия существуют в методе NSA, их можно в значительной степени скорректировать. A_{APR} эталонного SA измеряется на номинальном расстоянии $d_{nominal}$ между передающей и приемной антеннами.

Процедура валидации площадки FAR для каждой позиции в испытательном объеме проводится в три этапа:

a) V_{DIRECT} — эталонный уровень, измеренный приемником в дБ (мкВ) с соединенными вместе кабелями; измерение обычно проводится один раз перед серией испытаний в испытательном объеме;

b) V_{SITE} — уровень, измеренный приемником в дБ (мкВ) с установленными антеннами;

c) девиация SA (ΔA_s) относительно эталонного SA (A_{APR}) с парой антенн, дБ, рассчитывается с помощью уравнения

$$\Delta A_s = V_{DIRECT} - V_{SITE} - A_{APR}. \quad (11)$$

Для точной валидации площадок на расстояниях менее 5 м при определении эталонного SA рекомендуется использовать специальные пары антенн (передающую и приемную антенну). Необходимо иметь испытательную площадку с условиями квази-свободного пространства, указанную в 3.1.18. Испытательная площадка с условиями квази-свободного пространства включает две неметаллические антенные мачты (сконструированные из дерева или пластика с $\varepsilon_r \leq 2{,}5$, с низкими потерями и мини-

мальным диаметром при сохранении механической прочности), которые позволяют размещать антенны на достаточной высоте над уровнем земли (см. рисунок 17). Одним из методов реализации характеристики SA ±1 дБ эталонной площадки является выбор высоты (h) антенн с использованием уравнения

$$h \geq d \cdot \frac{8}{3}, \tag{12}$$

где d — расстояние между антеннами, м.

Для подавления влияния земли рекомендуется высота $h = d \cdot 8/3$; в ином случае, на земле должна находиться пригодная зона покрытия ВЧ-поглотителями, эффективная для частот с уменьшением до 30 МГц.

Примечание — На разделительном расстоянии 3 м и частоте 30 МГц существует значительное воздействие компонента ближнего поля ($1/d^2$), который один вносит погрешность в 0,8 дБ при высоте $d \cdot 5/3$, как было подтверждено в Национальной физической лаборатории Великобритании (NPL). Для эталонного затухания площадки (SA) с неопределенностью менее ±0,5 дБ рекомендуется высота $d \cdot 8/3$, если поглотитель не размещен на земле.

Испытательное расстояние на эталонной площадке должно быть равно реальному расстоянию $d_{nominal}$ между антеннами, которые впоследствии необходимо использовать в FAR. Антенны поляризованы вертикально (горизонтальная поляризация не допускается использоваться из-за более сильной интерференции с сигналом, отраженным от земли), что обеспечивает хорошую аппроксимацию к условиям свободного пространства. Расстояние до зданий, деревьев и т. п. должно быть больше $d \cdot 8/3$ из-за их влияния на измерения при вертикально поляризованных антеннах.

Необходимо принять меры, чтобы кабели питания антенн не влияли на результат испытания. Лучше всего этого можно избежать путем расположения кабеля, как указано на рисунке 17, или использовать вместо него ВЧ-оптические линии. Качество установки на эталонной испытательной площадке непосредственно влияет на последующие результаты оценки FAR. Эталонное затухание площадки с антенной парой (A_{APR}) определяется в три этапа следующим образом:

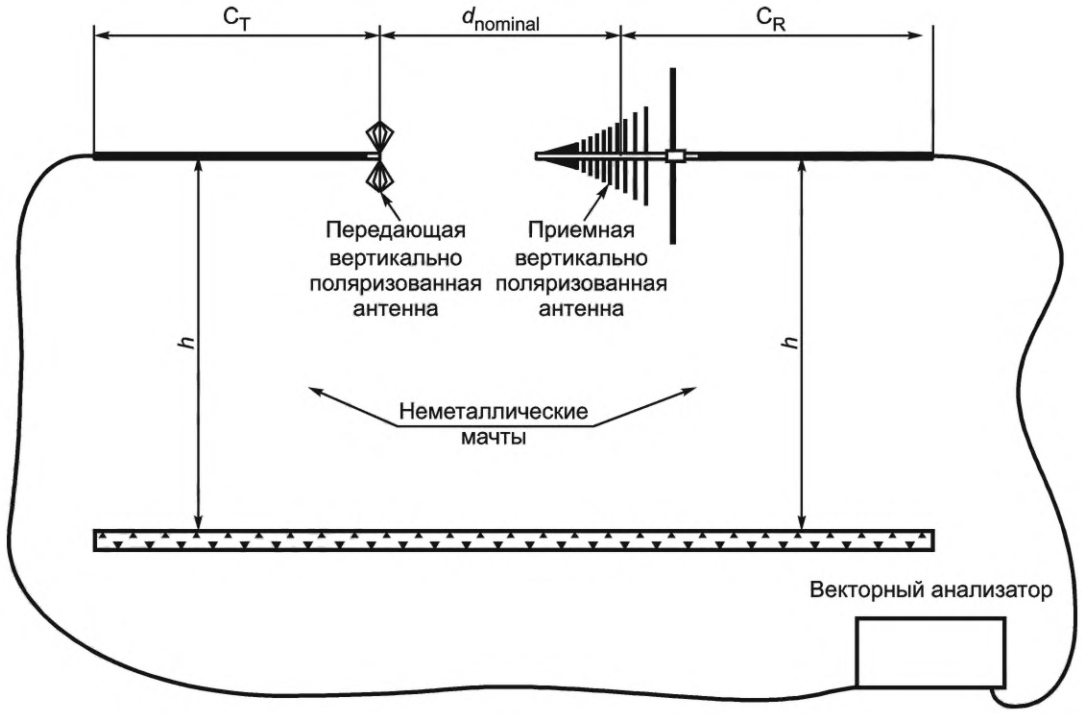
a) $V_{DIRECT\ RS}$ — это эталонный уровень, измеренный приемником в дБ (мкВ) с кабелями, соединенными вместе;

b) $V_{SITE\ RS}$ — это уровень, измеренный приемником в дБ (мкВ) с антеннами, установленными на требуемом расстоянии $d_{nominal}$;

c) A_{APR} в дБ рассчитывается в соответствии с уравнением

$$A_{APR} = V_{DIRECT\ RS} - V_{SITE\ RS}. \tag{13}$$

При валидации площадки с расстоянием 3 м для антенной пары необходимо использовать высоту не менее 4 м над землей, которую обычно могут обеспечить дистанционно управляемые антенные мачты, применяемые для измерений помех от EUT. В этом случае на земле между антеннами необходимо разместить электромагнитные поглотители, участки которых минимально выходят за антенны во всех направлениях, и продемонстрировать выполнение условий квази-свободного пространства (т. е. результаты измерения затухания площадки находятся в пределах ±1 дБ идеальной характеристики на любой частоте). Для валидации площадки с $d > 3$ м, при определении конфигурации испытательной установки используют уравнение $h > d \cdot 8/3$ или альтернативную испытательную установку, на которой получены результаты измерения эталонного затухания площадки, находящиеся в пределах ±1 дБ.



$d_{nominal}$ — расстояние при валидации; h — высота антенн относительно пластины заземления или уровня земли; C_T, C_R — коаксиальные кабели питания для передающей и приемной антенны, ориентированные горизонтально за антенной при расстоянии как можно ближе к 2 м, насколько это физически возможно. В FAR прокладка кабелей должна быть по возможности горизонтальной, предпочтительно прямо сквозь отверстие в стене камеры, или должно использоваться оптоволокно, соединяемое с ВЧ-оптической линией на выходе антенны

Примечание — Эталонное затухание площадки (SA) определяется отдельно для всех геометрий рисунка 17.

Рисунок 17 — Типичная установка для измерения эталонного затухания площадки (SA) с условиями квазисвободного пространства

6.10.3 Метод NSA для площадок FAR

В данном пункте представлен метод NSA, применяемый к полностью безэховым камерам. Геометрия антенны приведена в 6.10.1. Затухание площадки (SA; A_S как величина, измеряемая в дБ) — это потери передачи, измеряемые между разъемами двух антенн на конкретной площадке. Для площадок с условиями свободного пространства не применяется сканирование высоты антенны, что определяется термином «вносимые потери площадки» (см. 3.1.26).

В условиях свободного пространства A_S, дБ можно аппроксимировать (согласно [13]) уравнением:

$$A_S = 20\lg\left(\frac{5Z_0}{2\pi}\cdot\frac{d}{\sqrt{1-\frac{1}{(\beta d)^2}+\frac{1}{(\beta d)^4}}}\right) - 20\lg(f_M) + F_{aR} + F_{aT}, \quad (14)$$

где F_{aR}, F_{aT} — коэффициенты калибровки приемной и передающей антенн, дБ ($м^{-1}$);

d — расстояние между фазовыми центрами обеих антенн, м;

Z_0 — полное сопротивление системы (т. е. 50 Ом);

β — определяется как $2\pi/\lambda$;

f_M — частота, МГц.

Теоретическое NSA ($A_{N\ theo}$) в дБ ($м^2$) определяется как SA минус соответствующие коэффициенты калибровки антенн, т. е. уравнение (14) перезаписывается как уравнение

$$A_{N\ theo} = 20\lg\left(\frac{5Z_0}{2\pi}\cdot\frac{d}{\sqrt{1-\frac{1}{(\beta d)^2}+\frac{1}{(\beta d)^4}}}\right) - 20\lg(f_M). \quad (15)$$

На частотах ниже 60 МГц на расстоянии 5 м или ниже 110 МГц на расстоянии 3 м необходимо применять коэффициенты коррекции для ближнего поля для каждой из требуемых испытательных позиций, указанных в таблице 5, для сравнения с теоретическими значениями NSA на рисунке 18 и уравнением (15). Коэффициенты коррекции для ближнего поля индивидуальны по отношению к антеннам, испытательному расстоянию и используемому испытательному объему; когда эти коэффициенты можно получить с помощью цифрового моделирования, такого как NEC [3], при использовании уравнения (15) получают достаточно низкие неопределенности. В качестве альтернативы метод RSM, представленный в пункте 6.10.2, предусматривает отмену условий ближнего поля, если для измерения эталонного SA и последующей валидации FAR используют те же антенны и частоты.

Для измерительных расстояний 10 и 30 м члены уравнения (15), относящиеся к условиям ближнего поля, допускается опустить, и уравнение упрощается до

$$A_{N\ theo} = 20\lg\left(\frac{5Z_0}{2\pi}d\right) - 20\lg(f_M). \quad (16)$$

Если вместо уравнения (15) используется упрощенное уравнение (16), вносимая погрешность будет менее 0,1 дБ на частотах выше 60 МГц для расстояния 5 м и выше 110 МГц для расстояния 3 м. Погрешность будет более чем на 0,1 дБ ниже этих частот из-за воздействий ближнего поля. Для расстояния 3 м максимальная погрешность на частоте 30 МГц — 1 дБ. Чтобы уменьшить эту погрешность до значения менее ± 0,3 дБ, следует использовать уравнение (15).

Примечание 1 — На частотах ниже 110 МГц для измерительных расстояний 3 м и ниже 60 МГц для измерительных расстояний 5 м учитывают воздействия ближнего поля. Их рассчитывают для каждой отдельной испытательной площадки.

Для этой процедуры необходимы коэффициенты калибровки передающей и приемной антенн в свободном пространстве. Валидацию площадки для каждой позиции измерения необходимо проводить в три этапа следующим образом:

a) V_{DIRECT} — эталонный уровень, измеренный приемником с кабелями, непосредственно соединенными вместе;

b) V_{SITE} — уровень, измеренный приемником, с установленными антеннами;

c) девиация SA (ΔA_s) рассчитывается в дБ с помощью уравнения

$$\Delta A_s = V_{\mathrm{DIRECT}} - V_{\mathrm{SITE}} - A_{N\ theo} - F_{aT} - F_{aR}, \quad (17)$$

где $A_{N\ theo}$ рассчитывается с помощью уравнения (16) и результат сравнивается с применимым критерием, как указано в 6.10.4.

Примечание 2 — Расстояние d между опорными точками передающей и приемной антенн (определенными во время калибровки антенн) используют как d_{nominal}. Эффективное расстояние между антеннами меняется с частотой из-за позиций их фазовых центров. Потери передачи возможно компенсировать за счет отношения эффективного расстояния к d_{nominal}. Так как калибровка антенны не определена для номинального испытательного расстояния, в качестве коррекции допускается применять изменение в эффективном измерительном расстоянии из-за изменения расположения фазовых центров при использовании антенн LPDA. Используя метод RSM, можно избежать дополнительной неопределенности, обусловленной этой коррекцией и любой взаимной связью антенн.

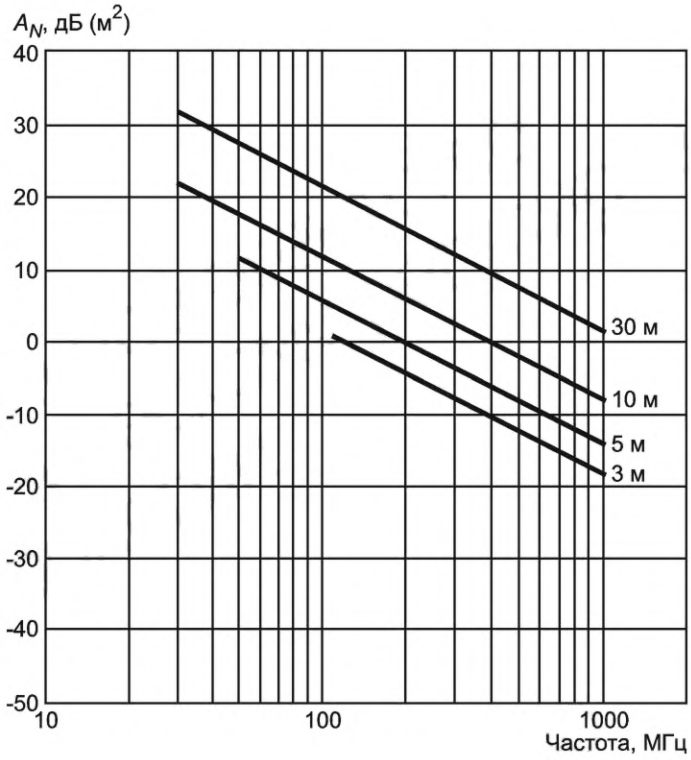


Рисунок 18 — Теоретическое NSA в условиях свободного пространства как функция частоты при разных измерительных расстояниях [см. уравнение (16)]

6.10.4 Критерии валидации площадок для FAR

Девиация SA (ΔA_s) должна быть меньше ±4 дБ при горизонтальной и вертикальной поляризациях и для каждой позиции измерения и каждого диапазона частот измерения.

6.11 Оценка установочного стола и антенной мачты

6.11.1 Общие положения

Установочный стол, указанный в D.5 (приложение D), обычно определяет место установки EUT при измерениях напряженности поля. Форма, конструкция и диэлектрическая проницаемость материала стола могут влиять на результаты измерений напряженности поля (см. [2], [5], [6], [8]). В пункте 6.11.2 представлена процедура определения влияния установочного стола в полосе частот от 30 МГц до 18 ГГц и оценки вклада неопределенности, обусловленной столом, в результаты измерения напряженности поля. Оценку производят на любом установочном столе высотой более 0,15 м.

Примечание — При оценке используют только горизонтальную поляризацию передающей антенны, размещенной над установочным столом. В отличие от вертикальной поляризации при горизонтальной поляризации учитывается наихудший случай воздействия стола.

Дополнительная оценка антенной мачты не требуется, так как любые мешающие воздействия будут включены в измерение при валидации площадки (см. 6.4) и в измерение S_{VSWR} (см. 7.3).

6.11.2 Процедура оценки влияния установочного стола

Для оценки влияния установочного стола выполняют два измерения прохождения сигнала: одно с установочным столом и второе — без него. Во время этих двух измерений схема установки передающей антенны остается неизменной. Разница между результатами измерений со столом и без стола позволяет оценить влияние установочного стола. Процедура измерения будет следующей.

Установочный стол размещают на испытательной площадке в стандартном месте, при этом его наибольший размер (т. е. диагональ для установочного стола с прямоугольной крышкой или радиус для стола с круглой крышкой) ориентирован в направлении приемной антенны (см. рисунок 19).

На частотах вплоть до 1 ГГц следует использовать небольшую биконическую антенну с общей длиной менее 0,40 м. На частотах выше 1 ГГц следует использовать антенну в соответствии с 7.4.2 (например, широкополосный диполь).

Относительно размещения передающей антенны (см. рисунки 19 и 20). Антенна должна размещаться над установочным столом и иметь горизонтальную поляризацию и расстояние 0,1 м между поверхностью стола и опорной точкой антенны (симметрирующего устройства). Антенну размещают так, чтобы ее опорная точка находилась посередине между центром и краем крышки установочного стола в направлении приемной антенны. Возбуждение антенны обеспечивает генератор сигналов. Передающую и приемную антенны юстируют с элементами антенны, параллельными друг другу и ортогональными оси измерения. Во время измерения шаг частоты должен составлять 0,5 % от наибольшей используемой частоты или менее. Напряжение приемной антенны должно быть по крайней мере на 20 дБ выше уровня шума измерительного оборудования. Влияние проводки кабелей можно минимизировать за счет использования длинных кабелей или применения ферритовых трубок. Обычно достаточно того, чтобы кабели проходили сзади горизонтально на расстоянии минимум 2 м. В ином случае влияние должно определяться как пренебрежимо малое, если получаемое напряжение не меняется более чем на 0,3 дБ при изменении прокладки кабеля более чем на 0,5 м от его исходной позиции.

Пример — Кабель с ферритовыми трубками идет горизонтально на расстоянии 1,6 м. Для проверки влияния кабеля меняют его трассировку так, чтобы он шел вертикально от точки, отстоящей на 2,1 м от места подключения антенны. Чтобы определить, будет ли влияние больше 0,3 дБ, производят повторное измерение напряженности поля.

Цель состоит в том, чтобы показать отсутствие изменений в измерениях при наличии стола в измерительной установке и без него. Передающая антенна и ее кабель, подключаемый к генератору сигналов, должны сохранить свои позиции в пространстве при наличии стола и без него. Для поддержки передающей антенны и кабеля необходимо использовать мачту, треногу или подставку, которые применяют при измерениях методом NSA/RSM (см. 6.4) или при измерении S_{VSWR} (см. 7.3).

Значения высоты антенн и расстояний должны быть следующими:

- на всех частотах расстояние между приемной и передающей антеннами должно быть таким, которое требуется при измерении излучаемых помех;

- на частоте 1 ГГц и ниже измерения следует проводить по крайней мере в полосе частот от 200 МГц до 1 ГГц. На открытой испытательной площадке (OATS) или в полубезэховой камере (SAC) высоту приемной антенны сканируют, как это требуется при измерении излучаемых помех (обычно от 1 до 4 м). В FAR приемную антенну фиксируют на высоте, которая требуется при измерении излучаемых помех.

Примечание — При использовании этой процедуры валидации на частотах ниже 200 МГц влияние установочного стола пренебрежимо мало;

- на частотах выше 1 ГГц измерения проводят в той же полосе частот (например, от 1 до 18 ГГц), а высоту антенны устанавливают, как это требуется при измерении излучаемых помех (например, от 1 до 4 м).

Значение разницы между результатами двух измерений на каждой частоте, обозначенное как $\Delta(f)$ и выраженное в дБ, следует рассчитать, используя уравнение

$$\Delta(f) = |V_{R/со\ столом}(f) - V_{R/без\ стола}(f)|, \quad (18)$$

где $V_{R/со\ столом}(f)$ — максимальное напряжение на приемной антенне на конкретной частоте, измеренное с установочным столом, дБ(мкВ);

$V_{R/без\ стола}(f)$ — максимальное напряжение на приемной антенне на конкретной частоте, измеренное без установочного стола, дБ(мкВ).

Максимальное значение разницы между результатами двух измерений, зарегистрированными в полосе частот, обозначенное как Δ_{max} и выраженное в дБ, используют как оценочное максимальное отклонение. Его вычисляют в соответствии с уравнением

$$\Delta_{max} = \max |V_{R/со\ столом}(f) - V_{R/без\ стола}(f)|. \quad (19)$$

Стандартную неопределенность $u_{стола}$, обусловленную установочным столом, оценивают при условии прямоугольного распределения измеренной максимальной разницы Δ_{max}. Следовательно, $u_{стола}$, дБ, можно рассчитать с помощью уравнения

$$u_{стола} = \frac{1}{\sqrt{3}}\Delta_{max}. \quad (20)$$

Значение $u_{стола}$ измеряют и учитывают в бюджете неопределенности (см. CISPR 16-4-2) в следующих частотных полосах:

- от 200 МГц до 1 ГГц;
- от 1 до 6 ГГц;
- от 6 до 18 ГГц.

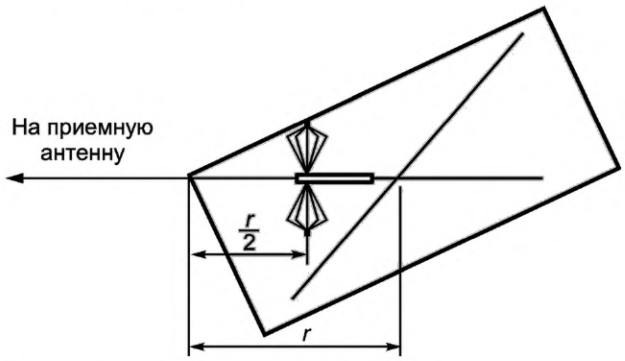


Рисунок 19 — Позиция антенны относительно края стола над прямоугольным установочным столом (вид сверху)

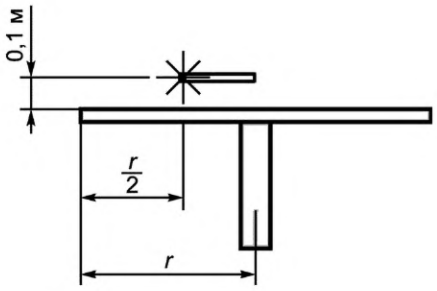


Рисунок 20 — Позиция антенны над установочным столом (вид сбоку)

Примечание — В испытательных лабораториях обычно используют разные типы столов, у которых могут быть разные конструкции и типы материалов. При определении $u_{стола}$ достаточно определить величину Δ (или $V_{R/со\ столом}$) для наихудшего случая.

7 Испытательные площадки для измерения напряженности поля радиопомех в полосе частот от 1 до 18 ГГц

7.1 Общие положения

Испытательная площадка должна удовлетворять условиям отсутствия отражений. Для обеспечения таких условий свободного пространства может потребоваться использование поглощающего материала и/или увеличение высоты, на которой находится испытуемое оборудование.

Примечание — В случае испытаний напольного оборудования может оказаться, что отсутствие отражений вблизи земли обеспечить невозможно.

7.2 Эталонная испытательная площадка

Эталонная испытательная площадка должна быть открытой испытательной площадкой с условиями свободного пространства (FSOATS), на которой предприняты меры, гарантирующие, что отражения не влияют на результаты измерений.

Примечание — FSOATS — это идеальная концепция испытательной площадки. На практике к ней приближается FAR, отвечающая требованиям валидации, приведенным в 7.3.

7.3 Валидация испытательной площадки

7.3.1 Общие положения

Испытательную площадку считают пригодной для проведения измерений излучаемых помех в полосе частот от 1 до 18 ГГц, если она отвечает критерию, приведенному в 7.3.2. Предусмотрены две версии процедуры валидации площадки: стандартная процедура испытания на S_{VSWR} (см. 7.6) и обратная процедура испытания на S_{VSWR} (см. 7.7). В целях проведения испытаний в соответствии со стандартами CISPR измерения при валидации площадки проводят от частоты 1 ГГц до максимальной частоты, которую используют в испытательном средстве; максимальная частота — не менее 2 ГГц.

Необходимо, чтобы конструкция испытательных площадок, используемых для измерений в полосе частот от 1 до 18 ГГц, минимизировала влияние отражений на принимаемый сигнал, например, это должна быть безэховая камера. Если конструкция площадки не обеспечивает полностью безэховых условий (например, полубезэховая камера), используют поглощающий материал для частичного покрытия металлической пластины заземления, как указано в приведенных ниже абзацах.

В случаях, когда испытательный объем идет вверх от проводящего пола испытательного средства и накрывает EUT (что является типичным для средств, используемых в основном для испытания напольного оборудования), при измерении параметров валидации в испытательный объем необходимо поместить поглотитель. При проведении испытания напольного оборудования, которое невозможно установить над пластиной заземления, размещенный на пластине заземления поглотитель может препятствовать облучению испытательного объема на высоте до 30 см.

При измерении помех от EUT, размер которого меньше аттестованного диаметра, считается, что используют именно этот диаметр аттестованного испытательного объема. В этом случае позицию антенны выбирают так, чтобы расстояние между EUT и опорной точкой антенны было идентично расстоянию, используемому в измерениях S_{VSWR} при валидации площадки.

Примечание 1 — При использовании EUT, которые меньше утвержденного испытательного объема, целесообразно, чтобы позиция приемной антенны относительно фронтальной поверхности EUT оставалась на расстоянии, используемом при валидации S_{VSWR}. Считается, что EUT небольшого размера будет оставаться в рамках ширины луча половинной мощности приемной антенны, а так как камера аттестуется для самого большого EUT и, следовательно, самого широкого луча приемной антенны, то выполняют требования, приведенные в 7.6.6.1 CISPR 16-2-3:2010.

При испытании напольного оборудования на помехи находящийся на полу поглотитель, используемый при валидации площадки, допускается убрать из зоны вблизи основания EUT так, чтобы он отстоял от основания EUT на 10 см.

В тех случаях, когда испытательный объем находится выше уровня поглотителя, что соответствует типовым средствам, используемым для испытания настольного оборудования, поглотитель размещают под испытательным объемом как при валидации площадки, так и при испытаниях оборудования. В протокол валидации площадки необходимо включить фотографии, показывающие конфигурацию поглотителя на площадке и места установки передающей и приемной антенн.

Валидацию площадки проводят путем измерений коэффициента стоячей волны по напряжению (S_{VSWR}). В методе валидации площадки оценивают данный испытательный объем при конкретной комбинации площадки, приемной антенны, испытательного расстояния (указанного в CISPR 16-2-3) и поглощающего материала, установленного на пластине заземления, если необходимо выполнить критерий, указанный в 7.3.2.

Влияние мачты приемной антенны, установленной как при испытаниях для валидации площадки, так и стационарных объектов, находящихся в испытательном объеме (например, стационарно установленного поворотного стола), оценивают при процедуре валидации и включают в эту процедуру. Удаляемые объекты, например переносной испытательный стол, могут отсутствовать при испытаниях, проводимых для валидации площадки, если их влияние должно оцениваться отдельно с помощью дополнительных процедур, приведенных в 6.11.

В CISPR 16-2-3 приведен метод измерения EUT, который используют для испытаний в полосе частот от 1 до 18 ГГц. Цель процедуры измерения S_{VSWR} состоит в проверке влияния отражений, которые могут воздействовать на EUT произвольного размера и формы, находящееся в испытательном объеме при его оценке с помощью данной процедуры.

S_{VSWR} — это отношение максимального принимаемого сигнала к минимальному принимаемому сигналу, обусловленное интерференцией между прямым (намеренным, полезным) и отраженным (нежелательным) сигналами, задаваемое уравнением

$$S_{VSWR} = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{V_{max}}{V_{min}}, \quad (21)$$

где E_{max} и E_{min} — максимальный и минимальный принимаемые сигналы;

V_{max} и V_{min} — соответствующие измеренные напряжения, когда для приема используют приемник или анализатор спектра.

В используемых процедурах для измерений и расчетов обычно используют децибелы (дБ). В этом случае S_{VSWR} будет задаваться уравнением

$$S_{VSWR,дБ} = 20\lg\left(\frac{V_{max}}{V_{min}}\right) = 20\lg\left(\frac{E_{max}}{E_{min}}\right) = V_{max,дБ} - V_{min,дБ} = E_{max,дБ} - E_{min,дБ}. \quad (22)$$

Примечание 2 — При измерении в децибелах $S_{VSWR,дБ}$ можно представить как разницу максимального и минимального принятых сигналов, измеренных в дБм, дБ (мкВ) или дБ(мкВ/м) в зависимости от измерительных приборов или используемого детектора сигналов.

Примечание 3 — Значение S_{VSWR} или $S_{VSWR,дБ}$ вычисляют отдельно по максимальному и минимальному сигналам, полученным на каждой частоте и при каждой поляризации для серии из шести измерений, как указано в 7.6 или в 7.7.

7.3.2 Критерий приемки при валидации площадки

S_{VSWR} непосредственно отражает воздействие нежелательных отражений. Критерий приемки при валидации площадки в полосе частот от 1 до 18 ГГц будет:

$$S_{VSWR} \leq 2{:}1, \text{ или } S_{VSWR,дБ} \leq 6{,}0 \text{ дБ}$$

при S_{VSWR}, измеренном в соответствии с процедурами, указанными в 7.6 или в 7.7.

7.4 Требования к антенне при стандартной процедуре валидации площадки по S_{VSWR}

7.4.1 Общие положения

Чтобы во время испытания обеспечить облучение всех отражающих поверхностей и имитировать возможные диаграммы излучения малой направленности, которыми можно представить множество единиц реального испытуемого оборудования, в настоящем разделе указаны характеристики оборудования, используемого при испытаниях на S_{VSWR}. Для этой цели используют RX- и TX-антенны.

В приведенных ниже пунктах определены критерии качества функционирования TX-антенн при испытании на S_{VSWR}; относительно критериев качества функционирования приемных антенн см. 4.6.2. Для подтверждения того, что выполняются критерии качества функционирования антенн, допускается использовать результаты типовых испытаний, предоставляемые производителем.

Диаграммы направленности TX- и RX-антенн необходимо измерять в соответствии с процедурами, приведенными в приложении I в CISPR 16-1-6:2014/AMD.1:2016.

Чтобы покрыть весь диапазон частот при испытании на S_{VSWR} в качестве TX- и RX-антенн используют одну или несколько антенн.

Примечание — Считается, что обе антенны также отвечают требованиям критерия качества функционирования на всех частотах, используемых при испытании на S_{VSWR}.

7.4.2 Передающая антенна

7.4.2.1 Общие положения

Антенна, используемая в качестве передающего источника, должна иметь линейную поляризацию и диаграмму излучения со следующими подробными характеристиками.

Должны быть в наличии данные по диаграмме направленности с шагом частоты менее или равным 1 ГГц.

Из-за изменения диаграммы направленности с изменением частоты требуются разные размеры шага частоты. Диаграммы направленности типовых TX- антенн с изменением частоты быстро не меняются, в то время как диаграммы направленности некоторых приемных антенн (LPDA) меняются быстро.

7.4.2.2 Диаграмма излучения передающей антенны в плоскости *E*

Диаграмму излучения в плоскости *E* у антенны с простой линейной поляризацией можно измерить в одной из множества возможных плоскостей сечения (постоянный азимутальный угол) в сфере излучения. Плоскость сечения при измерениях диаграммы направленности выбирается производителем антенн и указывается в отчете о характеристиках антенны. Одним из обычных удобных выборов считается плоскость, в которой находится разъем и проходят кабели.

a) Выбирают направление главного лепестка, обозначаемое как Θ_M, для правой и левой стороны каждой диаграммы направленности. Значение Θ_M должно находиться в пределах (0 ± 15)° и (180 ± 15)°, соответственно.

b) Чертят так называемую ограничительную зону, симметричную направлениям главного лепестка по обеим сторонам диаграммы[1)], когда амплитуда ≤ минус 3 дБ при ±15°.

Примечание — Это ограничение обеспечивает гладкую диаграмму в пеленговой области и приемлемую всенаправленную характеристику.

c) Диаграмма в плоскости *E* не должна входить в ограничительную зону.

На рисунке 21 приведен пример диаграммы излучения, отвечающей требованиям относительно плоскости *E*.

[1)] Это ограничение гарантирует гладкую диаграмму направленности в пеленговой области и приемлемую всенаправленную характеристику.

Примечание — Приведенный пример относится к антенне, отвечающей требованиям относительно плоскости *E*, указанным в настоящем подразделе. Направления главного лепестка Θ_M для правой и левой стороны каждой диаграммы направленности находятся в пределах (0 ± 15)° и (180 ± 15)°, соответственно. Затененные области представляют «запретную зону», где амплитуда ≤ −3 дБ при ±15° в каждом главном лепестке. Диаграмма направленности антенны не входит в запрещенную зону.

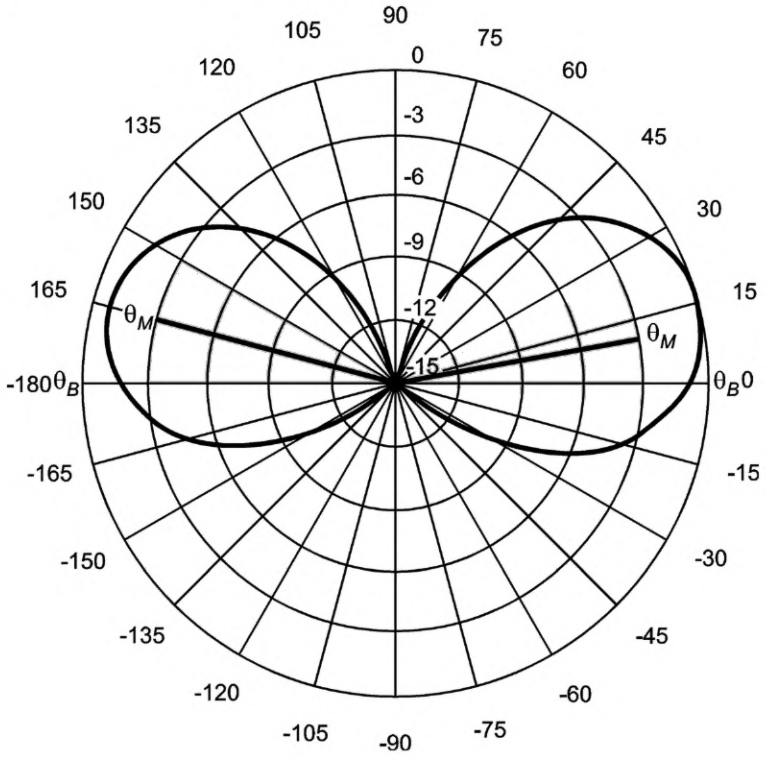


Рисунок 21 — Пример диаграммы направленности передающей антенны в плоскости *E* (только для информации)

7.4.2.3 Диаграмма направленности передающей антенны в плоскости *H*

Существует только одна возможная плоскость, в которой измеряют диаграмму направленности дипольной антенны в плоскости *H*, т. е. плоскости, ортогональной оси диполя и проходящей через его центр. В эту плоскость может попасть симметрирующее устройство, входной разъем и входной кабель в зависимости от того, используют ли металлический кабель или оптическое волокно. Производитель антенны указывает в протоколе испытаний антенны установку, используемую для измерения диаграмм излучения, включая разводку фидерных кабелей и местоположение разъема.

a) Усредняют данные диаграммы излучения (в дБ) в диапазоне ±135° (0° — угол пеленга, Θ_B). Максимальный шаг данных в этой диаграмме составляет 5° в полосе частот от 1 до 6 ГГц и 1° в полосе частот от 6 до 18 ГГц.

b) Отклонение диаграммы направленности от усредненного значения ±135° не должно быть больше:

Диапазон углов	От 1 до 6 ГГц	От 6 до 18 ГГц
от −60° до 60°	±2 дБ	±3 дБ
от −60° до −135°, от +60° до +135°	±3 дБ	±4 дБ
от −135° до −180°, от +135° до +180°	< +3 дБ	< ± 4 дБ

Примечание — Несмотря на то, что нижняя граница диаграммы в плоскости *H* вне ±135° не указана, желательно, чтобы диаграмма в плоскости *H* не была нулевой при ±180°, но была ненаправленной. Для минимизации возможного влияния на диаграмму в плоскости *H* вне ±135° необходимо следовать рекомендациям, предлагаемым производителем антенн, по прокладке фидерных кабелей и установке антенной мачты, если они имеются.

На рисунке 22 приведен пример диаграммы направленности, отвечающей указанным выше требованиям относительно плоскости *H*.

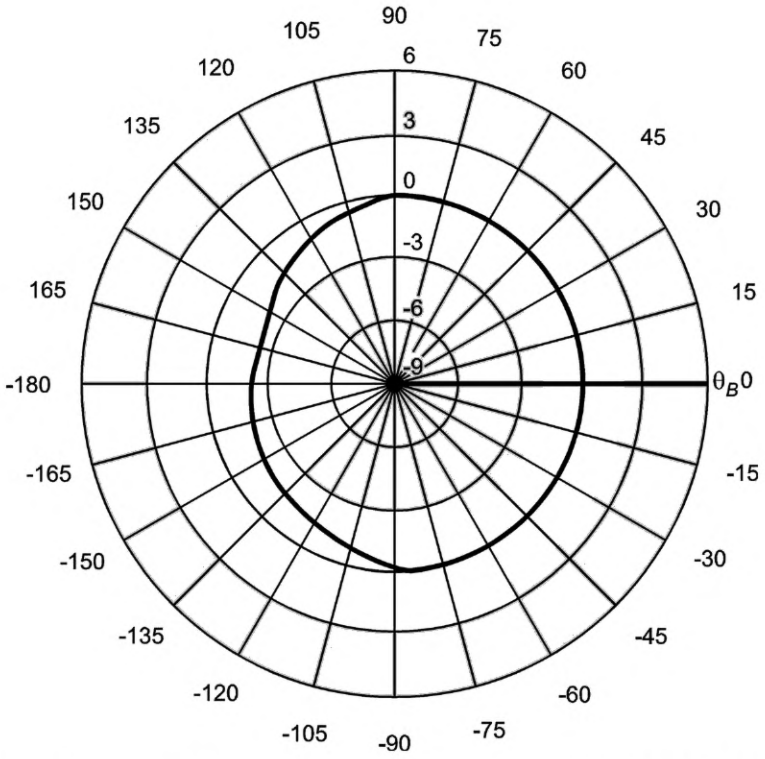


Рисунок 22a — Диаграмма направленности передающей антенны в плоскости *H* — от 1 до 6 ГГц

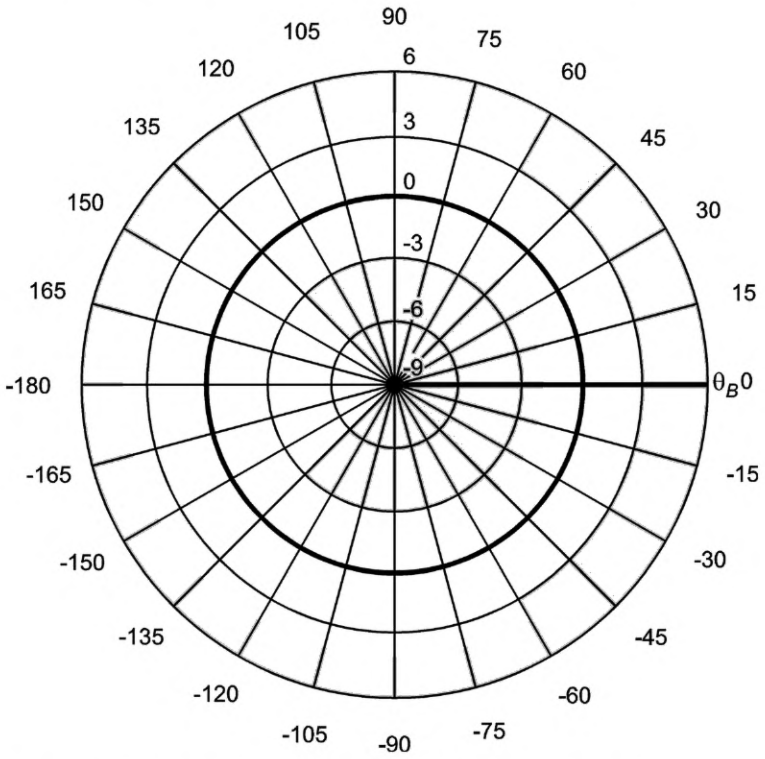


Рисунок 22b — Диаграмма направленности передающей антенны в плоскости *H* — от 6 до 18 ГГц

Примечание — Представленный пример относится к антенне, отвечающей требованиям в плоскости *H*. Затененные области представляют максимально допустимые отклонения, указанные в настоящем подразделе. Данная антенна отвечает требованиям, так как диаграмма не входит в затененные области.

Рисунок 22 — Диаграмма направленности передающей антенны в плоскости H (только для информации)

7.4.3 Антенны и испытательное оборудование для альтернативной процедуры определения S_{VSWR}

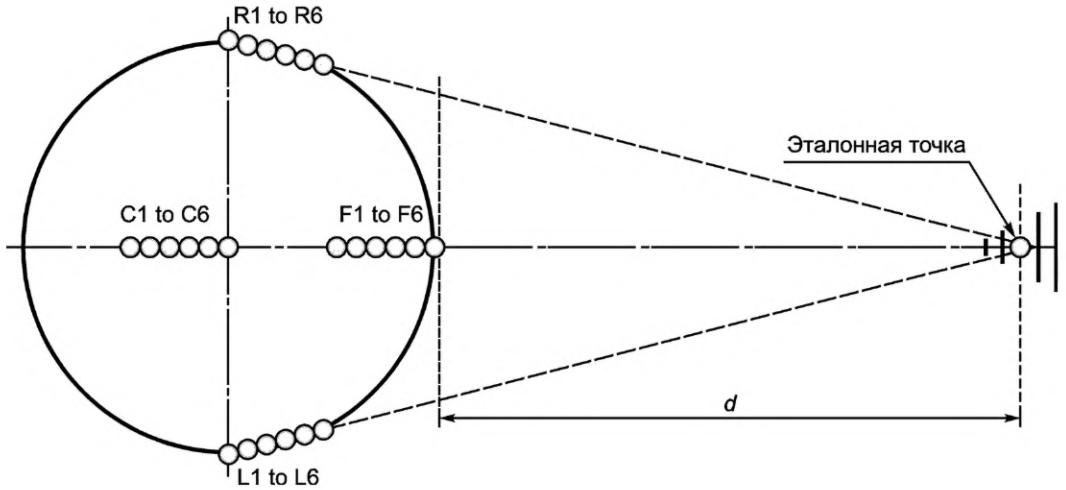
При альтернативной процедуре испытания на S_{VSWR} (см. 7.7) тип антенны, используемой для передачи в испытательный объем должен быть таким же, какой используется при измерениях излучаемых помех от EUT, и должен отвечать требованиям, приведенным в 4.6.2. Используемый датчик изотропного поля должен быть всенаправленным при изотропности не больше 3 дБ.

7.5 Обязательные положения антенн при испытании для валидации площадки

7.5.1 Общие положения

Испытания при валидации площадки должны проводиться для объема в форме цилиндра. Днище цилиндра определяется поверхностью, используемой для установки EUT. Высоту, на которой находится верхняя плоскость цилиндра, выбирают как максимальную высоту, которую может занимать EUT и его вертикальные воздушные кабели. Диаметр цилиндра определяется наибольшим размером, необходимым для размещения EUT, включая кабели. Если кабели выходят из испытательного объема, то считается, что 30 см этих кабелей определяют размеры объема. Для установки напольного оборудования, которое невозможно приподнять над опорной поверхностью, допускается ограничение облучения испытательного объема на высоте до 30 см от днища испытательного объема, обусловленное размещением поглощающего материала на пластине заземления. В соответствии со стандартной процедурой испытания, указанной в 7.6, оценку S_{VSWR} проводят путем размещения приемной антенны в позиции, для которой должен аттестовываться объем, и путем изменения положений источника передачи в указанных местах. В ином случае при использовании альтернативной процедуры определения S_{VSWR}, указанной в 7.7, для размещения датчика поля в испытательном объеме используют позиции, указанные в данном подразделе.

Необходимые позиции для проведения измерений S_{VSWR} зависят от размеров испытательного объема. В 7.8 приведена более подробная информация относительно требований к дополнительным измерительным позициям. S_{VSWR} оценивают в каждой необходимой позиции и при каждой поляризации путем проведения последовательности из шести измерений вдоль линии, направленной на опорную точку приемной антенны. Все возможные необходимые позиции приведены на рисунках 23 и 24, включая дополнительные позиции, указанные в 7.8. На этих рисунках позиции в последовательности из шести измерений вдоль линии к приемной антенне обозначены кружками.



d — испытательное расстояние

Рисунок 23 — Позиции при измерении S_{VSWR} в горизонтальной плоскости (см. 7.5.2)

7.5.2 Описание позиций при измерении S_{VSWR} в горизонтальной плоскости (рисунок 23)

В настоящем подразделе указано, как определить позиции для измерения S_{VSWR} в горизонтальной плоскости, представленной на рисунке 23.

а) Фронтальные позиции 1—6 (с F1 по F6): Фронтальные позиции находятся на линии, идущей от центра испытательного объема к опорной точке приемной антенны. Для установки этих позиций

сначала определяют место для F6 перед испытательным объемом на расстоянии *d* по оси измерения, выходящей из опорной точки приемной антенны.

Позиции F5—F1 отмеряют относительно F6 следующим образом (в направлении от приемной антенны):

1) F5 = F6 + 2 см от приемной антенны;
2) F4 = F6 + 10 см от приемной антенны;
3) F3 = F6 + 18 см от приемной антенны;
4) F2 = F6 + 30 см от приемной антенны;
5) F1 = F6 + 40 см от приемной антенны.

b) Позиции 1—6 справа (с R1 по R6): Эти позиции определяют относительно позиции R6. Позицию R6 устанавливают путем определения размера испытательного объема справа (позиция R1) и последующего передвижения на 40 см по линии в направлении опорной точки приемной антенны (см. рисунок 23).

Позиции R5—R1 отмеряют относительно R6 следующим образом (в направлении от приемной антенны):

1) R5 = R6 + 2 см от приемной антенны;
2) R4 = R6 + 10 см от приемной антенны;
3) R3 = R6 + 18 см от приемной антенны;
4) R2 = R6 + 30 см от приемной антенны;
5) R1 = R6 + 40 см от приемной антенны.

c) Позиции 1—6 слева (с L1 по L6): Эти позиции определяют относительно позиции L6. Позицию L6 устанавливают путем определения размера испытательного объема слева (позиция L1) и последующего передвижения на 40 см по линии в направлении опорной точки приемной антенны (см. рисунок 23).

Позиции L5—L1 отмеряют относительно L6 следующим образом (в направлении от приемной антенны):

1) L5 = L6 + 2 см от приемной антенны;
2) L4 = L6 + 10 см от приемной антенны;
3) L3 = L6 + 18 см от приемной антенны;
4) L2 = L6 + 30 см от приемной антенны;
5) L1 = L6 + 40 см от приемной антенны.

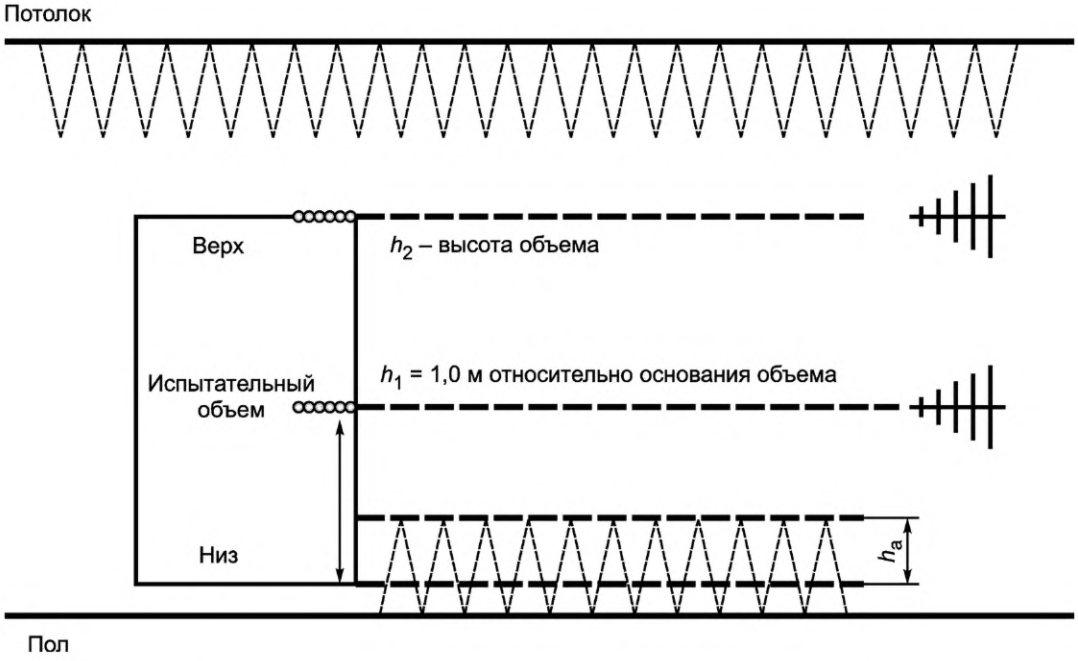
d) Позиции 1—6 по центру (с C1 по C6): Эти позиции определяют относительно позиции C6. Позиция C6 находится в центре испытательного объема. Испытание в позициях с C1 по C6 требуется при диаметре испытательного объема более 1,5 м (см. 7.8).

Позиции C5—C1 отмеряют относительно C6 следующим образом (в направлении от приемной антенны):

1) C5 = C6 + 2 см от приемной антенны;
2) C4 = C6 + 10 см от приемной антенны;
3) C3 = C6 + 18 см от приемной антенны;
4) C2 = C6 + 30 см от приемной антенны;
5) C1 = C6 + 40 см от приемной антенны.

7.5.3 Описание дополнительных позиций при измерении S_{VSWR} (рисунок 24)

Помимо местоположений, указанных на рисунке 23, в зависимости от высоты объема может потребоваться дополнительная плоскость при испытании на S_{VSWR} на вершине испытательного объема. На рисунке 24 продемонстрировано дополнительное требование по высоте при измерениях S_{VSWR}. Испытания на второй высоте проводят только для фронтальных позиций.



h_a — часть испытательного объема, покрытая поглотителем, находящимся на полу (максимум 30 см); h_1 — высота в середине испытательного объема или 1,0 м относительно основания испытательного объема, в зависимости от того, что меньше; h_2 — высота верха испытательного объема [испытание на этой высоте требуется тогда, когда h_2 отстоит от h_1 не менее чем на 0,5 м (более подробную информацию см. в 7.8)]

Рисунок 24 — Позиции при измерении S_{VSWR} (требования по высоте)

7.5.4 Суммарные позиции измерения S_{VSWR}

В таблице 7 представлены все позиции при измерении S_{VSWR}. В ней все позиции сгруппированы по высоте (h_1, h_2) и по местоположению (спереди, слева, справа, по центру). Для каждого местоположения определяют опорную позицию, используемую в расчетах по уравнению (23) (см. 7.6). Позиции обозначают как P_{mnopq}, где подстрочные знаки соответствуют названиям позиций, указанных в первой колонке таблицы 7.

Таблица 7 — Обозначение позиций при измерении S_{VSWR}

Обозначение позиции	Местоположение	Высота	Поляризация	Опорная позиция при d_{ref} [см. уравнение (23)]	Местоположение относительно опорной позиции
Фронтальные позиции (Фронт, h_1) при первой высоте					
F1h1H	Фронт	h_1	Горизонтальная	F6h1	+40 см от приемной антенны
F1h1V	Фронт	h_1	Вертикальная	F6h1	+40 см от приемной антенны
F2h1H	Фронт	h_1	Горизонтальная	F6h1	+30 см от приемной антенны
F2h1V	Фронт	h_1	Вертикальная	F6h1	+30 см от приемной антенны
F3h1H	Фронт	h_1	Горизонтальная	F6h1	+18 см от приемной антенны
F3h1V	Фронт	h_1	Вертикальная	F6h1	+18 см от приемной антенны
F4h1H	Фронт	h_1	Горизонтальная	F6h1	+10 см от приемной антенны
F4h1V	Фронт	h_1	Вертикальная	F6h1	+10 см от приемной антенны
F5h1H	Фронт	h_1	Горизонтальная	F6h1	+2 см от приемной антенны
F5h1V	Фронт	h_1	Вертикальная	F6h1	+2 см от приемной антенны
F6h1H	Фронт	h_1	Горизонтальная	F6h1	=Опорная позиция (Фронт, h_1)

Продолжение таблицы 7

Обозначение позиции	Местопо-ложение	Высота	Поляризация	Опорная позиция при d_{ref} [см. уравнение (23)]	Местоположение относительно опорной позиции
F6h1V	Фронт	h_1	Вертикальная	F6h1	=Опорная позиция (Фронт, h_1)
Позиции по центру (Центр, h_1) при первой высоте (при необходимости см. 7.8)					
C1h1H	Центр	h_1	Горизонтальная	C6h1	+40 см от приемной антенны
C1h1V	Центр	h_1	Вертикальная	C6h1	+40 см от приемной антенны
C2h1H	Центр	h_1	Горизонтальная	C6h1	+30 см от приемной антенны
C2h1V	Центр	h_1	Вертикальная	C6h1	+30 см от приемной антенны
C3h1H	Центр	h_1	Горизонтальная	C6h1	+18 см от приемной антенны
C3h1V	Центр	h_1	Вертикальная	C6h1	+18 см от приемной антенны
C4h1H	Центр	h_1	Горизонтальная	C6h1	+10 см от приемной антенны
C4h1V	Центр	h_1	Вертикальная	C6h1	+10 см от приемной антенны
C5h1H	Центр	h_1	Горизонтальная	C6h1	+2 см от приемной антенны
C5h1V	Центр	h_1	Вертикальная	C6h1	+2 см от приемной антенны
C6h1H	Центр	h_1	Горизонтальная	C6h1	=Опорная позиция (Центр, h_1)
C6h1V	Центр	h_1	Вертикальная	C6h1	=Опорная позиция (Центр, h_1)
Позиции справа при первой высоте					
R1h1H	Справа	h_1	Горизонтальная	R6h1	+40 см от приемной антенны справа от объема
R1h1V	Справа	h_1	Вертикальная	R6h1	+40 см от приемной антенны справа от объема
R2h1H	Справа	h_1	Горизонтальная	R6h1	+30 см от приемной антенны
R2h1V	Справа	h_1	Вертикальная	R6h1	+30 см от приемной антенны
R3h1H	Справа	h_1	Горизонтальная	R6h1	+18 см от приемной антенны
R3h1V	Справа	h_1	Вертикальная	R6h1	+18 см от приемной антенны
R4h1H	Справа	h_1	Горизонтальная	R6h1	+10 см от приемной антенны
R4h1V	Справа	h_1	Вертикальная	R6h1	+10 см от приемной антенны
R5h1H	Справа	h_1	Горизонтальная	R6h1	+2 см от приемной антенны
R5h1V	Справа	h_1	Вертикальная	R6h1	+2 см от приемной антенны
R6h1H	Справа	h_1	Горизонтальная	R6h1	=Опорная позиция (Справа, h_1)
R6h1V	Справа	h_1	Вертикальная	R6h1	=Опорная позиция (Справа, h_1)
Позиции слева при первой высоте					
L1h1H	Слева	h_1	Горизонтальная	L6h1	+40 см от приемной антенны слева от испытательного объема
L1h1V	Слева	h_1	Вертикальная	L6h1	+40 см от приемной антенны слева от испытательного объема
L2h1H	Слева	h_1	Горизонтальная	L6h1	+30 см от приемной антенны
L2h1V	Слева	h_1	Вертикальная	L6h1	+30 см от приемной антенны

Окончание таблицы 7

Обозначение позиции	Местоположение	Высота	Поляризация	Опорная позиция при d_{ref} [см. уравнение (23)]	Местоположение относительно опорной позиции
L3h1H	Слева	h_1	Горизонтальная	L6h1	+18 см от приемной антенны
L3h1V	Слева	h_1	Вертикальная	L6h1	+18 см от приемной антенны
L4h1H	Слева	h_1	Горизонтальная	L6h1	+10 см от приемной антенны
L4h1V	Слева	h_1	Вертикальная	L6h1	+10 см от приемной антенны
L5h1H	Слева	h_1	Горизонтальная	L6h1	+2 см от приемной антенны
L5h1V	Слева	h_1	Вертикальная	L6h1	+2 см от приемной антенны
L6h1H	Слева	h_1	Горизонтальная	L6h1	=Опорная позиция (Слева, h_1)
L6h1V	Слева	h_1	Вертикальная	L6h1	=Опорная позиция (Слева, h_1)
Фронтальные позиции при второй высоте (при необходимости см. 7.8)					
F1h2H	Фронт	h_2	Горизонтальная	F6h2	+40 см от приемной антенны
F1h2V	Фронт	h_2	Вертикальная	F6h2	+40 см от приемной антенны
F2h2H	Фронт	h_2	Горизонтальная	F6h2	+30 см от приемной антенны
F2h2V	Фронт	h_2	Вертикальная	F6h2	+30 см от приемной антенны
F3h2H	Фронт	h_2	Горизонтальная	F6h2	+18 см от приемной антенны
F3h2V	Фронт	h_2	Вертикальная	F6h2	+18 см от приемной антенны
F4h2H	Фронт	h_2	Горизонтальная	F6h2	+10 см от приемной антенны
F4h2V	Фронт	h_2	Вертикальная	F6h2	+10 см от приемной антенны
F5h2H	Фронт	h_2	Горизонтальная	F6h2	+2 см от приемной антенны
F5h2V	Фронт	h_2	Вертикальная	F6h2	+2 см от приемной антенны
F6h2H	Фронт	h_2	Горизонтальная	F6h2	=Опорная позиция (Фронт, h_2)
F6h2V	Фронт	h_2	Вертикальная	F6h2	=Опорная позиция (Фронт, h_2)
Примечание — Данные измерения S_{VSWR} допускается выполнять в любой последовательности.					

7.6 Валидация площадки с помощью S_{VSWR}. Стандартная процедура испытания

В представленной ниже процедуре позиции обозначают как P_{mnopq}, где обозначения в подстрочной сноске соответствуют обозначениям позиций, приведенным в первой колонке таблицы 7. Измеренный сигнал M — это напряженность электрического поля на приемной стороне или напряжение в каждой позиции, и его аналогичным образом обозначают как M_{mnopq}. Например, P_{F1h1H} — это позиция F1 при высоте 1, горизонтальной поляризации, и измеренный в ней сигнал (в дБ) будет M_{F1h1H}.

a) Устанавливают передающий источник так, чтобы его опорная точка находилась во фронтальной позиции 6, при высоте 1 и горизонтальной поляризации (P_{F6h1H}). Размещают приемную антенну в плоскости горизонтальной поляризации на испытательном расстоянии d, измеряемом от источника до опорной точки приемной антенны. Следует отметить, что при всех измерениях высота приемной антенны должна быть такой же, как и высота передающего источника.

b) Проверяют, чтобы отображаемый принимаемый сигнал был по крайней мере на 20 дБ выше уровня окружающей среды и шума измерительного приемника или анализатора спектра во всем измеряемом диапазоне частот. Если это не так, то может потребоваться использование другого оборудования (антенн, кабелей, генератора сигналов, предварительного усилителя) и/или неполных частотных диапазонов, в которых можно обеспечить уровень на 20 дБ выше отображаемого минимального уровня шума.

c) Регистрируют уровень измеренного сигнала M_{F6h1H} на каждой частоте. Допускается использовать измерение с разверткой или с пошаговым приращением частоты. При использовании пошагового приращения частоты это приращение должно быть не более 50 МГц.

d) Повторяют шаги b) и c), когда передающий источник находится в других пяти фронтальных позициях, указанных в таблице 8 (см. 7.9) при высоте 1 и горизонтальной поляризации. В итоге будут проведены шесть фронтальных измерений при высоте 1 и горизонтальной поляризации (M_{F1h1H} — M_{F6h1H}) с изменением разделительного расстояния от приемной антенны на приращения, указанные в таблице 7.

e) Изменяют поляризацию передающего источника и приемной антенны на вертикальную и повторяют указанную выше процедуру при позициях с P_{F1h1V} по P_{F1h6V} для получения M_{F1h1V} — M_{F1h6V}.

f) При всех измерениях нормируют измеренные данные по напряженности поля или напряжению к расстоянию, относящемуся к опорной позиции, указанной в таблице 7, с помощью уравнения

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20\log\left(\frac{d_{mnopq}}{d_{ref}}\right) \text{дБ}, \quad (23)$$

где d_{mnopq} — реальное разделительное расстояние до места измерения;

d_{ref} — разделительное расстояние, отмеренное от опорной точки;

M_{mnopq} — измеренный сигнал (напряженность поля или напряжение, измеренное приемником) в децибелах. Следует отметить, что каждое место измерения имеет свою опорную позицию, соответствующую позиции 6, как указано в таблице 7 для P_{mnopq};

M'_{mnopq} — нормализованные данные по измеренной напряженности поля или напряжению, отнесенные к расстоянию от опорной позиции, представленному в таблице 7.

g) С помощью уравнения (21) или уравнения (22) (см. 7.3.1) рассчитывают S_{VSWR} для горизонтальной поляризации. При использовании уравнения (22) $S_{VSWR,\ дБ}$ возможно получить путем вычитания минимального принимаемого сигнала $M_{min,дБ}$ из максимального принимаемого сигнала $M_{max,\ дБ}$ после проведения корректировки расстояния [см. шаг f)] для шести позиций. Повторяют расчет для показаний, полученных при вертикальной поляризации.

h) S_{VSWR} для каждой поляризации должен отвечать критерию приемки, указанному в 7.3.2.

i) Повторяют шаги a) — h) для позиций, находящихся слева и справа испытательного объема. Необходимо отметить, что при перемещении антенны передающего источника влево или вправо направление максимума ее диаграммы направленности должно быть ориентировано на приемную антенну. Однако приемная антенна должна оставаться «смотрящей» в центр (а не на боковые позиции), что является тем же направлением, на которое она будет ориентирована при последующих измерениях, проводимых с EUT.

j) Если это требуется в соответствии с 7.8, повторяют приведенную выше процедуру для измерений в центральной позиции и для измерений, необходимых при второй высоте. При измерениях, проводимых при второй высоте, приемная антенна должна находиться на той же высоте, что и передающая антенна.

7.7 Валидация площадки с помощью S_{VSWR}. Альтернативная процедура испытания с использованием датчика изотропного поля

В экранированных средствах (например, в полностью безэховых или полубезэховых камерах) разрешается проводить оценку S_{VSWR} с помощью датчика изотропного поля, размещаемого в требуемых позициях, указанных в таблице 7 при облучении испытательного объема той же антенной, которая затем используется в качестве приемной антенны при измерениях излучаемых помех от EUT. В настоящем стандарте данный метод называют «эквивалентным/альтернативным» методом валидации площадки с помощью S_{VSWR}. При этой альтернативной процедуре испытания антенна, которую затем при измерении помех от EUT будут использовать в качестве приемной, определяется в качестве «передающей» антенны, т. к. ее будут использовать для передачи на датчик, находящийся в испытательном объеме. Необходимо, чтобы датчик изотропного поля отвечал техническим требованиям относительно диаграммы направленности, указанным в 7.4.2. Датчик должен подстраиваться под поляризацию передающей антенны, т. е. должно быть известно расположение и ориентация чувствительных элементов внутри датчика.

Альтернативная процедура испытания с определением S_{VSWR} при валидации площадки с использованием датчика изотропного поля будет следующей:

a) Помещают датчик поля во фронтальную позицию 6 при высоте 1 и горизонтальной поляризации (P_{F6h1H}). Установите передающую антенну на испытательном расстоянии d, измеренном от периметра испытательного объема до опорной точки антенны. Высота подвеса передающей антенны должна быть такой же, что и высота, на которой находится датчик во всех позициях.

b) Проверяют, что величина напряженности поля достаточна для того, чтобы датчик функционировал должным образом. Относительно инструкций по оборудованию и процедурам, необходимым для установки соответствующих значений напряженности поля, используют рабочие технические требования производителя датчика (адекватная чувствительность и неопределенность измерения). Помимо этого передающую систему и систему датчика необходимо проверить на линейность, а гармоники следует подавить до уровня, который не менее чем на 15 дБ ниже основного сигнала. Для наблюдения за мощностью во время испытания рекомендуется использовать направленный ответвитель, поскольку изменения уровня выходной мощности приведут к изменениям в результатах испытания. Важно обеспечить стабильные выходные сигналы, т. к. любое изменение сигнала из-за нестабильности источника сигналов (например, из-за плохих кабельных разъемов, изменения со временем теплового режима усилителя мощности и т. п.) приведет к дополнительным изменениям результатов (например, к нереально высоким значениям S_{VSWR}).

c) Регистрируют измеренный уровень сигнала M_{F6h1H} на каждой частоте. Допускается использовать измерения с разверткой или частотными приращениями. При использовании приращений частоты величина приращения должна быть не более 50 МГц.

d) Повторяют шаги b) и c) при размещении датчика поля в других пяти фронтальных позициях, указанных в таблице 8 (см. 7.9), высоте 1 и горизонтальной поляризации. В итоге будут проведены шесть фронтальных измерений при высоте 1 и горизонтальной поляризации (M_{F1h1H} — M_{F6h1H}) с изменением разделительного расстояния от приемной антенны на приращения, указанные в таблице 7.

e) Изменяют поляризацию датчика поля и антенны на вертикальную и повторяют указанную выше процедуру в позициях P_{F1h1V} — P_{F1h6V} для получения M_{F1h1V} — M_{F6h1V}.

f) С помощью уравнения (23) нормируют полученные данные для всех измерений.

g) С помощью уравнения (21) или уравнения (22) (см. 7.3.1) рассчитывают S_{VSWR} для горизонтальной поляризации. При использовании уравнения (22) $S_{VSWR,\ дБ}$ можно получить путем вычитания минимального принимаемого сигнала $M_{min,дБ}$ из максимального принимаемого сигнала $M_{max,дБ}$ после проведения корректировки расстояния [см. шаг f)] для шести позиций. Повторяют расчет для показаний, полученных при вертикальной поляризации.

h) S_{VSWR} для каждой поляризации должен отвечать критерию приемки, указанному в 7.3.2.

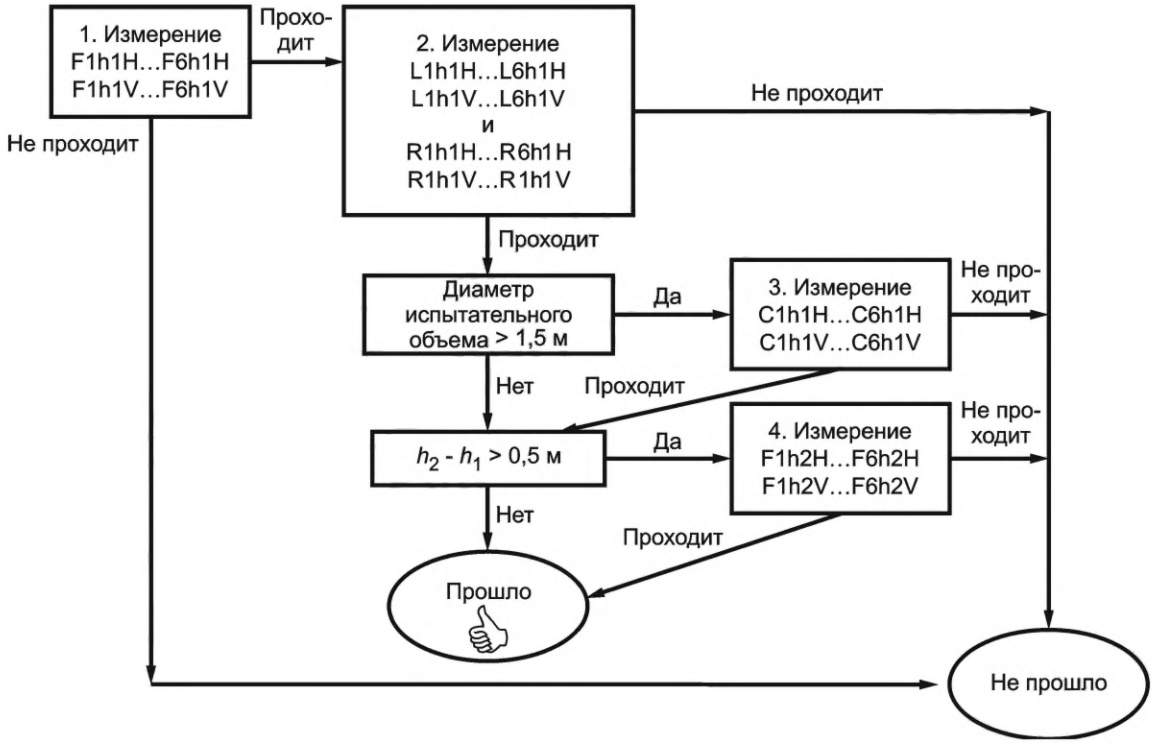
i) Повторяют представленную выше процедуру для позиций, находящихся слева и справа испытательного объема. Следует отметить, что при этой процедуре альтернативного определения S_{VSWR} для обеспечения постоянного направления на опорную точку передающей антенны датчик можно настраивать. Однако передающая антенна должна оставаться «смотрящей» в центр объема (а не на боковые позиции) с тем же направлением, на которое она будет ориентирована при последующих измерениях, проводимых с EUT.

j) Если это требуется в соответствии с 7.8, повторяют приведенную выше процедуру для измерений в центральной позиции и для измерений, необходимых при второй высоте. При измерениях, проводимых при второй высоте датчик должен находиться на той же высоте, что и передающая антенна.

7.8 Требования к дополнительным позициям при измерении S_{VSWR}

Как указано на рисунках 23, 24 и в таблице 7, в зависимости от размера испытательного объема требуется провести измерение в дополнительных позициях. На рисунке 25 представлен алгоритм, по которому определяют, когда необходимы эти дополнительные измерения.

Когда требуются дополнительные позиции измерения, S_{VSWR} определяют на каждой частоте испытаний, состоящих из серий по шесть измерений, отдельно для горизонтальной и вертикальной поляризации на основе процедур, указанных в 7.6 или 7.7.



Примечание — Порядок проведения измерений не регламентируется; он может быть любым, но необходимо, чтобы данные были полными.

Рисунок 25 — Требования к дополнительным позициям при измерении S_{VSWR}

7.9 Отчет о валидации площадки путем определения S_{VSWR}

В таблице 8 представлены все возможные необходимые измерения и расчеты (нормализованные) S_{VSWR}, включая результаты, полученные в необходимых позициях и дополнительных позициях, указанных в 7.8. Требования к расчетам S_{VSWR} и к составлению отчета распространяются на каждую частоту испытания.

Таблица 8 — Требования к отчету по S_{VSWR}

Место	Высота	Поляризация	Тип	S_{VSWR}, дБ
Фронт	h_1	Горизонтальная	Необходимое	$= \mathrm{Max}(M'_{F1h1H} \ldots M'_{F6h1H}) - \mathrm{Min}(M'_{F1h1H} \ldots M'_{F6h1H})$
Фронт	h_1	Вертикальная	Необходимое	$= \mathrm{Max}(M'_{F1h1V} \ldots M'_{F6h1V}) - \mathrm{Min}(M'_{F1h1V} \ldots M'_{F6h1V})$
Справа	h_1	Горизонтальная	Необходимое	$= \mathrm{Max}(M'_{R1h1H} \ldots M'_{R6h1H}) - \mathrm{Min}(M'_{R1h1H} \ldots M'_{R6h1H})$
Справа	h_1	Вертикальная	Необходимое	$= \mathrm{Max}(M'_{R1h1V} \ldots M'_{R6h1V}) - \mathrm{Min}(M'_{R1h1V} \ldots M'_{R6h1V})$
Слева	h_1	Горизонтальная	Необходимое	$= \mathrm{Max}(M'_{L1h1H} \ldots M'_{L6h1H}) - \mathrm{Min}(M'_{L1h1H} \ldots M'_{L6h1H})$
Слева	h_1	Вертикальная	Необходимое	$= \mathrm{Max}(M'_{L1h1V} \ldots M'_{L6h1V}) - \mathrm{Min}(M'_{L1h1V} \ldots M'_{L6h1V})$
Центр	h_1	Горизонтальная	Дополнительное	$= \mathrm{Max}(M'_{C1h1H} \ldots M'_{C6h1H}) - \mathrm{Min}(M'_{C1h1H} \ldots M'_{C6h1H})$
Центр	h_1	Вертикальная	Дополнительное	$= \mathrm{Max}(M'_{C1h1V} \ldots M'_{C6h1V}) - \mathrm{Min}(M'_{C1h1V} \ldots M'_{C6h1V})$
Фронт	h_2	Горизонтальная	Дополнительное	$= \mathrm{Max}(M'_{F1h2H} \ldots M'_{F6h2H}) - \mathrm{Min}(M'_{F1h2H} \ldots M'_{F6h2H})$
Фронт	h_2	Вертикальная	Дополнительное	$= \mathrm{Max}(M'_{F1h2V} \ldots M'_{F6h2V}) - \mathrm{Min}(M'_{F1h2V} \ldots M'_{F6h2V})$

7.10 Ограничения метода валидации площадки с помощью S_{VSWR}

Точки измерения, выбранные в 7.5 и используемые в приведенных выше процедурах, должны обеспечить полное измерение S_{VSWR} испытательной площадки в полосе частот от 1 до 18 ГГц. Однако отметим, что с помощью процедур, изложенных в 7.6 или в 7.7, не всегда удается выявить пиковое значение S_{VSWR} на конкретной частоте *f*. Поэтому следует избегать заявлений относительно соответствия S_{VSWR} на основании измерений, выполненных на одной частоте. Тем не менее, пиковое значение, выявленное посредством указанных выше процедур, в пределах соседних частотных октав (0,5*f* — 2*f*) обычно является репрезентативным для S_{VSWR} наихудшего случая на всех частотах, входящих в данную полосу.

В тех случаях, когда на одной частоте требуется более точное значение S_{VSWR}, приведенный метод можно улучшить за счет измерения в более чем шести позициях, находящихся на линиях, указанных на рисунке 23 и рисунке 24. Дополнительные точки сбора данных должны находиться на разных расстояниях друг от друга и выбираться путем перемещения антенны источника (или датчика поля в методе альтернативного определения S_{VSWR}) с шагом, равным четверти длины волны на рассматриваемой частоте.

7.11 Альтернативные испытательные площадки

Любая испытательная площадка, которая отвечает условиям свободного пространства, является возможной альтернативной испытательной площадкой.

8 Поглощающие устройства синфазного режима

8.1 Общие положения

Поглощающие устройства синфазного режима (CMAD) устанавливают на кабели, исходящие из испытательного объема, при измерении излучаемых помех. CMAD используют при таких измерениях для уменьшения вариаций в результатах измерения, получаемых на разных испытательных площадках, за счет возможности менять значения импеданса синфазного режима и симметричность в точке, в которой кабели исходят из испытательной площадки (например, в центре поворотного стола). Основные характеристики CMAD можно выразить через *S*-параметры. По этим параметрам определяют значения нужных характеристик, таких как вносимые потери или коэффициент отражения. В данном разделе определены методы измерения для проверки *S*-параметров CMAD.

8.2 Измерения *S*-параметров CMAD

Для описания свойств CMAD используют *S*-параметры, измеренные в испытательном зажимном устройстве, указанном в 8.3. Значения комплексных *S*-параметров оценивают в опорных плоскостях, указанных на рисунке 26. В эталонном методе измерения *S*-параметров с наибольшей точностью используют векторный анализатор (VNA) и метод калибровки TRL, указанный в 8.4.

8.3 Зажимное устройство для испытания CMAD

Испытательное зажимное устройство для измерения *S*-параметров испытуемого CMAD должно иметь цилиндрический металлический стержень, расположенный над металлической пластиной заземления, как показано на рисунке 26. Этот металлический стержень между вертикальными фланцами испытательного зажимного устройства состоит из трех секций: одна из них формирует линию передачи в зажимном устройстве между двумя опорными плоскостями, а две другие являются адаптерными секциями между эталонными плоскостями и портами адаптеров.

Воздействия на результаты измерения CMAD со стороны секций и портов адаптеров возможно устранить за счет метода калибровки TRL, указанного в 8.4, с обеспечением небольшой неопределенности заключительных измерений. Для измерений, представленных в 8.4, допускается использовать любой тип адаптера. Примеры адаптеров приведены на рисунках 29—31 (см. 8.6).

Диаметр цилиндрического стержня *d* должен составлять 4 мм. Высота относительно пластины заземления *h*, определяется размерами CMAD. Типичными значениями являются 30, 65 и 90 мм. Измерение следует проводить при высоте, определяемой конструкцией CMAD. Расстояние между опорной плоскостью и вертикальным фланцем зажимного устройства (секция адаптера) L_A должно быть не менее 2*h* (см. рисунок 26). Расстояния между опорными плоскостями и концами CMAD, D_A и D_B,

должны быть как можно меньше и не больше h. Длина металлической пластины заземления зажимного устройства должна быть больше (L_{jig} + 4h), а ширина — больше 4h.

Характеристический импеданс Z_{ref} определяется внутренним диаметром линии d (считают, что он должен быть равен 4 мм) и высотой центра стержня относительно пластины заземления h:

$$Z_{ref} = \frac{Z_0}{2\pi}\cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right), \text{ Ом,} \quad (24)$$

где Z_0 — импеданс свободного пространства (т. е.120π), Ом;

d — диаметр испытательного проводника (определен как 4 мм);

h — высота центра испытательного проводника относительно пластины заземления.

Пример: Типичные значения Z_{ref} при разных значениях высоты h:
h = 30 мм → Z_{ref} = 204 Ом
h = 65 мм → Z_{ref} = 248 Ом
h = 90 мм → Z_{ref} = 270 Ом

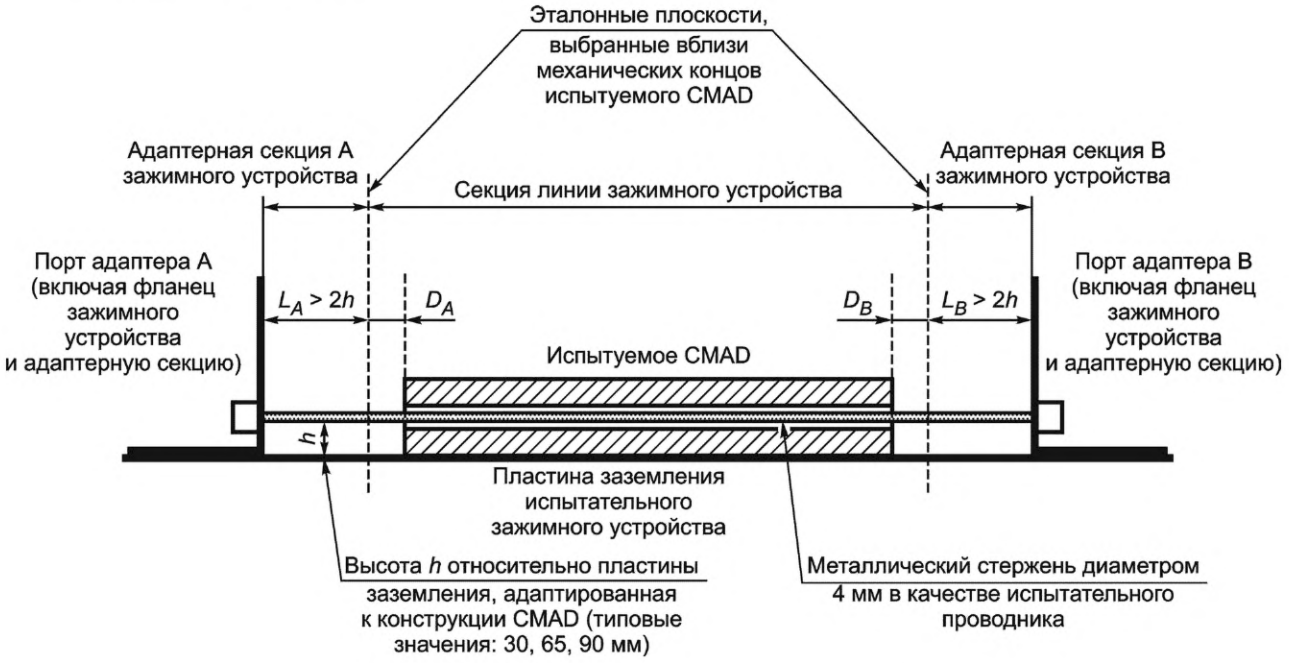


Рисунок 26 — Определение опорных плоскостей внутри испытательного зажимного устройства

8.4 Метод измерения с использованием калибровки TRL

Для измерения S-параметров CMAD рекомендуют использовать метод калибровки TRL («насквозь» — «отражение» — «линия»). Применение такой процедуры калибровки позволяет выбрать опорную плоскость внутри испытательного зажимного устройства почти в том месте, где будет находиться испытуемое CMAD, а следовательно, минимизировать расстояния D_A и D_B (см. рисунок 26). При калибровке требуется металлический стержень (обозначаемый как «линия») такого же диаметра, как у секции линии передачи зажимного устройства, находящийся на той же высоте, что и эта линия. Должны быть точно известны характеристический импеданс секции линии и ее длина, которые вводят в данные калибровки, используемые в программе векторного анализатора цепей (VNA) или при расчетах внешней коррекции.

Длина секции линии, используемой в процессе калибровки TRL, определяет частотный диапазон, в котором допускается проводить эту калибровку. Данное частотное ограничение объясняется математической процедурой, используемой в методе калибровки TRL, когда на некоторых частотах возникает условие, при котором возможно деление на ноль (или на очень маленькие значения), чего допускать не следует.

Если длина эталона «линии» будет L, диапазон частот следует свести к области между верхней и нижней частотами f_L и f_H, а именно:

$$f_L = 0{,}05\frac{c}{L}, \tag{25}$$

$$f_L = 0{,}45\frac{c}{L}, \tag{26}$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Для калибровки в полосе частот от 30 до 200 МГц приемлемая длина «линии» составляет 0,6 м. Если требуется расширить область измерений в верхних частотах, необходимо провести вторую калибровку «линии». Вторая калибровка при длине линии 0,12 м будет приемлемой для полосы частот от 150 до 1000 МГц.

Для метода калибровки TRL требуются четыре калибровочные конфигурации:

a) «отражение» (порт A): измерение комплексного значения S_{11} адаптерной секции и адаптера без какого-либо другого подключения (имитация условия разомкнутой цепи) [см. рисунок 27a)];

b) «отражение» (порт B): измерение комплексного значения S_{22} адаптерной секции и адаптера без какого-либо другого подключения (имитация условия разомкнутой цепи) [см. рисунок 27b)];

c) «насквозь»: измерение комплексных значений S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22} при непосредственном соединении двух адаптерных секций (без секции линии между ними) [см. рисунок 27c)];

d) «линия»: измерение комплексных значений S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22} с установленной секцией линии [см. рисунок 27d)].

Эти калибровочные измерения обеспечивают 10 комплексных чисел для каждой частотной точки. Если в анализаторе VNA есть программа калибровки TRL, в ней будут использованы эти эталонные измерения для расчета соответствующих коэффициентов коррекции при измерении методом TRL. Если VNA не поддерживает калибровку TRL, необходимые корректировки допускается сделать независимо от VNA в соответствии с процедурой, указанной в CISPR TR 16-3.

Для калибровки TRL необязательно знать свойства адаптерных секций и портов адаптеров вне плоскостей калибровки — их измеряют в процессе калибровки и корректно компенсируют самой калибровкой TRL. Допускается использовать разные типы адаптеров. Рекомендуется на обоих концах зажимного устройства использовать адаптеры одного типа и адаптерные секции одинаковой длины. Также рекомендуется, чтобы две адаптерные секции имели одинаковую длину, т. е. $L_A = L_B$.

После калибровки испытуемое CMAD вводят в секцию линии зажимного устройства. Адаптерные секции и адаптеры должны быть точно такими же, какие использовались при калибровке. Длина металлического стержня может отличаться от длины линии, используемой при калибровке, но диаметр (4 мм) и высота относительно пластины заземления — такие же, как при калибровке. Металлический стержень внутри CMAD необходимо как можно точнее позиционировать в центре раскрыва CMAD. Длину металлического стержня выбирают так, чтобы опорная плоскость соответствовала физическим концам CMAD (т. е. D_A было как можно меньше). Типовые CMAD имеют длину 0,6 м. В этом случае для калибровки в полосе частот от 30 до 200 МГц используют секцию линии 4 мм, а также и для измерения CMAD (включая диапазон частот выше 200 МГц при калибровке с более короткой секцией линии). Результаты измерения испытуемого CMAD при использовании измерения с помощью анализатора VNA с корректировкой за счет калибровки TRL представляют собой набор из четырех S-параметров, отнесенных к характеристическому импедансу секции линии передачи (пустое зажимное устройство) $Z_{0,jig}$.



Рисунок 27a — Конфигурация при калибровочном измерении «отражение, порт A»



Рисунок 27b — Конфигурация при калибровочном измерении «отражение, порт *B*»

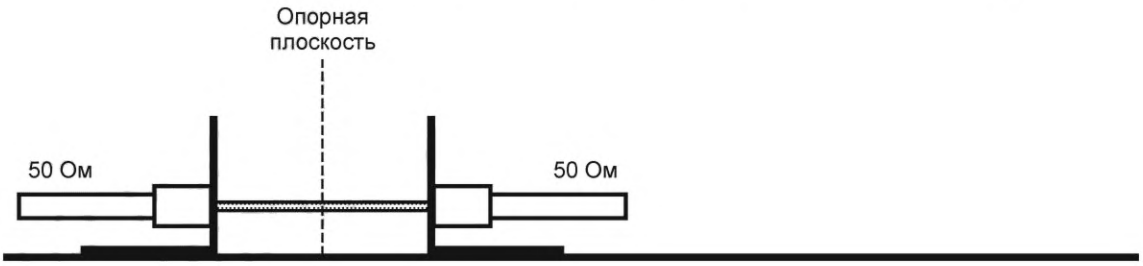


Рисунок 27c — Конфигурация при калибровочном измерении «насквозь»



Рисунок 27d — Конфигурация при калибровочном измерении «линия»

Примечание — Не требуется, чтобы длина *L* эталонной линии при калибровке была равна длине, используемой при измерении CMAD. Длину эталонной линии при процедуре калибровки выбирают в соответствии с необходимой полосой частот.

Рисунок 27 — Четыре конфигурации при калибровке TRL

8.5 Технические требования к CMAD типа ферритовых клещей

Поглощающие устройства синфазного режима (CMAD) типа ферритовых клещей используют при измерениях излучаемых помех на частотах ниже 1 ГГц для уменьшения неопределенности соответствия норме. Характеристики CMAD измеряют в соответствии с 8.1—8.3 и относят к характеристическому импедансу пустого зажимного устройства $Z_{0,jig}$.

Сравнение существующих CMAD типа ферритовых клещей показало, что для обеспечения достаточной развязки требуется величина S_{21} менее 0,25. Такие значения возможно получить при устройствах CMAD со значениями S_{11}, указанными на рисунке 28.

CMAD типа ферритовых клещей должны отвечать следующим техническим требованиям:

a) значение S_{21} — менее 0,25 в полосе частот от 30 до 200 МГц;

b) значение S_{11} — в следующих пределах в полосе частот от 30 до 200 МГц:

- верхний предел — 0,75 при 30 МГц и 0,55 при 200 МГц (линейное уменьшение с логарифмом частоты),
- нижний предел — 0,6 при 30 МГц и 0,4 при 200 МГц (линейное уменьшение с логарифмом частоты).

Технические требования в полосе частот от 200 до 1000 МГц не требуются, т. к. влияние нагрузочных условий кабеля на измерения излучаемых помех на этих частотах будет небольшим.

Обоснование использования *S*-параметров для технических требований к CMAD типа ферритовых клещей приведено в CISPR TR 16-3.

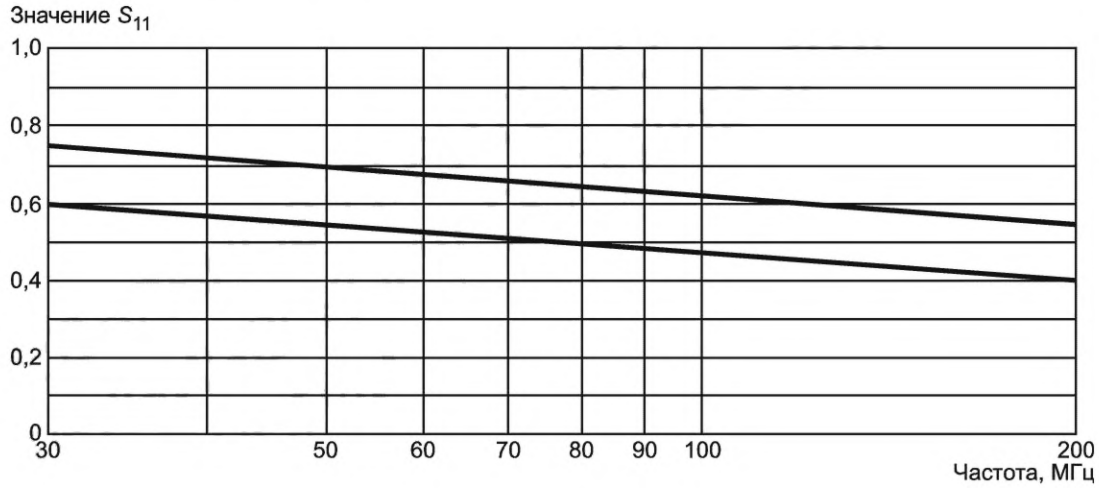


Рисунок 28 — Пределы для значения S_{11}, измеренного в соответствии с 8.1—8.3

8.6 Проверка качества функционирования (ухудшения) CMAD с помощью анализатора спектра SA и трекинг-генератора TG

Комплексные *S*-параметры CMAD невозможно измерить без использования анализатора VNA. Однако такие измерительные инструменты, как VNA, имеются не во всех лабораториях, проводящих испытания на ЭМС. Для лабораторий, не имеющих в своем распоряжении анализаторов VNA, в данном подразделе представлен упрощенный метод проверки функционирования CMAD с использованием анализатора спектра и трекинг-генератора. Такая установка из этих приборов измеряет только величину вносимых потерь, но это измеренное значение не будет иметь прямого отношения к *S*-параметрам, измеряемым в опорных плоскостях, представленных на рисунке 26. Тем не менее, лаборатории ЭМС могут периодически повторять то же измерение вносимых потерь с помощью их собственной испытательной установки точно при тех же условиях (импедансе и геометрии испытательной установки), регистрировать результаты и сравнивать их с прошлыми результатами для принятия решения относительно того, находится ли еще CMAD в приемлемом состоянии. Таким образом, можно выявить ухудшение качества функционирования CMAD. При явном ухудшении следует провести контрольное измерение с использованием анализатора VNA и метода калибровки TRL, указанного в 8.4.

Для проверки качества функционирования/ухудшения используют любую конструкцию адаптера (см. рисунки 26 и 27, рисунки 29 — 31). При этой проверке качества функционирования для недопущения резонансных эффектов в кабелях между испытательным зажимным устройством и измерительным прибором необходимо установить два аттенюатора на 10 дБ вблизи места подключения испытательного зажимного устройства.

a) При использовании адаптеров 50 Ом (см. рисунок 29) результат измерения вносимых потерь при проверке качества функционирования/ухудшения представляет собой разницу в дБ между результатами измерений затухания при следующих двух конфигурациях:

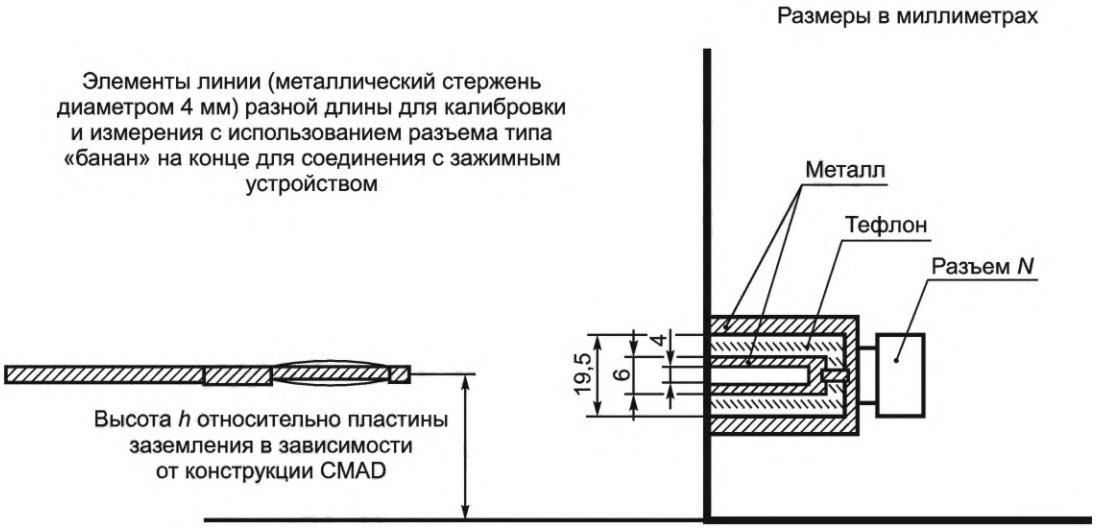
1) конфигурация 1: непосредственное подключение двух аттенюаторов без испытательного зажимного устройства;

2) конфигурация 2: подключение двух аттенюаторов к испытательному зажимному устройству при установленном CMAD.

b) При использовании согласующих адаптеров (см. рисунок 30 или 31) результат измерения вносимых потерь при проверке ухудшения представляет собой разницу между затуханием, измеренным при следующих двух конфигурациях:

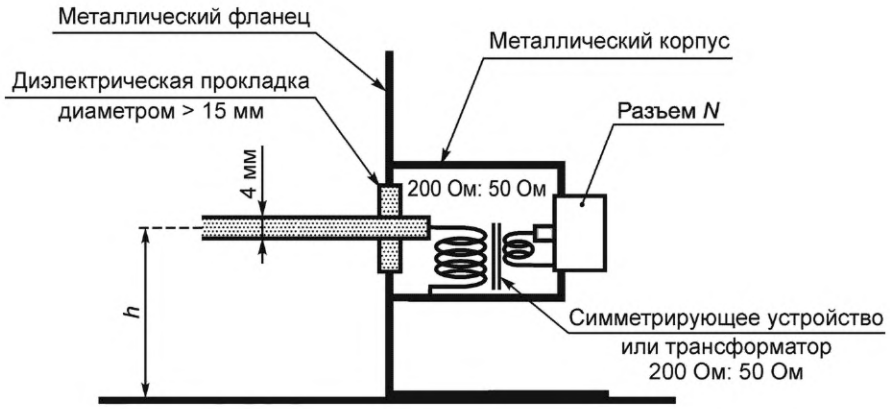
1) конфигурация 1: подключение двух аттенюаторов к испытательному зажимному устройству без CMAD (пустое зажимное устройство);

2) конфигурация 2: подключение двух аттенюаторов к испытательному зажимному устройству при установленном CMAD.



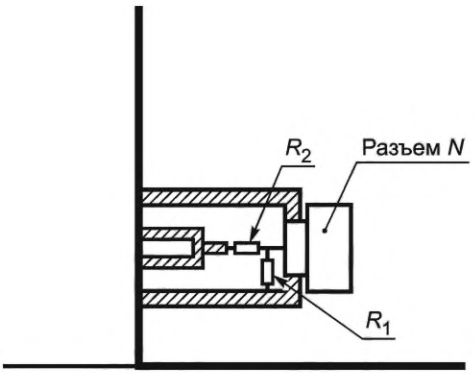
Примечание — Нижние части вертикального фланца имеют электрическое соединение с металлической пластиной заземления.

Рисунок 29 — Пример конструкции адаптера 50 Ом в вертикальном фланце зажимного устройства



Примечание — Если отвод от центральной точки симметричного порта подсоединен к корпусу симметрирующего устройства, его следует отсоединить.

Рисунок 30 — Пример согласующего адаптера с симметрирующим устройством или трансформатором



$$R_1 = 50\sqrt{\frac{z_{0,jig}}{z_{0,jig} - 50}}, \text{ Ом}$$

$$R_2 = \sqrt{z_{0,jig}(z_{0,jig} - 50)}, \text{ Ом}$$

h, мм	$z_{0,jig}$, Ом	R_1, Ом	R_2, Ом
30	204	57,6	177,3
65	248	56,0	221,6
90	270	55,4	243,7

Рисунок 31 — Пример согласующего адаптера с резистивной схемой согласования

9 Реверберационная камера для измерения полной излучаемой мощности

9.1 Общие положения

Для некоторых типов оборудования, работающего в микроволновом диапазоне частот, из-за существования сложных трехмерных диаграмм направленности антенн, которые чувствительны к рабочим условиям оборудования и к его окружению, измерение полной излучаемой мощности считается важным параметром, относящимся к контролю помех. Полную излучаемую мощность измеряют при установке оборудования в соответствующей камере с металлическими стенками. Чтобы избежать влияния стоячих волн, которые породили бы неоднородное распределение плотности энергии в зависимости от позиции в камере, устанавливают вращающиеся мешалки (лопатки, ворошители). При соответствующем размере, форме и местоположении плотность энергии в любом месте камеры меняется случайным образом при постоянном законе статистического распределения по фазе, амплитуде и поляризации.

9.2 Камера

9.2.1 Размер и форма камеры

Линейные размеры камеры должны быть большими по отношению к длине волны самой низкой рассматриваемой частоты. Необходимо, чтобы камера была также достаточно большой, чтобы вместить испытуемое оборудование, мешалки и измерительные антенны. Размер микроволнового оборудования меняется от маленькой настольной печи, имеющей объем около 0,2 м^3, до больших устройств с высотой 1,7 м при основании 760 мм. Допускается любая форма камеры при условии, что три ее размера имеют один порядок. Рекомендуется, чтобы эти три размера были разными. Для самой низкой частоты 1 ГГц камера должна иметь объем не менее 8 м^3. Реальные размеры будут зависеть от физических характеристик камеры. Метод испытания камеры на пригодность приведен в 9.2.4.

Стенки и мешалки должны быть металлическими. Необходимо, чтобы соединения между металлическими частями были механически крепкими и имели низкое электрическое сопротивление по всей длине: на поверхности не допускается коррозия. Внутри камеры не должно быть никаких поглощающих материалов типа дерева.

9.2.2 Дверь, отверстия в стенах и монтажные скобы

Возможно, чтобы дверь камеры была достаточно большой для прохода операторов и проноса оборудования. Она должна открываться наружу и иметь плотную пригонку для минимизации потерь энергии. Для удобства монтажа передающих и приемных антенн внутри камеры к стенам допускается прикреплять монтажные скобы.

9.2.3 Мешалки

9.2.3.1 Общие положения

Далее описаны два примера мешалок. Допускаются и другие формы при условии, что эффективность перемешивания соответствует критерию, указанному в 9.2.4.

9.2.3.2 Вращающиеся лопасти

При использовании вращающихся лопастей две лопасти размещаются на соседних стенах камеры на расстоянии от стен не менее 1/4 максимальной исследуемой длины волны, и их толщина должна быть достаточной для обеспечения жесткости. Их максимальная длина определяется размерами стен, а их ширина должна быть около 1/5 длины.

9.2.3.3 Вращающиеся лопатки

При использовании вращающихся лопаток две или три лопатки монтируют на стенах камеры. Лопатки следует располагать относительно друг друга под прямыми углами. Лопатки могут иметь форму, представленную на рисунке 32, и вращаться вокруг оси, параллельной их длине. Диаметр вовлеченного в процесс перемешивания пространства (в форме цилиндра) должен быть, по крайней мере, равен максимальной исследуемой длине волны, а длина лопаток должна быть максимальной в той мере, насколько это позволяют размеры стен. Необходимо, чтобы конструкция была жесткой.

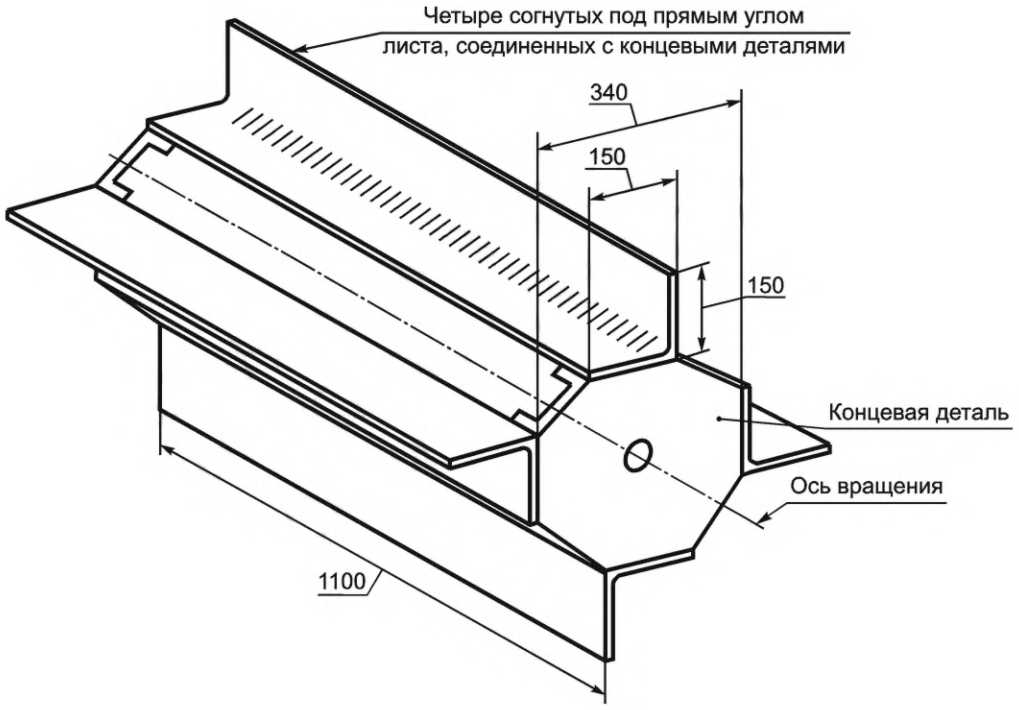


Рисунок 32 — Пример типичной лопаточной мешалки

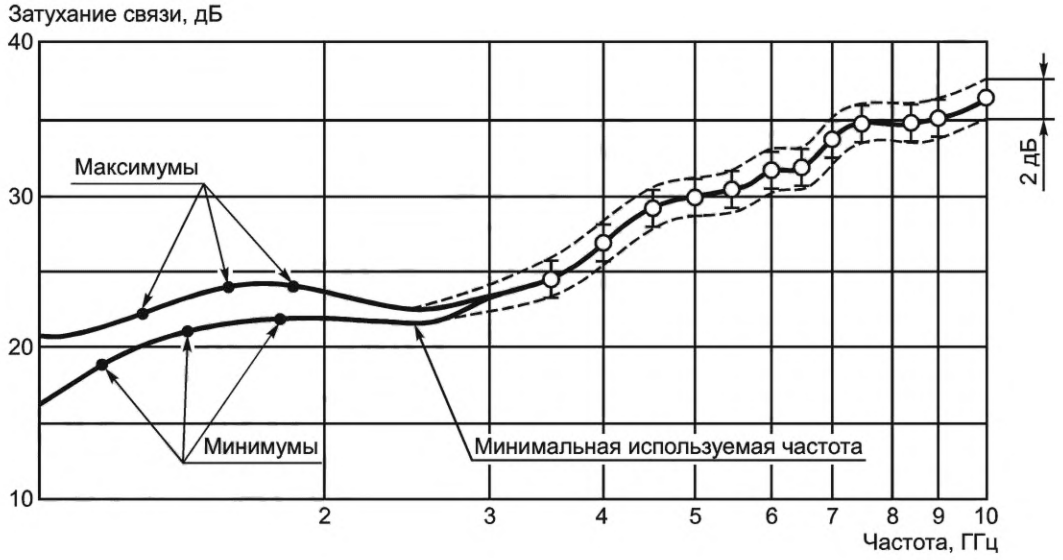
9.2.3.4 Скорость вращения

Важно чтобы скорости вращения мешалок были различными. Самая большая продолжительность одного вращения мешалок должна быть менее 1/5 времени интегрирования измерительного прибора. Для измерительного оборудования, указанного в 9.2.5, подходящая скорость находится в пределах от 50 до 200 об/мин. Рекомендуется, чтобы двигатели, используемые для вращения мешалок, и их редукторы находились вне камеры.

9.2.4 Проверка эффективности мешалок

Необходимое однородное распределение энергии в камере определяется по «сглаживанию» изменения затухания связи в зависимости от частоты (см. 9.2.5). На низких частотах из-за больших длин волн труднее обеспечить такую однородность; существуют явные минимумы и максимумы. Чем выше эффективность мешалок, тем меньше эти минимумы и максимумы и, следовательно, ниже используемая частота.

Затухание связи измеряется во всем используемом диапазоне частот камеры. На более низких частотах, где наблюдаются минимумы и максимумы, значения должны измеряться с интервалами приблизительно 100 МГц. В этом случае приемная антенна остается фиксированной, а передающую антенну поворачивают с промежутками в 45°; испытание повторяют для каждого положения и на каждой частоте. Все полное испытание необходимо провести еще раз при повороте приемной антенны на 90°. Мешалки считаются удовлетворительными, когда: (1) разность огибающих в графике максимумов и минимумов не превышает 2 дБ при любом положении передающей антенны и (2) средние значения четырех графиков находятся в пределах 2 дБ от огибающей или менее. На рисунке 33 представлен типичный результат.



Примечание — Все измеренные точки должны находиться внутри коридора 2 дБ, отмеченного пунктирной линией

Рисунок 33 — Диапазон затухания связи в функции от частоты для камеры с мешалкой, представленной на рисунке 32

9.2.5 Затухание связи

Затухание связи камеры — это вносимые потери, измеряемые между зажимами передающей и приемной антенн в камере. Для подачи мощности на передающую антенну с малыми потерями (например, рупорную антенну), находящуюся внутри камеры или смонтированную на стенке камеры, используют генератор калиброванного сигнала, выходную мощность которого возможно точно измерить. Приемную антенну допускается устанавливать в любой точке камеры при условии, что она находится на расстоянии не менее 1/4 длины волны от стенок и не направлена на передающую антенну, на ближайшую стенку камеры или не юстирована по какой-либо оси камеры.

Малошумящий ВЧ-усилитель подключают к приемной антенне через фильтр верхних частот; его выход соединен с диодным детектором через полосовой фильтр. Полосовой фильтр должен быть настроен на рассматриваемую частоту и иметь определенную ширину полосы. Выход детектора подсоединяют к вольтметру пиковых значений с определенным временем удержания пика (время удержания будет зависеть от измеряемого оборудования). Для такого измерения также можно использовать анализатор спектра. Регистрируют мощность, поглощаемую передающей антенной P. Затем генератор сигналов подключают к входу малошумящего усилителя и его выходную мощность p регулируют так, чтобы на вольтметре было то же самое показание. Отмечают мощность, поглощаемую малошумящим усилителем. Затухание связи составит $10\log(P/p)$ дБ.

10 ТЕМ-камеры для измерения помехоустойчивости по отношению к излучаемым помехам

Измерения помехоустойчивости к излучаемым помехам допускается проводить в ТЕМ-волноводах, используя методы, указанные в IEC 61000-4-20 [22].

Приложение А
(обязательное)

Параметры антенн

А.1 Общие положения

В разных публикациях CISPR определены конкретные антенны, используемые для проведения измерений; допускается применять и другие типы антенн при условии, что результаты эквивалентны тем, которые получаются при использовании указанных антенн. Предоставление соответствующих параметров этих антенн облегчает сравнение с рассмотренными определенными антеннами. Эти параметры следует приводить как часть любого подтверждения нового типа антенн в CISPR. Производители антенн также должны использовать эту информацию в качестве руководства при определении наиболее полезных свойств антенн, используемых для измерения излучаемых помех.

Производителям рекомендуется предоставлять общую информацию по каждой модели антенн, включая следующие параметры:

- коэффициент калибровки антенны для условий свободного пространства в системе 50 Ом;
- возвратные потери или коэффициент стоячей волны по напряжению (VSWR);
- диаграммы направленности антенн при различных частотных приращениях для указания значимых изменений (включая информацию о ширине диаграмм направленности);
- зависящие от частоты значения неопределенностей измерения для расчета отклонения от коэффициента калибровки антенны в свободном пространстве, вызванного связью с пластиной заземления при сканировании высоты антенны от 1 до 4 м при горизонтальной и вертикальной поляризации;
- преобразование DM/CM симметрирующего устройства, особенно для биконической и гибридной антенн;
- XPR, особенно для гибридных антенн и антенн LPDA.

А.2 Рекомендуемые антенны

А.2.1 Общие положения

При подозрении о наличии несоответствия норме напряженности электрического поля преимуществом обладают значения, полученные при измерении антенной, имеющей малую неопределенность. Антенна с малой неопределенностью является одной из антенн, которой можно измерить напряженность поля в испытательной установке CISPR с неопределенностью более низкой, чем требуется при других антеннах, соответствующих критерию точности для напряженности поля, указанному в разделе 4.1. Антенны с малой неопределенностью приведены в А.2.3.

А.2.2 Рассчитываемая антенна

Рассчитываемая стандартная дипольная антенна обеспечивает самую низкую неопределенность при измерениях напряженности электрического поля. Можно рассчитать коэффициент калибровки антенны расчетного диполя для свободного пространства, любой высоты относительно четко определенной пластины заземления, и любой поляризации. Принцип устройства рассчитываемого стандартного диполя приведен в CISPR 16-1-5, где указано только условие появления резонансного диполя. Тем не менее, при использовании доступного цифрового моделирования электромагнитной ситуации, возможно рассчитать коэффициент калибровки антенны для диполя фиксированной длины в широкой полосе частот с неопределенностью менее ±0,3 дБ. Например, при измерении на частоте 30 МГц использовать диполь, резонансный на частоте 80 МГц. Этот принцип получения коэффициента калибровки антенны путем моделирования допускается распространить на многопроводные антенны, которые охватывают еще более широкие полосы.

А.2.3 Антенны с малой неопределенностью

Антеннами с малой неопределенностью являются биконические антенны и антенны LPDA, основные параметры и характеристики которых описаны в настоящем пункте. Они являются широкополосными и имеют приемлемую чувствительность, т. е. их коэффициенты калибровки не слишком большие. Допускается использовать рассчитываемые диполи, которые потенциально имеют самую малую неопределенность. Кросс-поляризационная характеристика должна отвечать требованиям, указанным в 4.5.5, и любое симметрирующее устройство должно соответствовать требованиям, приведенным в 4.5.4. Коэффициент калибровки антенны определяет лаборатория, проводящая калибровку и обеспечивающая соответствие национальным стандартам, а выбирают его так, чтобы минимизировать неточность определения коэффициента калибровки антенны.

Биконическая антенна, используемая в полосе частот от 30 до 250 МГц и антенна LPDA, работающая в полосе от 250 МГц до 1 ГГц, представляют собой приемлемые типы антенн с низкой неопределенностью. Причины, по которым выбрана данная переходная частота, заключаются в том, что погрешность фазового центра у антенны LPDA обусловлена ее длиной, и она уменьшается при старте на частоте 250 МГц; большинство же биконических антенн подвержены воздействию резонанса на частотах выше 290 МГц, к тому же, если не использовать элементы открытой структуры (портативные или складные [откидные]), на частоте выше 260 МГц, существует искажение диаграммы излучения. Переход по частоте между биконической антенной и антенной LPDA может быть в промежутке

от 200 до 250 МГц при небольшом увеличении неопределенностей фазового центра, связанных с использованием антенн LPDA на частоте ниже 250 МГц; см. А.4.2 в CISPR 16-1-6:2014. Гибридная антенна, которая покрывает весь частотный диапазон от 30 до 1000 МГц, не относится к рекомендуемому типу, поскольку неопределенности будут больше, чем при отдельной биконической антенне и антенне LPDA, главным образом из-за большей длины гибридной антенны, особенно при использовании на расстоянии 3 м от источника (в противоположность стандартному расстоянию 10 м).

Биконическая антенна с малой неопределенностью имеет длину элемента от кончика до кончика, приблизительно равную (1,35 ± 0,03) м (в зависимости от ширины симметрирующего устройства), при этом шесть проводных элементов образуют форму конуса с бóльшим диаметром — приблизительно 0,52 м. Конструкция симметрирующего устройства должна обеспечивать 200 Ом (коэффициент преобразования [трансформации] от 200 к 50 Ом), что гарантирует более хорошую чувствительность на частоте 30 МГц и более низкую взаимосвязь с окружающей средой.

Примечание — Биконическая антенна с малой неопределенностью базируется на оригинале, представленном в военном стандарте MIL-STD-461A [7], разработанном для работы в полосе частот от 20 до 200 МГц. Складная конструкция элементов биконических антенн на частоте выше 250 МГц обеспечивает более хорошую характеристику, чем при закрытой конструкции элементов по типу «клетки».

Антенна LPDA с малой неопределенностью спроектирована так, что ее самая низкая частота составляет 200 МГц (т. е. самый длинный элемент, приблизительно 0,75 м, резонирует на частоте 200 МГц), а расстояние между самым длинным и самым коротким элементами равно (0,75 ± 0,12) м (при этом самый короткий элемент резонирует на частоте выше 1 ГГц). Причина, объясняющая, почему самый длинный элемент не должен быть на частоте 250 МГц, заключается в том, что он не увязан в решетку и диаграмма излучения искажается. Антенны длиной 0,75 м отличаются от других конструкций антенн LPDA с удвоенной длиной, при которой обеспечивается более высокий коэффициент усиления, но увеличивается погрешность фазового центра, и от антенн LPDA с длиной менее 0,6 м, у которых наличие коэффициента калибровки, плавно и монотонно увеличивающегося с частотой (с какими-либо резкими подъемами в коэффициенте калибровки антенны, отличающимися более чем на 1,5 дБ от линии регрессии во всем диапазоне частот) будет маловероятным. Погрешности фазового центра при антеннах LPDA можно минимизировать за счет коррекции измеренной напряженности поля с учетом расстояния между антенной и EUT (см. пункт 7.3.1 в CISPR 16-2-3:2016).

А.3 Простые дипольные антенны

А.3.1 Общие положения

Если лаборатория не может получить калиброванную антенну, в качестве альтернативы допускается использовать дипольную антенну в виде либо рассчитываемого диполя, либо настраиваемого диполя. Настраиваемый диполь относительно прост в конструкции и обеспечивает малую неопределенность при измерении напряженности поля, сравнимую с антеннами, указанными в разделе А.2. Коэффициенты калибровки настраиваемого диполя следует проверять или в лаборатории, которая работает на базе национальных стандартов и стремиться минимизировать неопределенность определения коэффициента калибровки антенн, или путем измерения вносимых потерь площадки между парой аналогичных диполей, находящихся над пластиной заземления (что соответствует приложению D) и сравнения их с рассчитываемой связью с учетом потерь симметрирующих устройств (см. приложение С в CISPR 16-1-5). Недостаток настраиваемого диполя состоит в его большой длине на нижнем конце частотного диапазона, например, она равна 4,8 м на частоте 30 МГц, что при измерительном расстоянии 3 м приведет к погрешностям, обусловленным градиентами фазы и амплитуды. Диполь при его настройке также наиболее чувствителен к окружающей среде, так что взаимный импеданс с его зеркальным отражением в пластине заземления может менять коэффициент калибровки антенны на величину до 6 дБ при горизонтально поляризованном диполе с частотой 30 МГц, при сканировании высоты от 1 до 4 м относительно пластины заземления. По этой причине на частоте ниже 80 МГц рекомендуется использовать укороченный диполь, настроенный на 80 МГц.

А.3.2 Настраиваемый диполь

Простая и практичная конструкция настраиваемого диполя состоит из полуволнового резонансного диполя и последовательно-параллельного симметрирующего устройства с коаксиальным шлейфом. Значения длины диполя от кончика до кончика составляют приблизительно 0,48 от значений длины волны, в зависимости от радиуса элемента диполя. Коэффициенты калибровки антенн для свободного пространства рассчитывают из приведенного ниже уравнения, обеспечивающего этот коэффициент в децибелах. В нем не учтены потери симметрирующего устройства, поэтому к коэффициенту калибровки антенны можно добавить усредненное значение 0,5 дБ, а коэффициент потерь необходимо проверить. Коэффициент калибровки вычисляют следующим образом:

$$F_a = 20\lg(f_M) - 31{,}4,$$

где F_a — коэффициент калибровки антенны в дБ ($м^{-1}$), а f_M — частота в МГц.

Так как настраиваемый диполь более чувствителен к окружающей среде, чем широкополосная антенна (за исключением резонансной частоты, исключая антенны LPDA), то маловероятно, чтобы общая суммарная неопределенность при использовании настраиваемого диполя была меньше, чем у антенн с малой неопределенностью, которые указаны в 4.5.2.

А.3.3 Укороченный диполь

Можно использовать диполь короче половины длины волны при условии, что:

a) полная длина больше чем 1/10 длины волны на частоте измерения;

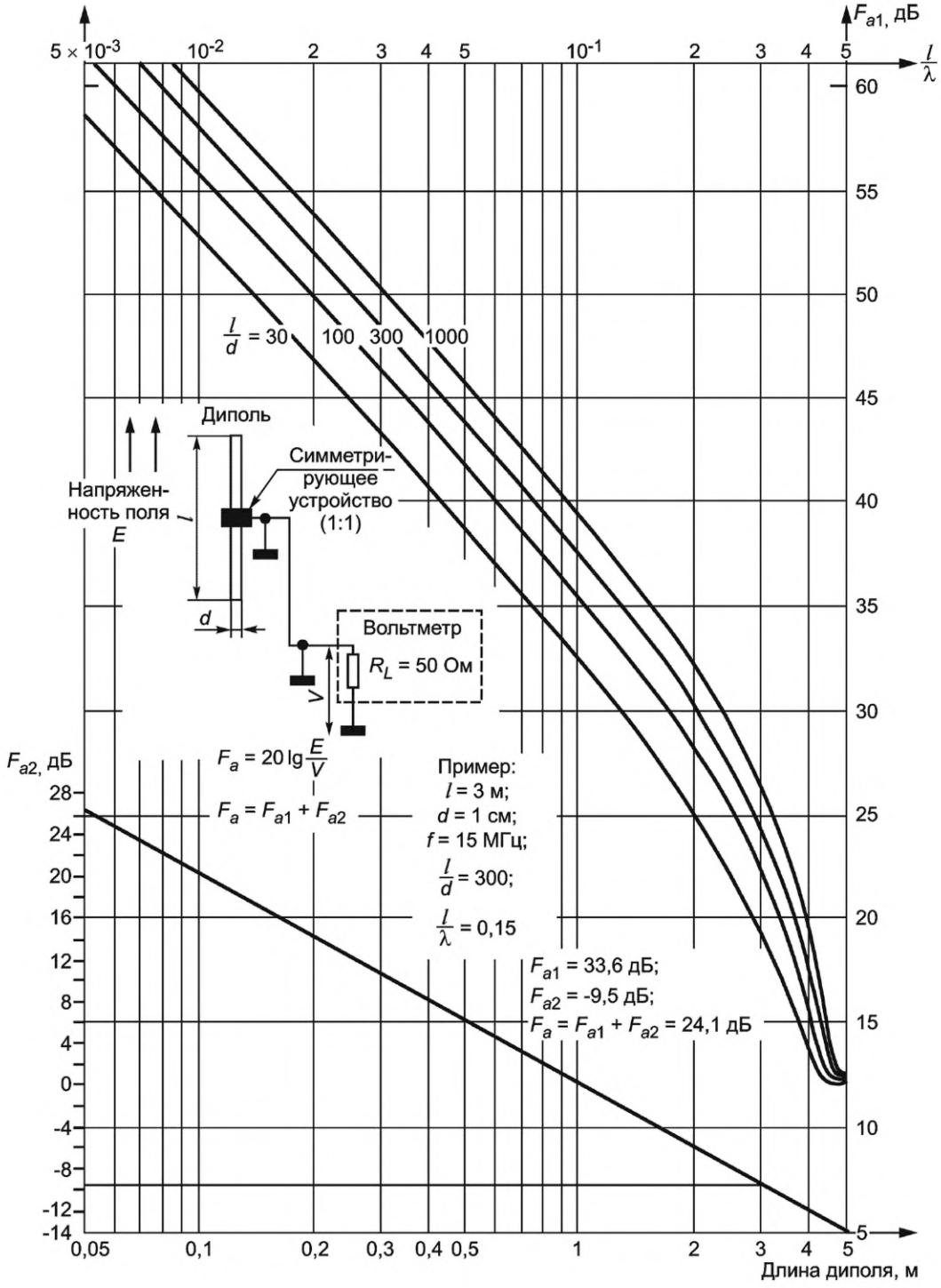
b) он соединен с кабелем, достаточно хорошо согласованным на конце приемника, чтобы обеспечить возвратные потери на входе кабеля более 10 дБ. Калибровка должна учитывать возвратные потери;

c) он имеет дискриминацию по поляризации, эквивалентную той, которую имеет настраиваемый диполь (см. 4.5.3). Для этого необходимо симметрирующее устройство, которое отвечает испытанию на несимметричность, приведенному в 4.5.4;

d) для определения напряженности измеряемого поля определяют калибровочную кривую (коэффициент калибровки антенны) и используют ее в измерительном расстоянии (т. е. при расстоянии не менее трех значений длины диполя).

Примечание — Полученные таким образом коэффициенты калибровки антенн должны обеспечивать выполнение требования по измерению однородных синусоидальных полей с точностью не хуже ±3 дБ. Примеры калибровочных кривых приведены на рисунке А.1, на котором показано теоретическое соотношение между напряженностью поля и входным напряжением приемника, имеющего входной импеданс 50 Ом при разных отношениях *l*/*d*. На этом рисунке симметрирующее устройство считается идеальным трансформатором 1:1. Однако следует отметить, что в этих кривых не учтены потери симметрирующего устройства, кабеля и рассогласование между кабелем и приемником;

e) несмотря на потерю чувствительности измерителя напряженности поля из-за высокого коэффициента калибровки антенны, обусловленного укороченной длиной диполя, предел измерения этого измерителя (определяемый, например, шумом приемника и коэффициентом калибровки диполя) должен оставаться по крайней мере на 10 дБ ниже нормы на помехи.



Примечание — См. примечание в А.3.3, перечисление d).

Рисунок А.1 — Коэффициенты калибровки антенны в виде короткого диполя при R_L = 50 Ом

А.4 Параметры широкополосных антенн

А.4.1 Общие положения

Широкополосные антенны, используемые в измерениях CISPR, — это такие антенны, которые имеют линейную поляризацию и предназначены для использования в широком диапазоне частот. Это не препятствует ни применению антенн с ограниченной настройкой длины, ни добавлению секций элементов антенн. Входной импеданс таких антенн обычно является комплексной величиной. Ниже приведены другие параметры, которые также можно указывать.

А.4.2 Тип антенн

А.4.2.1 Общие положения

В пунктах А.4.2.2 — А.4.2.7 приведены необходимые физические параметры широкополосных антенн. Следует отметить, что некоторые параметры могут применяться не к каждой антенне.

А.4.2.2 Антенны с фиксированной или переменной длиной или диаметром

Если антенна имеет переменную длину, необходимо определить количество секций, которые следует добавить или убрать для изменения базовой фиксированной длины.

Примечание — Антенны, настраиваемые во всем диапазоне, не считаются широкополосными и поэтому в А.4 не указаны. Диаметр рамочных антенн обычно не меняется.

А.4.2.3 Отношение глубины к ширине или диаметр рамки

Размер указывают в метрах. Например, для LPDA необходимо указать длину несущей конструкции вдоль оси измерения и ширину самого большого элемента.

А.4.2.4 Активная или пассивная антенна

Широкополосная антенна считается активной, если в ее состав входят усилители, предусилители и другие нелинейные активные устройства, которые усиливают сигнал или формируют амплитудно-частотную характеристику, или и то и другое.

А.4.2.5 Организация монтажа

Необходимо обеспечить выполнение любых специальных требований по монтажу помимо тех, которые относятся к использованию типичного штатива (треноги) или позиционера антенны.

А.4.2.6 Тип соединителя/разъема

Необходимо указать подходящие разъемы: BNC (байонетный), N, SMA и т. п. Следует указать допуск на глубину штырька и отметить, что его необходимо проверить штыревым измерительным инструментом.

А.4.2.7 Тип симметрирующего устройства

Необходимо указать, является ли симметрирующее устройство устройством на сосредоточенных элементах, на распределенных элементах, настраиваемым устройством и т. п. Следует указать коэффициент трансформации симметрирующего устройства.

А.4.3 Технические требования к антенне

А.4.3.1 Полоса частот

Необходимо указать диапазон частот в мегагерцах или килогерцах, где антенна работает в рамках своих характеристик. Если существует определенный спад характеристики в децибелах на октаву на любом конце диапазона, это следует указать.

А.4.3.2 Коэффициент усиления и коэффициент калибровки антенны

А.4.3.2.1 Коэффициент усиления

Необходимо указать типичный или реальный коэффициент усиления в дБ относительно изотропного излучателя, дБи.

А.4.3.2.2 Коэффициент калибровки антенны

Необходимо указать коэффициент калибровки конкретной антенны в дБ ($м^{-1}$). Относительно процедур калибровки антенн см. CISPR 16-1-6.

А.4.3.3 Направленность и диаграмма направленности при линейной поляризации

Необходимо определить диаграмму направленности и направленность антенны в градусах с графиком в полярных координатах в плоскостях *E* и *H* при достаточном количестве значений частоты, отражающем любое существенное изменение в зависимости от частоты. Для антенн с относительно низкой направленностью (например, менее 6 дБи) требуется указать отношение прямого излучения к обратному в децибелах. Если диаграмма у антенны всенаправленная, например, в случае диполя Герца, это необходимо указать.

А.4.3.4 Коэффициент VSWR и импеданс

Необходимо указать минимальные возвратные потери и номинальный входной импеданс в Ом. Дополнительно можно дать выражение минимальных возвратных потерь как максимального VSWR.

А.4.3.5 Характеристика активной антенны

Для антенн с активным коэффициентом усиления следует указать уровни продуктов интермодуляции, уровень помехоустойчивости по отношению к напряженности электрического и магнитного поля, создаваемого внешними помехами, и указать какую-либо подходящую проверку(и) для определения работы с перегрузкой или неправильной работы.

А.4.3.6 Управление мощностью

При использовании излучения для испытания на помехоустойчивость необходимо определить способность управления максимальной и переходной мощностью в Вт.

А.4.3.7 Другие условия

Необходимо определить диапазон температур и влажности, в которых должна работать антенна, указать любые меры безопасности, если они применяются в незащищенной зоне, открытой воздействию погодных факторов.

А.4.4 Калибровка антенны

Методы калибровки антенн приведены в CISPR 16-1-6.

А.4.5 Информация для пользователя антенны

А.4.5.1 Использование антенны

Необходимо привести описание использования антенны и обеспечить наличие ссылок на специальные меры предосторожности или ограничения для уменьшения вероятности неправильного использования.

А.4.5.2 Физические ограничения

Необходимо указать, имеются ли какие-либо физические ограничения в использовании антенны, например, следующие:

a) минимальная высота над пластиной заземления;

b) рекомендуемая поляризация относительно пластины заземления;

c) специальное использование, т. е. использование только в качестве приемной антенны или предающей антенны. Обычно это сводится к функции симметрирующего устройства, касающейся управления мощностью при пассивных антеннах, или недвунаправленным характеристикам активных антенн. Если управление мощностью ограничено пробоями непаянных соединений элементов антенны, это необходимо указать.

d) простая омическая проверка для установления целостности антенны;

e) минимальное расстояние между измеряемым EUT и ближайшим к нему элементом антенны.

Приложение В
(XXX)

(Исключено)

Приложение С
(обязательное)

Система больших рамочных антенн для измерений тока, наводимого магнитным полем, в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц

С.1 Общие положения

В данном приложении представлена информация и данные, касающиеся измерения тока, наводимого в системе больших рамочных антенн (LLAS) магнитным полем, излучаемым одиночным EUT, размещенным в центре LLAS, в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц. Информация о данной системе рамочных антенн приведена в подразделе 4.7 и в CISPR 16-2-3, см. также [9].

В настоящем приложении приведено описание LLAS, а также представлен метод валидации отдельных рамочных антенн, входящих в состав LLAS. Приведены коэффициенты преобразования для установления соотношения между данными по току, наведенному магнитным полем, и данными по магнитному полю, которые получают, когда то же EUT измеряют с помощью однорамочной антенны для магнитного поля, размещенной на определенном расстоянии от EUT.

С.2 Конструкция LLAS

LLAS (см. рисунок С.1) состоит из трех взаимно перпендикулярных больших рамочных антенн, описанных в разделе С.3. Вся LLAS расположена на неметаллической основе.

Коаксиальный кабель 50 Ом между пробником тока каждой LLA и коаксиальным переключателем и между этим переключателем и измерительным оборудованием должен иметь поверхностный передаточный импеданс менее 10 мОм/м на частоте 100 кГц и менее 1 мОм/м на частоте 10 МГц. Это требование выполняется, например, при использовании экранированного коаксиального кабеля RG-223/U с двойной оплеткой.

Все соединительные устройства должны иметь поверхностный передаточный импеданс, сопоставимый с поверхностным передаточным импедансом коаксиального кабеля. Данное требование выполняется, например, при использовании разъемов BNC хорошего качества с цанговым зажимом (см. [1]).

Все кабели необходимо снабдить ферритовыми поглотителями (*F* на рисунке С.1), что обеспечит последовательное сопротивление в синфазном режиме R_S > 100 Ом на частоте 10 МГц. Данное требование обеспечивается в случаях, когда конструкция ферритового поглотителя включает, например 12 колец (тороидов) типа 3E1 от компании Ferroxcube [минимальный размер в миллиметрах: 29 (внешний диаметр), 19 (внутренний диаметр), 7,5 (высота)].

С.3 Конструкция большой рамочной антенны (LLA)

Каждая LLA системы LLAS выполняется из коаксиального кабеля, поверхностный передаточный импеданс которого указан в С.2. Помимо этого, сопротивление внутреннего проводника каждой LLA должно быть достаточно низким (см. примечание 1). Оба требования выполняются, например, при использовании экранированного коаксиального кабеля RG-223/U с двойной оплеткой.

Для сохранения круговой формы каждой LLA и для защиты конструкции прорези, как на примере, представленном на рисунке С.2, кабель укладывают в тонкостенную неметаллическую трубку с внутренним диаметром приблизительно 25 мм. С той же целью допускается использовать и другие неметаллические конструкции.

Стандартный диаметр каждой LLA определяют как D = 2 м. При необходимости, например в случае когда EUT имеет большие размеры, D можно увеличить. Однако в полосе частот вплоть до 30 МГц максимальный допустимый диаметр составляет 4 м. Дальнейшее увеличение диаметра может вызвать случайные резонансы характеристики LLAS на высокочастотном конце измерительного диапазона. Метод валидации, указанный в С.4, применяют для рамок LLAS с диаметрами 2, 3 или 4 м.

Следует отметить, что при увеличении диаметра, чувствительность LLA к внешнему шуму увеличивается пропорционально диаметру, а ее чувствительность к полезным сигналам обратно пропорциональна квадрату диаметра.

В каждой LLA есть две прорези, расположенные друг против друга и симметрично относительно пробника тока каждой LLA (см. рисунок С.2). Такая прорезь, сделанная во внешнем проводнике коаксиального кабеля антенны и показанная на рисунке С.3, должна иметь ширину менее 7 мм. Края прорези соединены последовательно через два параллельных комплекта резисторов по 100 Ом. Центр каждой последовательной цепи соединен с внутренним проводником коаксиального кабеля антенны.

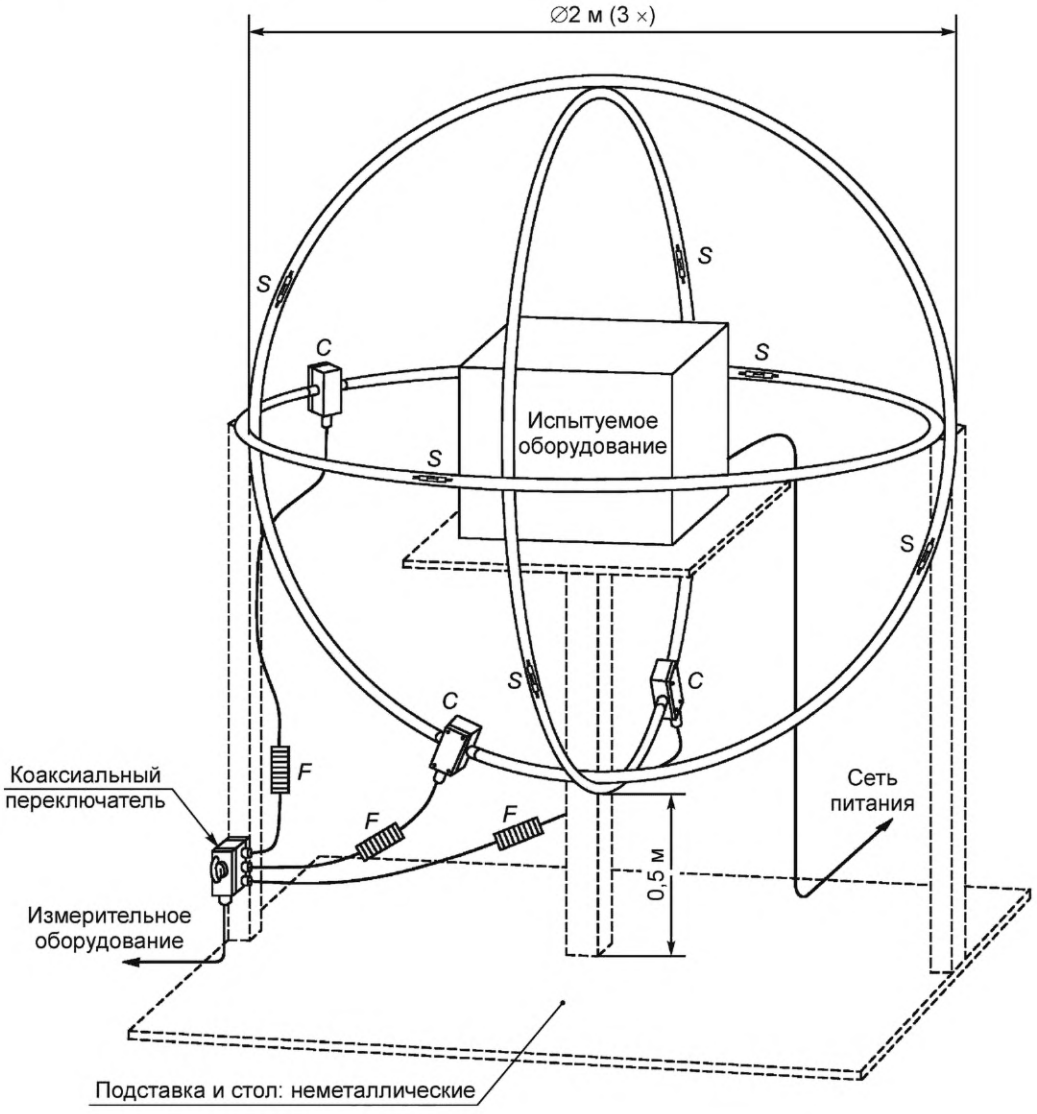
С каждой стороны прорези внешний проводник коаксиального антенного кабеля допускается крепить к планке перемычке из материала печатной платы двумя медными прямоугольниками, расстояние между которыми составляет не менее 5 мм, для обеспечения жесткой конструкции прорези (см. рисунок С.4).

Пробник тока, надетый на внутренний проводник коаксиального кабеля LLA, должен иметь чувствительность 1 В/А в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц. Вносимый импеданс пробника тока должен быть достаточно низким (см. примечание).

Примечание — Для обеспечения плоской частотной характеристики для каждой LLA на нижнем конце частотного диапазона 9 кГц — 30 МГц резистивная часть вносимого импеданса R_c пробника тока должна быть намного меньше $2\pi f L_c$ на частоте f = 9 кГц, где L_c представляет индуктивность пробника тока. Помимо этого сумма $R_c + R_i$ должна быть меньше или равна $X_i/10 = (2\pi f L)/10$ на частоте 9 кГц, где R_i — сопротивление внутреннего проводника рамки, а L — индуктивность рамки. Эта индуктивность составляет приблизительно 1,5 мкГн/м по окружности; таким образом, для каждой стандартной LLA с диаметром 2 м $X_i \approx 0{,}5$ Ом на частоте f = 9 кГц.

Внешний проводник кабеля LLA должен соединяться с металлическим контейнером, в котором находится пробник тока (см. рисунок С.5). Максимальные размеры данного контейнера будут следующими: ширина — 80 мм, длина — 120 мм и высота — 80 мм.

Для недопущения нежелательной емкостной связи между EUT и LLAS расстояние между EUT и элементами LLAS должно составлять не менее 0,10 от диаметра рамки. Особое внимание следует обращать на провода EUT. Кабели должны идти вместе и выходить из испытательного объема в одном октанте LLAS, на расстоянии не менее 0,4 м от любой рамки LLAS (см. рисунок С.6).



S — антенная прорезь; *C* — пробник тока; *F* — ферритовый поглотитель

Рисунок С.1 — LLAS, состоящая из трех взаимно перпендикулярных больших рамочных антенн

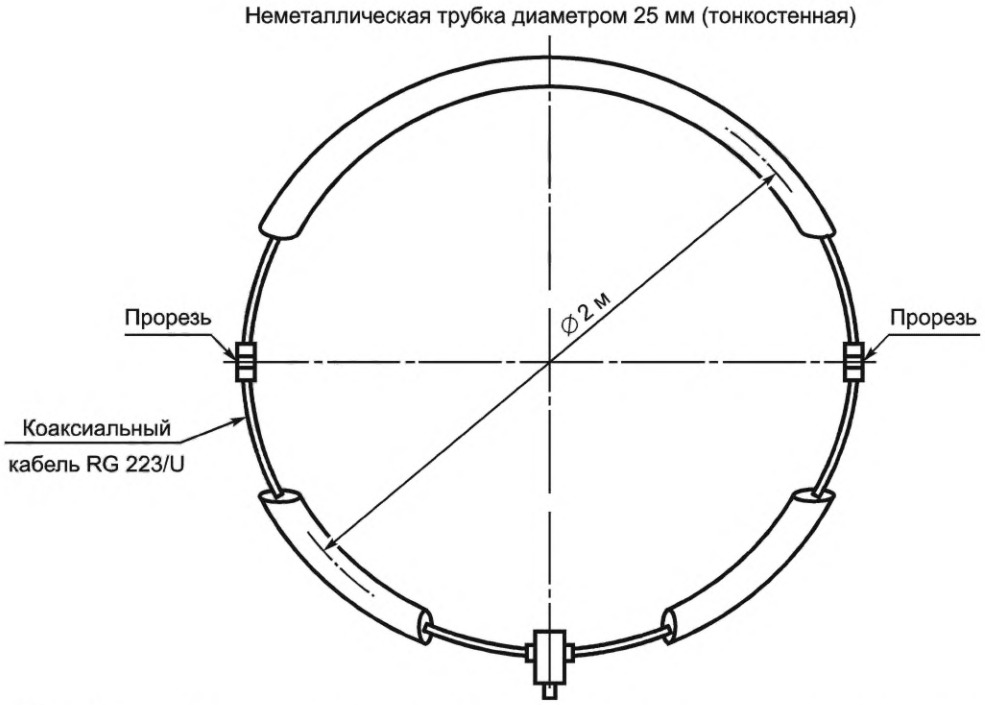


Рисунок С.2 — LLA с двумя прорезями на противоположных сторонах, расположенными симметрично относительно пробника тока С

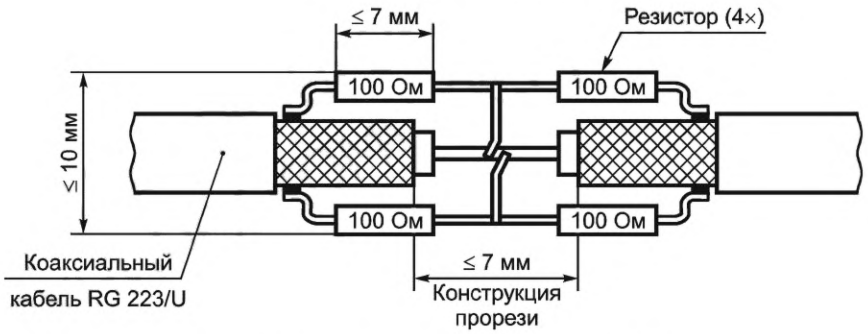


Рисунок С.3 — Конструкция прорези в LLA

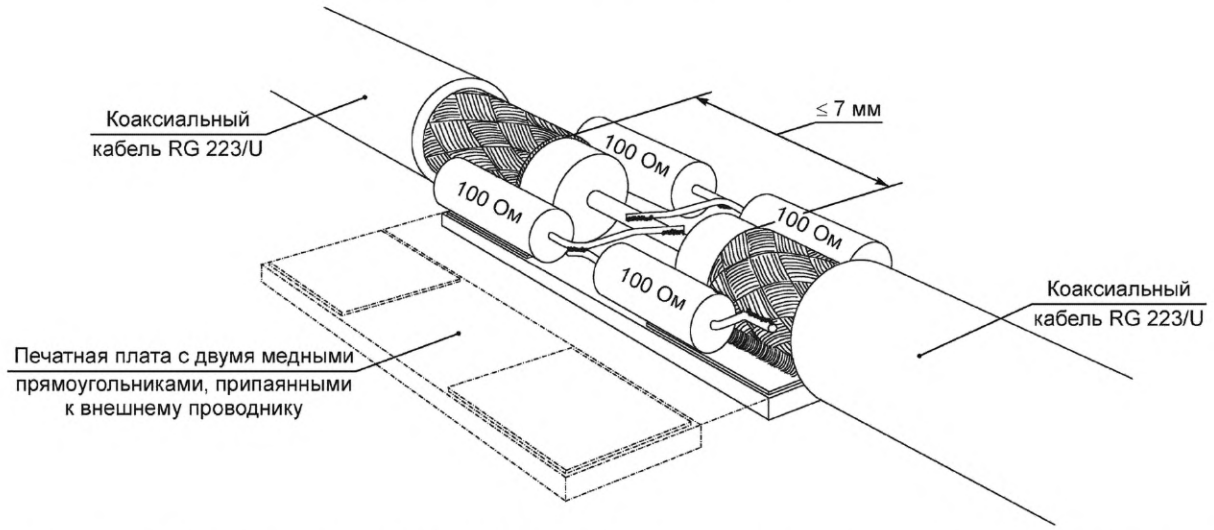


Рисунок С.4 — Пример конструкции прорези LLA с использованием перемычки из материала печатной платы для обеспечения жесткой конструкции

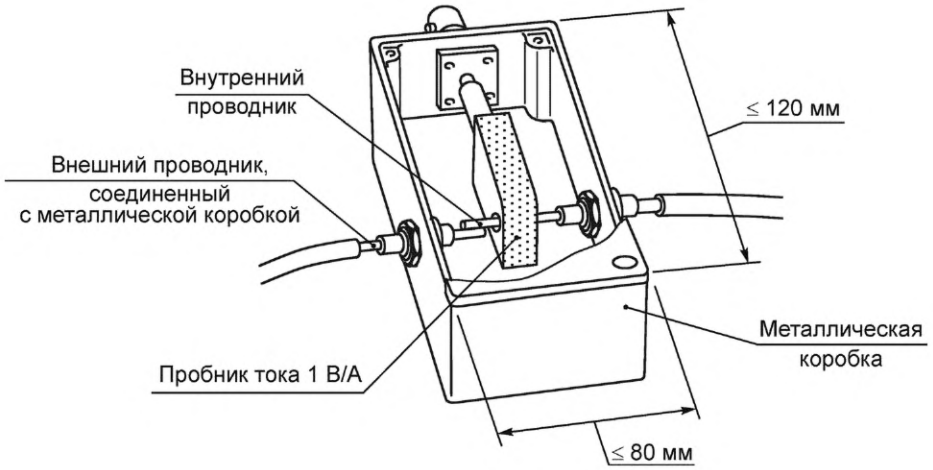
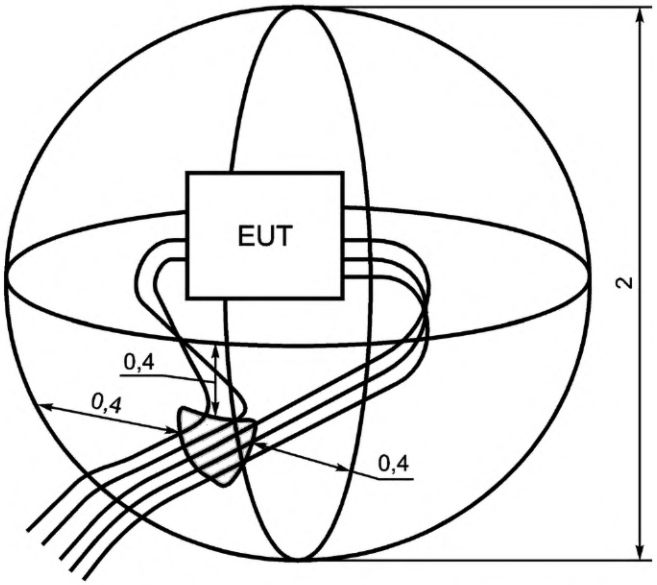


Рисунок С.5 — Конструкция металлической коробки с пробником тока

Размеры в метрах



Все кабели проходят через один октант LLAS
на расстоянии не ближе 0,4 м от какой-либо
из трех рамок

Рисунок С.6 — Пример прокладки нескольких кабелей от EUT с минимизацией емкостной связи между проводами и LLAS

С.4 Валидация LLAS

Валидацию LLAS следует проводить путем измерения тока, наводимого в каждой из трех LLA с помощью диполя для проверки LLAS, подключенного к ВЧ-генератору с выходным сопротивлением 50 Ом, как указано в С.5. Магнитное поле, излучаемое диполем, позволяет провести проверку чувствительности LLAS к магнитному полю. Электрическое поле, излучаемое диполем для верификации LLAS, предназначено для проверки того, что чувствительность LLAS к электрическому полю достаточно низкая.

Валидацию LLAS следует проводить на площадке, где обычно выполняют измерения с помощью LLAS. Это делается для того, чтобы учесть влияние пола, стен и аналогичных объектов или поверхностей в конкретной среде, окружающей LLAS.

Измерения параметров валидации необходимо проводить как минимум на следующих частотах: 9, 100 кГц; 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25 и 30 МГц.

Наводимый ток следует измерять в функции от частоты в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц в восьми позициях диполя для проверки LLAS, как показано на рисунке С.7. Во время такого измерения диполь для проверки LLAS должен находиться в плоскости испытуемой LLA.

В каждой из восьми позиций измеренный коэффициент оценки, выраженный в дБ (Ом) как $20\lg(V_{go}/I_I)$, где V_{go} — напряжение разомкнутой цепи ВЧ-генератора, а I_I — измеренный ток, не должен отличаться от применяемого эталонного коэффициента оценки, приведенного на рисунке С.8 и в таблице С.1, более чем на ±3 дБ.

Эталонные коэффициенты оценки, приведенные на рисунке С.8 и в таблице С.1, справедливы для LLAS с круглыми рамками, имеющими диаметры D, равные 2, 3 или 4 м.

Табличные значения кривых, приведенных на рисунке С.8, приведены в таблице С.1. Эти табличные значения необходимо использовать при валидации LLAS.

Пояснительный материал и уравнения для расчета эталонных коэффициентов оценки приведены в CISPR TR 16-3:2020 [23].

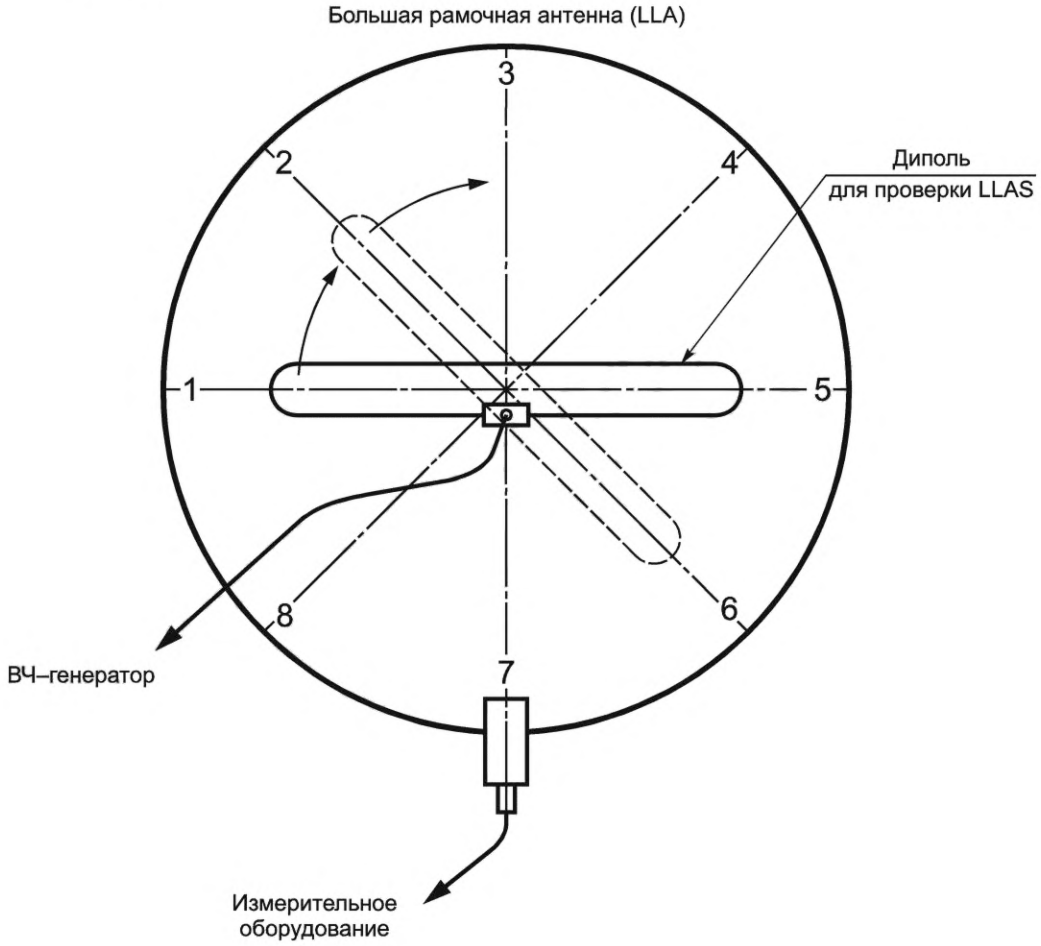


Рисунок С.7 — Восемь позиций дипольной антенны, используемой для проверки LLAS, во время валидации LLA

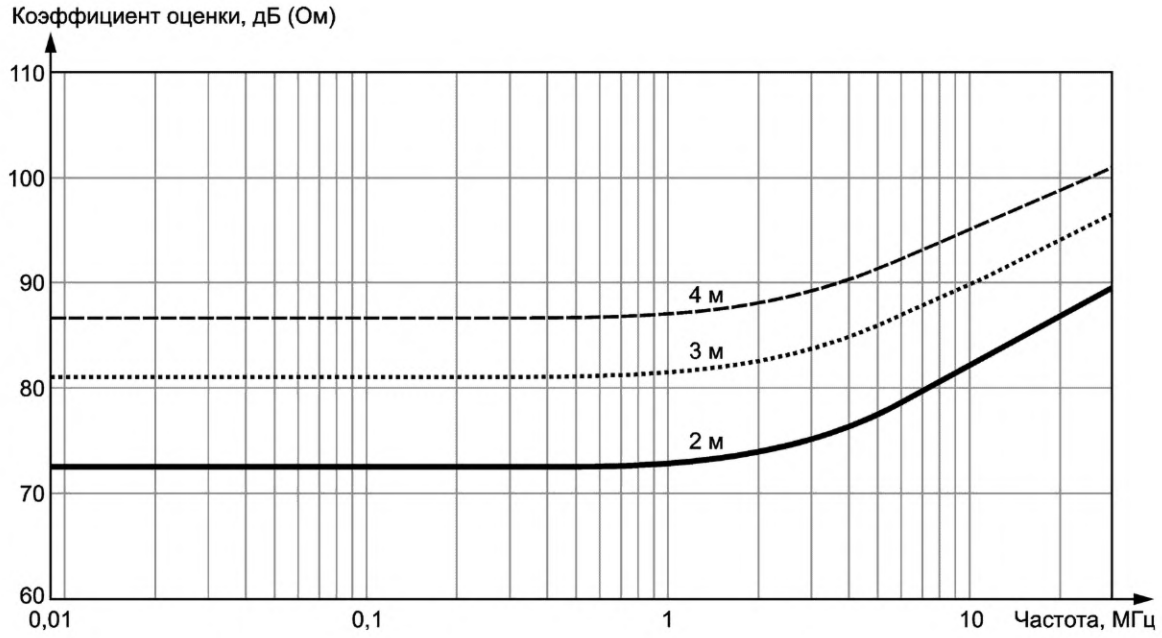


Рисунок С.8 — Эталонные коэффициенты оценки для рамочных антенн с диаметрами 2, 3 м и 4 м

Таблица С.1 — Эталонные коэффициенты оценки, приведенные на рисунке С.8, для рамочных антенн с диаметрами 2, 3 и 4 м

Частота, МГц	Эталонный коэффициент оценки			Частота, МГц	Эталонный коэффициент оценки		
	LLAS 2 м	LLAS 3 м	LLAS 4 м		LLAS 2 м	LLAS 3 м	LLAS 4 м
	дБ (Ом)				дБ (Ом)		
0,009	72,52	81,07	86,64	7	79,57	87,87	93,13
0,01	72,52	81,07	86,64	8	80,47	88,71	93,88
0,02	72,52	81,07	86,64	9	81,30	89,45	94,54
0,03	72,52	81,07	86,64	10	82,04	90,12	95,11
0,04	72,52	81,07	86,64	11	82,72	90,71	95,62
0,05	72,52	81,07	86,64	12	83,34	91,24	96,07
0,06	72,52	81,07	86,65	13	83,90	91,72	96,47
0,07	72,52	81,07	86,65	14	84,42	92,15	96,84
0,08	72,52	81,07	86,65	15	84,90	92,54	97,18
0,09	72,52	81,07	86,65	16	85,34	92,89	97,50
0,1	72,52	81,07	86,65	17	85,75	93,22	97,80
0,2	72,54	81,08	86,66	18	86,13	93,53	98,10
0,3	72,55	81,10	86,68	19	86,48	93,82	98,39
0,4	72,58	81,13	86,70	20	86,81	94,09	98,67
0,5	72,61	81,16	86,73	21	87,12	94,35	98,94
0,6	72,65	81,20	86,77	22	87,41	94,60	99,21
0,7	72,70	81,24	86,82	23	87,68	94,85	99,47

Окончание таблицы С.1

Частота, МГц	Эталонный коэффициент оценки			Частота, МГц	Эталонный коэффициент оценки		
	LLAS 2 м	LLAS 3 м	LLAS 4 м		LLAS 2 м	LLAS 3 м	LLAS 4 м
	дБ (Ом)				дБ (Ом)		
0,8	72,75	81,30	86,87	24	87,94	95,09	99,72
0,9	72,81	81,36	86,93	25	88,19	95,32	99,96
1	72,88	81,42	86,99	26	88,43	95,56	100,18
2	73,81	82,33	87,88	27	88,66	95,79	100,38
3	75,01	83,51	89,02	28	88,88	96,02	100,57
4	76,26	84,72	90,19	29	89,09	96,25	100,73
5	77,46	85,88	91,28	30	89,30	96,47	100,88
6	78,56	86,93	92,26	—	—	—	—

С.5 Конструкция дипольной антенны для проверки LLAS

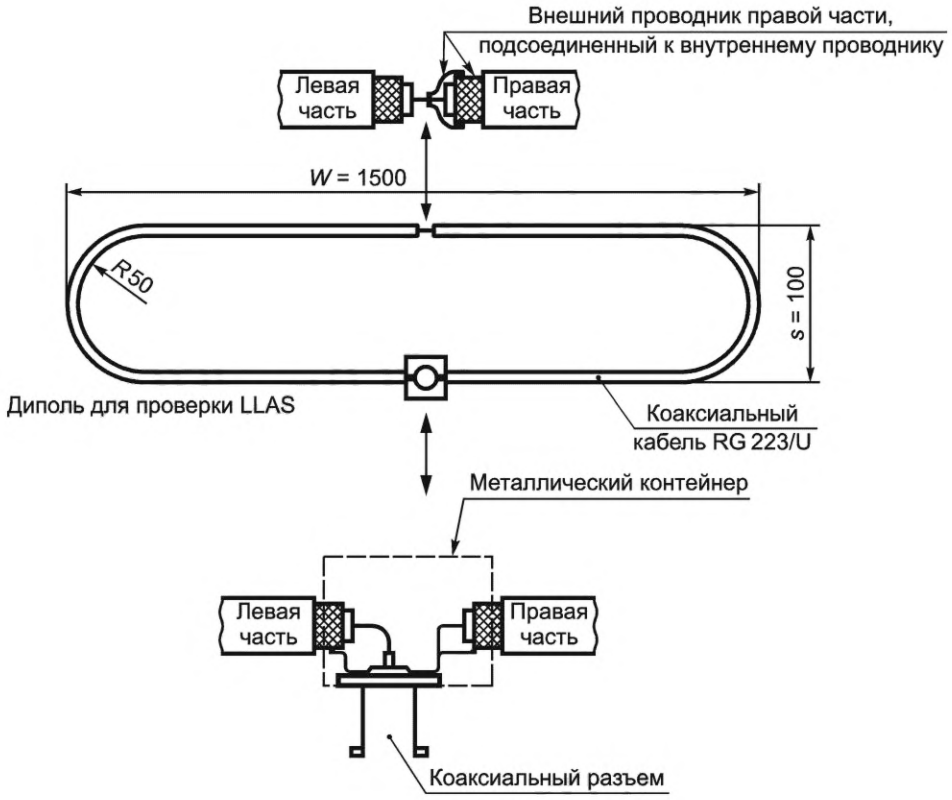
Дипольная антенна для проверки LLAS, приведенная на рисунке С.9, была разработана для одновременного излучения магнитного поля, которое должно измеряться LLAS, и электрического поля, которое LLAS подавляет.

Конструкция дипольной антенны для проверки LLAS, как показано на рисунке С.9, выполнена на коаксиальном кабеле RG 223/U или коаксиальном кабеле аналогичного типа. Ее ширина W = 150 см, а просвет s = 10 см (расстояние между центрами кабелей) согласно рисунку С.9. Прорезь во внешнем проводнике коаксиального кабеля делит дипольную антенну на две половины. Одна половина диполя (правая — на рисунке С.9) замыкается накоротко у разъема и у прорези напротив разъема. Это означает, что внутренний и внешний проводники коаксиального кабеля электрически соединены вместе. Эту половину диполя подсоединяют к опорному заземлению коаксиального разъема [байонетного (BNC) или аналогичного типа]. К центральному штырю коаксиального разъема подсоединяют внутренний проводник коаксиального кабеля, который формирует левую половину диполя на рисунке С.9, а внешний проводник — к опорному заземлению этого коаксиального разъема.

Для экранирования соединений вблизи коаксиального разъема следует использовать небольшой металлический контейнер. Внешний проводник двух половин коаксиального кабеля диполя и опорное заземление коаксиального разъема подсоединяют к этому контейнеру.

Для экранирования соединений вблизи BNC-разъема допускается использовать небольшой металлический контейнер. Внешний проводник двух половин коаксиального кабеля и опорное заземление BNC-разъема подсоединяют к этому контейнеру.

Для обеспечения жесткой конструкции диполь устанавливают на непроводящую основу.



Примечание — Указанные расстояния — это расстояния между центрами кабелей.

Рисунок С.9 — Конструкция дипольной антенны для проверки LLAS

С.6 Коэффициенты преобразования

С.6.1 Общие положения

В данном разделе рассматривают коэффициент, с помощью которого ток, измеренный в LLA с нестандартным диаметром, преобразуется в ток, который возможно измерить при использовании LLA со стандартным диаметром D = 2 м (см. рисунок С.10 и таблицу С.2). Здесь также рассмотрен коэффициент, с помощью которого ток I, наводимый в LLA испытуемым оборудованием, преобразуется в напряженность магнитного поля H на определенном расстоянии от EUT (см. рисунок С.11 и таблицу С.3). Пояснительный материал и уравнения для расчета таких коэффициентов преобразования приведены в CISPR TR 16-3:2020 [23].

С.6.2 Коэффициенты преобразования тока для LLAS с нестандартным диаметром

Разность S_D в дБ между током, измеряемым в LLA с диаметром D, м, и током, который может быть измерен с помощью LLA со стандартным диаметром D = 2 м, выраженным в логарифмических единицах [например, в дБ (мкА)], представлена на рисунке С.10 (и в таблице С.2) для нескольких значений D и определяется согласно уравнению

$$S_D = I_{D,\,м} - I_{2,\,м}, \qquad (С.1)$$

где $I_{D,\,м}$ и $I_{2,\,м}$ — значения токов, наведенных в LLA с диаметром D и в LLA со стандартным диаметром 2 м соответственно, выраженные в логарифмических единицах [например, в дБ (мкА)].

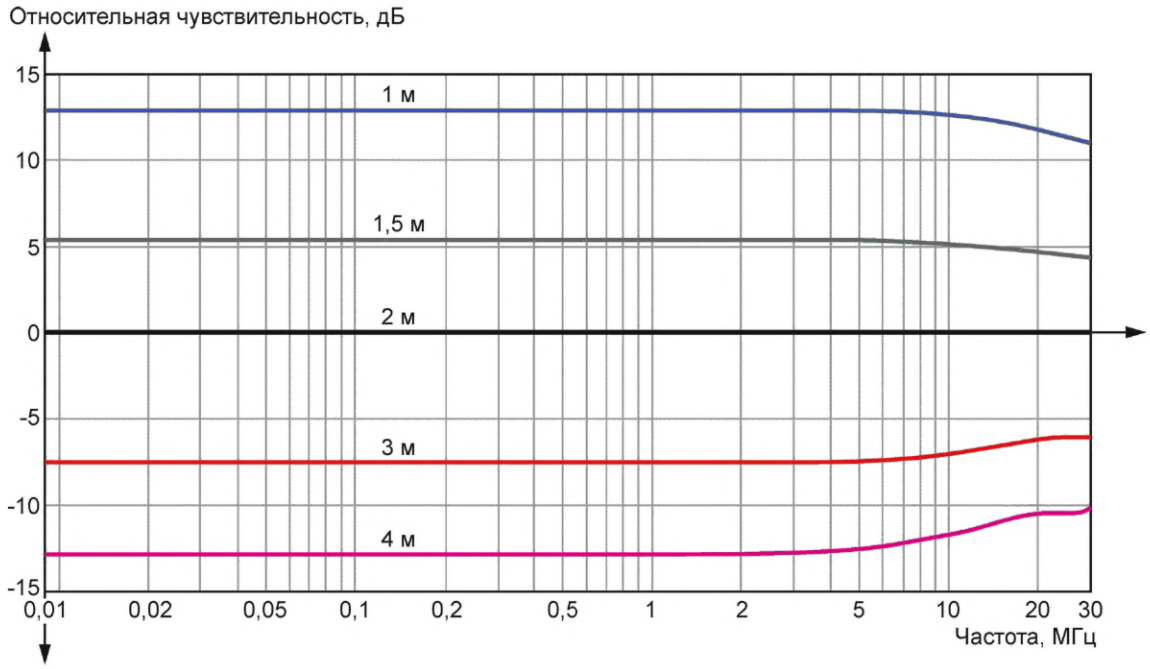


Рисунок С.10 — Чувствительность S_D LLA с диаметром D относительно LLA с диаметром 2 м

Таблица С.2 — Чувствительность S_D LLA с диаметром D относительно LLA с диаметром 2 м (рисунок С.10)

Частота, МГц	LLAS диаметром D				Частота, МГц	LLAS диаметром D			
	1 м	1,5 м	3 м	4 м		1 м	1,5 м	3 м	4 м
	дБ	дБ	дБ	дБ		дБ	дБ	дБ	дБ
0,009	12,88	5,34	−7,50	−12,80	7	12,72	5,24	−7,25	−12,24
0,01	12,88	5,34	−7,50	−12,80	8	12,67	5,22	−7,18	−12,08
0,02	12,88	5,34	−7,50	−12,80	9	12,62	5,19	−7,11	−11,92
0,03	12,88	5,34	−7,50	−12,80	10	12,56	5,16	−7,02	−11,75
0,04	12,88	5,34	−7,50	−12,80	11	12,50	5,12	−6,94	−11,58
0,05	12,88	5,34	−7,50	−12,80	12	12,43	5,08	−6,85	−11,41
0,06	12,88	5,34	−7,50	−12,80	13	12,36	5,04	−6,76	−11,25
0,07	12,88	5,34	−7,50	−12,80	14	12,29	5,00	−6,67	−11,09
0,08	12,88	5,34	−7,50	−12,80	15	12,21	4,96	−6,58	−10,96
0,09	12,88	5,34	−7,50	−12,80	16	12,12	4,91	−6,50	−10,84
0,1	12,88	5,34	−7,50	−12,80	17	12,04	4,87	−6,42	−10,73
0,2	12,88	5,33	−7,50	−12,80	18	11,95	4,82	−6,35	−10,65
0,3	12,88	5,33	−7,50	−12,80	19	11,86	4,77	−6,28	−10,58
0,4	12,88	5,33	−7,50	−12,80	20	11,77	4,73	−6,23	−10,53
0,5	12,88	5,33	−7,50	−12,80	21	11,68	4,68	−6,18	−10,50
0,6	12,88	5,33	−7,50	−12,80	22	11,60	4,64	−6,14	−10,48
0,7	12,88	5,33	−7,50	−12,80	23	11,51	4,60	−6,11	−10,46

Окончание таблицы С.2

Частота, МГц	LLAS диаметром *D*				Частота, МГц	LLAS диаметром *D*			
	1 м	1,5 м	3 м	4 м		1 м	1,5 м	3 м	4 м
	дБ	дБ	дБ	дБ		дБ	дБ	дБ	дБ
0,8	12,88	5,33	−7,49	−12,80	24	11,42	4,55	−6,09	−10,45
0,9	12,88	5,33	−7,49	−12,79	25	11,33	4,52	−6,08	−10,44
1	12,87	5,33	−7,49	−12,79	26	11,25	4,48	−6,08	−10,43
2	12,86	5,33	−7,48	−12,75	27	11,17	4,45	−6,08	−10,40
3	12,85	5,32	−7,45	−12,69	28	11,09	4,41	−6,09	−10,37
4	12,83	5,30	−7,41	−12,61	29	11,02	4,39	−6,10	−10,32
5	12,80	5,29	−7,37	−12,50	30	10,95	4,36	−6,12	−10,25
6	12,76	5,27	−7,31	−12,38	—	—	—	—	—

С.6.3 Преобразование измеренного тока LLAS в напряженность магнитного поля

Коэффициент преобразования, представленный на рисунке С.11 и в таблице С.3, отражает наихудший случай (наибольшее значение) для всех трех поляризаций, когда считают, что источник магнитного поля расположен в центре LLA и его магнитный дипольный момент перпендикулярен плоскости этой LLA для всех трех рамок LLAS. В таком случае подобный коэффициент преобразования допускается использовать для оценки напряженности магнитного поля в наихудшем случае, которую измеряют рамочной антенной, указанной в 4.3, на определенных измерительных расстояниях (3, 10 или 30 м) от периферии EUT, когда центр рамочной антенны находится на высоте 1,3 м относительно металлической пластины заземления испытательной площадки (при этом самая нижняя поверхность EUT отстоит от пластины заземления на 80 см), а EUT вращают по всем азимутальным углам при всех поляризациях трех рамочных антенн. Оценку напряженности поля получают путем добавления коэффициента преобразования, приведенного на рисунке С.11 и в таблице С.3, к уровню наведенного тока в худшем случае, измеренному от EUT с тремя рамками системы LLAS на частоте измерения.

Примечание 1 — Часто в традиционных методах испытания на напряженность магнитного поля (например, приведенных в CISPR 11 [24]) используют рамочную антенну, указанную в 4.3, устанавливаемую исключительно в вертикальной плоскости, когда EUT поворачивают только вокруг его вертикальной оси. В этом случае измеряют только горизонтальные дипольные моменты, т. е. дипольные моменты, параллельные пластине заземления. Следовательно, в случае, когда EUT также создает вертикальные дипольные моменты, этот коэффициент преобразования LLAS запрещено использовать для сравнения результатов обоих методов измерения. Однако этот коэффициент LLAS можно применять для сравнений с результатами метода измерения напряженности магнитного поля, когда рамочную антенну, приведенную в 4.3, устанавливают в горизонтальной плоскости в дополнение к вертикальной поляризации в двух плоскостях рамки.

Если реальное местоположение источника помех внутри EUT находится на расстоянии менее 0,5 м от центра стандартной LLAS, результаты измерения отличаются от результатов, полученных при размещении источника в центре LLAS, менее чем на 3 дБ.

Соотношение между напряженностью магнитного поля H в дБ (мкА/м), измеренной на расстоянии d, и током I в дБ (мкА) в LLA будет иметь вид уравнения

$$H = I + C_{dA}, \tag{С.2}$$

где C_{dA} — коэффициент преобразования тока в поле [в дБ ($м^{-1}$)] для конкретного расстояния d, когда H выражена в дБ (мкА/м) (см. также примечание 2).

В общем случае коэффициент преобразования является частотно-зависимой величиной; на рисунке С.11 (и в таблице С.3) представлен C_{dA} для стандартных измерительных расстояний 3, 10 и 30 м.

Если ток измеряют в LLAS с нестандартным диаметром D, уравнение (С.2) допускается записать в виде уравнения

$$H = I - S_D + C_{dA}, \tag{С.3}$$

где H выражена в дБ (мкА/м), I — в дБ (мкА), S_D — в дБ и C_{dA} — в дБ ($м^{-1}$).

Примечание 2 — Для расчетов уровня помех в CISPR используют напряженность магнитного поля H в дБ (мкА/м), а не напряженность электрического поля E в дБ (мкВ/м). В данном контексте соотношение между H и E задается уравнением

$$E = H + 51{,}5, \qquad (C.4)$$

где E выражена в дБ(мкВ/м), H — в дБ (мкА/м). Объяснение относительно константы 51,5 в дБ (Ом) в уравнении (С.4) дано в примечании, приведенном в 4.3.2.

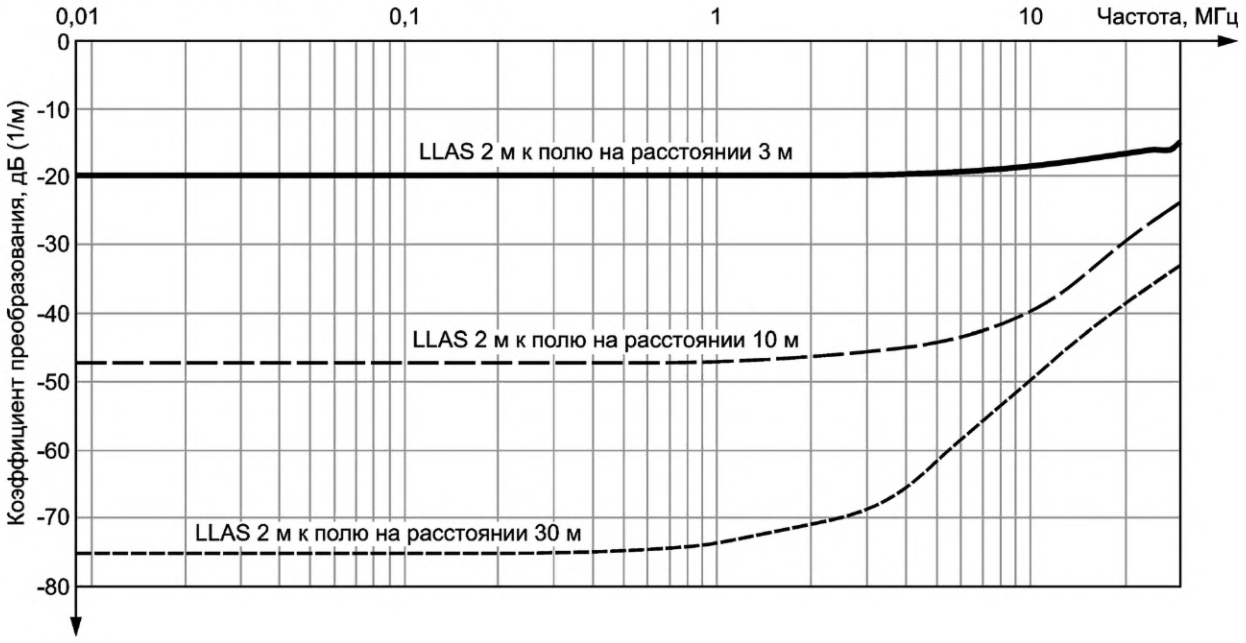


Рисунок С.11 — Коэффициент преобразования C_{dA} [для приведения к дБ (мкА/м)] для трех стандартных измерительных расстояний d

Таблица С.3 — Коэффициент преобразования напряженности магнитного поля C_{dA} для трех стандартных измерительных расстояний (рисунок С.11)

Частота, МГц	LLAS 2 м к полю на 3 м	LLAS 2 м к полю на 10 м	LLAS 2 м к полю на 30 м	Частота, МГц	LLAS 2 м к полю на 3 м	LLAS 2 м к полю на 10 м	LLAS 2 м к полю на 30 м
	дБ(1/м)	дБ(1/м)	дБ(1/м)		дБ(1/м)	дБ(1/м)	дБ(1/м)
0,009	−19,77	−47,18	−75,09	7	−18,97	−42,23	−55,72
0,01	−19,77	−47,18	−75,09	8	−18,76	−41,45	−53,41
0,02	−19,77	−47,18	−75,09	9	−18,56	−40,74	−51,40
0,03	−19,77	−47,18	−75,09	10	−18,35	−40,08	−49,63
0,04	−19,77	−47,18	−75,09	11	−18,14	−39,24	−48,04
0,05	−19,77	−47,18	−75,08	12	−17,93	−37,72	−46,61
0,06	−19,77	−47,18	−75,08	13	−17,73	−36,36	−45,31
0,07	−19,77	−47,18	−75,08	14	−17,54	−35,11	−44,12
0,08	−19,77	−47,18	−75,08	15	−17,35	−33,97	−43,03
0,09	−19,77	−47,18	−75,08	16	−17,18	−32,92	−42,02
0,1	−19,77	−47,18	−75,07	17	−17,02	−31,95	−41,08
0,2	−19,77	−47,17	−75,02	18	−16,87	−31,05	−40,21

Окончание таблицы С.3

Частота, МГц	LLAS 2 м к полю на 3 м	LLAS 2 м к полю на 10 м	LLAS 2 м к полю на 30 м	Частота, МГц	LLAS 2 м к полю на 3 м	LLAS 2 м к полю на 10 м	LLAS 2 м к полю на 30 м
	дБ(1/м)	дБ(1/м)	дБ(1/м)		дБ(1/м)	дБ(1/м)	дБ(1/м)
0,3	−19,77	−47,16	−74,94	19	−16,73	−30,22	−39,40
0,4	−19,77	−47,15	−74,82	20	−16,60	−29,44	−38,63
0,5	−19,76	−47,13	−74,68	21	−16,48	−28,71	−37,92
0,6	−19,76	−47,11	−74,51	22	−16,37	−28,02	−37,25
0,7	−19,76	−47,09	−74,32	23	−16,27	−27,37	−36,61
0,8	−19,76	−47,06	−74,11	24	−16,18	−26,76	−36,01
0,9	−19,75	−47,02	−73,88	25	−16,10	−26,18	−35,43
1	−19,75	−46,99	−73,64	26	−16,03	−25,62	−34,89
2	−19,69	−46,46	−70,97	27	−15,96	−25,10	−34,37
3	−19,60	−45,70	−68,52	28	−15,90	−24,59	−33,87
4	−19,48	−44,83	−65,70	29	−15,52	−24,11	−33,39
5	−19,33	−43,93	−61,65	30	−15,04	−23,64	−32,93
6	−19,15	−43,06	−58,41	—	—	—	—

С.7 Примеры

Приведенные ниже примеры поясняют использование уравнений (С.1), (С.2) и (С.3), а также рисунков С.8, С.10 и С.11.

a) Дано: частота измерения f = 100 кГц, диаметр LLA D = 2 м, ток в LLA $I = X$ дБ (мкА).

Тогда, используя уравнение (С.1) и рисунок С.10, получаем, что:

- при d = 3 м: H = [X/дБ (мкА) + C_{3A}/дБ ($м^{-1}$)] дБ (мкА/м) = (X − 19,5) дБ (мкА/м),

- при d = 3 м: E = [X/дБ (мкА) + C_{3V}/дБ (Ом/м)] дБ (мкВ/м) = [X + (51,5 − 19,5)] дБ (мкВ/м).

b) Дано: частота измерения f = 100 кГц, диаметр LLA D = 2 м, ток в LLA $I = X$ дБ (мкА).

Тогда, используя уравнение (С.2) и рисунок С.11 (таблица С.3), получаем, что:

- при d = 3 м: H [дБ (мкА/м)] = X [дБ (мкА)] + C_{3A}[дБ ($м^{-1}$)] = (X − 19,77) дБ (мкА/м).

c) Дано: частота измерения f = 100 кГц, диаметр LLA D = 4 м, ток в LLA $I = X$ дБ (мкА).

Тогда, используя уравнение (С.1) и рисунок С.10 (таблица С.2), получаем, что то же самое EUT наводит ток:

I [дБ (мкА)] = X [дБ (мкА)] − S_4[дБ] = X − (−12,80) = (X +12,80) дБ (мкА)

в LLA со стандартным диаметром D = 2 м.

Приложение D
(обязательное)

Детали, касающиеся построения открытых испытательных площадок в полосе частот от 30 до 1000 МГц

(см. раздел 6)

D.1 Общие положения

В подразделе 6.2 содержатся основные положения, касающиеся устройства открытых испытательных площадок. В данном приложении приведена дополнительная информация, полезная для обеспечения хорошего устройства площадки и укрытия для проведения испытаний при любой погоде. Лучшим способом убедиться в пригодности этих рекомендаций на практике является проведение измерений при валидации площадки согласно 6.4.

D.2 Конструкция пластины заземления

D.2.1 Материал

Рекомендуемым материалом для пластины заземления испытательных площадок, предназначенных для измерения напряженности поля, является металл. Однако по практическим причинам нельзя обязать использовать металлические заземляющие пластины для измерения всех типов оборудования. Некоторыми примерами металлических пластин заземления являются сплошные металлические листы, металлическая фольга, перфорированный металл, сплав, расширяющийся при остывании, армированная ткань, проволочный экран и металлическая решетка. Заземляющая пластина не должна иметь никаких пустот или разрывов, линейные размеры которых сопоставимы с длиной волны на самой высокой частоте измерения. Рекомендуемый максимальный размер раскрыва для пластин заземления типа экрана, пластин, выполненных из сплава, расширяющегося при остывании, из перфорированного металла или в виде решетки составляет 1/10 от длины волны на самой высокой частоте измерения (около 3 см на частоте 1000 МГц). Пластину, которую собирают из отдельных листов, рулонов или частей, необходимо пропаять или проварить по стыкам, предпочтительно непрерывным швом, но в любом случае пропуски между точками скрепления не должны быть больше 1/10 длины волны. Наличие толстых диэлектрических покрытий, таких как песок, асфальт или дерево, на поверхности металлических заземляющих пластин может привести к тому, что характеристики затухания площадки будут неприемлемы.

D.2.2 Шероховатость поверхности

Полезную оценку максимально допустимой шероховатости пластины заземления в среднеквадратичных значениях (см. рисунок D.1) обеспечивает критерий шероховатости по Релею. Для большинства используемых на практике испытательных площадок, особенно при расстоянии 3 м, несущественной для целей измерения считается неровность 4,5 см. Для площадок с расстоянием 10 и 30 м допускается даже бóльшая шероховатость поверхности. Чтобы определить, является ли шероховатость приемлемой, необходимо осуществить процедуру валидации площадки в соответствии с 6.4. В таблице D.1 приведены расчетные значения b, рассчитанные по формуле

$$b = \frac{\lambda}{8 \cdot \sin\beta}.$$

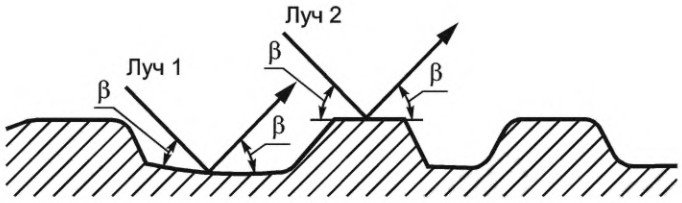


Рисунок D.1 — Критерий Релея для определения шероховатости поверхности пластины заземления

Таблица D.1 — Максимальная шероховатость поверхности для измерительных расстояний 3, 10 и 30 м

Измерительное расстояние d, м	Высота источника h_1, м	Максимальная высота приемной антенны h_2, м	Максимальная среднеквадратичная шероховатость b	
			в длинах волн	при 1000 МГц, см
3	1	4	0,15	4,5
10	1	4	0,28	8,4
30	2	6	0,49	14,7

D.3 Система энергообеспечения EUT

Подводку сети питания или системы электроснабжения к EUT необходимо производить максимально возможно под пластиной заземления и предпочтительно под прямыми углами к оси измерения. Все провода, кабели и тракты к поворотной платформе или шасси EUT должны проходить под пластиной заземления. Когда «подземную» трассировку выполнить невозможно, то провода энергообеспечения EUT прокладывают по поверхности пластины заземления, но вровень с ней, и крепят к ней.

D.4 Конструкция навеса, защищающего от неблагоприятных погодных условий

D.4.1 Материалы и крепления

Вплоть до частоты 1000 МГц тонкие секции из стекловолокна и большинства других пластмасс, специально обработанных лесоматериалов и тканевых материалов не будут вызывать ощутимого затухания уровней помех от EUT. Однако поглощение влаги некоторыми материалами (например, деревом и нейлоном) может вызвать потери передачи, которые особенно критичны, если уровни помех от EUT измеряют через такой материал. Необходимо позаботиться о том, чтобы на конструкции или в самом материале, формирующем эту конструкцию, не накапливались воздушно-осаждаемые проводящие частицы, застойная вода и лед. Периодически следует проводить проверки на наличие посторонних предметов, которые могут оказаться на конструкции и вызвать ошибки измерения.

Использование металла над пластиной заземления следует свести к минимуму. Настоятельно рекомендуется применять пластмассовые или тканевые крепежные элементы. Любые анкеры, сваи или аналогичные фундаменты выносят достаточно далеко от зоны испытания с целью устранения их влияния на измерения.

D.4.2 Внутренние приспособления

Все конструктивные элементы не должны быть отражающими. Любые вентиляторы или трубопроводы для нагревания, охлаждения или подачи воздуха, если они не выполнены из непроводящего материала, не проходят под металлической пластиной заземления или значительно ниже неметаллической заземляющей пластины, следует расположить вне зоны испытания или вне конструкции. Для работы оборудования может потребоваться контроль температуры и влажности. Любые переборки или проемы не должны иметь металлических покрытий или обрамления. Если над пластиной заземления находятся какие-либо поручни или сходни для безопасности, то их также выполняют из непроводящего материала.

D.4.3 Размер

Размер навеса, защищающего от непогоды, будет зависеть от размера EUT и от того, следует ли включать в зону охвата антенный полигон или только зону над EUT, необходимо ли учесть зону над измерительной установкой или зону, включающую устройство поворота приемной антенны и наибольший подъем приемной антенны при измерениях с вертикальной поляризацией.

D.4.4 Проверка качества материала навеса, ухудшающегося со временем и погодными условиями

Чтобы обнаружить аномалии, вызванные ухудшением защищающего от непогоды навеса из-за погодных условий (например, поглощения влаги) или порчей материалов навеса, рекомендуется периодически проводить измерения параметров валидации площадки. При этом измерении также проверяют калибровку ВЧ-кабелей, приборов и инструментов, используемых для испытания. Проведение измерений один раз в шесть месяцев обычно является достаточным, если физические признаки ухудшения материала не обнаруживаются ранее, т. е. материал изменил цвет из-за загрязнения воздуха.

D.5 Поворотный стол и установочный стол

Для удобства измерения уровней электромагнитных помех со всех сторон EUT рекомендуется использовать поворотный стол и стол для размещения EUT. Поворотный стол имеет узел вращения, а установочный стол используют для позиционирования EUT на испытательной площадке. В данном разделе рассматривают следующие три конфигурации поворотного и установочного столов:

a) При поворотных столах с узлом вращения, расположенным ниже уровня земли, вращающаяся поверхность (крышка) должна находиться вровень с пластиной заземления и иметь с ней электрическое соединение. Установочный стол размещают на вращающейся крышке.

- При настольном оборудовании высота установочного стола должна быть (0,8 ± 0,01) м, и его размещают так, чтобы центр установочного стола в горизонтальной плоскости совпадал с центром поворотного стола, который обеспечивает вращение. При измерении параметров валидации площадки установочный стол убирают.
- При напольном оборудовании EUT необходимо изолировать от проводящей поверхности поворотного стола (находящегося на одном уровне с пластиной заземления). Высота непроводящей подставки не более 0,15 м или отвечает требованию комитета по продукции. Непроводящая подставка не требуется, когда у изделия есть неметаллические колесики. При измерении параметров валидации площадки непроводящую подставку убирают.

b) При поворотных столах с узлом вращения, встроенным в установочный стол и расположенным на поворотном столе (на одном уровне с пластиной заземления) или на пластине заземления без поворотного стола, установочный стол должен иметь высоту (0,8 ± 0,01) м для настольного оборудования или его высота не должна

превышать 0,15 м для напольного оборудования. При измерении параметров валидации площадки установочный стол убирают.

c) В FAR высоту установочного стола для EUT не указывают: она зависит от характеристики поглощающего материала и испытательного объема полностью безэховой камеры. При измерениях параметров валидации площадки установочный стол убирают.

Если EUT/система включает стол-подставку, который является частью испытуемой конфигурации, то в ней следует использовать этот стол-подставку, поставляемый с системой, а не обычный установочный стол, который используют на испытательной площадке.

D.6 Установка мачты приемной антенны

Приемную антенну монтируют на непроводящей опоре, которая должна обеспечить подъем антенны от 1 до 4 м при измерительных расстояниях 10 м и менее и от 1 до 4 м или от 2 до 6 м при расстояниях больше 10 м. Кабель необходимо подсоединять к симметрирующему устройству антенны так, чтобы для антенн с горизонтальной поляризацией он был перпендикулярен оси расположения элементов антенны при всех значениях высоты антенны для обеспечения баланса относительно земли.

Кабель от симметрирующего устройства приемной антенны должен спускаться вертикально к пластине заземления приблизительно на расстоянии 1 м или больше от тыла приемной антенны. Из этой точки он проходит по пластине заземления или под ней так, чтобы не мешать измерению. Кабель между антенной и измерительным приемником должен быть как можно короче для обеспечения достаточных уровней принимаемого сигнала на частоте 1000 МГц.

Для антенн дипольного типа с вертикальной поляризацией кабель к измерительному приемнику следует прокладывать по горизонтали, т. е. параллельно пластине заземления, на длину приблизительно 1 м или более от тыла приемной антенны (в сторону от EUT) до его спуска к пластине заземления. Достаточной будет длина несущей конструкции антенны приблизительно 1 м. Оставшийся маршрут кабеля к измерительному приемнику совпадает с маршрутом для случая антенны с горизонтальной поляризацией.

В обоих случаях наличие поворотных устройств антенны и расположение коаксиальных кабелей, подсоединенных к антенне, не должны оказывать влияния на коэффициент калибровки антенны.

Приложение Е
(XXX)

(Исключено)

Приложение F
(справочное)

Базис критерия пригодности площадки ± 4 дБ

(см. раздел 6)

F.1 Общие положения

В данном приложении рассмотрен базис, на котором строится критерий приемлемости ± 4 дБ для измерений нормализованного затухания площадки (NSA) и измерений, используемых в методе эталонной площадки (RSM), которые требуются в 6.4.

F.2 Анализ погрешностей

Анализ погрешностей, указанных в таблице F.1, относится к методам измерения NSA, приведенным в 6.4. Полные «оцененные» погрешности являются основой критерия пригодности площадки ±4 дБ, состоящего из неопределенности измерения приблизительно 3 дБ и допустимой добавки 1 дБ на несовершенство площадок.

Бюджет погрешностей, приведенный в таблице F.1, не учитывает неопределенностей в стабильности амплитуды генератора сигналов, трекинг-генератора или каких-либо усилителей, которые могут использоваться при измерениях, а также не включает в себя потенциальные погрешности метода измерения. Выходной уровень большинства генераторов сигналов и трекинг-генераторов будет иметь временной и температурный дрейф, и коэффициент усиления большинства усилителей будет «плыть» из-за изменений температуры. Требуется, чтобы количество таких источников погрешностей было незначительным, или их необходимо корректировать при проведении измерений, иначе площадка может не удовлетворять критерию пригодности только из-за проблем с измерительным парком.

Таблица F.1 — Бюджет погрешностей

Источник погрешности	Метод измерения	
	Метод дискретных частот, дБ	Метод развертки частоты, дБ
Коэффициент калибровки антенны (TX)[a)]	±1	±1
Коэффициент калибровки антенны (RX)[a)]	±1	±1
Вольтметр	0	±1,6[b)]
Аттенюатор	±1	0
Несовершенство площадки	±1	±1
Итого	±4	±4,6

[a)] На частотах выше 800 МГц погрешности коэффициента калибровки антенн F_a могут достигать ±1,5 дБ.
[b)] Из рабочих инструкций.

Из рабочих инструкций следует, что, например, для некоторых автоматических анализаторов спектра (если сделано все возможное для устранения или компенсации каждой потенциальной погрешности) остаточные амплитудные погрешности будут следующими:

1) неопределенность калибратора ±0,2 дБ
2) неравномерность частотной характеристики ±1,0 дБ
3) коммутация входного аттенюатора ±1,0 дБ
4) неопределенность коэффициента усиления по ВЧ и ПЧ ±0,4 дБ

Полная потенциальная погрешность при этом будет составлять ±2,6 дБ, куда не входит дрейф из-за температуры ±0,05 дБ/К. На практике погрешности, связанные с неравномерностью частотной характеристики и коммутацией входного аттенюатора, при проведении измерений методом замещения обычно на 1 дБ ниже, поэтому диапазон полной погрешности для анализатора спектра в качестве двухтерминального вольтметра будет ±1,6 дБ или меньше, что и указано в таблице F.1.

У многих аттенюаторов абсолютная точность намного ниже, но у некоторых аттенюаторов она выше. Таким образом, в отдельных измерениях полный бюджет погрешностей может возрастать или уменьшаться. Если при измерениях методом сканирования частоты с автоматическим анализатором спектра используется внешний аттенюатор, такой бюджет погрешностей тоже увеличивается.

В эти бюджеты погрешностей не входят погрешности из-за временного и температурного дрейфа коэффициентов усиления, выходных уровней или амплитудных откликов испытательного оборудования. Но такие погрешности могут существовать, и необходимо принимать меры по их недопущению за счет как можно более быстрого проведения измерений.

На практике описанные выше погрешности редко имеют одно направление. Соответствие критерию ± 4 дБ для хорошо сконструированной и правильно расположенной площадки в реальности может допускать аномальное отклонение площадки от идеальной более чем ±1 дБ.

Приложение G
(справочное)

Примеры бюджетов неопределенности при валидации площадки COMTS с использованием RSM и калиброванной антенной пары

(см. 6.6)

G.1 Параметры, рассматриваемые при калибровке затухания эталонной площадки парой антенн при использовании метода усреднения

Измеряемая величина A_{APR} рассчитывается по уравнению (G.1), а пример бюджета неопределенности приведен в таблице G.1.

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} + \delta V_{M1} + \delta V_{M2} + \delta V_{M3} + \delta V_{SDAPR} + \delta V_{NL} + \delta V_{NF} + \delta V_{SRTX} + \delta V_{SRRX} + \delta V_{AM}. \quad (G.1)$$

Таблица G.1 — Калибровка затухания эталонной площадки парой антенн при использовании метода усреднения для большой OATS

Входной параметр X_i		Неопределенность x_i		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
		дБ	Функция распределения вероятностей	дБ		дБ
Показания приемника	V_{DIRECT}	±0,5	Прямоугольная	0,29	1	0,29
Показания приемника	V_{SITE}	±0,5	Прямоугольная	0,29	1	0,29
Рассогласование:						
Генератор-приемник	δV_{M1}	±0,1	U-образная	0,07	1	0,07
Генератор-антенна	δV_{M2}	±0,2	U-образная	0,14	1	0,14
Антенна-приемник	δV_{M3}	±0,2	U-образная	0,14	1	0,14
Стандартная девиация среднего значения A_{APR}	δV_{SDAPR}	±0,6	Нормальная (k = 1)	0,6	1	0,6
Корректировки приемника:						
Нелинейность	δV_{NL}	±0,1	Нормальная (k = 2)	0,05	1	0,05
Приближенность к минимальному уровню шума	δV_{NF}	±0,0	Нормальная (k = 2)	0	1	0
Вторичное излучение антенного кабеля:						
Передающая антенна	δV_{SRTX}	±0,3	Прямоугольная	0,17	1	0,17
Приемная антенна	δV_{SRRX}	±0,3	Прямоугольная	0,17	1	0,17
Антенная мачта	δV_{AM}	±0,15	Прямоугольная	0,09	1	0,09

Расширенная неопределенность будет: $U = 2u_c(A_{APR})$ = 1,37 дБ.

G.2 Параметры, рассматриваемые при калибровке затухания эталонной площадки парой антенн при использовании метода REFTS

Измеряемую величину A_{APR} рассчитывают по уравнению (G.2), а пример бюджета неопределенности приведен в таблице G.2.

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} + \delta V_{M1} + \delta V_{M2} + \delta V_{M3} + \delta V_{REFTS} + \delta V_{NL} + \delta V_{NF} + \delta V_{SRTX} + \delta V_{SRRX} + \delta V_{AM}. \quad (G.2)$$

Таблица G.2 — Калибровка затухания эталонной площадки парой антенн при использовании метода REFTS

Входной параметр X_i		Неопределенность x_i		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
		дБ	Функция распределения вероятностей	дБ		дБ
Показания приемника	V_{DIRECT}	±0,5	Прямоугольная	0,29	1	0,29
Показания приемника	V_{SITE}	±0,5	Прямоугольная	0,29	1	0,29
Рассогласование:						
Генератор-приемник	δV_{M1}	±0,1	U-образная	0,07	1	0,07
Генератор-антенна	δV_{M2}	±0,2	U-образная	0,14	1	0,14
Антенна-приемник	δV_{M3}	±0,2	U-образная	0,14	1	0,14
Влияние REFTS	δV_{REFTS}	±1,0	Прямоугольная	0,58	1	0,58
Корректировки приемника:						
Нелинейность	δV_{NL}	±0,1	Нормальная (k = 2)	0,05	1	0,05
Приближенность к минимальному уровню шума	δV_{NF}	±0,0	Нормальная (k = 2)	0	1	0
Вторичное излучение антенного кабеля:						
Передающая антенна	δV_{SRTX}	±0,3	Прямоугольная	0,17	1	0,17
Приемная антенна	δV_{SRRX}	±0,3	Прямоугольная	0,17	1	0,17
Антенная мачта	δV_{AM}	±0,15	Прямоугольная	0,09	1	0,09

Расширенная неопределенность будет: $U = 2u_c\,(A_{APR})$ = 1,34 дБ.

G.3 Параметры, рассматриваемые при валидации COMTS при использовании затухания эталонной площадки с парой антенн

Измеряемую величину ΔA_s рассчитывают по уравнению (G.3), а пример бюджета неопределенности приведен в таблице G.3.

$$\Delta A_s = V_{DIRECT} - V_{SITE} - A_{APR} + \delta V_{M1} + \delta V_{M2} + \delta V_{M3} + \delta V_{NL} + \delta V_{NF} + \delta V_{SRTX} + \delta V_{SRRX}. \quad (G.3)$$

Таблица G.3 — Валидация COMTS при использовании затухания эталонной площадки с парой антенн

Входной параметр X_i		Неопределенность x_i		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
		дБ	Функция распределения вероятностей	дБ		дБ
Показания приемника	V_{DIRECT}	±0,5	Прямоугольная	0,29	1	0,29
Показания приемника	V_{SITE}	±0,5	Прямоугольная	0,29	1	0,29
Затухание эталонной площадки с парой антенн	A_{APR}	±1,4	Нормальная (k = 2)	0,7	1	0,7
Рассогласование:						
Генератор-приемник	δV_{M1}	±0,1	U-образная	0,07	1	0,07
Генератор-антенна	δV_{M2}	±0,2	U-образная	0,14	1	0,14
Антенна-приемник	δV_{M3}	±0,2	U-образная	0,14	1	0,14

Окончание таблицы G.3

Входной параметр X_i		Неопределенность x_i		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
		дБ	Функция распределения вероятностей	дБ		дБ
Корректировки приемника:						
Нелинейность	δV_{NL}	±0,1	Нормальная (k = 2)	0,05	1	0,05
Приближенность к минимальному уровню шума	δV_{NF}	±0,0	Нормальная (k = 2)	0	1	0
Вторичное излучение антенного кабеля:						
Передающая антенна	δV_{SRTX}	±0,3	Прямоугольная	0,17	1	0,17
Приемная антенна	δV_{SRRX}	±0,3	Прямоугольная	0,17	1	0,17

Расширенная неопределенность будет: $U = 2u_c(A_s)$ = 1,54 дБ.

Приложение Н
(справочное)

Определение неопределенности при измерении кросс-поляризационной характеристики

Н.1 Общие положения

В 4.5.5 представлен метод измерения кросс-поляризационной характеристики (XPR) для антенн с конструкцией типа LPDA. В данном приложении определяются и обсуждаются источники неопределенности, учитываемые при измерении, и приведен пример оценок неопределенности.

Оценки неопределенности, приведенные в настоящем приложении, базируются на антенне LPDA (или гибридной), которая размещена в FAR, а ее элементы ориентированы вдоль вертикальной оси (т. е. в вертикальной плоскости), на частотах выше 100 МГц. Считают, что наиболее подходящей для такого измерения является FAR; однако анализ неопределенности можно адаптировать и для других средств, например OATS или SAC. Оценку неопределенности применяют при использовании либо дипольной антенны (ниже 1 ГГц), либо линейно-поляризованной рупорной антенны (выше 1 ГГц) в качестве приемной антенны (RX-антенна), обозначаемой символом «*R*». Для получения наиболее достоверных результатов необходимо проводить развертку частоты в диапазоне от 30 % до 150 % частоты настройки диполя. В анализе используются члены уравнения с линейным соотношением, так как итоговая неопределенность всегда будет асимметричной при сигналах с низкой кросс-поляризацией.

AUT (передающая антенна, обозначаемая символом «*T*») генерирует первичное (вертикально поляризованное) поле (E_x) и вторичное кросс-поляризационное (горизонтально поляризованное) поле (E_y). Здесь E_{ISO} — напряженность поля, которую будет генерировать идеальный линейно поляризованный источник с коэффициентом усиления изотропного излучателя, равным единице, согласно уравнению (Н.1) и уравнению (Н.2).

$$E_x = \sqrt{G_T} \cdot \sqrt{\frac{\eta_0 P_T}{4\pi d^2}} = \sqrt{G_T} \cdot E_{ISO}, \tag{Н.1}$$

$$E_y = \frac{\sqrt{G_T}}{A_{xpT}} \cdot E_{ISO}, \tag{Н.2}$$

где G_T — коэффициент усиления передающей испытуемой антенны (AUT);

η_0 — импеданс свободного пространства;

P_T — излучаемая мощность;

d — расстояние между антеннами.

Примечание 1 — При измерении XPR, приведенном в 4.5.5, AUT произвольным образом трактуется как RX-антенна в вертикальной плоскости. При пассивных антеннах использование передающей антенны в качестве AUT не меняет принципов анализа неопределенности. Термины «собственная поляризация/co-polar» и «кросс-поляризация/cross-polar» в настоящем приложении относятся к вертикальной и горизонтальной плоскостям соответственно. AUT также допускается использовать в горизонтальной плоскости, но тогда это будет означать, что собственная поляризация и кросс-поляризация относятся к горизонтальной и вертикальной плоскостям. Здесь вертикальная плоскость рассматривается как ось *x* в камере (например, FAR), а горизонтальная плоскость — как ось *y* в камере.

В идеальном случае E_x и E_y определяются только характеристиками AUT. Однако имеются источники неопределенности, обусловленные несовершенством приемной антенны и испытательной площадки (например, FAR). XPR (A_{xp}) каждой антенны определяется соответствующим соотношением напряженностей поля [см. уравнение (Н.3) для передающей антенны в качестве AUT]:

$$A_{xpT} = \frac{E_x}{E_y}, \tag{Н.3}$$

$$\Phi_{aCx} = A_{xpR} \cdot \Phi_{aCo}, \tag{Н.4}$$

где Φ_{aCo} и Φ_{aCx} в уравнении (Н.4) являются линейными AF ($F_{aCo} = 20\lg\Phi_{aCo}$ и $F_{aCx} = 20\lg\Phi_{aCx}$ — являются AF в дБ) неидеальной приемной антенны (A_{xpR} относятся к калиброванному AF приемной антенны и также является линейным соотношением).

Примечание 2 — Полагая, что существует только одна составляющая напряженности поля E_x, получаем, что выходное напряжение антенны при собственной поляризации состоит из двух составляющих $V_{Co} = E_x/\Phi_{aCo}$ и $V_{Cx} = E_x/\Phi_{aCx}$.

Определяют матрицу ошибок для безэховой камеры, чтобы показать, как напряженности реального электрического поля соотносятся с напряженностью поля идеальной испытуемой антенны. Элементы матрицы описаны как ошибки, которые в принципе являются детерминированными величинами, относящимися к стоячим волнам и кросс-поляризационному рассеянию в камере на каждой частоте. При таком анализе их обрабатывают, как широкополосные статистические вклады неопределенности, так как измерения этих элементов матрицы имеют неопределенности, которые зависят как от частоты, так и от местоположения в камере.

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\delta_{xx} & \delta_{xy} \\ \delta_{yx} & 1+\delta_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1/A_{xpT} \end{bmatrix} \cdot \sqrt{G_T} \cdot E_{ISO}. \quad (H.5)$$

Элементы погрешности камеры описывают отражения, которые добавляют неопределенность к напряженностям поля с той же поляризацией, что и исходное поле испытуемой антенны (т. е. δ_{xx} и δ_{yy}) или с другой поляризацией (т. е. δ_{xy} и δ_{yx}). В таком анализе рассматривают составляющие поля таким образом, что даже источник электрического поля с чисто линейной поляризацией будет генерировать небольшую составляющую вдоль оси с кросс-поляризацией.

Элементами погрешности камеры являются:

δ_{xx} — для отражений от стены при вертикальной поляризации, происходящих от реального поля собственной поляризации, которые вносят вклад в E_x;

δ_{xy} — для отражений от стены при вертикальной поляризации, происходящих от реального поля с кросс-поляризацией, которые вносят вклад в E_x;

δ_{yy} — для отражений от стены при горизонтальной поляризации, происходящих от реального поля собственной поляризации, которые вносят вклад в E_y;

δ_{yx} — для отражений от стены при горизонтальной поляризации, происходящих от реального поля с кросс-поляризацией, которые вносят вклад в E_y.

Уравнения (H.6) и (H.7) определяют напряженность реального поля, создаваемого в позиции RX-антенны. Такую напряженность поля измеряют при двух поляризациях за счет поворота RX-антенны. Из выражения напряженности электрического поля, приведенного в уравнении (H.5), получаем напряженность поля испытуемой антенны:

$$E_x = \sqrt{G_T} \cdot E_{ISO}(1+\delta_{xx}), \quad (H.6)$$

$$E_y = \sqrt{G_T} \cdot E_{ISO}(\delta_{yx} + \frac{1+\delta_{yx}}{A_{xpT}}). \quad (H.7)$$

В уравнении (H.6) опущен член второго порядка $\left(\delta_{xy} \cdot \sqrt{G_T} \cdot E_{ISO}/A_{xpT}\right)$, так как он пренебрежимо мал. Напряжение V_{Co} является выходным напряжением приемной антенны, когда она имеет собственную поляризацию. Аналогично напряжение V_{Cx} является выходным напряжением приемной антенны, когда она повернута из собственной поляризации в кросс-поляризацию (из вертикальной поляризации в горизонтальную). Из уравнений (H.6) и (H.7) ясно, что измеряемая кросс-поляризационная характеристика будет зависеть от величины кросс-поляризационных членов уравнения согласно уравнению (H.8).

$$\begin{bmatrix} V_{Co} \\ V_{Cx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\Phi_{aCo} & 1/\Phi_{aCx} \\ 1/\Phi_{aCx} & 1/\Phi_{aCo} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \frac{1}{\Phi_{aCo}} \begin{bmatrix} 1 & 1/A_{xpR} \\ 1/A_{xpR} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}. \quad (H.8)$$

Получаемое напряжение определяется при условии, что элементы погрешности камеры не коррелированы и члены второго порядка удалены, если типовое значение делителя велико [т. е. A_{xp} будет > 20 (безразмерная величина)] согласно уравнениям (H.9) и (H.10):

$$V_{Co} \approx \frac{E_x}{\Phi_{aCo}} = \frac{\sqrt{G_T} \cdot E_{ISO}}{\Phi_{aCo}}(1+\delta_{xx}), \quad (H.9)$$

$$V_{Cx} = \frac{\sqrt{G_T} \cdot E_{ISO}}{A_{xpT} + \Phi_{aCo}} \cdot \left(1 \pm \delta_{yy} \pm \left[A_{xpT} \cdot \delta_{yx}\right] + \left[\frac{A_{xpT}}{A_{xpR}}\right] \cdot (1 \pm \delta_{xx})\right). \quad (H.10)$$

Члены уравнения, характеризующие камеру и обозначенные как δ_{xx} и т. п., будут появляться в качестве зависящих от частоты колебаний относительно 0 дБ. В настоящем анализе их можно рассматривать в широ-

ком диапазоне как случайные добавки с симметричной функцией распределения вероятностей. Член уравнения A_{xpT}/A_{xpR} относится к увеличению в измеряемом V_{Cx} из-за рассогласования поляризации между передающей и приемной антеннами. У этого члена уравнения функция распределения вероятностей несимметрична, тем не менее для целей испытания на соответствие норме соответствующая сторона функции распределения ограничена и используется увеличение V_{Cx} для наихудшего случая, на что указывает знак. Это уменьшает измеряемое отношение $A_{xpT\ meas}$ и для упрощения A_{xpT}/A_{xpR} представляют как систематический член в бюджете неопределенностей.

Затем рассчитывают кросс-поляризационную характеристику, включая ее неопределенность, с использованием напряжений из уравнений (Н.9) и (Н.10). В итоге получаем уравнения (Н.11) и (Н.12):

$$A_{xpT\ meas} = \frac{V_{Co}}{V_{Cx}}, \tag{Н.11}$$

$$A_{xpT\ meas} = 20\lg\left(\frac{V_{Co}}{V_{Cx}}\right), \text{ дБ}. \tag{Н.12}$$

В перечислении Н5) пункта Н.3 приведены объяснения относительно членов уравнений (Н.9) и (Н.10) и матрицы погрешностей камеры.

Н.2 Пример оценки неопределенности

Пример, представленный в таблице Н.1, относится к измерению реальной XPR величиной 22 дБ (12,6 в разах) с дипольной антенной, у которой XPR может быть как у антенны с двойным гребенчатым рупором (DRH). Так как измерения XPR зависят от характеристики камеры, то важно производить усреднение нескольких измерений в разных локациях, особенно в камере с плохой характеристикой. В данном примере предполагаются три измерения, а, следовательно, при вкладе в неопределенность типа *A* среднее значение получают путем деления стандартного отклонения на $\sqrt{3}$.

Члены матрицы, характеризующие отражения в камере, имеют отношение к членам, характеризующим погрешность, в уравнениях (Н.9) и (Н.10). В таблице Н.1 представлены предполагаемые значения для неопределенности камеры и приемной антенны с дополнительным коэффициентом 0,5, придаваемым кросс-поляризационному члену уравнения (0,5 — это оценка, которая будет уменьшаться при дальнейшем исследовании). Неопределенность, обусловленную погрешностями камеры, можно оценить по оценочным измерениям камеры.

Таблица Н.1 — Пример оценки неопределенности при измерении XPR в FAR при условии, что A_{xpT} = 22 дБ, A_{xpR} = 34 дБ

Входной параметр[a] X_i	Неопределенность в X_i			$u(x_i)$	Чувствительность c_i	$c_i u(x_i)$
	дБ	в разах	Функция распределения вероятностей	в разах	Среднее по 3 измерениям	для A_{xpT}
Показание VNA, собственная поляризация[H1)]	0,08	0,009 3	нормальная, k = 1	0,009 3	0,577	0,005 3
Показание VNA, нелинейная кросс-поляризация [H1)]	0,08	0,009 3	нормальная, k = 1	0,009 3	0,577	0,005 3
Отклонение в установке антенны (2°)[H2)]		0,035 0	прямоугольная	0,020 2	0,577	0,011 7
Неопределенности расстояния (1 см)[H3)]		0,005 0	прямоугольная	0,002 9	0,577	0,001 7
Деполяризация AUT из-за окружающей среды[H4)]	0,1	0,011 6	прямоугольная	0,006 7	1	0,006 7
Деполяризация RX-антенны из-за окружающей среды[H4)]	0,1	0,011 6	прямоугольное	0,006 7	1	0,006 7
Отражения в камере, δ_{xx} = 0,056[H5)]		0,056 0	треугольная	0,022 9	0,577	0,013 2
A_{xpT}/A_{xpR}[H5)]		0,251 5	прямоугольная	0,145 2	1	0,145 2

Окончание таблицы Н.1

Входной параметр[a] X_i	Неопределенность в X_i			$u(x_i)$	Чувствительность c_i	$c_i u(x_i)$
	дБ	в разах	Функция распределения вероятностей	в разах	Среднее по 3 измерениям	для A_{xpT}
δ_{yy}		0,056 0	треугольная	0,022 9	0,577	0,013 2
$A_{xpT}/A_{xpR} \cdot \delta_{xx}$		0,014 1	треугольная	0,005 7	0,577	0,003 3
$A_{xpT} \cdot \delta_{yx}$ (с коэффициентом 0,5)		0,352 8	треугольная	0,144 0	0,577	0,083 2
Суммарная стандартная неопределенность u_c					k = 1	0,169 2
Расширенная неопределенность ku_c [H6]					k = 1,64	0,277 6
Расширенная неопределенность в дБ		20 lg(1/[1 + ku_c])			k = 1,64	−2,13
[a] Ссылки, например [H1], относятся к пояснительной информации, приведенной в подразделе Н.3.						

Н.3 Пояснительная информация к оценкам входных параметров, приведенных в таблицах Н.1 и Н.3

[H1] На основании испытания на воспроизводимость типа *A* предполагалось, что неопределенность показаний VNA составляет 0,08 дБ. В это значение входит неопределенность, обусловленная нелинейностью VNA, что влияет на разницу между двумя показаниями.

[H2] Если θ — угол неточности установки, тогда $\delta E \propto \sin\theta \approx \theta \cdot (\pi/180)$, где θ измеряется в градусах.

[H3] $\delta E \propto \delta d/d$ оценивается при неопределенности δd = 1 см в области d = 200 см при повороте AUT.

[H4] Близкое расстояние до стен камеры также может влиять на точность поляризации AUT и RX-антенны. «Деполяризация» означает изменение (частичное) поляризации, например, за счет эффектов отражения или аналогичных эффектов.

[H5] Члены дельта в матрице погрешности камеры в условиях наихудшего случая могут быть одинаковыми, что означает, что распределение неопределенности напряженности электрического поля одинаково при обеих поляризациях, даже при линейно-поляризованном источнике. Маловероятно, чтобы это имело место в камере с более оптимальными характеристиками при хороших поглотителях, поэтому δ_{yx} и δ_{xy} можно опустить (предполагается половинное значение). В оценке неопределенности предполагается, что показатель PDF равен $\sqrt{6}$ (треугольное распределение) для неопределенностей камеры, основанных на первичной оценке того, что отражения в камере, вероятнее всего, находятся в пределах нуля (см. текст за уравнениями (Н.9) и (Н.10) в Н.1.

Члены уравнений (Н.9) и (Н.10), относящиеся к погрешности, показывают, как напряженности реального электрического поля отражаются в измеряемой XPR. Трудно понять, к чему относятся доминантные элементы в таблицах Н.1 и Н.3. Отношение A_{xpT}/A_{xpR} относится к фундаментальному ограничению измерения, т. е. к XPR приемной антенны, в качестве коэффициента степени измеряемой XPR, и это не исправляется путем усреднения нескольких измерений, так как является систематической неопределенностью. Выражение $A_{xpT} \cdot \delta_{yx}$ относится к кросс-поляризационной погрешности камеры, которое будет показывать проявление поля собственной поляризации как кросс-поляризационное. Считается, что в камере хорошего качества это выражение будет половиной погрешности при основной поляризации, и, весьма вероятно, что при направленных антеннах оно будет даже меньше.

Итак, все данные по характеристикам камеры в такой оценке неопределенности базируются на допущениях. До настоящего времени не разработан какой-либо конкретный метод испытания или метод валидации площадки. Прямые погрешности δ_{xx} и δ_{yy} можно получить из результатов измерения NSA или S_{VSWR}. Затем оценивают кросс-поляризационные члены уравнения δ_{yx} и δ_{xy}. После приобретения последующего опытного материала данное приложение допускается пересмотреть. Необходимо отметить важность использования как минимум трех усредненных значений, полученных в разных местах/локациях в FAR, что уменьшает члены типа *A* и позволяет в большей степени рассмотреть отражения в камере в качестве случайных составляющих, которые относятся к каждой точке данных, а не в качестве систематических составляющих с точными местоположениями. На OATS используют одно измерение. В общем случае OATS считается лучше FAR с хорошим поглощающим материалом, а большая FAR считается лучше маленькой.

[H6] Поскольку в 4.5.5 есть требование, чтобы A_{xp} > 20 дБ, то можно показать, что это выполняется с уровнем достоверности 95 % при условии, что $A_{xpT\ means}/(1 + 1{,}64u_c) > 10$ (или 20 дБ). При одностороннем распределении вероятностей используют коэффициент охвата k = 1,64 (а не k = 2) (для точного значения k = 1,96 при двустороннем распределении широко применяют аппроксимацию в виде значения k = 2).

Примечание — Измеренное отношение в уравнении (Н.11) показывает, что выходное значение более чувствительно к неопределенности в знаменателе, что отразится в более маленьком напряжении. При уменьшении V_{Cx} на неопределенность измерения итоговое значение отношения будет очень большим, но это неважно. При испытании в диапазоне значений относительно требования к минимальному A_{xpT} наибольшая положительная неопределенность в V_{Cx} принимается такой, чтобы итоговое отношение уменьшилось. Таким образом, в качестве приемлемой аппроксимации неопределенность в наихудшем случае определяет значение (1/[1 + ku_c]), и эта величина будет меняться в зависимости от разных $A_{xpT\,means}$. В таблице Н.1 предполагалось, что $A_{xpT\,means}$ составляет 12,6, и это определяет $A_{xpT95\,\%}$ = 12,6/(1 + 0,2776) = 9,86, что эквивалентно (22 − 2,13) дБ.

Анализ показывает, что наибольшим воздействующим фактором является соотношение A_{xpT}/A_{xpR} и что для выполнения точного измерения XPR предпочтительно иметь камеру хорошего качества. В таблице Н.2 приведен пример изменения неопределенности с изменением значения XPR испытуемой антенны при фиксированных характеристиках приемной антенны. При использовании значений рабочего примера получаем интерпретацию, в которой измеренная XPR, равная 22 дБ, указывает на 95 %-ную вероятность того, что реальное значение будет больше 19,87.

При более качественной приемной антенне (a_{xpR} = 40 дБ) и более качественной камере ($\delta_{xx} = \delta_{yy}$ = 0,028 и δ_{yx} = 0,014) эффективное значение нормы улучшается. Улучшенная неопределенность будет равна 20lg(1/[1 + 1,64u_c]) = −1,16 дБ, а измеренная XPR, равная 22 дБ, указывает на 95 %-ную вероятность того, что реальное значение будет больше 20,84.

Таблица Н.2 — Неопределенности в зависимости от других значений A_{xpT} (допущения, отличные от допущений в таблице Н.1)

a_{xpT}/дБ	A_{xpT}	20lg(1/[1 + 1,64u_c])/дБ
10	3,2	−0,68
13	4,5	−0,88
16	6,3	−1,16
18	7,9	−1,42
20	10,0	−1,74
22	12,6	−2,13
24	15,8	−2,59

Н.4 Измерение характеристики XPR на OATS на частоте ниже 100 МГц

Если ниже 100 МГц безэховые камеры не функционируют должным образом, то XPR можно измерить на OATS с антеннами, установленными на большой высоте относительно пластины заземления. В этом случае считают, что δ_{yx} и δ_{xy} пренебрежимо малы. В таблице Н.3 это отображено на примере при измерении с высотой 6 м и расстоянием 3 м.

Таблица Н.3 — Пример оценки неопределенности при измерении XPR на OATS при условии, что A_{xpT} = 22 дБ и A_{xpR} = 34 дБ

Входной параметр[a)] X_i	Неопределенность в X_i			$u(x_i)$	Чувствительность c_i	$c_i u(x_i)$
	дБ	δ в разах	Функция распределения вероятностей	в разах	Одно измерение	для A_{xpT}
Показание VNA, собственная поляризация[Н1)]	0,08	0,009 3	нормальная, k = 1	0,009 3	1	0,009 3
Показание VNA, нелинейная кросс-поляризация [Н1)]	0,08	0,009 3	нормальная, k = 1	0,009 3	1	0,009 3
Отклонение в установке антенны (2°)[Н2)]		0,035 0	прямоугольная	0,020 2	1	0,020 2
Неопределенности расстояния (от 2 см до 3 м)[Н3)]		0,007 0	прямоугольная	0,004 0	1	0,004 0

Окончание таблицы Н.3

Входной параметр[a] X_i	Неопределенность в X_i			$u(x_i)$	Чувствительность c_i	$c_i u(x_i)$
	дБ	δ в разах	Функция распределения вероятностей	в разах	Одно измерение	для A_{xpT}
Деполяризация AUT из-за окружающей среды[H4)]	0,1	0,011 6	прямоугольная	0,006 7	1	0,006 7
Деполяризация RX-антенны из-за окружающей среды[H4)]	0,1	0,011 6	прямоугольная	0,006 7	1	0,006 7
Отклонение мачты антенны, $\delta_{xx} = 0{,}034$[H5)]		0,034 0	треугольная	0,013 9	1	0,013 9
A_{xpT}/A_{xpR}[H5)]		0,251 5	прямоугольная	0,145 2	1	0,145 2
δ_{yy}		0,034 0	треугольная	0,013 9	1	0,013 9
$A_{xpT}/A_{xpR} \cdot \delta_{xx}$		0,008 6	треугольная	0,003 5	1	0,003 5
Суммарная стандартная неопределенность u_c					$k = 1$	0,148 9
Расширенная неопределенность ku_c[H6)]					$k = 1{,}64$	0,244 2
Расширенная неопределенность в дБ			20 lg(1/[1+ku_c])		$k = 1{,}64$	−1,90
[a] Ссылки, например [H1)], относятся к пояснительной информации, приведенной в подразделе Н.3.						

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта, документа	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
CISPR 16-1-1:2015	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-1—2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-1. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура»
CISPR 16-1-5:2014	—	*
CISPR 16-1-6:2014, CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2017	—	*
CISPR 16-2-3:2016	IDT	ГОСТ CISPR 16-2-3—2016[1)] «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-3. Методы измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерения излучаемых радиопомех»
CISPR TR 16-3	—	*
CISPR 16-4-2	IDT	ГОСТ CISPR 16-4-2—2013[2)] «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 4-2. Неопределенности, статистика и моделирование норм. Неопределенность измерений, вызываемая измерительной аппаратурой»
IEC 60050-161:1990	—	*, [3)]

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты.

[1)] Данный межгосударственный стандарт разработан по предыдущей версии международного стандарта.

[2)] Данный межгосударственный стандарт разработан по версии CISPR 16-4-2:2011, IDT.

[3)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50397—2011 (МЭК 60050-161:1990) «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения».

Библиография

[1] IEC 61169-8 Radio-frequency connectors — Part 8: Sectional specification — RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock — Characteristic impedance 50 Ω (type BNC) (previously published as IEC 60169-8).

[Высокочастотные соединители. Часть 8. Частичные технические требования. ВЧ-коаксиальные соединители, внешний проводник которых имеет внутренний диаметр 6,5 мм (0,256 дюйма), с байонетным зажимом. Характеристический импеданс 50 Ом (тип BNC) (предварительно публиковался как стандарт IEC 60169-8)].

[2] Beeckman P.A. The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 280—285

(Влияние позиционирования столов на результаты измерений излучаемых помех, IEEE Международный симпозиум по ЭМС, Монреаль, Квебек, Канада, 2001 г., с. 280—285)

[3] Burke G.J., Poggio A.J. Numerical Electromagnetic Code — Method of Moments, Lawrence Livermore Laboratory, California, January, 1981.

(Числовой электромагнитный код. Метод моментов, Лоренс Ливермор Лаборатори, Калифорния, Январь 1981 г.)

[4] Garbe H. New EMC Test Facilities for Radiation Measurements, Review of Radio Science 1999—2002, John Wiley & Sons, New York, 2002

(Новые испытательные средства для измерений излучения, Обзор Радионауки 1999—2002 гг., John Wiley & Sons, Нью Йорк, 2002 г.)

[5] Mosshammer P. Untersuchung der Einflüsse des Messzubehörs und der Umgebung auf die Messunsicherheit bei der Messung der Störfeldstärke auf Freifeldmessplätzen (Investigation of the influences of the measuring accessories and the environment on the measurement uncertainty with the measurement of the perturbative field strength on free field measuring positions), Diplomarbeit an Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (available only in German)

(Исследование влияний измерительных аксессуаров и окружающей среды на неопределенность измерения при измерении напряженности поля на открытых измерительных площадках, Магистерская диссертация. Берлинский Университет техники и экономики)

[6] ETR 273-1-1:1998 Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties — Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics — Section 1: Introduction; Subclause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France)

(Вопросы электромагнитной совместимости и радиочастотного спектра; улучшение метода измерений излучаемых помех (на испытательных площадках) и оценка соответствующих неопределенностей испытаний. Часть 1. Неопределенности при измерении характеристик мобильных радиосистем. Раздел 1. Введение; подраздел 8.3.4.3: Антенная мачта, поворотный стол и оснастка, Технический отчет ETSI, София Антиполис, Франция)

[7] MIL-STD-461A Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment (Требования к характеристикам оборудования в отношении электромагнитных помех)

[8] Zombolas C. The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 260—264)

(Влияние материала стола на воспроизводимость результатов измерений напряженности поля на открытых испытательных площадках, IEEE Международный симпозиум по ЭМС, Монреаль, Квебек, Канада, 2001 г., с. 260—264)

[9] Bergervoet J.R., Van Veen H. Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements, Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility, March 1989, ETH Zentrum — IKT, 8092 Zürich, Switzerland, p. 29—34

(Большая рамочная антенна для измерений магнитного поля, Труды VIII международного симпозиума по ЭМС в Цюрихе, март 1989 г., ETN Zentrum — IKT, 8092 Цюрих, Швейцария, с. 29—34)

[10] Schelkunoff S.A., Friis H.T. Antennas: Theory and Practice, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302—331

(Антенны: Теория и Практика, Нью-Йорк: John Wiley and Sons Inc., 1952 г., с. 302—331)

[11] CLC/TR 50481 Recommendations on filters for shielded enclosures, CENELEC, April 2009

(Рекомендации по фильтрам для экранированных помещений, СЕНЕЛЕК, апрель 2009 г.)

[12] CLC/TR 50484 Recommendations for shielded enclosures, CENELEC, April 2009

(Рекомендации по экранированным помещениям, СЕНЕЛЕК, апрель 2009 г.)

[13] prEN 50147-3:1998 Electromagnetic Compatibility Basic Emission Standard, Part 3: Emission Measurements in Fully Anechoic Rooms, TC210-WG4-9905, CENELEC, Brussels, January 1999

(Основополагающий стандарт по электромагнитной совместимости. Часть 3. Измерения эмиссии в полностью безэховых комнатах, Технический Комитет 210 — РГ4 — 9905, СЕНЕЛЕК, Брюссель, январь 1999 г.)

[14] Garn H., Müllner W., Buchmayr M. Site-Reference Method for EMC Test Site Validation, Frequenz 53, July-August 1999, p. 151

(Метод эталонной площадки при валидации площадки для испытаний на ЭМС, Частота 53, июль-август, 1999 г., с. 151)

[15] Gisin F. Using ANSI C63.5 standard site method antenna factors for verifying ANSI C63.4 site attenuation requirements, Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Dallas, 9—13 August 1993, p. 313—314

(Использование коэффициентов калибровки антенн в методе стандартной площадки по ANSI C63.5 для проверки требований ANSI C63.5 к затуханию площадки, Труды Международного симпозиума по ЭМС IEEE, Даллас, 9—13 августа 1993 г., с.313—314)

[16] Garn H.F., Buchmayr M., Müllner W., Rasinger J. Primary standards for antenna factor calibration in the frequency range 30—1000 MHz, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,* April 1997, vol. 46, no. 2, p. 544—548)

(Первичные стандарты для поверки коэффициента калибровки антенн в диапазоне частот 30—1000 МГц, Труды IEEE по приборам и измерениям, апрель 1997 г., том 46, № 2, с. 544—548)

[17] Alexander M.J., Salter M.J., Loader B.G., Knight D.A. Broadband calculable dipole reference antennas, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, February 2002, vol. 44, no.1, p. 45—58

(Широкополосные расчетные эталонные дипольные антенны, Труды IEEE по электромагнитной совместимости, февраль 2002 г., том 44, № 1, с. 45—58)

[18] Foegelle M.D. Site validation theory 101: Techniques and methods, *Compliance Engineering,* July/August 2000, p. 42—53

(Теория валидации площадки 101. Средства и методы, Compliance Engineering, июль/август 2000 г., с.42—53)

[19] ANSI C63.5—2017 American National Standard for Electromagnetic Compatibility—Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control—Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz) [Американский национальный стандарт по электромагнитной совместимости. Измерения излучаемой эмиссии при контроле-калибровке антенн с точки зрения ЭМ помех (от 9 кГц до 40 ГГц)]

[20] Meng D.A. Fast Way to Accurately Calibrate Tunable Dipole Antennas at VHF, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility,* February 2018, vol. 60, no.1, p. 86—95

(Быстрый способ точной калибровки настраиваемых дипольных антенн на ОВЧ. Труды IEEE по электромагнитной совместимости, февраль 2018 г., том 60, № 1, стр. 86—95)

[21] Аннулирована

[22] IEC 61000-4-20 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-20: Testing and measurement techniques — Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides
(Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-20. Методы испытаний и измерений. Испытания излучаемой эмиссии и помехоустойчивости в ТЕМ-волноводах)

[23] CISPR TR 16-3:2020 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 3: CISPR technical reports
(Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 3: Технические отчеты CISPR)

[24] CISPR 11 Industrial, scientific and medical equipment — Radio-frequency disturbance characteristics — Limits and methods of measurement
(Промышленные, научные и медицинские установки. Характеристики радиопомех. Нормы и методы измерения)

УДК 621.396.397.001.4:006.354 МКС 33.100.10 IDT

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электромагнитная (ЭМ) помеха, испытательная площадка, методы валидации площадок, антенны, калибровка антенн, неопределенность измерения

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 26.09.2023. Подписано в печать 17.10.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 12,09. Уч-изд. л. 9,68.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru