МКС 33.100.20

ИЗМЕНЕНИЕ № 1 СТБ IEC 61000-4-3-2009

Электромагнитная совместимость
Часть 4-3. Методы испытаний и измерений
ИСПЫТАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К РАДИОЧАСТОТНОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

Электрамагнітная сумяшчальнасць
Частка 4-3. Метады выпрабаванняў і вымярэнняў
ВЫПРАБАВАННЕ НА ЎСТОЙЛІВАСЦЬ ДА РАДЫЁЧАСТОТНАГА ЭЛЕКТРАМАГНІТНАГА ПОЛЯ

Введено в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 28.10.2011 № 78

Дата введения 2012-02-01

Наименование стандарта. Заменить слова: «Испытание» на «Испытания»; «Выпрабаванне» на «Выпрабаванні».

Предисловие. Пункт 3. Первый абзац изложить в новой редакции:

«Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61000-4-3:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-3. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к излученному радиочастотному электромагнитному полю), включая его изменение A2:2010.».

Содержание дополнить приложением J:

«Приложение J (справочное) Неопределенность измерения, обусловленная испытательным оборудованием».

Раздел 2. Заменить ссылки: «IEC 61000-4-6:2006» на «IEC 61000-4-6:2008»; «IEC 61000-4-20:2007» на «IEC 61000-4-20:2010».

Стандарт дополнить приложением – J (после приложения I).

«Приложение J
(справочное)

Неопределенность измерения, обусловленная испытательным оборудованием

J.1 Общие положения

В настоящем приложении приведена информация, касающаяся неопределенности измерений при установке уровня испытательного воздействия, требуемого в соответствии с методом испытаний, приведенным в основной части стандарта. Дополнительная информация приведена в ссылочных документах [1] [1)], [2] [1)].

В настоящем приложении приведен пример составления бюджета неопределенности, основанного на установке уровня испытательного воздействия. Другие параметры величины помехи, такие как частота и глубина модуляции, гармоники, создаваемые усилителем, также могут рассматриваться испытательной лабораторией соответствующим образом. Методика, приведенная в настоящем приложении, может применяться ко всем параметрам величины помехи.

Составляющие неопределенности для однородности поля, включая влияние испытательной площадки, находятся в стадии рассмотрения.

J.2 Бюджет неопределенности для установки уровня испытательного воздействия

J.2.1 Определение измеряемой величины

Измеряемая величина представляет собой гипотетическую напряженность испытательного электрического поля (без испытуемого образца) в точке плоскости однородного поля, выбранной в соответствии с процедурой 6.2.1, шаг a), и 6.2.2, шаг a), настоящего стандарта.

[1)] В квадратных скобках указаны ссылки на документы, приведенные в J.4.

gost.e-ecolog.ru

J.2.2 Составляющие неопределенности измерений измеряемой величины

Приведенная ниже диаграмма влияния (см. рисунок J.1) представляет собой пример влияний на установку уровня испытательного воздействия. Указанная диаграмма может применяться как для процедуры калибровки, так и для процедуры испытаний, однако сведения, приведенные в данной диаграмме, не являются исчерпывающими. Наиболее важные составляющие из диаграммы влияния включены в бюджет неопределенности, приведенный в таблицах J.1 и J.2. С целью получения сопоставимых бюджетов неопределенностей для различных испытательных площадок или лабораторий при составлении бюджета неопределенностей должны применяться по крайней мере составляющие, приведенные в таблицах J.1 и J.2. В конкретных ситуациях при необходимости испытательные лаборатории могут включать в расчет неопределенности измерений дополнительные составляющие.

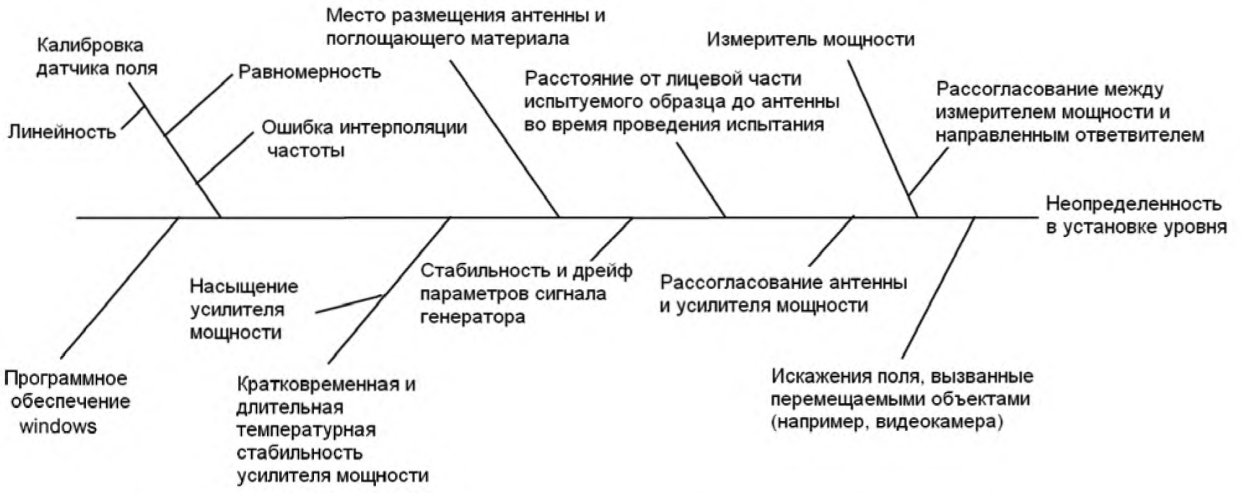


Рисунок J.1 – Пример влияний на установку уровня испытательного воздействия

J.2.3 Примеры расчета расширенной неопределенности

Очевидно, что составляющие, которые применяются при калибровке и при проведении испытаний, не могут быть одинаковыми. Это приводит к различиям бюджетов неопределенности для каждой из процедур.

В соответствии с настоящим основополагающим стандартом поле внутри камеры калибруется перед проведением испытания оборудования. В зависимости от конфигурации испытательной установки некоторые составляющие могут не включаться в расчет неопределенности измерений, например составляющие, влияние которых компенсируется путем контроля уровня выходной мощности усилителя, или составляющие, которые остаются неизменными в течение всего периода времени между калибровкой и испытанием (например, рассогласование между антенной и усилителем).

Датчик поля и система измерения мощности, обеспечивающая высокую повторяемость результатов измерений (при этом абсолютная точность измерения и линейность имеют меньшее значение), не включаются в общую систему управления уровнем выходной мощности усилителя, и их составляющие неопределенности должны рассматриваться при общей оценке неопределенности измерения.

В таблицах J.1 и J.2 приведены примеры бюджета неопределенности для установки уровня испытательного воздействия. Бюджет неопределенности состоит из двух частей: неопределенность для калибровки и неопределенность для испытаний.

Таблица J.1 – Процедура калибровки

Условное обозначение	Источник неопределенности X_i	$U(x_i)$, дБ	Распределение	Коэффициент	$u(x_i)$, дБ	c_i	$u_i(y)$, дБ	$u_i(y)^2$
FP	Калибровка датчика поля	1,7	Нормальное $k = 2$	2	0,85	1	0,85	0,72
PM_c	Измеритель мощности	0,3	Прямоугольное	1,73	0,17	1	0,17	0,03

Окончание таблицы J.1

Условное обозначение	Источник неопределенности X_i	$U(x_i)$, дБ	Распределение	Коэффициент	$u(x_i)$, дБ	c_i	$u_i(y)$, дБ	$u_i(y)^2$
PA_c	Скорость изменения коэффициента усиления усилителя мощности	0,2	Прямоугольное	1,73	0,12	1	0,12	0,01
SW_c	Погрешность установки уровня синусоидального сигнала	0,6	Прямоугольное	1,73	0,35	1	0,35	0,12
				$\sum u_i(y)^2$				0,88
				$\sqrt{\sum u_i(y)^2}$				0,94
				Расширенная неопределенность для калибровки, дБ $U(y)$ (CAL) $k = 2$				1,88

Таблица J.2 – Установка уровня

Условное обозначение	Источник неопределенности X_i	$U(x_i)$, дБ	Распределение	Коэффициент	$u(x_i)$, дБ	c_i	$u_i(y)$, дБ	$u_i(y)^2$
CAL	Калибровка	1,88	Нормальное $k = 2$	2,00	0,94	1	0,94	0,72
AL	Изменение места размещения антенны и поглощающего материала	0,38	$k = 1$	1	0,38	1	0,38	0,14
PM_t [a]	Измеритель мощности	0,3	Прямоугольное	1,73	0,17	1	0,17	0,03
PA_t	Скорость изменения коэффициента усиления усилителя мощности	0,2	Прямоугольное	1,73	0,12	1	0,12	0,01
SW_t	Погрешность установки уровня синусоидального сигнала	0,6	Прямоугольное	1,73	0,35	1	0,35	0,12
SG	Стабильность генератора сигнала	0,13	Прямоугольное	1,73	0,08	1	0,08	0,01
				$\sum u_i(y)^2$				1,20
				$\sqrt{\sum u_i(y)^2}$				1,10
				Расширенная неопределенность, дБ $U(y)$ $k = 2$				2,19

[a] Измеритель мощности вводится в таблицу в том случае, если управление уровнем на выходе генератора сигнала основано на применении измерителя мощности, иначе говоря, стабильность и дрейф параметров генератора, а также усилителя мощности должны приниматься в расчет. В этом примере усилитель мощности не учитывается в бюджете неопределенности, так как он является частью системы управления выходом усилителя мощности, поэтому представляется обоснованным рассматривать составляющую измерителя мощности.

J.2.4 Сокращения

FP – комбинация неопределенности калибровки, неравномерности диаграммы направленности датчика поля, частотной характеристики и температурной чувствительности. Обычно эти данные могут быть получены из спецификации на датчик поля и/или сертификата калибровки;

PM_c – неопределенность измерителя мощности, включая его датчики; значение может быть получено либо из спецификации изготовителя (принимается как прямоугольное распределение), либо

из сертификата калибровки (принимается как нормальное распределение). Если для калибровки и испытаний применяется один и тот же измеритель мощности, то значение данной составляющей может быть уменьшено до значения, полученного исходя из повторяемости результатов измерений и линейности измерителя мощности;

PA_c включает неопределенность, вызванную быстрым изменением коэффициента усиления усилителя мощности после достижения установившегося состояния;

SW_c – неопределенность, вызванная дискретностью шага частоты генератора и программного обеспечения windows для установки уровня испытательного воздействия во время процедуры калибровки. Программное обеспечение windows обычно может регулироваться испытательной лабораторией;

CAL – расширенная неопределенность, связанная с процедурой калибровки;

AL – неопределенность, вызванная переменой положения и заменой антенны и поглощающего материала. В соответствии с ISO/IEC Guide 98-3 составляющая неопределенности, связанная с изменением положения антенны и поглощающего материала, имеет тип А, поэтому соответствующие значения неопределенности могут оцениваться путем статистического анализа по серии наблюдений. Составляющая неопределенности типа А обычно не является частью неопределенности измерительного оборудования, тем не менее эти составляющие учитываются из-за их высокой важности и близкого отношения к измерительному оборудованию;

PM_t – неопределенность измерителя мощности, включая датчики; значение может быть получено либо из спецификации изготовителя (принимается как прямоугольное распределение), либо из сертификата калибровки (принимается как нормальное распределение). Если для калибровки и испытаний применяется один и тот же измеритель мощности, то значение данной составляющей может быть уменьшено до значения, полученного исходя из повторяемости результатов измерений и линейности измерителя мощности (см. таблицу J.2);

Данная составляющая может не приниматься во внимание, если при проведении испытаний используется измерительная система без измерения значения выходной мощности усилителя (в отличие от рисунка 7 настоящего стандарта). В этом случае значения неопределенности генератора сигналов и усилителя мощности должны быть пересмотрены.

PA_t включает неопределенность, вызванную быстрым изменением коэффициента усиления усилителя мощности после достижения установившегося состояния;

SW_t – это неопределенность, вызванная дискретностью шага частоты генератора и программного обеспечения windows для установки уровня испытательного воздействия во время процедуры калибровки. Программное обеспечение windows обычно может регулироваться испытательной лабораторией;

SG – дрейф параметров генератора сигналов в течение времени удержания уровня помехи на заданной частоте.

J.3 Применение

Рассчитанное значение неопределенности измерения (расширенная неопределенность) может использоваться для различных целей, например как указано в стандартах на продукцию или для аккредитации лаборатории. Данное расчетное значение не предназначено для использования при регулировке уровня испытательного воздействия на испытуемый образец в ходе испытания.

J.4 Ссылочные документы

[1]	77/349/INF	General information on measurement uncertainty of test instrumentation for conducted and radiated r.f. immunity tests (Общие сведения, касающиеся неопределенности измерений, связанной с измерительной аппаратурой, используемой при испытаниях на устойчивость к воздействию кондуктивного и излучаемого радиочастотного поля)
[2]	UKAS, M3003, Edition 2, 2007	The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement (Неопределенность и достоверность результатов измерений)
[3]	ISO/IEC Guide 98-3:2008	Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995)».

(ИУ ТНПА № 10-2011)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СТБ IEC 61000-4-3-2009

Электромагнитная совместимость

Часть 4-3

Методы испытаний и измерений

ИСПЫТАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К РАДИОЧАСТОТНОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

Электрамагнітная сумяшчальнасць

Частка 4-3

Метады выпрабаванняў і вымярэнняў

ВЫПРАБАВАННЕ НА ЎСТОЙЛІВАСЦЬ ДА РАДЫЁЧАСТОТНАГА ЭЛЕКТРАМАГНІТНАГА ПОЛЯ

(IEC 61000-4-3:2008, IDT)

Издание официальное

53 6-2008



Госстандарт
Минск

УДК 621.317.4.082.7(083.74)(476) МКС 33.100.20 КП 02 IDT

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, оборудование, устойчивость к электромагнитным помехам (помехоустойчивость), радиочастотное электромагнитное поле, требования, испытательные уровни, методы испытаний, испытательное оборудование, калибровка поля

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 ПОДГОТОВЛЕН ОАО «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС» ВНЕСЕН Госстандартом Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 24 апреля 2009 г. № 19

3 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61000-4-3:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-3. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к излученному радиочастотному электромагнитному полю).

Международный стандарт разработан подкомитетом 77B «Высокочастотные явления» технического комитета по стандартизации IEC/TC 77 «Электромагнитная совместимость» Международной электротехнической комиссии (IEC).

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры международного стандарта, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, и международных стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта в соответствии с требованиями ТКП 1.5-2004 (04100).

В разделе «Нормативные ссылки» ссылки на международные стандарты актуализированы и введена ссылка на международный стандарт IEC 61000-4-20:2007.

Сведения о соответствии государственного стандарта ссылочному международному стандарту приведены в дополнительном приложении Д.А.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

4 Настоящий государственный стандарт взаимосвязан с техническим регламентом ТР 2007/002/BY «Электромагнитная совместимость технических средств» и реализует его существенные требования электромагнитной совместимости.

Соответствие взаимосвязанному государственному стандарту обеспечивает выполнение существенных требований электромагнитной совместимости технического регламента ТР 2007/002/BY «Электромагнитная совместимость технических средств»

5 ВЗАМЕН СТБ ГОСТ Р 51317.4.3-2001 (МЭК 61000-4-3:1995) (с отменой на территории Республики Беларусь ГОСТ 30804.4.3-2002 (МЭК 61000-4-3:1995))

© Госстандарт, 2009

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

Введение IV
1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 4
5 Испытательные уровни 4
5.1 Испытательные уровни, относящиеся к задачам общего характера 5
5.2 Испытательные уровни, относящиеся к защите от излучений цифровых радиотелефонов и других радиочастотных излучающих устройств 5
6 Испытательное оборудование 5
6.1 Описание средств испытаний 6
6.2 Калибровка электромагнитного поля 6
7 Организация места для проведения испытаний 11
7.1 Размещение настольного оборудования 11
7.2 Размещение напольного оборудования 11
7.3 Расположение кабелей 12
7.4 Расположение оборудования, устанавливаемого на теле человека 12
8 Методы испытаний 12
8.1 Климатические условия и электромагнитная обстановка в испытательной лаборатории 12
8.2 Проведение испытаний 13
9 Оценка результатов испытаний 14
10 Протокол испытаний 14
Приложение А (справочное) Обоснование выбора модуляции при испытаниях, относящихся к устойчивости оборудования к радиочастотному излучению от цифровых радиотелефонов 20
Приложение В (справочное) Излучающие антенны 25
Приложение С (справочное) Использование безэховых камер 26
Приложение D (справочное) Нелинейность усилителя и пример метода калибровки в соответствии с 6.2 28
Приложение Е (справочное) Рекомендации для технических комитетов по конкретным видам продукции по выбору испытательных уровней 32
Приложение F (справочное) Выбор методов испытаний 35
Приложение G (справочное) Описание условий эксплуатации 36
Приложение Н (обязательное) Альтернативный метод облучения для частот свыше 1 ГГц (метод независимых окон) 40
Приложение I (справочное) Метод калибровки датчика электромагнитного поля 43
Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии государственного стандарта ссылочному международному стандарту 57

Введение

Стандарты серии IEC 61000 публикуются отдельными частями в соответствии со следующей структурой:

Часть 1: Общие положения
Общее рассмотрение (введение, фундаментальные принципы)
Определения, терминология
Часть 2: Электромагнитная обстановка
Описание электромагнитной обстановки
Классификация электромагнитной обстановки
Уровни электромагнитной совместимости
Часть 3: Нормы
Нормы помехоэмиссии
Нормы помехоустойчивости (в тех случаях, когда они не являются предметом рассмотрения технических комитетов, разрабатывающих стандарты на продукцию)
Часть 4: Методы испытаний и измерений
Методы измерений
Методы испытаний
Часть 5: Руководства по установке и помехоподавлению
Руководства по установке
Методы и устройства помехоподавления
Часть 6: Общие стандарты
Часть 9: Разное

Каждая часть состоит из разделов, которые могут быть опубликованы как международные стандарты или как технические отчеты. Некоторые из них уже опубликованы. Другие будут опубликованы с номером части, за которым следуют дефис и второй номер, идентифицирующий раздел (например, 61000-6-1).

Настоящая часть представляет собой международный стандарт, который устанавливает требования помехоустойчивости и методы испытаний применительно к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Электромагнитная совместимость
Часть 4-3
Методы испытаний и измерений
ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К РАДИОЧАСТОТНОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

Электрамагнітная сумяшчальнасць
Частка 4-3
Метады выпрабаванняў і вымярэнняў
ВЫПРАБАВАННЕ НА ЎСТОЙЛІВАСЦЬ ДА РАДЫЁЧАСТОТНАГА ЭЛЕКТРАМАГНІТНАГА ПОЛЯ

Electromagnetic compatibility
Part 4-3
Testing and measurement techniques
Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

Дата введения 2011-01-01
(Измененная редакция, ИУ ТНПА № 10-2009)

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на электротехническое и электронное * оборудование и устанавливает требования и методы испытаний оборудования на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю.

Целью настоящего стандарта является установление общих методов оценки помехоустойчивости электротехнического и электронного оборудования при воздействии на него радиочастотных электромагнитных полей. Метод испытаний, приведенный в настоящем стандарте, описывает единый метод оценки устойчивости оборудования или системы к определенному явлению.

Примечание 1 – Согласно IEC Guide 107 настоящий стандарт является базовым стандартом по электромагнитной совместимости (ЭМС) для использования техническими комитетами IEC, разрабатывающими стандарты на конкретную продукцию, которые несут ответственность за определение необходимости применения настоящего стандарта и, в случае если стандарт применяется, за выбор испытательных уровней и критериев качества функционирования оборудования. Технический комитет 77 и его подкомитеты совместно с техническими комитетами IEC, разрабатывающими стандарты на конкретную продукцию, осуществляют оценку частных испытательных уровней помехоустойчивости для соответствующей продукции.

В настоящем стандарте рассматриваются вопросы испытаний на помехоустойчивость, которые относятся к защите от радиочастотных электромагнитных полей, создаваемых любыми источниками.

Особое внимание уделяется защите от радиочастотных электромагнитных излучений, создаваемых цифровыми радиотелефонами и другими радиочастотными излучающими устройствами.

Примечание 2 – Методы испытаний, установленные в настоящем стандарте, применяют для оценки эффектов воздействия электромагнитного излучения на оборудование конкретного вида. Моделирование и измерение электромагнитного излучения не обеспечивают достаточной точности для количественного определения указанных эффектов. Установленные методы испытаний предназначены в первую очередь для обеспечения достаточной воспроизводимости результатов, полученных с использованием различных средств испытаний, при качественном анализе эффектов.

В настоящем стандарте устанавливается независимый метод испытаний. Другие методы испытаний не могут использоваться как замещающие для подтверждения соответствия настоящему стандарту.

* Включает также радиоэлектронное оборудование.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные стандарты. Для датированных ссылок применяют последнее издание ссылочного стандарта (включая все его изменения).

IEC 60050-161:1990 Международный электротехнический словарь. Глава 161. Электромагнитная совместимость

Изменение A1:1997

Изменение A2:1998

IEC 61000-4-6:2006 Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 4-6. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями

IEC 61000-4-20:2007 Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 4-20. Методы испытаний и измерений. Испытания на помехоэмиссию и помехоустойчивость в поперечных электромагнитных волноводах (TEM-камерах)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины, установленные в IEC 60050-161, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 амплитудная модуляция (amplitude modulation): Процесс, при котором амплитуда несущего сигнала изменяется по определенному закону.

3.2 безэховая камера (anechoic chamber): Экранированное помещение, покрытое радиочастотным поглощающим материалом для уменьшения отражений от внутренних поверхностей.

3.2.1 полностью безэховая камера (fully anechoic chamber): Экранированное помещение, внутренние поверхности которого полностью покрыты поглощающим электромагнитные волны материалом.

3.2.2 полубезэховая камера (semi-anechoic chamber): Экранированная камера, внутренние поверхности которой покрыты поглощающим электромагнитные волны материалом, за исключением пола (пластины заземления), который должен отражать электромагнитные волны.

3.2.3 модифицированная полубезэховая камера (modified semi-anechoic chamber): Полубезэховая камера с дополнительным поглощающим электромагнитные волны материалом, установленным на пластине заземления.

3.3 антенна (antenna): Преобразователь, который либо излучает электромагнитную энергию источника сигнала в пространство, либо воспринимает распространяющееся электромагнитное поле, преобразовывая его в электрический сигнал.

3.4 симметрирующее устройство (balun): Устройство для преобразования несимметричного напряжения в симметричное и наоборот.

[IEV 161-04-34]

3.5 продолжительные волны (continuous waves (CW): Электромагнитные волны, характеристика колебаний которых идентична в течение длительного времени и которые могут быть прерваны или модулированы.

3.6 электромагнитная волна (electromagnetic (EM) wave): Процесс распространения взаимосвязанных друг с другом электрического и магнитного полей, сопровождающийся переносом электромагнитной энергии.

3.7 поле дальней зоны (far field): Область, в которой плотность потока энергии, излучаемой антенной, приблизительно обратно пропорциональна квадрату расстояния.

Для дипольной антенны это соответствует расстояниям, большим чем $\lambda/2\pi$, где λ – длина волны излучения.

3.8 напряженность поля (field strength): Термин применяется только к измерениям, выполненным в дальней зоне. При этом может быть измерена либо электрическая, либо магнитная составляющая поля и результаты измерений могут быть выражены в вольтах на метр, амперах на метр или ваттах на квадратный метр, причем каждая из указанных величин может быть преобразована в другую.

Примечание – Для измерений, выполняемых в ближней зоне, термины «напряженность электрического поля» или «напряженность магнитного поля» применяют в зависимости от проведенных измерений результирующего электрического или магнитного поля. В указанной зоне соотношение между напряженностью электрического либо (или) магнитного поля и расстоянием является комплексным и трудным для прогнозирования вследствие зависимости от конфигурации объектов. Поскольку не представляется возможным определить время и место фазового соотношения различных компонентов комплексного поля, то плотность потока мощности поля также является неопределимой.

3.9 полоса частот (frequency band): Непрерывная область частот, заключенная между двумя пределами.

3.10 E_c: Напряженность поля, применяемая при калибровке.

3.11 E_t: Напряженность поля, применяемая при проведении испытаний.

3.12 полное облучение (full illumination): Метод испытаний, при котором лицевая поверхность испытуемого оборудования (ИО) полностью покрывается плоскостью однородного поля.

Метод полного облучения применяют на всех частотах испытаний.

3.13 оборудование, устанавливаемое на теле человека (human body-mounted equipment): Оборудование, которое предназначено для использования в условиях, когда оно прикреплено к телу человека либо располагается поблизости от него. Данное оборудование включает устройства, которые при эксплуатации держат в руках или носят с собой (например, карманные устройства), а также электронные средства жизнеобеспечения и имплантаты.

3.14 метод независимых окон (independent windows method): Метод испытаний (при использовании плоскости однородного поля размером 0,5 × 0,5 м), при котором поверхность испытуемого оборудования, которая подлежит испытанию, не покрывается полностью плоскостью однородного поля. Метод независимых окон применяют на частотах свыше 1 ГГц.

3.15 поле ближней зоны (induction field): Преобладающее электрическое и/или магнитное поле, существующее на расстоянии $d < \lambda/2\pi$, где λ – длина волны излучения, при условии, что физические размеры источника намного меньше, чем расстояние d.

3.16 устройство, преднамеренно излучающее радиочастотную энергию (intentional RF emitting device): Устройство, которое преднамеренно излучает (передает) электромагнитную энергию. Примеры включают цифровые мобильные телефоны и другие радиопередатчики.

3.17 изотропный (isotropic): Обладающий свойствами, одинаковыми во всех направлениях.

3.18 максимальное среднеквадратическое значение (maximum RMS value): Наибольшее кратковременное среднеквадратическое значение напряжения модулированного радиочастотного сигнала в интервале наблюдения, равном одному периоду модулирующего сигнала. Кратковременное среднеквадратическое значение определяется дискретно в каждом периоде несущей частоты. Например, для радиочастотного сигнала, показанного на рисунке 1, b), максимальное среднеквадратическое значение напряжения $V_{max\ rms}$ составляет

$$V_{max\ rms} = V_{p\text{-}p}/(2 \times \sqrt{2}) = 1{,}8\ \text{В}.$$

3.19 модуляция с непостоянной огибающей (non-constant envelope modulation): Радиочастотная модуляция, при которой амплитуда несущего сигнала медленно изменяется во времени по сравнению с периодом несущего сигнала. Примерами являются амплитудная модуляция и TDMA.

3.20 Pc: Подаваемая мощность, необходимая для установки калиброванной напряженности поля.

3.21 частичное облучение (partial illumination): Метод испытаний (при использовании плоскости однородного поля с минимальными размерами 1,5 × 1,5 м), при котором лицевая поверхность испытуемого оборудования не покрывается полностью плоскостью однородного поля.

Метод полного облучения может применяться на всех частотах испытаний.

3.22 поляризация (polarization): Ориентация электрического вектора излучаемого поля.

3.23 экранированное помещение (shielded enclosure): Помещение, защищенное экраном или металлическими внутренними поверхностями, сконструированное специально для отделения внутренней электромагнитной обстановки от внешней в целях предотвращения ухудшения качества функционирования оборудования при воздействии внешних полей и ослабления электромагнитных излучений от оборудования во внешнее пространство.

3.24 перестройка частоты (sweep): Непрерывное или шаговое увеличение частоты в определенном диапазоне частот.

3.25 TDMA (множественный доступ с временным разделением каналов) (time division multiple access): Метод доступа при временном разделении каналов, модуляционная схема которого основана на передаче нескольких каналов с использованием одного несущего сигнала определенной частоты. Каждый канал занимает установленный промежуток времени, в течение которого информация, при ее наличии в канале, передается с помощью высокочастотных импульсов. Если информация в канале отсутствует, импульсы не передаются, т. е. огибающая несущего сигнала не является постоянной. При передаче импульса амплитуда несущей постоянна и высокочастотный несущий сигнал модулирован по частоте или фазе.

3.26 приемопередатчик (transceiver): Комбинация радиопередающего и радиоприемного оборудования в общем корпусе.

3.27 плоскость однородного поля (uniform field area (UFA): Гипотетическая вертикальная плоскость калиброванного электромагнитного поля, в котором изменения допустимо малы.

Цель калибровки электромагнитного поля – гарантировать достоверность результатов испытаний (см. 6.2).

4 Общие положения

Большая часть электронного оборудования работает в условиях воздействия на него электромагнитных излучений. Источниками этих излучений часто являются портативные приемопередатчики, которые применяются персоналом при эксплуатации, техническом обслуживании и службами безопасности, стационарные радио- и телевизионные передатчики, радиопередатчики подвижных объектов, а также различные промышленные источники излучений.

В последние годы значительно увеличилось использование радиотелефонов и других радиочастотных передающих устройств, работающих на частотах от 0,8 до 6 ГГц. Указанные устройства во многих случаях используют методы модуляции с непостоянной огибающей (например, TDMA) (см. 5.2).

Кроме электромагнитной энергии, генерируемой намеренно, на оборудование также воздействуют побочные излучения, создаваемые такими источниками, как сварочное оборудование, тиристорные регуляторы, люминесцентные источники света, переключатели, коммутирующие индуктивные нагрузки, и т. д. Воздействие указанных излучений на оборудование проявляется, как правило, в виде кондуктивных помех, которые рассматриваются в других стандартах серии IEC 61000-4. Методы, применяемые для предотвращения влияния на оборудование электромагнитных полей, будут уменьшать также эффекты воздействия побочных излучений других источников.

Электромагнитная обстановка определяется напряженностью электромагнитного поля. Для измерения напряженности поля необходимы сложные измерительные приборы. Расчет напряженности поля с использованием классических выражений и формул затруднен из-за влияния окружающих предметов или расположенного поблизости другого оборудования, которое будет искажать и/или отражать электромагнитные волны.

5 Испытательные уровни

Испытательные уровни приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Испытательные уровни, относящиеся к задачам общего характера, цифровым радиотелефонам и другим радиочастотным излучающим устройствам

Испытательные уровни	Напряженность испытательного поля, В/м
1	1
2	3
3	10
4	30
x	Специальная
Примечание – x – открытый испытательный уровень, и соответствующая напряженность поля может принимать любое значение. Этот уровень может быть установлен в стандарте на оборудование конкретного вида.	

Настоящий стандарт не предполагает, что один испытательный уровень применяется во всем диапазоне частот. Технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, должны выбрать соответствующий испытательный уровень для каждого диапазона частот, который должен быть испытан, а также диапазоны частот. Рекомендации по выбору испытательных уровней для технических комитетов, разрабатывающих стандарты на оборудование конкретного вида, приведены в приложении Е.

В таблице 1 (графа «Напряженность испытательного поля») указаны значения напряженности поля немодулированного сигнала. При испытаниях оборудования указанный сигнал должен быть модулирован по амплитуде при глубине модуляции 80 % синусоидальным сигналом частотой 1 кГц, для того чтобы воспроизвести реальные условия воздействия помех (см. рисунок 1). Порядок проведения испытаний подробно описан в разделе 8.

5.1 Испытательные уровни, относящиеся к задачам общего характера

Испытания, как правило, проводят во всем диапазоне частот от 80 до 1000 МГц.

Примечания

1 Технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, могут устанавливать требования и методы испытаний, регламентированные настоящим стандартом и IEC 61000-4-6, для частот ниже и выше 80 МГц соответственно (см. приложение F).

2 Технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, могут устанавливать альтернативные схемы модуляции для испытуемого оборудования.

3 Методы испытаний электрического и электронного оборудования на устойчивость к излучаемой электромагнитной энергии установлены также в IEC 61000-4-6 для частот ниже 80 МГц.

5.2 Испытательные уровни, относящиеся к защите от излучений цифровых радиотелефонов и других радиочастотных излучающих устройств

Испытания, как правило, проводят в диапазоне частот от 800 до 960 МГц и от 1,4 до 6 ГГц.

Частоты или диапазоны частот, выбираемые для испытаний, ограничивают с учетом рабочих частот действующих мобильных радиотелефонов и других радиочастотных, намеренно излучающих устройств. Допускается проведение испытаний не во всем диапазоне частот от 1,4 до 6 ГГц. Для этих диапазонов частот, используемых мобильными радиотелефонами и другими радиочастотными, намеренно излучающими устройствами, могут применяться различные испытательные уровни в отдельных участках диапазонов частот.

Если изделие должно соответствовать только требованиям для конкретных стран, диапазон частот от 1,4 до 6 ГГц, в котором проводятся испытания, может быть уменьшен и ограничен конкретными значениями диапазонов частот, выделенных для цифровых радиотелефонов и других радиочастотных, намеренно излучающих устройств в этих странах. В этом случае решение о проведении испытаний в диапазоне частот, превышающем выделенные диапазоны частот, должно быть отражено в протоколе испытаний.

Примечания

1 В приложении А приведены обоснования решения об использовании модуляции синусоидальным сигналом при испытаниях, относящихся к защите от излучений, создаваемых цифровыми радиотелефонами и другими радиочастотными, намеренно излучающими устройствами.

2 Приложение Е содержит указания по выбору испытательных уровней.

3 Диапазоны частот измерений, приведенные в таблице 2, представляют собой диапазоны частот, которые в целом выделены для цифровых радиотелефонов (приложение G содержит перечень частот, известных в настоящий момент как предназначенные специально для радиотелефонов).

4 На частотах свыше 800 МГц возможность помехоэмиссии связана с радиотелефонными системами и другими радиочастотными, намеренно излучающими устройствами, у которых уровни излучаемой мощности такие же, как и у радиотелефонов. Другие системы, работающие в этом диапазоне частот, например беспроводные локальные сети, работающие на частоте 2,4 ГГц или более высоких частотах, имеют в основном крайне малую мощность (как правило, менее 100 мВт), и поэтому маловероятно, чтобы они представляли серьезные проблемы.

6 Испытательное оборудование

Рекомендуется применять следующее испытательное оборудование:

– безэховую камеру, размеры которой должны обеспечить однородное поле достаточных размеров применительно к испытуемому оборудованию (ИО). Для подавления отражений в безэховых камерах могут быть применены дополнительные поглощающие материалы;

– помехоподавляющие фильтры, которые не должны вызывать резонансные явления в соединительных линиях;

– генератор (ы) радиочастотных сигналов, обеспечивающий (ие) перекрытие диапазона частот и амплитудную модуляцию сигнала синусоидальным напряжением частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %. Генератор (ы) должен (ы) иметь возможность ручного управления (например, частотой, амплитудой, индексом модуляции), или, в случае применения радиочастотных синтезаторов, должна быть обеспечена программируемая шаговая перестройка частоты с установлением частотно зависимого шага перестройки и времени удержания на каждой частоте.

При необходимости для исключения воздействия гармонических составляющих радиочастотного сигнала на испытуемые радиоприемные устройства применяют фильтры низких частот или полосовые фильтры;

– усилители мощности, предназначенные для усиления радиочастотного сигнала (немодулированного и модулированного) и обеспечения создания антенной необходимого уровня напряженности поля. Уровень гармонических составляющих, вносимых усилителем мощности, должен быть таким, чтобы измеренная напряженность поля в плоскости однородного поля на каждой гармонике основной частоты была ниже уровня несущей не менее чем на 6 дБ (см. приложение D);

– излучающие антенны (см. приложение B): биконические, логопериодические или другие линейно поляризованные антенны, удовлетворяющие требованиям по полосе частот;

– изотропную антенну (датчик) для измерения напряженности поля, в состав которой входят усилитель и оптоэлектронный преобразователь, обладающие достаточной устойчивостью к воздействию измеряемого поля, а также волоконно-оптическая линия связи с индикатором, установленным вне безэховой камеры. Также может использоваться достаточно защищенная сигнальная линия связи. В приложении I приведен метод калибровки измерителей напряженности электромагнитного поля (E-field);

– вспомогательное оборудование для определения уровней мощности, необходимых для создания поля заданной напряженности, и управления генерируемым уровнем поля в процессе испытаний.

Особое внимание должно быть уделено обеспечению помехоустойчивости вспомогательного оборудования, применяемого при испытаниях.

6.1 Описание средств испытаний

Испытания должны осуществляться в экранированном помещении, чтобы удовлетворять различным национальным и международным законам, регламентирующим помехи радиосвязи, из-за значительной напряженности генерируемого испытательного поля. Кроме того, экранированное помещение обеспечивает необходимый «барьер» между ИО и требуемым испытательным оборудованием, так как большинство образцов испытательного оборудования для сбора, регистрации и отображения результатов измерений восприимчивы к внешнему электромагнитному полю, генерируемому в процессе испытаний. Должны быть приняты достаточные меры по фильтрации кондуктивных и излучаемых помех в соединительных кабелях, входящих в экранированное помещение и выходящих из него, и при этом должно обеспечиваться прохождение сигналов и электропитания для ИО.

Предпочтительным испытательным средством является экранированное помещение, покрытое радиочастотным поглощающим материалом, имеющее размеры, позволяющие разместить ИО и обеспечить соответствующее управление напряженностью испытательного поля. Целесообразно применять безэховые камеры или модифицированные полубезэховые камеры, пример которых показан на рисунке 2. В присоединенных дополнительных экранированных помещениях должно быть размещено оборудование, обеспечивающее генерирование высокочастотных сигналов, проведение измерений и контроль функционирования ИО.

Безэховые камеры менее эффективны на низких частотах. В связи с этим особое внимание должно быть уделено обеспечению однородности испытательного поля на низких частотах. Дополнительные рекомендации приведены в приложении C.

6.2 Калибровка электромагнитного поля

Цель калибровки электромагнитного поля заключается в том, чтобы однородность поля, воздействующего на ИО, была достаточной для обеспечения достоверности результатов испытаний. В процессе калибровки поле должно быть немодулированным, чтобы обеспечить правильные показания любой измерительной антенны. Настоящий стандарт основывается на применении концепции «плоскости однородного поля» (см. рисунок 3), которая представляет собой гипотетическую вертикальную плоскость, в которой отклонения напряженности испытательного поля от установленного значения незначительны. При калибровке поля должна быть продемонстрирована способность испытательной установки и испытательного оборудования генерировать испытательное поле с установленной напряженностью в плоскости однородного поля. В то же время получают совокупность значений параметров испытательного оборудования для установки требуемой напряженности поля, чтобы провести испытания ИО на помехоустойчивость. Калибровку считают действительной для ИО всех видов, стороны которого при воздействии испытательного поля (включая соединительные кабели) могут быть полностью покрыты плоскостью однородного поля.

Калибровку испытательного поля проводят при отсутствии ИО (см. рисунок 3). При калибровке определяют зависимость между напряженностью испытательного поля в пределах плоскости однородного поля и мощностью сигнала, подаваемого на излучающую антенну. В процессе испытаний значение мощности сигнала, который должен быть подан на излучающую антенну, рассчитывают с

использованием этой зависимости и требуемого значения напряженности поля. Результаты калибровки являются приемлемыми при условии, что используемое при калибровке оборудование остается неизменным при проведении испытаний, поэтому значения параметров испытательного оборудования (антенны, дополнительного поглощающего материала, кабелей и т. д.) должны быть зафиксированы. Важно зафиксировать точное положение излучающих антенн и кабелей (насколько это возможно). При проведении испытаний на помехоустойчивость положение антенн и кабелей должно быть таким же, как и при калибровке, так как даже незначительные их смещения оказывают существенное влияние на испытательное поле.

Полная калибровка испытательного поля проводится один раз в год, а также при каждом внесении изменений в конфигурацию безэховой камеры (перемещении либо замене радиопоглощающего материала, изменении состава оборудования и т. д.). Перед каждой группой испытаний (см. раздел 8) проводят проверку калибровки.

Излучающую антенну размещают на таком расстоянии от ИО, чтобы калибруемая плоскость однородного поля попадала в пределы главного лепестка диаграммы направленности антенны. Антенна для измерения напряженности поля должна быть расположена на расстоянии не менее 1 м от излучающей антенны. Предпочтительное расстояние между излучающей антенной и плоскостью однородного поля составляет 3 м (см. рисунок 3). Это расстояние отсчитывают от центра биконической антенны, либо от конца логопериодической или комбинированной антенны, либо от плоскости раскрыва рупорной или двойной гребенчатой волноводной антенны. Калибровочный отчет и протокол испытаний должны устанавливать применяемое расстояние между излучающей антенной и плоскостью однородного поля.

Размеры плоскости однородного поля должны быть не меньше 1,5 × 1,5 м, при этом нижний край плоскости однородного поля должен находиться на высоте 0,8 м над пластиной заземления, за исключением случаев, когда ИО и соединительные кабели могут быть полностью облучены при использовании плоскости однородного поля меньших размеров. Размеры плоскости однородного поля не должны быть меньше чем 0,5 × 0,5 м. При проведении испытаний на помехоустойчивость лицевая поверхность ИО, подвергаемого воздействию испытательного поля, должна совпадать с плоскостью однородного поля (см. рисунки 5 и 6).

Для установления испытательного уровня в случае применения ИО и соединительных кабелей, которые должны быть испытаны при размещении в непосредственной близости к полу (эталонной пластине заземления), напряженность испытательного поля должна быть дополнительно измерена на высоте 0,4 м над пластиной заземления. Полученные результаты измерений документируются в протоколе калибровки, но не рассматриваются при оценке испытательной установки и в качестве калибровочных данных.

Из-за отражений от пола в полубезэховой камере трудно установить однородное испытательное поле вблизи эталонной пластины заземления. Для решения этой проблемы размещают на пластине заземления дополнительный радиопоглощающий материал (см. рисунок 2).

Измерение напряженности поля в плоскости однородного поля проводят в точках измерительной сетки с шагом 0,5 м (см. рисунок 4, на котором представлен пример плоскости однородного поля размером 1,5 × 1,5 м).

Испытательное поле считают однородным, если его напряженность, измеряемая в плоскости однородного поля для не менее 75 % точек измерения, находится в пределах от 0 до плюс 6 дБ по отношению к номинальному значению (т. е. по меньшей мере 12 из 16 точек измерения для плоскости однородного поля размером 1,5 × 1,5 м находятся в пределах этого отклонения) для каждой частоты. Для минимальной плоскости однородного поля размером 0,5 × 0,5 м величина напряженности поля во всех четырех точках калибровочной сетки должна находиться в пределах этого отклонения.

Примечание 1 – Для различных частот в пределах указанных отклонений могут находиться результаты измерений, полученные в различных точках.

Отклонение от 0 до плюс 6 дБ установлено с тем, чтобы напряженность поля была не ниже номинальной. Значение 6 дБ выбрано как минимально достижимое для практически применяемых средств испытаний.

В диапазоне частот до 1 ГГц допускается отклонение более плюс 6 дБ, но не превышающее плюс 10 дБ для не более чем 3 % частот, проверяемых при испытаниях (отклонение менее 0 дБ не допускается), при этом отклонения должны быть указаны в протоколе испытаний. В случае расхождения результатов испытаний, полученных при различных отклонениях напряженности поля, преимущество имеют результаты испытаний, полученные при отклонениях от 0 до плюс 6 дБ.

В случае, если лицевая сторона ИО, подвергаемая воздействию испытательного поля, имеет размер более 1,5 × 1,5 м и плоскость однородного поля подходящего размера (предпочтительный метод) не может быть применена, то ИО может быть облучено серией испытаний с применением метода частичного облучения.

Для применения метода частичного облучения должно быть выполнено одно из следующих условий:

– калибровка должна быть проведена для различных положений излучающей антенны так, чтобы комбинация калибруемых плоскостей однородного поля обеспечивала покрытие всей лицевой поверхности ИО, и ИО должно быть испытано последовательно при каждом из этих положений антенны;

– ИО должно перемещаться в различные положения так, чтобы каждая часть находилась в пределах плоскости однородного поля в течение хотя бы одного из этих испытаний.

Примечание 2 – Для каждого положения антенны требуется проведение полной калибровки испытательного поля.

Общее представление о полном и частичном облучении, а также то, где и как они могут применяться, приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Требования к плоскости однородного поля и применения методов полного облучения, частичного облучения и независимых окон

Диапазон частот	Требования к размерам и калибровке плоскости однородного поля, когда лицевая сторона ИО полностью покрыта плоскостью однородного поля (метод полного облучения – предпочтительный метод)	Требования к размерам и калибровке плоскости однородного поля, когда лицевая сторона ИО не полностью покрыта плоскостью однородного поля (методы частичного облучения и независимых окон – альтернативные методы)
Не более 1 ГГц	Минимальный размер плоскости однородного поля должен быть 0,5 × 0,5 м. Размер плоскости однородного поля устанавливают с шагом сетки 0,5 м (например, 0,5 × 0,5 м; 0,5 × 1,0 м; 1,0 × 1,0 м и т. д.). Калибровка плоскости однородного поля проводится с шагом сетки 0,5 × 0,5 м. Для плоскости однородного поля размером более 0,5 × 0,5 м напряженность поля в 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах. Для плоскости однородного поля размером 0,5 × 0,5 м напряженность поля в 100 % точек измерения (во всех четырех точках) должна находиться в установленных пределах	**Метод частичного облучения** Минимальный размер плоскости однородного поля должен быть 1,5 × 1,5 м. Размеры плоскости однородного поля определяются числом точек калибровочной сетки, отстоящих друг от друга на 0,5 м (например, 1,5 × 1,5 м; 1,5 × 2,0 м; 2,0 × 2,0 м и т. д.). Калибровка плоскости однородного поля проводится с шагом сетки 0,5 × 0,5 м. Напряженность поля в 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах
Свыше 1 ГГц	Минимальный размер плоскости однородного поля должен быть 0,5 × 0,5 м. Размер плоскости однородного поля устанавливают с шагом сетки 0,5 м (например, 0,5 × 0,5 м; 0,5 × 1,0 м; 1,0 ×1,0 м и т. д.). Калибровка плоскости однородного поля проводится с шагом сетки 0,5 × 0,5 м. Для плоскости однородного поля размером более 0,5 × 0,5 м напряженность поля в 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах. Для плоскости однородного поля размером 0,5 × 0,5 м напряженность поля в 100 % точек измерения (во всех четырех точках) должна находиться в установленных пределах	**Метод независимых окон** Размер окна должен быть 0,5 × 0,5 м (см. приложение H). **Метод частичного облучения** Размер плоскости однородного поля должен быть 1,5 × 1,5 м или большего размера с увеличениями, кратными 0,5 м. Калибровка плоскости однородного поля проводится с шагом сетки 0,5 × 0,5 м. Для плоскости однородного поля размером более 0,5 × 0,5 м напряженность поля в 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах. Для плоскости однородного поля размером 0,5 × 0,5 м напряженность поля в 100 % точек измерения (во всех четырех точках) должна находиться в установленных пределах

Если требования настоящего подраздела могут быть выполнены только для определенного ограниченного диапазона частот (свыше 1 ГГц), например вследствие недостаточной ширины главного лепестка диаграммы направленности антенны для одновременного полного облучения ИО, то для более высоких частот может применяться второй альтернативный метод (известный как «метод независимых окон»), приведенный в приложении Н.

Обычно калибровка плоскости однородного поля в безэховой и полубезэховой камерах должна проводиться при расположении испытательного оборудования, показанном на рисунке 7. Калибровка всегда должна проводиться при использовании немодулированного сигнала при горизонтальной и вертикальной поляризациях в соответствии с описываемым ниже порядком. Необходимо гарантировать, что усилители могут обрабатывать модулированный сигнал и не насыщаются при проведении испытаний. Предлагаемый метод гарантирует, что усилители не насыщаются при проведении испытаний, и поэтому калибровка должна проводиться при напряженности поля, как минимум в 1,8 раза большей напряженности поля, применяемой при испытании ИО. Эту калибровочную напряженность поля обозначают как E_c (E_c – уровень, который применяется только при калибровке плоскости однородного поля). Напряженность испытательного поля E_t не должна превышать значения $E_c/1{,}8$.

Примечание 3 – Для предотвращения насыщения могут также применяться другие методы.

Для примера ниже приведены два различных метода калибровки для плоскости однородного поля размером 1,5 × 1,5 м (16 точек измерения). При правильном применении оба метода обеспечивают одинаковую однородность поля.

6.2.1 Метод калибровки при постоянной напряженности поля

Плоскость однородного поля с постоянной напряженностью должна быть установлена и измерена при помощи калиброванного датчика поля на каждой частоте и в каждой из 16 точек поочередно (см. рисунок 4). При этом должен использоваться размер шага частоты, установленный в разделе 8, что достигается посредством установки соответствующего значения подводимой мощности.

Подводимая мощность, необходимая для установки напряженности поля, должна быть измерена в соответствии с рисунком 7, и ее значения в децибелах к милливатту регистрируют в 16 точках.

Порядок проведения калибровки при постоянной напряженности поля при вертикальной и горизонтальной поляризациях следующий:

a) размещают датчик поля в одной из 16 точек в сетке (см. рисунок 4) и устанавливают частоту на выходе генератора сигнала, которая соответствует нижней частоте диапазона при испытаниях (например, 80 МГц);

b) устанавливают такое значение мощности, подводимой к излучающей антенне, чтобы получить напряженность поля, равную требуемому значению E_c. Регистрируют значение подводимой мощности;

c) увеличивают значение частоты не более чем на 1 % от предыдущего значения;

d) повторяют шаги по перечислениям b) и c) до тех пор, пока следующая частота не превысит максимальную частоту диапазона испытаний. Затем повторяют шаг по перечислению b) на максимальной частоте (например, 1 ГГц);

e) повторяют шаги по перечислениям a) – d) для каждой точки в сетке.

На каждой частоте:

f) распределяют 16 зафиксированных значений подводимой мощности в порядке возрастания;

g) начиная с максимального значения, проверяют, находятся ли как минимум 11 последующих показаний в пределах допустимого отклонения от минус 6 до 0 дБ от этого максимального значения в порядке убывания;

h) если значения не укладываются в пределы допустимого отклонения от минус 6 до 0 дБ, следует повторить процедуру, начиная с показания, следующего за максимальным, и так далее (следует обратить внимание на то, что для каждой частоты существует только 5 возможностей);

i) останавливают процедуру, если не менее 12 значений укладываются в пределы допустимого отклонения 6 дБ, записывают максимальную подводимую мощность, соответствующую этим номерам, обозначают эту подводимую мощность как P_c;

j) проверяют, что испытательная система (например, усилитель мощности) не насыщается. Принимают значение E_c равным $1{,}8E_t$ и проводят для каждой калибруемой частоты следующие действия:

j-1) уменьшают выходное напряжение генератора сигналов на 5,1 дБ от уровня, необходимого для установления подводимой мощности P_c, определенной по процедуре, указанной выше (уменьшение на 5,1 дБ соответствует уменьшению E_c в 1,8 раза);

j-2) записывают новое значение мощности, подводимой на излучающую антенну;

j-3) вычитают значение подводимой мощности, определенное по перечислению j-2), из значения P_c. Если полученная разница находится в пределах от 3,1 до 5,1 дБ, то считают, что усилитель не насыщается и испытательная система подходит для проведения испытаний. Если полученная разница составляет менее 3,1 дБ, то считают, что усилитель насыщается и испытательная система не подходит для проведения испытаний.

Примечание 1 – Если на определенной частоте отношение E_c к E_t составляет R (дБ), где $R = 20 \lg (E_c/E_t)$, то испытательная мощность $P_t = P_c - R$ (дБ). Подстрочные буквы c и t означают «калибровка» и «испытания» соответственно. Поле модулируется в соответствии с разделом 8.

Пример проведения калибровки приведен в D.4.1.

Примечание 2 – На каждой частоте должна обеспечиваться уверенность в том, что усилитель не насыщается. Это можно проверить, увеличивая и уменьшая выходную мощность на 1 дБ. Однако компрессия усилителя при изменении выходного уровня на 1 дБ проверяется при нагрузке 50 Ом, когда полное сопротивление антенны, используемой при испытаниях, отличается от 50 Ом. Насыщение испытательной системы обеспечивается подтверждением точки компрессии в 2 дБ, как указано в перечислении j). Более полная информация приведена в приложении D.

6.2.2 Метод калибровки при постоянной подводимой мощности

Постоянная напряженность плоскости однородного поля должна быть установлена и измерена при помощи калиброванного датчика поля на каждой частоте и в каждой из 16 точек поочередно (см. рисунок 4). При этом должен использоваться размер шага частоты, установленный в разделе 8, что достигается посредством установки соответствующего значения подводимой мощности.

Подводимая мощность, необходимая для установки напряженности поля, должна быть измерена в соответствии с рисунком 7 и ее значение зарегистрировано. Для всех 16 позиций должна применяться одинаковая подводимая мощность. Напряженность поля, создаваемая этой подводимой мощностью, должна быть записана для каждой из 16 точек.

Порядок калибровки при постоянной подводимой мощности при обеих вертикальной и горизонтальной поляризациях следующий:

a) размещают датчик поля в одной из 16 точек в сетке (см. рисунок 4) и устанавливают частоту на выходе генератора сигнала, которая соответствует нижней частоте диапазона при испытаниях (например, 80 МГц);

b) устанавливают такое значение мощности, подводимой к излучающей антенне, чтобы получить напряженность поля, равную требуемому значению E_c (рассчитанному при условии модулированного испытательного поля). Регистрируют значение подводимой мощности и напряженности поля;

c) увеличивают значение частоты не более чем на 1 % от предыдущего значения;

d) повторяют шаги по перечислениям b) и c) до тех пор, пока следующая частота не превысит максимальную частоту диапазона испытаний. Затем повторяют шаг по перечислению b) на максимальной частоте (например, 1 ГГц);

e) перемещают датчик поля в другое положение в сетке. На каждой из частот, используемых в шагах по перечислениям a) – d), применяют подводимую мощность, записанную в шаге по перечислению b) для этой частоты, и записывают значение напряженности поля;

f) повторяют шаг по перечислению e) для каждой точки сетки.

На каждой частоте:

g) распределяют 16 зафиксированных значений напряженности поля в порядке возрастания;

h) выбирают одну напряженность поля как опорную и рассчитывают отклонение от этого опорного уровня для всех других позиций в децибелах;

i) начиная с минимального значения напряженности поля, проверяют, находятся ли как минимум 11 записанных значений в пределах допустимого отклонения от 0 до плюс 6 дБ от минимального значения в порядке возрастания;

j) если значения не укладываются в пределы допустимого отклонения от 0 до плюс 6 дБ, следует повторить процедуру, начиная с показания, следующего в порядке возрастания за предыдущим, и так далее (следует обратить внимание на то, что для каждой частоты существует только 5 возможностей);

k) останавливают процедуру, если не менее 12 значений укладываются в пределы допустимого отклонения 6 дБ, записывают минимальную напряженность поля, соответствующую этим номерам, которая будет считаться опорной;

l) рассчитывают подводимую мощность, необходимую для создания требуемой напряженности поля в опорной позиции. Обозначают эту подводимую мощность как P_c;

m) проверяют, что испытательная система (например, усилитель мощности) не насыщается. Принимают значение E_c равным $1{,}8E_t$ и проводят для каждой калибруемой частоты следующие действия:

m-1) уменьшают выходное напряжение генератора сигналов на 5,1 дБ от уровня, необходимого для установления подводимой мощности P_c, определенной по процедуре, указанной выше (уменьшение на 5,1 дБ соответствует уменьшению E_c в 1,8 раза);

m-2) записывают новое значение мощности, подводимой на излучающую антенну;

m-3) вычитают значение подводимой мощности, определенное по перечислению m-2), из значения P_c. Если полученная разница находится в пределах от 3,1 до 5,1 дБ, то считают, что усилитель не насыщается и испытательная система подходит для проведения испытаний. Если полученная разница составляет менее 3,1 дБ, то считают, что усилитель насыщается и испытательная система не подходит для проведения испытаний.

Примечание 1 – Если на определенной частоте отношение E_c к E_t составляет R (дБ), где $R = 20 \lg (E_c/E_t)$, то испытательная мощность $P_t = P_c - R$ (дБ). Подстрочные буквы c и t означают «калибровка» и «испытания» соответственно. Поле модулируется в соответствии с разделом 8.

Пример проведения калибровки приведен в D.4.2.

Примечание 2 – На каждой частоте должна обеспечиваться уверенность в том, что усилитель не насыщается. Это можно проверить, увеличивая и уменьшая выходную мощность на 1 дБ. Однако компрессия усилителя при изменении выходного уровня на 1 дБ проверяется при нагрузке 50 Ом, когда полное сопротивление антенны, используемой при испытаниях, отличается от 50 Ом. Насыщение испытательной системы обеспечивается подтверждением компрессии в 2 дБ в точке, как указано в перечислении m). Более полная информация приведена в приложении D.

7 Организация места для проведения испытаний

Все испытания должны проводиться в конфигурации, максимально близкой к используемой в условиях эксплуатации. Кабели, подключаемые к оборудованию, должны быть проложены в соответствии с технической документацией на оборудование. Испытания проводят при установке оборудования в штатных корпусах с заглушками и откидными панелями в закрытом состоянии, если иные требования не установлены.

Если оборудование предназначено для установки на приборной панели, в стойке или в шкафу, его размещение при испытаниях должно быть таким же.

Металлическая плоскость заземления не требуется. Если необходимы средства для крепления испытуемого образца, то их изготавливают из неметаллических и непроводящих материалов. Однако заземление стойки или корпуса оборудования должно быть выполнено в соответствии с требованиями изготовителя оборудования.

Относительное расположение напольных и настольных частей ИО должно быть сохранено при испытаниях.

Схемы типовых организованных мест для проведения испытаний ИО приведены на рисунках 5 и 6.

Примечание 1 – Использование непроводящих подставок исключает возможность случайного заземления ИО и искажения поля. Применение в качестве стола металлической конструкции с изоляционным покрытием недопустимо.

Примечание 2 – На частотах свыше 1 ГГц столы и непроводящие подставки из дерева и стеклопластика могут отражать электромагнитные волны. Для предотвращения нарушений однородности поля необходимо применять материалы с низким значением диэлектрической постоянной, например твердый полистирол.

7.1 Расположение настольного оборудования

Настольное оборудование должно быть установлено на столе из непроводящего материала высотой 0,8 м.

Оборудование подключают к кабелям передачи сигналов и кабелям электропитания в соответствии с инструкцией (руководством) по эксплуатации (установке).

7.2 Расположение напольного оборудования

Напольное оборудование должно быть установлено на непроводящей подставке толщиной от 0,05 до 0,15 м. Использование непроводящих подставок исключает возможность случайного заземления ИО и искажения поля. Применение в качестве подставки металлической конструкции с изоляционным покрытием недопустимо. Напольное оборудование, которое может быть установлено на платформе из непроводящего материала высотой 0,8 м, т. е. оборудование, не являющееся слишком громоздким или тяжелым, поднятие которого не нарушает требований безопасности, испытывают при размещении ИО на высоте 0,8 м, если это условие специально регламентировано в стандарте на

оборудование конкретного вида. Такое изменение стандартного метода испытаний должно быть указано в протоколе испытаний.

Примечание – В качестве подставки толщиной от 0,05 до 0,15 м могут быть использованы ролики из непроводящего материала.

К оборудованию подключают линии передачи сигналов и линии электропитания в соответствии с инструкцией (руководством) по эксплуатации (установке).

7.3 Расположение кабелей

Кабели должны быть подключены к ИО и размещены на испытательной площадке в соответствии с инструкциями изготовителя по установке и должны воспроизводить типичные установки и их применение, насколько это возможно.

Типы проводов и соединителей должны использоваться в соответствии с технической документацией изготовителя. Если расположение и типы подключаемых к ИО кабелей не установлены в технической документации изготовителя, то при испытаниях применяют параллельно проложенные неэкранированные провода.

Если в соответствии с технической документацией изготовителя длина каждого соединительного кабеля не превышает 3 м, то при испытаниях применяют кабели установленной длины. Если в соответствии с технической документацией изготовителя длина каждого кабеля превышает 3 м или не установлена, то длина применяемых кабелей должна выбираться в соответствии с типичной установившейся практикой. Если возможно, принимают меры, чтобы подключаемые к элементам ИО части кабелей, подвергаемые воздействию поля, имели длину 1 м. Лишняя длина кабелей, соединяющих блоки ИО, должна быть связана в пучок приблизительно в центре кабеля в форме петель 30 – 40 см длиной для обеспечения их минимальной индуктивности.

Если технический комитет в стандарте на оборудование конкретного вида определяет, что кабели чрезмерной длины должны быть развязаны (например, кабели, выходящие за пределы испытательной площадки), то метод развязки не должен ухудшать функционирование ИО.

7.4 Расположение оборудования, устанавливаемого на теле человека

Оборудование, устанавливаемое на теле человека (см. 3.13), испытывают как настольное. Однако при этом испытательный уровень может в ряде случаев оказаться чрезмерно высоким или недостаточным, так как при этом не учитываются характеристики тела человека. В связи с этим технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, должны регламентировать использование имитаторов человеческого тела, имеющих соответствующие диэлектрические характеристики.

8 Методы испытаний

Процедура испытаний включает:
– проверку условий в испытательной лаборатории;
– предварительную проверку нормального функционирования оборудования;
– проведение испытаний;
– оценку результатов испытаний.

8.1 Климатические условия и электромагнитная обстановка в испытательной лаборатории

Для того чтобы минимизировать эффект влияния условий окружающей среды на результаты испытаний, испытания необходимо проводить в климатических условиях и при нормализованной электромагнитной обстановке, указанных в 8.1.1 и 8.1.2.

8.1.1 Климатические условия

Если иное не установлено в общих стандартах или в стандартах на продукцию, то климатические условия в лаборатории должны быть в пределах, определенных для функционирования ИО и испытательного оборудования их изготовителями.

Испытания не проводят, если относительная влажность настолько высока, что возможна конденсация влаги на ИО или испытательном оборудовании.

Примечание – Если установлено, что существуют достаточные основания для утверждения, что явление, которое рассматривается в настоящем стандарте, подвержено влиянию климатических условий, то на это должно быть обращено внимание технического комитета, ответственного за данный стандарт.

8.1.2 Электромагнитная обстановка

Электромагнитная обстановка в лаборатории должна обеспечивать правильное функционирование ИО и не должна влиять на результаты испытаний.

8.2 Проведение испытаний

Испытания должны быть проведены на основе программы испытаний, которая должна включать проверку качества функционирования ИО в соответствии с технической документацией изготовителя.

ИО должно испытываться в условиях нормального функционирования.

В программе испытаний устанавливают:

– размер ИО;
– типичные режимы функционирования ИО;
– размещение ИО при испытаниях (настольное, напольное или их комбинация);
– высоту размещения напольного оборудования;
– типы используемых средств испытаний и положение излучающих антенн;
– типы используемых излучающих антенн;
– диапазон частот, время задержки на каждой частоте и шаг частоты;
– размер и форму плоскости однородного поля;
– метод облучения ИО;
– испытательный уровень;
– типы и число соединительных кабелей и разъемы ИО, к которым они подключены;
– применяемые критерии качества функционирования ИО;
– описание метода оценки качества функционирования ИО.

Методы испытаний, установленные в настоящем разделе, предназначены для применения излучающих антенн, излучающих электромагнитное поле как определено в разделе 6.

Перед проведением испытаний проверяют установленную при калибровке напряженность испытательного поля, т. е. проверяют, что испытательное оборудование или система функционируют правильно.

После проверки калибровки создается испытательное поле с использованием параметров, полученных при калибровке (см. 6.2).

ИО размещают таким образом, чтобы одна из его сторон совпадала с плоскостью однородного поля. Если сторона ИО не покрывается плоскостью однородного поля, применяют метод частичного облучения (см. 6.2 в части калибровки поля и применения частичного облучения).

Частоту сигнала перестраивают в рассматриваемой полосе частот при амплитудной модуляции в соответствии с 5.1 и 5.2, прекращая при необходимости подачу сигнала на излучающую антенну при регулировании уровня радиочастотного сигнала или переключении генераторов сигналов и применяемых антенн. В случае шаговой перестройки частоты значение шага перестройки частоты не должно превышать 1 % от предыдущего значения частоты.

Время воздействия испытательного поля на ИО на каждой частоте должно быть не менее времени, необходимого для проверки качества функционирования ИО, но в любом случае не менее 0,5 с. В соответствии с требованиями стандартов на продукцию дополнительно проводят испытания ИО на частотах, на которых ожидается его повышенная восприимчивость к помехе (например, на тактовых частотах).

При испытаниях проводят облучение ИО с каждой стороны. Если ИО эксплуатируют в различных положениях (т. е. вертикальном и горизонтальном), то испытания проводят при облучении ИО со всех сторон. С учетом особенностей эксплуатации ИО облучению могут быть подвергнуты отдельные стороны ИО. В других обоснованных случаях с учетом типов и размеров ИО облучение может производиться более чем с четырех сторон.

Примечания

1 С увеличением размеров ИО усложняется форма диаграммы направленности излучающей антенны, что может потребовать ориентации антенны в различных положениях для определения минимальной помехоустойчивости ИО.

2 Если ИО состоит из нескольких блоков (устройств), то нет необходимости менять положение каждого компонента ИО при облучении ИО с различных сторон.

Облучение каждой из сторон ИО осуществляют при двух поляризациях испытательного поля (соответственно при вертикальном и горизонтальном расположениях излучающей антенны).

Опыты необходимо провести так, чтобы полностью проверить ИО во время испытаний и выявить все критические режимы работы, выбранные для испытаний на помехоустойчивость. При испытаниях рекомендуется применять специальные тестовые программы.

9 Оценка результатов испытаний

Результаты испытаний должны классифицироваться при условиях потери функции или изменения работы ИО относительно критерия качества функционирования, установленного изготовителем или заказчиком испытаний или согласованного между изготовителем и покупателем изделия. Рекомендуемая классификация включает следующее:

a) нормальное функционирование в пределах норм, установленных изготовителем, заказчиком или потребителем;

b) временное снижение качества функционирования либо потерю функционирования, которые прекращаются после воздействия помехи и не требуют вмешательства оператора;

c) временное снижение качества функционирования либо потерю функционирования, коррекция которых требует вмешательства оператора;

d) снижение качества функционирования или потерю функционирования, которые не могут быть восстановлены из-за повреждения компонентов оборудования, нарушения программного обеспечения или потери данных.

В инструкции изготовителя могут быть указаны некоторые незначительные и, следовательно, приемлемые эффекты воздействия помех на ИО.

Данная классификация может использоваться в качестве руководства по определению критериев качества функционирования техническими комитетами, ответственными разработку общих стандартов, стандартов на изделия или группу изделий, или в качестве основы для согласования критериев качества функционирования изделий между изготовителем и покупателем, например в случае отсутствия соответствующего общего стандарта, стандарта на изделие или группу изделий.

10 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать всю информацию, необходимую для воспроизведения испытаний. В частности, должно быть указано следующее:

– перечисления, указываемые в программе испытаний согласно разделу 8;

– обозначение ИО и любого связанного оборудования, например торговая марка, тип оборудования, серийный номер;

– обозначение испытательного оборудования, например торговая марка, тип оборудования, серийный номер;

– любые особые условия окружающей среды, в которых было проведено испытание;

– любые особые условия, которые необходимо соблюсти для проведения испытания;

– уровень качества функционирования, установленный изготовителем, заказчиком или потребителем;

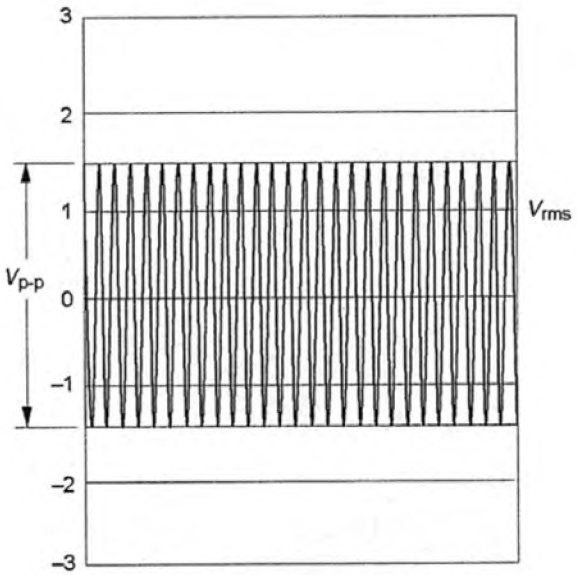
– критерий качества функционирования, установленный в общем стандарте, стандарте на изделие или группу изделий;

– любые воздействия на ИО, зафиксированные во время или после применения испытательной помехи, а также продолжительность этих воздействий;

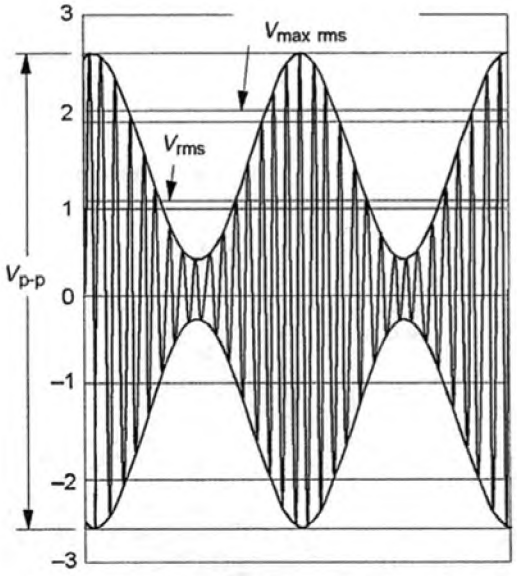
– критерий для принятия решения о соответствии или несоответствии ИО требованиям устойчивости к электромагнитному полю (основанный на критерии качества функционирования, установленном в общем стандарте, стандарте на изделие или группу изделий, или являющийся предметом соглашения между изготовителем и потребителем);

– любые особые условия эксплуатации, соблюдение которых требуется для достижения соответствия, например длина или тип кабеля, экранирование или заземление, или эксплуатационный режим ИО;

– полное описание положения и ориентации оборудования и кабелей должны быть включены в протокол испытаний; в некоторых случаях для этого достаточно рисунка либо фотографии.

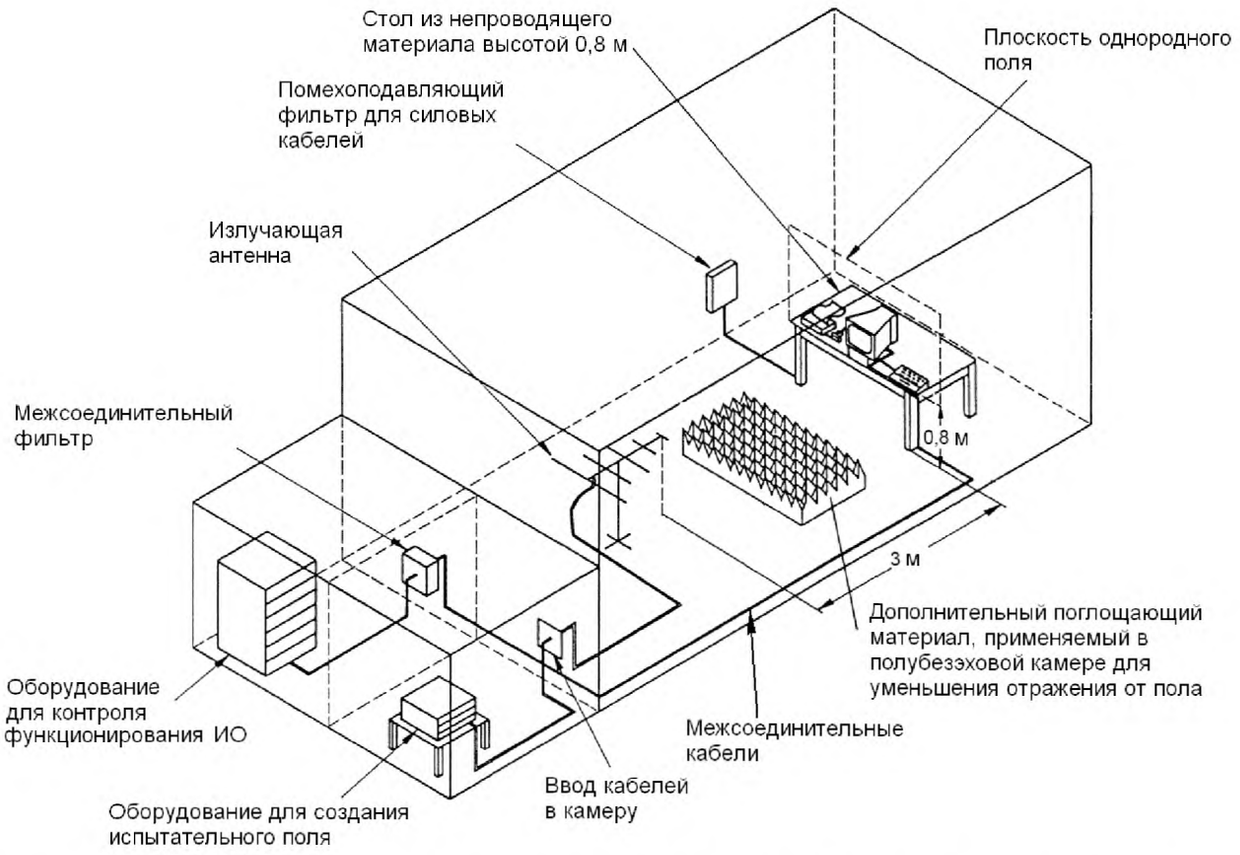


a) немодулированный радиочастотный сигнал:
пиковое значение напряжения V_{p-p} = 2,8 В;
среднеквадратическое значение напряжения – V_{rms} = 1,0 В



b) модулированный радиочастотный сигнал при глубине модуляции 80 %:
пиковое значение напряжения V_{p-p} = 5,1 В;
среднеквадратическое значение напряжения – V_{rms} = 1,15 В;
максимальное среднеквадратическое – значение напряжения $V_{max\ rms}$ = 1,8 В

Рисунок 1 – Определение испытательного уровня и формы колебаний на выходе генератора сигналов



Примечание – Обивочный материал безэховой камеры на стенах и потолке не указывается для ясности рисунка.

Рисунок 2 – Пример испытательной установки

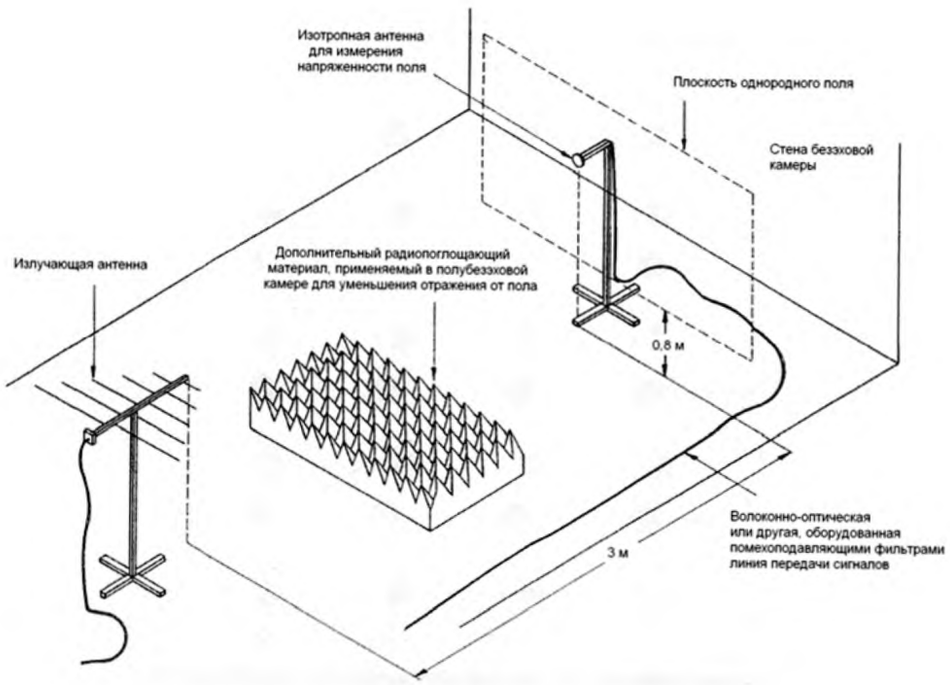


Рисунок 3 – Расположение оборудования при калибровке

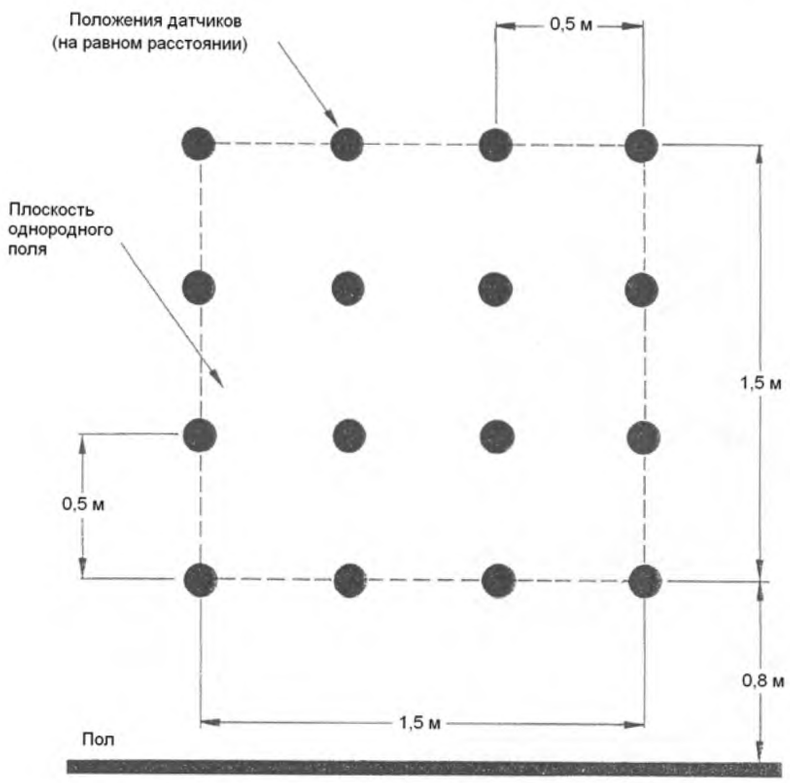
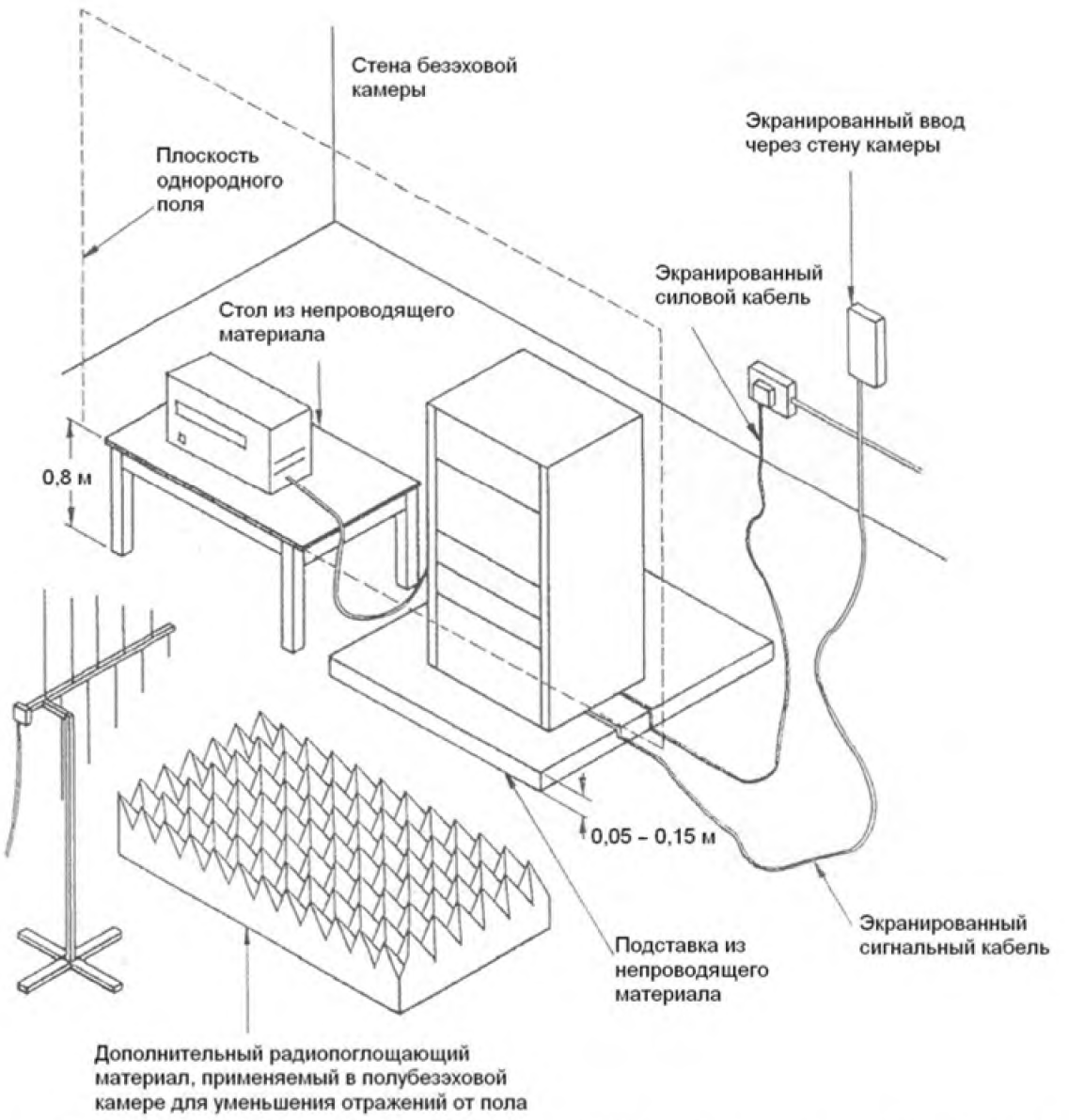


Рисунок 4 – Размеры плоскости однородного поля



Примечание – Обивочный материал безэховой камеры на стенах не указывается для ясности рисунка.

Рисунок 5 – Пример организации рабочего места для испытаний напольного оборудования

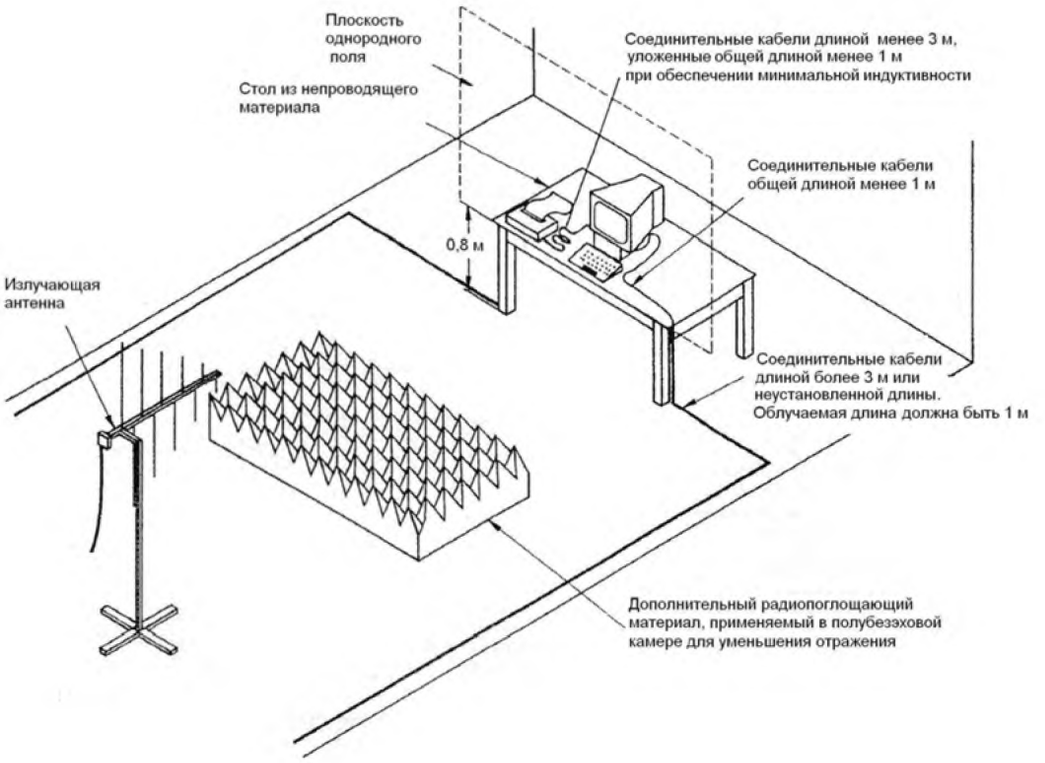
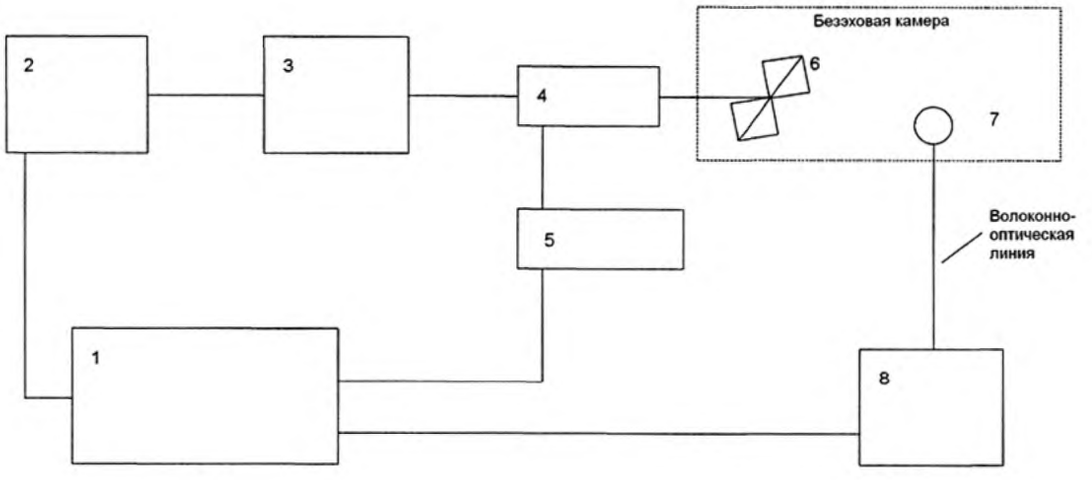


Рисунок 6 – Пример организации рабочего места для испытаний настольного оборудования



1 – контроллер, например персональный компьютер; 2 – генератор сигналов; 3 – усилитель мощности; 4 – направленный ответвитель [a]; 5 – измерительный прибор [a]; 6 – передающая антенна; 7 – датчик электромагнитного поля; 8 – измеритель напряженности электромагнитного поля

[a] Направленный ответвитель и измеритель мощности могут быть заменены детектором подводимой мощности, установленным между усилителем 3 и антенной 6.

Рисунок 7 – Блок-схема измерительной установки

Приложение А
(справочное)

Обоснование выбора модуляции при испытаниях, относящихся к устойчивости оборудования к радиочастотному излучению от цифровых радиотелефонов

А.1 Краткий обзор применяемых методов модуляции

На частотах свыше 800 МГц возможная помехоэмиссия связана с цифровыми радиотелефонами, использующими модуляцию с непостоянной огибающей излучаемого сигнала. При разработке настоящего стандарта были рассмотрены следующие методы модуляции испытательного электромагнитного поля:

– амплитудная модуляция синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %;

– амплитудная модуляция сигналом прямоугольной формы со скважностью 2 и частотой повторения 200 Гц при глубине модуляции 100 %;

– импульсный радиочастотный сигнал, приближенно моделирующий характеристики различных систем радиосвязи, например со скважностью 8 при частоте повторения 200 Гц для системы GSM, скважностью 24 при частоте повторения 100 Гц для портативного оборудования системы DECT (см. приложение G для определения GSM и DECT);

– импульсный радиочастотный сигнал, точно моделирующий характеристики каждой системы, например для системы GSM: скважность 8 при частоте повторения 200 Гц, а также вторичные эффекты, такие как режим прерывистой передачи (частота модуляции 2 Гц) и эффекты, связанные с мультикадровой структурой сигнала (компонента с частотой 8 Гц).

Результаты качественного сопоставления соответствующих систем модуляции обобщены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Сравнение методов модуляции испытательного сигнала (см. приложение G для определения GSM и DECT)

Метод модуляции	Преимущества	Недостатки
Амплитудная модуляция синусоидальным сигналом	1 Эффекты нарушения функционирования оборудования, как показывают эксперименты, одни и те же при использовании сигналов с различными видами модуляции с непостоянной огибающей при условии, что максимальное среднеквадратичное значение сигнала одинаково. 2 Нет необходимости устанавливать и измерять время нарастания импульсов TDMA. 3 Данный вид модуляции принят в настоящем стандарте и в IEC 61000-4-6. 4 В наличии имеется оборудование для генерирования и измерения параметров испытательного поля. 5 При испытаниях аудиотехники с аналоговой обработкой сигнала на выходе ИО в результате демодуляции возникает звуковой сигнал, который может быть измерен узкополосным измерительным прибором при малом уровне шумов. 6 Была показана эффективность данного вида модуляции при моделировании воздействия на оборудование сигналов с другими видами модуляции (частотной, фазовой, импульсной) на нижних частотах	1 Не моделирует TDMA. 2 Приводит к незначительному повышению жесткости испытаний для отдельного оборудования. 3 При использовании данного вида модуляции могут быть не выявлены некоторые процессы воздействия на оборудование, приводящие к отказам в работе

Окончание таблицы А.1

Метод модуляции	Преимущества	Недостатки
Амплитудная модуляция сигналом прямоугольной формы	1 Аналогична TDMA. 2 Может иметь широкое применение. 3 Может обеспечить обнаружение «неизвестных» процессов воздействия, приводящих к отказам в работе оборудования (чувствительных к быстрым изменениям огибающей радиочастотного сигнала)	1 Не в полной мере моделирует TDMA. 2 Требует применения нестандартного оборудования для генерирования сигнала. 3 При демодуляции в ИО возникают широкополосные звуковые сигналы, которые должны быть измерены широкополосными измерительными приборами, при этом повышается уровень шумов. 4 Необходимо регламентировать время нарастания импульсов
Радиочастотные импульсы	1 Возможно точное моделирование TDMA. 2 Может обеспечить обнаружение «неизвестных» процессов воздействия, приводящих к отказам в работе оборудования (чувствительных к быстрым изменениям огибающей радиочастотного сигнала)	1 Требует применения нестандартного оборудования для генерирования сигнала 2 Параметры модулирующих сигналов необходимо изменять, чтобы привести их в соответствие с характеристиками каждой из конкретных систем (GSM, DECT и т. д.). 3 При демодуляции в ИО возникают широкополосные звуковые сигналы, которые должны быть измерены широкополосными измерительными приборами, при этом повышается уровень шумов. 4 Необходимо регламентировать время нарастания импульсов

А.2 Экспериментальные результаты

Для определения зависимости между применяемым методом модуляции испытательного сигнала и производимым воздействием на оборудование была проведена серия экспериментов. При этом проверяли следующие методы модуляции:

a) амплитудную модуляцию синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %;

b) импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы GSM, со скважностью 8 при частоте повторения 200 Гц;

c) импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 2 при частоте повторения 100 Гц (базовая станция);

d) импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 24 при частоте повторения 100 Гц (подвижное оборудование).

В каждом случае использовалась только одна из модуляций, подобных DECT.

Результаты обобщены в таблицах А.2 и А.3.

Таблица А.2 – Относительные уровни воздействия [a]

Оборудование	Значение выходного звукового сигнала	Метод модуляции [b]		
		Амплитудная модуляция синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы GSM, со скважностью 8 при частоте повторения 200 Гц, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT со скважностью 24 при частоте повторения 100 Гц, дБ
Слуховой Аппарат [c]	Невзвешенное 21 Гц – 21 кГц	0 [d]	0	−3
	Взвешенное по характеристике А	0	−4	−7
Телефонный аппарат аналогового типа [e]	Невзвешенное	0 [d]	−3	−7
	Взвешенное по характеристике А	−1	−6	−8
Радиоприемник [f]	Невзвешенное	0 [d]	+1	−2
	Взвешенное по характеристике А	−1	−3	−7

[a] За уровень воздействия помехи принят уровень звукового сигнала на выходе ИО при воздействии поля. Низкий уровень воздействия эквивалентен высокому уровню помехоустойчивости оборудования.

[b] Амплитуда несущего сигнала регулируется таким образом, чтобы максимальное среднеквадратическое значение (см. раздел 3 настоящего стандарта) испытательного (воздействующего) сигнала было одинаковым для всех методов модуляции.

[c] Воздействие производится внешним электромагнитным полем частотой 900 МГц. Скважность сигнала для импульсной модуляции, подобной DECT, выбирают 2 вместо 24. Выходной звуковой сигнал представляет собой акустический выходной сигнал слухового аппарата, измеренный с применением искусственного уха, подсоединенного с помощью ПВХ трубки длиной 0,5 м.

[d] Выбран в качестве опорного уровня выходного звукового сигнала, т. е. 0 дБ.

[e] Воздействие производится радиочастотным током, наведенным в телефонном кабеле на частоте 900 МГц. Выходной звуковой сигнал представляет собой напряжение звуковой частоты, измеренное в телефонной линии.

[f] Воздействие производится радиочастотным током, наведенным в кабеле электропитания на частоте 900 МГц. Выходной звуковой сигнал представляет собой акустический сигнал громкоговорителя, измеренный с помощью микрофона.

Таблица А.3 – Относительные уровни помехоустойчивости [a]

Оборудование	Характер воздействия	Метод модуляции [b]		
		При амплитудной модуляции синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы GSM, со скважностью 8 при частоте повторения 200 Гц, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 24, частотой повторения 100 Гц, дБ
Телевизионный приемник [c]	Заметное искажение	0 [d]	−2	−2
	Сильное искажение	+4	+1	+2
	Изображение отсутствует	~ +19	+18	+19
Цифровой терминал с интерфейсом RS232 [e]	Искажения на видеоэкране	0 [d]	0	–
	Искажения данных	> +16	> +16	–
Модем с интерфейсом RS232 [f]	Искажения данных (ввод помехи в телефонный кабель)	0 [d]	0	0

Окончание таблицы А.3

Оборудование	Характер воздействия	Метод модуляции [b]		
		При амплитудной модуляции синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы GSM, со скважностью 8 при частоте повторения 200 Гц, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 24, частотой повторения 100 Гц, дБ
	Искажения данных (ввод помехи в кабель интерфейса RS232)	> +9	> +9	> +9
Регулируемый лабораторный источник электропитания [g]	Погрешность установки выходного уровня постоянного тока, равная 2 %	0 [d]	+3	+7
SDH-соединение [h]	Ошибка считывания	0 [d]	0	–

[a] Цифры в таблице представляют собой относительные измеренные максимальные среднеквадратические значения (см. раздел 3 настоящего стандарта) испытательного (воздействующего) сигнала, необходимые для обеспечения одной и той же степени воздействия при различных методах модуляции. Высокий уровень, выраженный в децибелах, эквивалентен высокому уровню помехоустойчивости.

[b] Испытательный сигнал регулируется таким образом, чтобы характер воздействия был одинаковым при всех методах модуляции.

[c] Воздействие производится радиочастотным током, введенным в кабель электропитания на частоте 900 МГц. Характер воздействия определяется степенью нарушения изображения на экране. Оценка имеет в значительной степени субъективный характер, так как параметры ухудшения изображения различны при различных методах модуляции.

[d] Этот метод модуляции выбран в качестве опорного уровня помехоустойчивости, т. е. соответствующего 0 дБ.

[e] Воздействие производится радиочастотным током, введенным в кабель интерфейса RS232 на частоте 900 МГц.

[f] Воздействие производится радиочастотным током, введенным в телефонный кабель или в кабель интерфейса RS232 на частоте 900 МГц.

[g] Воздействие производится радиочастотным током, введенным в выходной кабель постоянного тока на частоте 900 МГц.

[h] SDH – синхронизированная цифровая иерархия. Воздействие производится электромагнитным полем на частоте 935 МГц.

В ходе проведенных экспериментов были испытаны при воздействии электромагнитного поля напряженностью до 30 В/м с использованием как амплитудной модуляции синусоидальным сигналом, так и импульсной модуляции со скважностью 2 следующие образцы цифрового оборудования:

– осушитель рук с микропроцессорным управлением;
– модем (скорость передачи 2 Мбит, 75-омный коаксиальный кабель);
– модем (скорость передачи 2 Мбит, 120-омная симметричная линия);
– промышленный контроллер с микропроцессором, видеодисплеем и интерфейсом RS485;
– обучающая дисплейная система с микропроцессором;
– терминал для кредитных карт с модемом;
– цифровой мультиплексор 2/34 Мбит;
– Ethernet-повторитель (10 Мбит/с).

Все отказы были связаны с аналоговыми функциями устройств.

А.3 Вторичные эффекты модуляции

При точном моделировании модуляции, используемой в цифровых радиотелефонных системах, важно не только моделировать первичную модуляцию, но также учесть влияние любой вторичной модуляции, которая может иметь место.

Например, в системах GSM и DCS 1800 возникают эффекты, связанные с мультикадровой структурой сигнала, вызываемые подавлением пачки импульсов каждые 120 мс (что создает частотную составляющую приблизительно 8 Гц). Может присутствовать также дополнительная модуляция на частоте 2 Гц при режиме прерывистой передачи (режим DTX).

А.4 Выводы

Испытанные образцы реагировали на помехи при всех используемых методах модуляции. При сравнении эффектов воздействия при различных видах модуляции важно обеспечить, чтобы испытательные сигналы имели одинаковое максимальное среднеквадратическое значение.

При наличии существенных различий между эффектами воздействия при различных видах модуляции испытания с использованием амплитудной модуляции синусоидальным сигналом были всегда наиболее жесткими.

В случае, если отмечается различный характер от воздействия амплитудной модуляции синусоидальным сигналом и импульсной модуляции TDMA, это различие может быть скорректировано при установлении соответствующего критерия качества функционирования в стандарте на продукцию.

В целом амплитудная модуляция синусоидальным сигналом имеет следующие преимущества:

– измерение выходных сигналов в аналоговых системах, возникающих в результате воздействия помех, возможно с помощью узкополосных измерительных приборов при малом уровне шумов;

– универсальность применения, так как нет необходимости моделировать характеристики источника помех;

– возможность применения модуляции с одними и теми же параметрами на всех частотах;

– всегда обеспечивается по крайней мере такая же жесткость испытаний, как при импульсной модуляции.

С учетом вышеизложенного в настоящем стандарте установлен метод амплитудной модуляции испытательного поля синусоидальным сигналом. Рекомендуется, чтобы технические комитеты по стандартизации, ответственные за оборудование конкретного вида, применяли иной метод модуляции лишь при наличии особых причин.

Приложение В
(справочное)

Излучающие антенны

В.1 Биконическая антенна

Данная антенна состоит из коаксиального симметрирующего устройства и объемного излучающего элемента, имеет широкий диапазон и может работать как на передачу, так и на прием. Зависимость коэффициента усиления антенны представляет собой плавную кривую, как правило возрастающую с частотой.

Компактные размеры антенны делают ее удобной для применения в ограниченных зонах, таких как безэховые камеры, где эффекты близости минимизированы.

В.2 Логопериодическая антенна

Логопериодическая антенна представляет собой группу диполей различной длины, соединенных с передающей линией.

Эти широкополосные антенны обладают относительно высоким усилением и низким коэффициентом стоячей волны по напряжению.

При выборе антенны для создания поля необходимо убедиться, что симметрирующее устройство обеспечивает передачу требуемой мощности.

В.3 Рупорная антенна и волноводная антенна

Рупорные и волноводные антенны создают линейно поляризованные электромагнитные поля. Они обычно применяются на частотах свыше 1000 МГц.

Приложение С
(справочное)

Использование безэховых камер

С.1 Общая информация о безэховой камере

Полубезэховая камера представляет собой экранированное помещение, стены и потолок которого покрыты радиопоглощающим материалом. В полностью безэховой камере радиопоглощающим материалом покрыт также пол.

Целью покрытия камеры радиопоглощающим материалом является предотвращение отражения радиоволн от внутренних поверхностей камеры, так как интерференция отраженного и излученного электромагнитных полей может привести к образованию пиков и провалов напряженности результирующего электромагнитного поля.

Коэффициент отражения радиопоглощающего материала зависит в основном от частоты и угла падения радиоволн. Как правило, поглощение электромагнитной энергии максимально при нормальном падении радиоволн на поверхность радиопоглощающего материала и снижается при возрастании угла падения.

Для того чтобы уменьшить отражения и увеличить поглощение радиоволн, применяется радиопоглощающий материал в форме пирамид или конусов.

В полубезэховых камерах дополнительная установка радиопоглощающего материала на полу камеры позволяет обеспечить требуемую степень однородности испытательного поля на всех частотах. Место размещения радиопоглощающего материала определяют экспериментально.

Дополнительный поглощающий материал не должен находиться в направлении прямого распространения луча от антенны к испытываемому оборудованию. При испытаниях дополнительный поглощающий материал размещают в том же положении и при той же ориентации, что и в процессе калибровки.

Однородность испытательного поля в безэховой камере может быть также улучшена путем сдвига излучающей антенны относительно оси камеры, так как любые отражения не являются симметричными.

Безэховые камеры становятся малоэффективными на низких частотах (ниже 30 МГц), в то время как эффективность камер, покрытых ферритовым поглощающим материалом, как правило, снижается на частотах свыше 1 ГГц. Следует добиваться однородности излучаемого поля на самых низких и самых высоких частотах, при этом может возникнуть необходимость в определенном изменении конструкции камеры.

С.2 Процедура настройки ферритовых камер, предназначенных для работы на частотах до 1 ГГц, на частоты свыше 1 ГГц

Большинство существующих безэховых камер, которые используют феррит как поглотитель, сконструированы для использования в диапазоне до 1 ГГц. На частотах свыше 1 ГГц может быть трудно или невозможно обеспечить, чтобы удовлетворялись требования 6.2 настоящего стандарта к неравномерности электромагнитного поля.

В настоящем разделе приведена информация о процедуре адаптации таких камер к испытаниям на частотах свыше 1 ГГц с применением методов, приведенных в приложении Н.

С.2.1 Проблемы, вызываемые использованием ферритовых камер для испытаний на устойчивость к электромагнитному полю на частотах свыше 1 ГГц.

Нижеописанная проблема может иметь место, например, в небольших покрытых ферритом безэховых камерах или в небольших (обычно длиной 7 м, шириной 3 м и высотой 3 м) безэховых камерах, покрытых комбинацией ферритового и углеродного поглотителя.

На частотах свыше 1 ГГц ферритовые элементы обычно работают как отражатели сильнее, чем как поглотитель. Очень трудно стабилизировать поверхность 1,5 × 1,5 м однородного поля на этих частотах из-за многократного отражения от внутренних поверхностей камеры (см. рисунок С.1).

На частотах радиотелефонных диапазонов длина волны составляет менее 0,2 м. Это значит, что результаты испытаний очень чувствительны к положению антенны, генерирующей поле, и датчика поля или ИО.

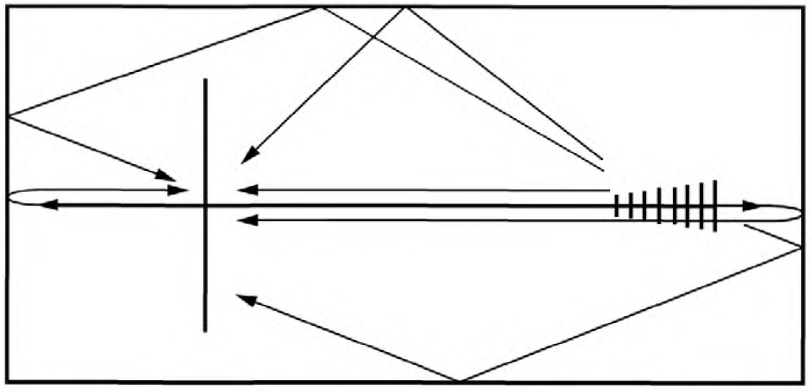


Рисунок С.1 – Многократное отражение в существующих малых безэховых камерах

С.2.2 Возможные решения

Для решения существующих проблем предлагаются следующие процедуры.

а) использование рупорной или волноводной антенны для снижения поля, излучаемого в обратном направлении. Это также уменьшает отражения от стенок безэховой камеры вследствие узкой ширины диаграммы направленности антенны;

б) сокращение дистанции между передающей антенной и испытуемым образцом для сведения к минимуму отражений от стен (дистанция между антенной и ИО может быть уменьшена до 1 м). Метод независимых окон размером 0,5 × 0,5 м (см. приложение Н) применяется для обеспечения того, что испытуемый образец облучается однородным полем;

с) дополнительное покрытие стены камеры, противоположной основному направлению излучения антенны, радиопоглощающим материалом со средним наполнением углеродом, с тем чтобы исключить прямые отражения, что уменьшит чувствительность испытаний к положению ИО и излучающей антенны. Это также может улучшить неоднородность поля на частотах ниже 1 ГГц.

Примечание – При использовании поглощающего материала с высоким наполнением углеродом соответствие требованиям по однородности поля на частотах ниже 1 ГГц может быть затруднено.

Нижеописанные процедуры устраняют большинство отраженных волн (см. рисунок С.2).

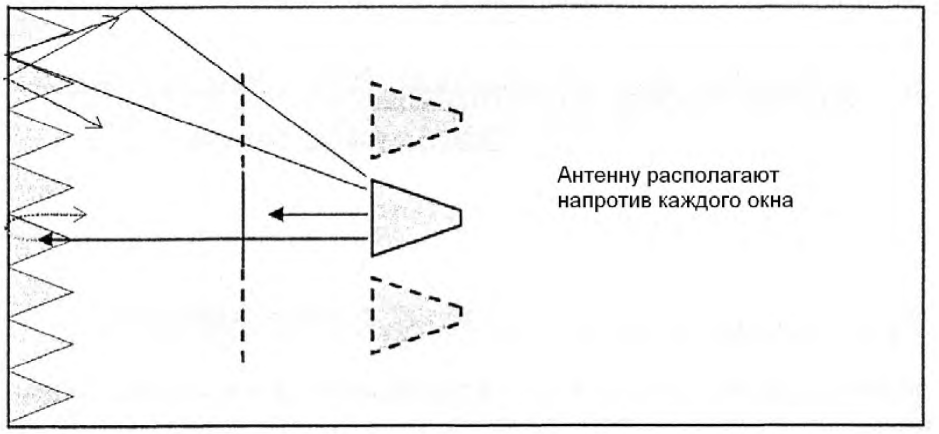


Рисунок С.2 – Большинство отражений устранены

Приложение D
(справочное)

Нелинейность усилителя и пример метода калибровки в соответствии с 6.2

D.1 Проблема искажений, вызванных ограничением усилителя

Нелинейность усилителя не должна достигать значений, при которых она будет оказывать существенное влияние на неопределенность установки уровня напряженности электромагнитного поля. Следовательно, в настоящем приложении приведены рекомендации для испытательных лабораторий по выявлению и ограничению эффектов насыщения усилителя.

D.2 Возможные проблемы, вызываемые гармоническими составляющими и насыщением

Перегрузка усилителя может привести к различным последствиям.

a) гармонические составляющие могут вносить значительный вклад в электромагнитное поле:

1) если это происходит при проведении калибровки, то напряженность поля на выбранной частоте измеряется некорректно, так как широкополосный датчик поля измеряет основную частоту и ее гармонические составляющие. Например, предположим, что третья гармоническая составляющая на 15 дБ ниже основной частоты на входе антенны и всеми другими гармоническими составляющими можно пренебречь. Далее предположим, что антенный фактор на частоте третьей гармонической составляющей на 5 дБ меньше, чем на основной частоте. Тогда напряженность поля на основной частоте будет только на 10 дБ больше, чем напряженность поля на третьей гармонической составляющей. Если общая измеренная напряженность поля составляет 10 В/м, то на основной частоте напряженность поля составит 9,5 В/м. Это вполне приемлемая ошибка, так как это меньше, чем неопределенность при измерении датчиком поля;

2) если гармонические составляющие являются значительными при проведении испытания, то они могут вызвать отказ ИО, хотя ИО устойчиво на выбранной основной частоте, но неустойчиво на частоте гармонической составляющей;

b) гармонические составляющие могут также повлиять на результат испытания, даже если они эффективно подавлены в специальных ситуациях. Например, если приемник на 900 МГц испытывается, то даже очень небольшая гармоническая составляющая сигнала частотой 300 МГц может перегрузить вход приемника. Аналогичная ситуация может возникнуть, если выходные сигналы генератора представляют собой негармонически зависимые (паразитные) сигналы;

c) насыщение может быть возможно при отсутствии гармонических составляющих. Это происходит, если усилитель имеет низкочастотный выходной фильтр, который подавляет гармонические составляющие. В этом случае также возможны некорректные результаты:

1) если это происходит при проведении калибровки, то ошибочные данные получены при этом как допущение линейности, используемой в алгоритме, описанном в 6.2;

2) при проведении испытаний этот тип насыщения приведет к некорректному индексу модуляции и появлению гармонических составляющих частоты модуляции (обычно 1000 Гц).

Из вышеприведенных примеров ясно, что установление предельных числовых значений для искажений усилителя не может быть дано, так как эффект искажений существенно зависит от типа ИО.

D.3 Варианты контроля нелинейности усилителя

D.3.1 Ограничение содержания гармонических составляющих испытательного поля

Гармонические составляющие испытательного поля могут быть ограничены при использовании на выходе усилителя регулируемого, следящего или настраиваемого фильтра низких частот.

Для всех частот, при которых на выходе усилителя возникают гармонические составляющие, необходимо, чтобы ослабление гармонических составляющих поля по сравнению с составляющей на основной частоте превышало 6 дБ, за исключением случая, рассмотренного в D.2 (перечисление b).

При этом ошибка установления напряженности поля составит менее 10 %. Например, сигнал значением 10 В/м, измеренный в широком диапазоне частот, будет составлять 9 В/м на основной частоте и 4,5 В/м на частотах гармонических составляющих. Эта ситуация является приемлемой для неопределенности измерения напряженности поля при калибровке.

Для усилителей, на выходе которых установлен фильтр низкой частоты с фиксированными параметрами, верхняя основная частота среза составляет 1/3 от максимальной заданной частоты усилителя.

D.3.2 Измерение содержания гармонических составляющих испытательного поля

Гармонические составляющие испытательного поля могут быть измерены двумя способами:

– прямо, с использованием селективного датчика поля, или косвенно, путем определения сначала эффективного антенного фактора (отношения между входной мощностью и напряженностью поля для данной камеры и положения антенны) и затем отношения между подводимой мощностью на основной частоте и на частотах гармонических составляющих; или

– применяют направленный ответвитель с учетом значений коэффициента калибровки антенны, приведенный в технической документации изготовителя.

Для ситуаций, в которых фильтр низкой частоты подавляет гармонические составляющие усилителя, работающего в режиме насыщения, предполагается, что, соответственно, нет условий (например, худшая частота, максимальная напряженность поля с модуляцией) для превышения на 2 дБ точки насыщения усилителя. Пиковая амплитуда напряжения уменьшится на 20 % в точке насыщения усилителя на 2 дБ. Это будет причиной уменьшения индекса модуляции с 80 % до 64 % или уменьшения выпрямленного напряжения внутри ИО на 20 %.

D.4 Примеры для калибровочных процедур, показывающих эквивалентность обоих методов

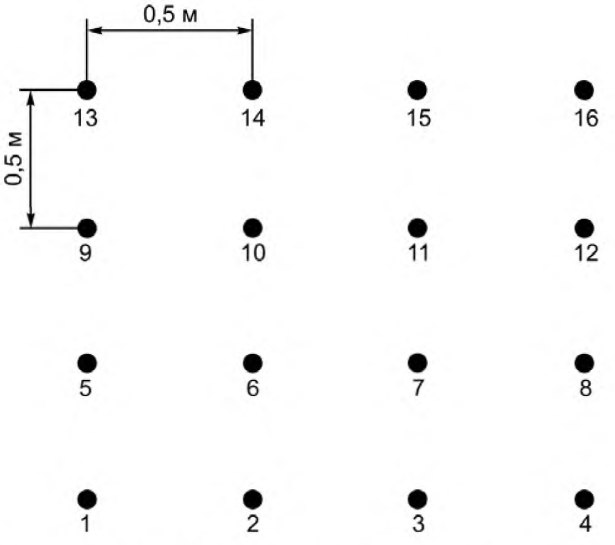


Рисунок D.1 – Измерительные позиции в плоскости однородного поля

Расположение 16 позиций, в которых должна быть измерена однородность поля, показано на рисунке D.1. Расстояние между соседними для каждой из 16 позиций должно быть фиксированным и равным 0,5 м.

D.4.1 Пример выполнения калибровки поля с использованием метода калибровки при постоянной напряженности поля, как описано в 6.2.1

Для создания постоянной напряженности поля E_c = 6 В/м (как в примере) следующие уровни подводимой мощности, указанные в таблице D.1, были измерены на одной конкретной частоте, с использованием измерительной установки, показанной на рисунке 7. Эти значения, распределенные в порядке возрастания, приведены в таблице D.2.

Таблица D.1 – Уровни подаваемой мощности, измеренные в соответствии с методом калибровки при постоянной напряженности поля

Позиция	Подводимая мощность, дБ (мВт)
1	27
2	22
3	37
4	33
5	31
6	29
7	23
8	27
9	28
10	30
11	30
12	31
13	40
14	30
15	31
16	31

Таблица D.2 – Уровни подаваемой мощности, распределенные в соответствии с возрастанием уровня, и оценка измеренных результатов

Позиция	Подводимая мощность, дБ (мВт)
2	22
7	23
1	27
8	27
9	28
6	29
10	30
11	30
14	30
5	31
12	31
15	31
16	31
4	33
3	37
13	40

Примечание – Позиция 13: 40 – 6 = 34; соответствуют только 2 позиции;
позиция 3: 37 – 6 = 31; соответствуют только 6 позиций;
позиция 4: 33 – 6 = 27; соответствуют 12 позиций.

В этом примере измерительные позиции 2, 3, 7 и 13 лежат вне критерия 0 дБ/плюс 6 дБ, но не менее 12 точек из 16 (в этом примере) находятся внутри данного критерия. Следовательно, на этой конкретной частоте критерий выполняется. В этом случае уровень подводимой мощности составляет 33 дБ(мВт).

Это гарантирует, что для 12 точек напряженность поля E_c составляет не менее 6 В/м (позиция 4) и не более 12 В/м (позиции 1 и 8).

D.4.2 Пример выполнения калибровки с использованием метода калибровки при постоянной подводимой мощности, как описано в 6.2.2

Позиция 1 выбрана как первая калибровочная точка, где создается напряженность поля E_c величиной 6 В/м. При той же подводимой мощности следующие напряженности поля, показанные в таблице D.3, записаны на одной конкретной частоте с использованием измерительной схемы в соответствии с рисунком 7. Эти значения, распределенные в порядке возрастания, приведены в таблице D.4.

Таблица D.3 – Подаваемая мощность и уровни измеренной напряженности поля в соответствии с методом калибровки при постоянной подводимой мощности

Позиция	Подводимая мощность, дБ (мВт)	Напряженность поля, В/м	Напряженность поля, дБ относительно позиции 1
1	27	6,0	0
2	27	10,7	5
3	27	1,9	−10
4	27	3,0	−6
5	27	3,8	−4
6	27	4,8	−2
7	27	9,5	4
8	27	6,0	0
9	27	5,3	−1
10	27	4,2	−1
11	27	4,2	−3
12	27	3,8	−4
13	27	1,3	−13
14	27	4,2	−3
15	27	3,8	−4
16	27	3,8	−4

Таблица D.4 – Уровни напряженности поля, рассортированные в соответствии с возрастанием значения, и оценка измеренных результатов

Позиция	Подводимая мощность, дБ (мВт)	Напряженность поля, В/м	Напряженность поля, дБ относительно позиции 1
13	27	1,3	−13
3	27	1,9	−10
4	27	3,0	−6
5	27	3,8	−4
12	27	3,8	−4
15	27	3,8	−4
16	27	3,8	−4
10	27	4,2	−3
11	27	4,2	−3
14	27	4,2	−3
6	27	4,8	−2
9	27	5,3	−1
1	27	6,0	0
8	27	6,0	0
7	27	9,5	4
2	27	10,7	5

Примечание – Позиция 13: –13 + 6 = –7; соответствуют только 2 позиции;
позиция 3: –10 + 6 = –4; соответствуют только 6 позиций;
позиция 4: –6 + 6 = 0; соответствуют 12 позиций.

В этом примере измерительные точки 13, 3, 7 и 2 лежат вне границ критерия 0 дБ/плюс 6 дБ, но не менее 12 точек из 16 (в этом примере) находятся внутри данного критерия. Следовательно, на этой конкретной частоте критерий выполняется. В данном случае уровень подводимой мощности, применяемый для обеспечения напряженности поля E_c = 6 В/м, составляет 27 дБ (мВт) + 20 lg (6 В/м/ 3 В/м) = 33 дБ (мВт). Это гарантирует, что для 12 точек напряженности поля E_c составляет не менее 6 В/м (позиция 4) и не более 12 В/м (позиции 1 и 8).

Приложение Е
(справочное)

Рекомендации для технических комитетов по конкретным видам продукции по выбору испытательных уровней

Е.1 Введение

Излучаемую мощность радиопередатчиков часто устанавливают в единицах эффективной излучаемой мощности по отношению к полуволновому диполю. Поэтому напряженность поля, создаваемого в дальней зоне, может быть непосредственно получена с использованием следующей формулы для диполя:

$$E = \frac{k\sqrt{P}}{d}, \qquad (E.1)$$

где E – напряженность поля (среднеквадратическое значение), В/м;

k – коэффициент, величина которого равна 7 для распространения радиоволн в свободном пространстве в дальней зоне;

P – эффективная излучаемая мощность, Вт;

d – расстояние от антенны, м.

Отражающие и поглощающие объекты, расположенные поблизости, изменяют напряженность поля.

Если эффективная излучаемая мощность передатчика неизвестна, в формулу (Е.1) может быть подставлено значение мощности, подводимой к антенне. В этом случае значение коэффициента $k = 3$ является типичным для переносных радиопередатчиков.

Е.2 Испытательные уровни, относящиеся к задачам общего характера

Испытательные уровни и диапазоны частот воздействующего поля выбирают в соответствии с параметрами электромагнитных излучений, которые могут воздействовать на ИО после его окончательной установки на месте эксплуатации. При выборе испытательных уровней необходимо принимать во внимание последствия отказов в работе оборудования. Если последствия отказов в работе могут быть значительными, устанавливают более высокие испытательные уровни.

Если места, где будет установлено ИО, известны, ожидаемый уровень радиочастотного поля может быть установлен путем измерения действующих источников радиочастотных полей в местах установки. Если мощности источников неизвестны, измеряют напряженность поля в месте (ах) установки.

Для оборудования, предназначенного для эксплуатации в различных местах, при выборе испытательного уровня могут использоваться следующие рекомендации.

Приведенные ниже классы условий электромагнитной обстановки соответствуют испытательным уровням, установленным в разделе 5 настоящего стандарта. Использование указанных классов рассматривается как основа для выбора соответствующих испытательных уровней.

Класс 1 – обстановка, характеризующаяся низким уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю расположения маломощных радиовещательных и телевизионных передатчиков на расстоянии более 1 км от места эксплуатации оборудования.

Класс 2 – обстановка, характеризующаяся средним уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю применения переносных радиостанций мощностью менее 1 Вт при ограничении их работы в непосредственной близости к оборудованию. Представляет собой типичную коммерческую обстановку.

Класс 3 – обстановка, характеризующаяся высоким уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю применения переносных радиостанций мощностью более 1 Вт в непосредственной близости к оборудованию (но на расстоянии не менее 1 м), а также близкому расположению мощных радиовещательных и телевизионных передатчиков и промышленных, научных и медицинских высокочастотных установок. Представляет собой типичную промышленную обстановку.

Класс х – особые условия электромагнитной обстановки при эксплуатации оборудования, применительно к которым испытательный уровень устанавливают в стандарте на оборудование конкретного вида или в технической документации на оборудование.

Е.3 Испытательные уровни, относящиеся к устойчивости оборудования к радиочастотному излучению от цифровых радиотелефонов

Испытательные уровни должны быть выбраны в соответствии с ожидаемыми параметрами электромагнитных полей, т. е. на основе рассмотрения мощностей радиотелефонных устройств и возможных расстояний между их передающими антеннами и ИО. С учетом влияния подвижных радиостанций, как правило, устанавливают более жесткие требования к испытаниям в сравнении с базовыми станциями, так как подвижные станции могут быть размещены на существенно меньших расстояниях от потенциально восприимчивого оборудования, чем базовые станции.

При выборе испытательного уровня необходимо принимать во внимание затраты, связанные с установлением необходимой помехоустойчивости оборудования, и последствия отказов в работе оборудования. Более высокие испытательные уровни должны быть установлены только в том случае, если последствия отказов в работе могут быть значительными.

На практике с малой вероятностью появления могут иметь место случаи, когда уровни воздействующих полей превышают выбранные испытательные уровни. Для того чтобы предотвратить неприемлемые сбои в работе оборудования в этих условиях, может быть необходимо проведение повторных испытаний при повышенной интенсивности воздействующего поля и при допущении определенного ухудшения качества функционирования оборудования.

Примеры испытательных уровней, критериев качества функционирования оборудования при испытаниях и соответствующих защитных расстояний приведены в таблице Е.1. Защитное расстояние представляет собой минимальное допустимое расстояние между оборудованием и цифровым радиотелефоном, соответствующее установленному испытательному уровню. Указанные расстояния рассчитывают с использованием формулы (Е.1) при k = 7, предполагая, что сигнал при испытаниях модулируется по амплитуде синусоидальным напряжением при глубине модуляции 80 %.

Таблица Е.1 – Примеры испытательных уровней, критериев качества функционирования оборудования при испытаниях и соответствующих защитных расстояний

Испытательный уровень	Напряженность поля в отсутствие модуляции, В/м	Максимальное среднеквадратическое значение напряженности поля, В/м	Защитное расстояние, м			Критерий качества функционирования [a]	
			2 Вт GSM	8 Вт GSM	1/4 Вт DECT	Пример 1 [b]	Пример 2 [c]
1	1	1,8	5,5	11	1,9	–	–
2	3	5,4	1,8	3,7	0,6	A	–
3	10	18	0,6	1,1	~ 0,2 [d]	B	A
4	30	54	~ 0,2 [d]	0,4	~ 0,1 [d]	–	B

[a] В соответствии с разделом 9 настоящего стандарта.
[b] Оборудование, для которого последовательность отказов в работе допустима.
[c] Оборудование, для которого последовательность отказов в работе недопустима.
[d] При данных и меньших расстояниях формула (Е.1) для поля дальней зоны является неточной.

При установлении величин, приведенных в таблице Е.1, было учтено следующее:

– для большей части радиотелефонов системы GSM максимальная эффективная излучаемая мощность составляет 2 Вт. Некоторая часть подвижных радиотелефонов, находящихся в эксплуатации, имеет максимальную эффективную излучаемую мощность 5 и 8 Вт. Эффективная излучаемая мощность подвижных радиотелефонов в большинстве случаев меньше максимальной, за исключением их применения в районах затрудненного приема;

– условия связи внутри помещений являются более сложными, чем вне помещений. Поэтому эффективная излучаемая мощность радиотелефонов внутри помещений может во многих случаях не соответствовать максимальной мощности, установленной для данного класса оборудования. Это усложняет условия обеспечения ЭМС, так как большинство образцов оборудования, восприимчивого к воздействию электромагнитных полей, применяют внутри помещений;

– уровень помехоустойчивости различных образцов оборудования определяют в зависимости от максимального среднеквадратического значения напряженности модулированного поля, как указано в приложении А. По этой причине при расчетах защитных расстояний в формулу (Е.1) вместо значения напряженности немодулированного поля подставляют максимальное среднеквадратическое значение напряженности модулированного поля;

– защитное расстояние рассчитывают при подстановке в формулу (Е.1) коэффициента k = 7. При этом не учитывают случайные колебания напряженности поля из-за отражений от стен, пола и потолка помещений, которые могут составлять ±6 дБ;

– в соответствии с формулой (Е.1) защитное расстояние зависит от эффективной излучаемой мощности цифрового радиотелефона и не зависит от его рабочей частоты.

Е.4 Специальные мероприятия для стационарных передатчиков

Устанавливаемые с учетом рекомендаций, приведенных в настоящем приложении, испытательные уровни соответствуют типичным уровням воздействующего электромагнитного поля, которые редко превышаются в условиях эксплуатации оборудования. Вместе с тем в некоторых местах размещения оборудования указанные типичные уровни могут быть превышены, например при установке радиолокационной станции, мощных передатчиков или наличии промышленного, научного и медицинского оборудования, расположенного в том же здании. В этих случаях экранирование помещения или здания, в котором расположено оборудование, и применение высокочастотных фильтров в силовых кабелях и кабелях передачи сигналов к оборудованию может быть более предпочтительно, чем установление для всего оборудования повышенных требований устойчивости к электромагнитному полю.

Приложение F
(справочное)

Выбор методов испытаний

Настоящий стандарт и IEC 61000-4-6 устанавливают два различных метода испытаний электрического и электронного оборудования на устойчивость к воздействию излученной электромагнитной энергии.

Испытания на устойчивость к помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями, в основном более полезны на пониженных частотах, а испытания на устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям – на повышенных частотах.

Существует область частот, в которой одновременно применимы методы испытаний, установленные в настоящем стандарте и в IEC 61000-4-6. Метод испытаний, установленный в IEC 61000-4-6, может применяться на частотах до 230 МГц. Допускается также применение метода, установленного в настоящем стандарте, на частотах до 26 МГц. Целью настоящего приложения является обеспечение технических комитетов по стандартизации и разработчиков технической документации на оборудование рекомендациями по выбору наиболее приемлемого метода испытаний, обеспечивающего воспроизводимость результатов испытаний, с учетом конструктивных особенностей ИО.

При выборе метода испытаний должны быть рассмотрены:

– соотношение между длиной волны воздействующего поля и размерами ИО;

– соотношение между размерами ИО и длиной подключенных к нему кабелей;

– число кабелей и корпусов, составляющих ИО.

Приложение G
(справочное)

Описание условий эксплуатации

G.1 Сведения о цифровых радиотелефонах

Таблицы G.1, G.2 и G.3 содержат перечень параметров, относящихся к ЭМС.

В таблицах используются следующие сокращения и определения:

– **CDMA (Code Div ision Multiple Access)** (многостанционный доступ с кодовым разделением каналов) – метод доступа, при котором на передающем конце сигнал кодируется с использованием псевдослучайной последовательности, известной на приемном конце, используемой для декодирования принимаемого сигнала. Каждая отдельная псевдослучайная последовательность соответствует отдельному каналу связи;

– **CT-2 (Cor dless Telep hone, seco nd generatio n)** (бесшнуровой телефон второго поколения) – система бесшнурового телефона, широко используется в некоторых европейских странах;

– **DCS 1800 (Digital Cellular Sy stem)** (цифровая сотовая система) – сотовая мобильная система связи, характеризующаяся низкой стоимостью, распространена во всех странах;

– **DECT (D igital Enhanc ed Co rdless Tele communication)** (цифровая усовершенствованная беспроводная связь) – беспроводная сотовая система связи, характеризующаяся низкой стоимостью, широко распространенная в европейских странах;

– **DTX (Discontinuous Transmission)** (прерывистая передача) – способ значительного снижения загрузки частотного канала и энергосбережения за счет выключения передатчика при отсутствии информации, подлежащей передаче;

– **ERP (Effective Radiated Power)** (эффективная излучаемая мощность) – эффективная излучаемая мощность по отношению к полуволновому диполю;

– **FDD (Frequency Division Duplex)** (дуплексная передача с частотным разделением) – двусторонняя передача информации, при которой частоты передачи и приема находятся в различных полосах частот;

– **FDMA (Frequency Division Multiple Acc ess)** (многостанционный доступ с частотным разделением каналов) – метод доступа, при котором для каждого канала выделена отдельная полоса частот;

– **GSM (Global Sy stem for Mo bile Communication)** (глобальная система подвижной связи) – система мобильной сотовой связи, распространенная во всех странах;

– **HIPERLAN (High performance radio local ar ea network)** – высокоскоростная локальная радиосеть;

– **IMT-2000 (International Mobile Telecommunic ation 2000)** – технология мобильной сотовой связи третьего поколения, охватывающая все виды мобильной связи и обеспечивающая получение пользователем высококачественных цветных изображений;

– **NADC (North American Digital Cellular)** (североамериканская цифровая система сотовой связи) – цифровая система мобильной сотовой связи, широко распространенная в Северной Америке; популярный термин для обозначения цифровых сотовых систем, которые соответствуют стандарту связи, также известному как D-AMPS;

– **PDC (Personal Digital Cellular Sy stem)** (персональная система сотовой связи) – система мобильной сотовой связи, широко распространенная в Японии;

– **PHS (Personal Handy Phone Sy stem)** (персональная ручная телефонная система) – беспроводная телефонная система, широко распространенная в Японии;

– **RFID (Ra dio Frequency Identification)** (радиочастотная идентификация) – система радиочастотной идентификации, обеспечивающая автоматическую идентификацию предметов и имущества, сигнализацию, идентификацию персонала, контроль доступа, датчики приближения;

– **RTTT (Ro ad Traffic & Transport Telematics)** – система регулирования дорожного движения, которая включает системы оплаты за пользование дорогами;

– **TDMA (Ti me Div ision Multiple Access)** (временной разделенный множественный доступ) – см. раздел 4;

– **TDD (Time Division Duplex)** (дуплексный канал с временным разделением) – двусторонняя передача информации на одной несущей с уплотнением каналов приема и передачи в разных временных интервалах одного кадра.

Таблица G.1 – Мобильные и портативные устройства

Параметры	Наименование системы								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Полоса частот передатчика	890 – 915 МГц	1,71 – 1,784 ГГц	1,88 – 1,96 ГГц	864 – 868 МГц	940 – 956 МГц и 1,429 – 1,453 ГГц	1,895 – 1,918 ГГц	825 – 845 МГц	1900 – 1920 МГц	1920 – 1980 МГц
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA	TDMA/ TDD	TDMA	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ TDMA FDD
Частота повторения пачек	217 Гц	217 Гц	100 Гц	500 Гц	50 Гц	200 Гц	50 Гц	Не применяется	Не применяется
Рабочий цикл (скважность)	1:8	1:8	1:24 (а также 1:48 и 1:12)	1:12	1:3	1:8	1:3	Непрерывная передача	Непрерывная передача
Максимальная эффективная излучаемая мощность	0,8 Вт; 2 Вт; 5 Вт; 8 Вт; 20 Вт	0,25 Вт; 1 Вт; 4 Вт	0,25 Вт	< 10 мВт	0,8 Вт; 2 Вт	10 мВт	< 6 Вт	0,25 Вт	0,25 Вт
Вторичная модуляция	2 Гц (DTX) и 0,16 – 8,3 Гц (многокадровый)	2 Гц (DTX) и 0,16 – 8,3 Гц (многокадровый)	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
География применения	Все страны	Все страны	Страны Европы	Страны Европы	Япония	Япония	США	Страны Европы	Страны Европы
Примечание – CT-3 рассматривается как охватываемая DECT.									

Таблица G.2 – Базовые станции

Параметры	Наименование системы								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Полоса частот передатчика	935 – 960 МГц	1,805 – 1,88 ГГц	1,88 – 1,96 ГГц	864 – 868 МГц	810 – 826 МГц и 1,477 – 1,501 ГГц	1,895 – 1,918 ГГц	870 – 890 МГц	1900 – 1920 МГц	2110 – 2170 МГц
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA	TDMA/ TDD	TDMA	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ TDMA FDD
Частота повторения пачек	217 Гц	217 Гц	100 Гц	500 Гц	50 Гц	200 Гц	50 Гц	Не применяется	Не применяется
Рабочий цикл (скважность)	От 1:8 до 8:8	От 1:8 до 8:8	1:2	1:2	От 1:3 до 3:3	1:8	От 1:3 до 3:3	Непрерывная передача	Непрерывная передача
Максимальная эффективная излучаемая мощность	От 2,5 до 320 Вт	От 2,5 до 200 Вт	0,25 Вт	< 10 мВт	1 Вт; 96 Вт	10 мВт 500 мВт	500 Вт	20 Вт	20 Вт
Вторичная модуляция	2 Гц (DTX) и от 0,16 до 8,3 Гц (многокадровый)	2 Гц (DTX) и от 0,16 до 8,3 Гц (многокадровый)	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
География применения	Все страны	Все страны	Страны Европы	Страны Европы	Япония	Япония	США	Страны Европы	Страны Европы
Примечание – CT-3 рассматривается как охватываемая DECT.									

Таблица G.3 – Другие радиочастотные устройства

Параметры	Наименование системы					
	RFID	RTTT	Широкополосные системы передачи данных и радиосети HIPERLAN			Различные системы малого радиуса действия
Полоса частоты передатчика	2446 – 2454 МГц	5795 – 5815 МГц	2400 – 2483,5 МГц	5150 – 5350 МГц	5470 – 5725 МГц	2400 – 2483,5 МГц; 5725 – 5825 МГц
Тип модуляции	FHSS (при мощности более 0,5 Вт)	Нет	FHSS	Нет	Нет	Нет
Максимальная эффективная излучаемая мощность	a) 500 мВт b) 4 Вт	2 или 8 Вт	100 мВт и спектральная плотность мощности ограничена	200 мВт (усредненное значение)	1 Вт (усредненное значение)	10 мВт; 25 мВт
Рабочий цикл (скважность)	a) до 100 %; b) менее 15 % при периодическом повторении 200 мс	Не ограничен	Не ограничен	Не ограничен	Не ограничен	Не ограничен
Разнос каналов	Нет	5 или 10 МГц в пределах некоторых частотных диапазонов	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
География применения	Все страны	Все страны	Все страны	Все страны	Все страны	Все страны

Приложение H
(обязательное)

Альтернативный метод облучения для частот свыше 1 ГГц (метод независимых окон)

H.1 Введение

При испытаниях на частотах свыше 1 ГГц с применением метода независимых окон (например, в полосе частот цифровых телефонов) испытательное расстояние должно составлять 1 м. Соответствие требованиям однородности испытательного поля проверяют при этом испытательном расстоянии.

Примечание 1 – При испытательном расстоянии 3 м и использовании антенны с узкой диаграммой направленности, а также камеры с ферритовым покрытием на частотах свыше 1 ГГц трудно обеспечить требуемую однородность поля для калиброванной плоскости размером 1,5 × 1,5 м.

Настоящий альтернативный метод для частот свыше 1 ГГц разделяет калибровочную плоскость однородного поля на окна размером 0,5 × 0,5 м так, чтобы они покрыли всю лицевую поверхность ИО (см. рисунки H.1a и H.1b). Неоднородность поля должна быть проверена независимо для каждого окна (см. рисунок H.2) с использованием процедуры указанной ниже. Излучающая антенна должна быть размещена на расстоянии 1 м от калибруемой плоскости однородного поля.

Примечание 2 – Длина и расположение кабеля менее критичны на этих высоких частотах, поэтому размер лицевой поверхности ИО является определяющим фактором для размера калибруемой плоскости однородного поля.

H.2 Калибровка электромагнитного поля

Для каждого окна выполняют следующие действия:

a) располагают датчик поля в один из четырех углов окна;

b) подают на излучающую антенну такую высокочастотную мощность, чтобы создать напряженность поля в диапазоне от 3 до 10 В/м во всем диапазоне частот с шагом 1 % от начальной частоты (и в последствии для предшествующей частоты), и регистрируют оба значения (мощности и напряженности поля);

c) при той же подводимой мощности измеряют и регистрируют напряженность поля в остальных трех углах; все четыре значения напряженности поля должны лежать в пределах диапазона от 0 до 6 дБ;

d) принимают расположение с минимальной напряженностью поля как опорное (это гарантирует выполнение требования о расположении измеренных значений в диапазоне от 0 до 6 дБ от опорного значения);

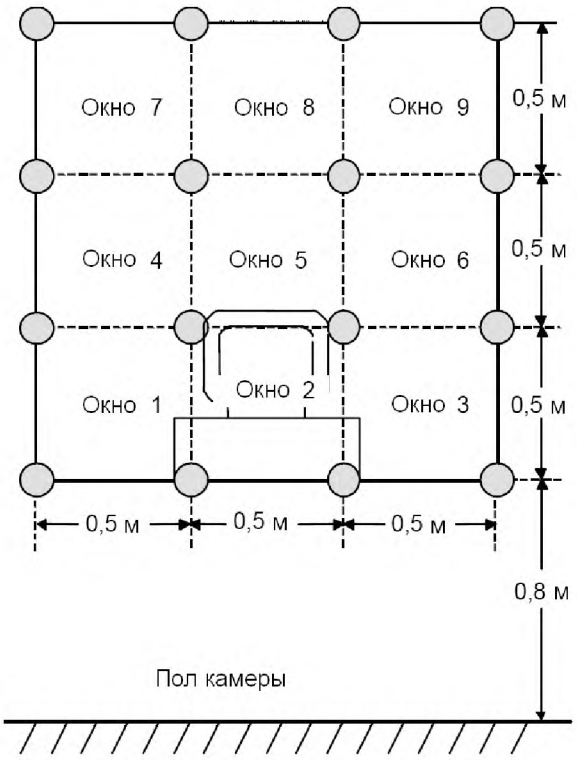
e) по известным значениям подводимой мощности и напряженности поля рассчитывают необходимую мощность для создания испытательной напряженности поля (например, если при мощности в заданной точке 80 Вт напряженность поля равна 9 В/м, то для создания напряженности поля, равной 3 В/м, необходима мощность 8,9 Вт); рассчитанное значение должно быть зафиксировано;

f) повторяют действия по перечислениям a) – e) для горизонтальной и вертикальной поляризаций расположения антенны.

Антенны и кабели, применяемые при калибровке плоскости однородного поля, должны быть использованы при испытаниях. Поэтому потери в кабелях и коэффициенты калибровки излучающих антенн не должны учитываться.

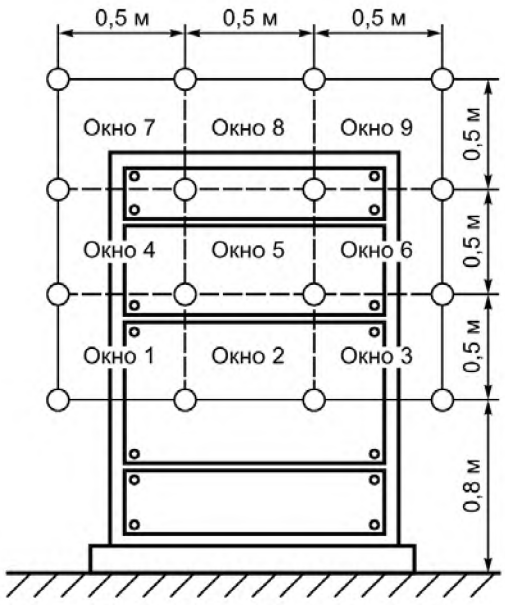
Расположения излучающих антенн и кабелей должны быть записаны как можно точнее. Те же расположения антенн и кабелей должны применяться при испытании, так как даже небольшое смещение исказит однородность поля.

В процессе испытаний на каждой частоте подводимая мощность, установленная в действии e), должна быть приложена к излучающей антенне. Испытания должны быть повторены при перемещении излучающей антенны таким образом, чтобы облучению подвергалось каждое из требуемых окон (см. рисунки H.1 и H.2).



Общее представление об окнах.
1 Разделить плоскость однородного поля на окна размером 0,5 × 0,5 м.
2 Калибровка требуется для всех окон, предназначенных для покрытия лицевой поверхности ИО и кабелей.
(в этом примере окна 1 – 3 и 5 используются для калибровки и испытаний)

Рисунок H.1a – Пример деления калиброванной плоскости однородного поля на окна размером 0,5 × 0,5 м для настольного оборудования



Общее представление об окнах.
1 Разделить плоскость однородного поля на окна размером 0,5 × 0,5 м.
2 Калибровка требуется для всех окон, предназначенных для покрытия лицевой поверхности ИО и кабелей.
(в этом примере окна 1 – 9 используются для калибровки и испытаний)

Рисунок H.1b – Пример деления калиброванной плоскости однородного поля на окна размером 0,5 × 0,5 м для напольного оборудования

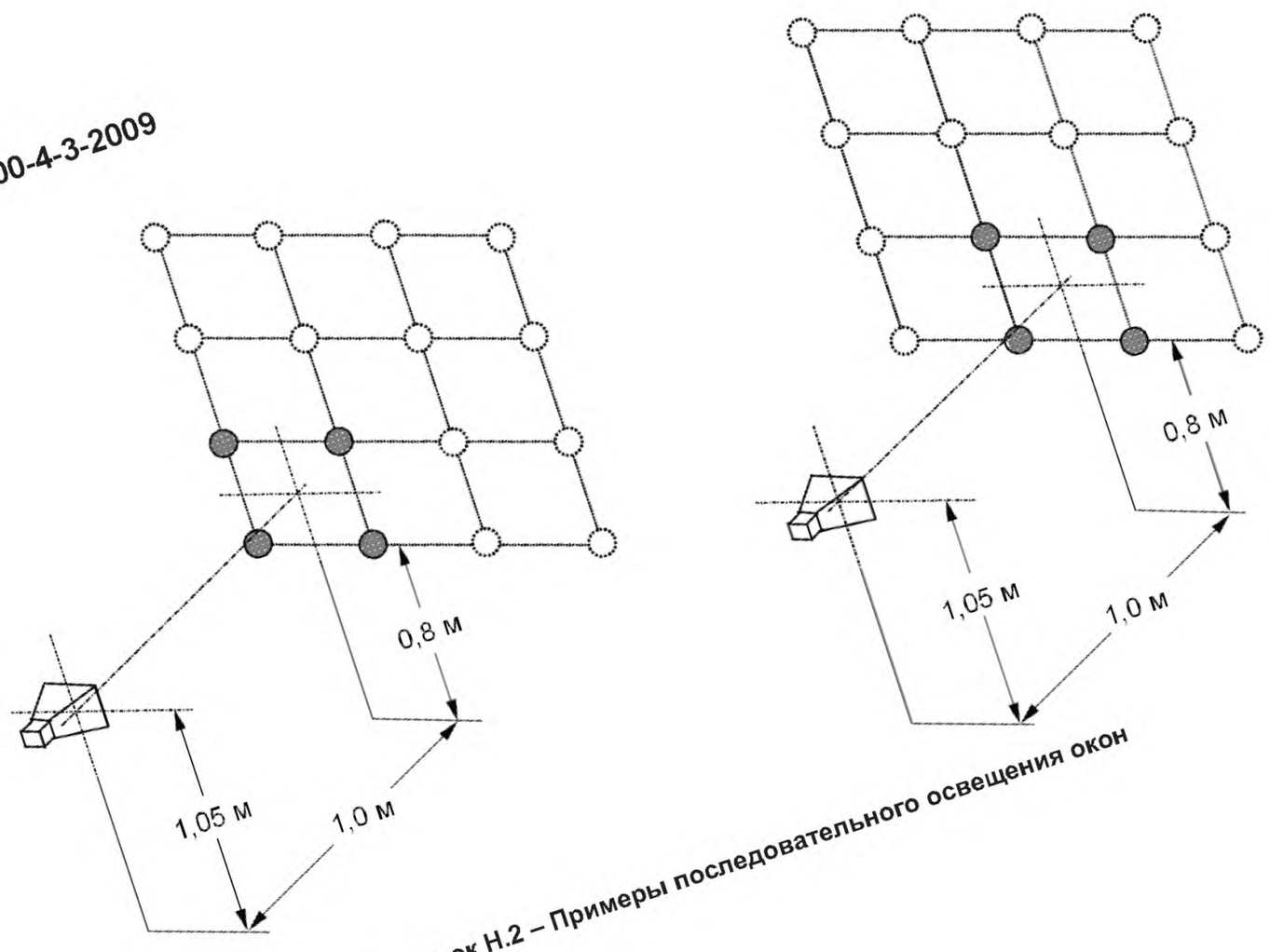


Рисунок Н.2 – Примеры последовательного освещения окон

Приложение I
(справочное)

Метод калибровки датчика электромагнитного поля

I.1 Общие представления

Датчики электромагнитного поля с широким диапазоном частот и большой динамической характеристикой чаще всего используются при проведении калибровки плоскости однородного поля в соответствии с требованиями настоящего стандарта. Среди других аспектов качество датчика электромагнитного поля напрямую влияет на бюджет неопределенности при проведении испытаний на устойчивость к электромагнитному полю.

При проведении калибровки плоскости однородного поля в соответствии с требованиями настоящего стандарта датчики в основном подвергаются воздействию электромагнитного поля с относительно низкой напряженностью, т. е. от 1 до 30 В/м. Поэтому при проведении калибровки датчика электромагнитного поля, который применяется согласно настоящему стандарту, должны приниматься во внимание требования к частотному и динамическому диапазонам.

В настоящее время результаты калибровки датчиков могут отличаться, когда датчики калибруются в различных калибровочных лабораториях. Поэтому условия и метод калибровки датчика электромагнитного поля должны быть точно определены. В настоящем приложении приведена наиболее полная информация о калибровке датчиков, которые применяются согласно настоящему стандарту.

Для частот в диапазоне от нескольких сотен мегагерц до гигагерца используют стандартные усиливающие рупорные антенны для установления стандартного электромагнитного поля внутри безэховой камеры как один из наиболее широко применяемых методов для калибровки датчиков, используемых в рамках настоящего стандарта. Однако установленный метод проверки условий испытаний для калибровки датчиков электромагнитного поля отсутствует.

При использовании данного метода различия, наблюдаемые между калибровочными лабораториями, выше неопределенностей измерений, указываемых каждой лабораторией.

Калибровки датчиков электромагнитного поля в диапазоне частот от 80 МГц до нескольких сотен мегагерц обычно проводят в ТЕМ-камерах, чтобы обеспечить хорошую воспроизводимость результата.

Поэтому это приложение направлено на улучшение процедуры калибровки датчиков при применении рупорных антенн в безэховых камерах, для которых всесторонняя процедура калибровки описана.

I.2 Требования к калибровке датчика электромагнитного поля

I.2.1 Общие положения

Процедура калибровки датчиков электромагнитного поля, предназначенных для применения при проведении калибровки плоскости однородного поля в соответствии с методикой настоящего стандарта, должна удовлетворять следующим требованиям.

I.2.2 Диапазон частот для калибровки

Как правило, диапазон частот от 80 МГц до 6 ГГц должен охватываться, но он может быть ограничен диапазоном частот, необходимым при проведении испытаний.

I.2.3 Выбор шага изменения частоты при проведении калибровки

Необходимо использовать фиксированные частоты при проведении калибровки, чтобы можно было сравнить результаты испытаний, полученные в различных калибровочных лабораториях.

В диапазоне частот от 80 МГц до 1 ГГц используют следующие частоты для калибровки датчиков электромагнитного поля (обычно с шагом изменения частоты 50 МГц): 80, 100, 150, 200, ..., 950, 1000 МГц.

В диапазоне частот от 1 ГГц до 6 ГГц используют следующие частоты для калибровки датчиков электромагнитного поля (обычно с шагом изменения частоты 200 МГц): 1000, 1200, 1400, ..., 5800, 6000 МГц.

Примечание – В случае применения датчика на частоте до 1 ГГц включительно или от 1 ГГц необходимо провести калибровку датчика на этой частоте, но нет необходимости дважды калибровать датчик на частоте 1 ГГц.

I.2.4 Напряженность электромагнитного поля

Напряженность электромагнитного поля, на которой калибруется датчик, должна основываться на напряженности электромагнитного поля, требуемой при проведении испытаний на помехоустойчивость. При калибровке плоскости однородного поля предполагается, что напряженность поля при проведении калибровки должна быть увеличена как минимум в 1,8 раза по сравнению с напряженностью поля, применяемой при проведении испытаний. Рекомендуется проводить калибровку датчика при удвоенной напряженности электромагнитного поля (см. таблицу I.1). Если датчик используется при различных уровнях напряженности поля, то он должен калиброваться при нескольких уровнях в соответствии с его линейностью по крайней мере на минимальном и максимальном уровнях (см. также I.3.2).

Примечания

1 Это также позволяет выполнить требования к усилителю мощности по критерию 1 дБ компрессии.

2 Калибровку проводят при использовании незатухающего синусоидального сигнала без модуляции.

Таблица I.1 – Уровни напряженности поля при калибровке

Уровень калибровки	Напряженность поля при калибровке, В/м
1	2
2	6
3	20
4	60
X	Y
Примечание – X – открытый уровень калибровки, и Y может быть выше или ниже любого из значений, указанных для уровней 1 – 4. Этот уровень может быть установлен в технической документации на оборудование или испытательной лабораторией.	

I.3 Требования к измерительным приборам, применяемым при калибровке

I.3.1 Гармонические составляющие сигнала и паразитные сигналы

Любые гармонические составляющие сигнала и паразитные сигналы от усилителя мощности должны быть как минимум на 20 дБ ниже уровня сигнала на основной частоте. Это требуется при всех используемых уровнях напряженности электромагнитного поля при проведении калибровки и проверке линейности. Так как содержание гармонических составляющих усилителя мощности обычно хуже при более высоких уровнях мощности, то измерение гармонических составляющих может проводиться только при калибровке максимальной напряженности поля. Измерение гармонических составляющих может проводиться с использованием анализатора спектра, который подсоединяется к выходу усилителя через аттенюатор или направленный ответвитель.

Примечание 1 – Антенна может оказывать дополнительное влияние на содержание гармонических составляющих и проверяется отдельно при необходимости.

Калибровочные лаборатории должны проводить измерения для подтверждения того, что гармонические составляющие сигнала и/или паразитные сигналы от усилителя мощности удовлетворяют требованиям для всех измерительных установок. Это может быть сделано при подключении анализатора спектра к порту 3 направленного ответвителя (сенсор измерителя мощности заменяется входом анализатора спектра, см. рисунок I.2).

Примечание 2 – Необходимо гарантировать, что уровень мощности не превышает максимально допустимую мощность для входа анализатора спектра. Допускается использовать аттенюатор.

Полоса частот анализатора спектра должна охватывать как минимум третью гармоническую составляющую проверяемой частоты. Измерения проводят при уровне мощности, который генерируется при самой высокой требуемой напряженности электромагнитного поля.

Для улучшения спектральных характеристик усилителя (ей) мощности могут использоваться фильтры для подавления гармонических составляющих (см. приложение D).

I.3.2 Проверка линейности амплитудно-частотной характеристики датчика

Линейность амплитудно-частотной характеристики датчика, который используется для проверки безэховой камеры в соответствии с I.4.2.5, должна составлять ±0,5 дБ от идеальной линейной характеристики в требуемом динамическом диапазоне (см. рисунок I.1). Линейность должна быть подтвер-

ждена для всего необходимого диапазона регулировок, если датчик имеет несколько диапазонов или регулировок усиления.

Линейность датчика не должна существенно изменяться с частотой. Проверка линейности может проводиться на фиксированной частоте, близкой к центральной области требуемого диапазона частот, где частотная характеристика датчика относительно равномерна. Выбранная фиксированная частота регистрируется в протоколе калибровки.

Напряженность электромагнитного поля, для которого определяется линейность датчика, должна находиться в пределах от минус 6 до 6 дБ по отношению к напряженности поля, которая используется при проведении проверки безэховой камеры, с достаточно малым шагом, например 1 дБ. Пример выбора уровней напряженности поля, которые проверяются при применении напряженности поля 20 В/м, приведен в таблице I.2.

Таблица I.2 – Пример проверки линейности датчика электромагнитного поля

Уровень сигнала, дБ	Напряженность поля при калибровке, В/м
–6,0	13,2
–5,0	14,4
–4,0	14,8
–3,0	15,2
–2,0	16,3
–1,0	18,0
0	20,0
1,0	22,2
2,0	24,7
3,0	27,4
4,0	30,5
5,0	34,0
6,0	38,0

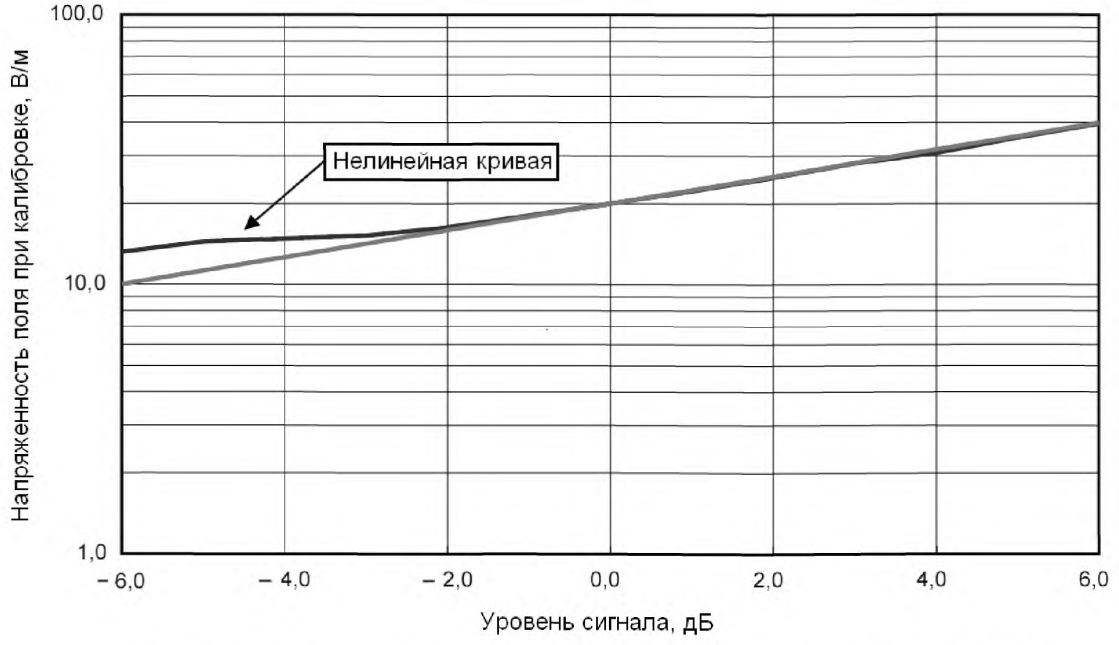


Рисунок I.1 – Пример линейности амплитудно-частотной характеристики датчика

I.3.3 Определение коэффициента усиления стандартной рупорной антенны

В дальней зоне коэффициент усиления стандартной пирамидальной рупорной антенны может быть определен довольно точно (с неопределенностью менее 0,1 дБ, как указано в [1] [1)]). Усиление в дальней зоне обычно проверяется на расстоянии более чем $8D^2/\lambda$ (где D – максимальный размер апертуры и λ – длина волны). Калибровка датчиков электромагнитного поля на таких расстояниях не может быть выполнена практически, так как потребуются большие безэховые камеры и усилитель с большой мощностью. Датчики поля обычно калибруются в области ближнего поля передающей антенны. Усиление в ближней зоне для стандартной усиливающей рупорной антенны определяется при использовании формул, приведенных в [2]. Рассчитываемое усиление основывается на физических размерах стандартной пирамидальной рупорной антенны при условии квадратичного фазового распределения на апертуре рупора. Усиление, определенное по этому методу, не отвечает требованиям при проверке коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) для безэховой камеры и последующей калибровки датчика.

Формулы (как указано в [2]) выведены с использованием апертурной интеграции при условии, что на апертуре рупорной антенны не возникают отражения и что набегающее на апертуру поле является поперечной электрической волной типа TE_{10}, но с квадратическим фазовым распределением по апертуре. Некоторые аппроксимации применялись при интеграции для получения окончательного результата. Другие эффекты, такие как многократные отражения от граней рупора и колебания более высокого порядка на апертуре, не учитываются. В зависимости от частоты и конструкции рупора общая ошибка составляет около ±0,5 дБ, но может быть больше.

Для улучшения точности может быть применен численный метод с использованием интегрирования полной волны. Например, неопределенности в расчете усиления по численному методу могут быть уменьшены до значения менее 5 % [3].

Усиление рупорной антенны также может определяться экспериментально. Например, усиление можно определить на уменьшенных расстояниях по методу трех антенн, применяя метод экстраполяции, как указано в [4], или при некоторых вариациях этого метода.

При проведении калибровки рекомендуется, чтобы расстояние между рупорной антенной и испытуемым датчиком было не менее $0{,}5D^2/\lambda$. Значительные неопределенности в определении усиления могут быть результатом более близких расстояний. Стоячие волны между антенной и датчиком также могут быть значительными на более близких расстояниях, которые приведут к значительным неопределенностям измерений при калибровке.

I.4 Проведение калибровки датчика электромагнитного поля в безэховых камерах

I.4.1 Условия окружающей среды при проведении калибровки

Калибровка датчика должна проводиться в полностью безэховой камере или в полубезэховой камере при размещении на плоскости заземления радиопоглотителей, которые удовлетворяют требованиям I.4.2.

При использовании полностью безэховой камеры рекомендуется проводить калибровку датчика при минимальном рабочем объеме полностью безэховой камеры длиной 5 м, шириной 3 м и высотой 3 м.

Примечание 1 – Для частот свыше нескольких сотен мегагерц одним из наиболее широко применяемых методов калибровки датчиков поля по настоящему стандарту является применение стандартных усиливающих рупорных антенн для установки стандартного поля внутри безэховой камеры. На более низких частотах, от 80 МГц до нескольких сотен мегагерц, использование безэховой камеры может быть непрактично. По этой причине датчик поля может быть откалиброван на другом оборудовании, также применяемом при проведении испытаний на помехоустойчивость к электромагнитным полям. Поэтому ТЕМ-камеры и аналогичные им установки включены в настоящее приложение как альтернативные условия калибровки на более низких частотах.

Система и условия, используемые при калибровке датчика, должны удовлетворять нижеследующим требованиям.

Примечание 2 – Электрическое поле может также устанавливаться с использованием перемещаемого датчика (см. I.5.4).

[1)] Цифра в квадратных скобках относится к ссылочным документам в разделе I.6.

I.4.2 Проверка безэховых камер для калибровки датчика электромагнитного поля

Предполагают, что измерения при калибровке датчика проводятся в условиях свободного пространства. Применяемая для калибровки датчика безэховая камера должна проверяться по параметрам КСВН для определения ее пригодности к последующей калибровке датчика. Метод проверки зависит от характеристик камеры и радиопоглощающего материала.

Каждый датчик имеет специфический объем и физические размеры, например батарейный отсек и/или схемную печатную плату. Другие методики калибровки устанавливают, что сферическая диаграмма направленности антенны имеет участки с низкой чувствительностью приема. Особые требования настоящего приложения сконцентрированы на проверке КСВН для испытательных точек, размещенных на оси главного лепестка диаграммы направленности антенны.

Влияние дополнительных приспособлений на результаты калибровки (таких как приспособления для удержания датчика, которые могут подвергаться воздействию электромагнитных полей) не может быть оценено полностью. Поэтому рекомендуется проведение отдельных испытаний для проверки влияния приспособлений на результаты калибровки.

I.4.2.1 Измерение полезной мощности, подводимой на излучающее устройство, с использованием направленных ответвителей

Полезная мощность на выходе передающего устройства может быть измерена с помощью двунаправленного ответвителя или с помощью двух ответвителей с тремя разъемами, подключенных последовательно (образуя так называемый двунаправленный ответвитель). Общая установка, использующая двунаправленный ответвитель для измерения полезной мощности на выходе передающего устройства, показана на рисунке I.2.

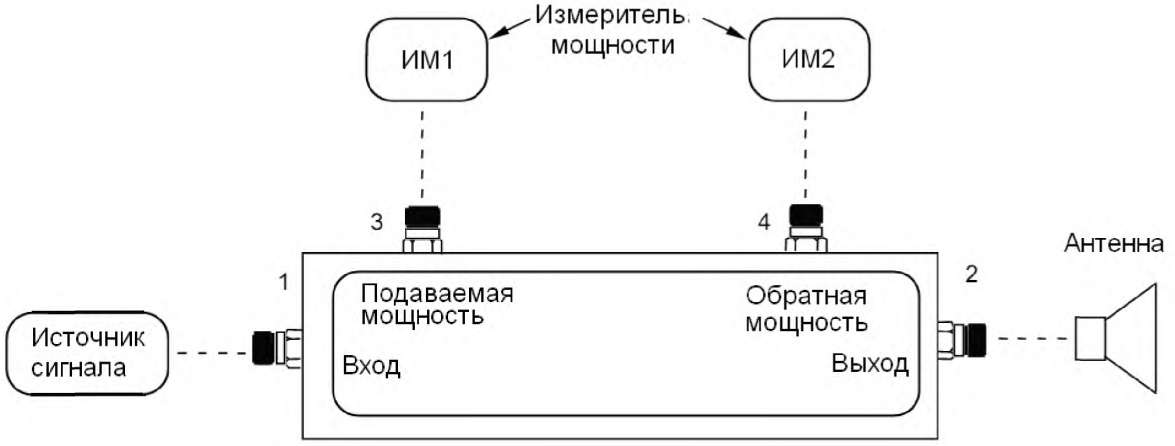


Рисунок I.2 – Установка для измерения полезной мощности на выходе передающего устройства

Коэффициенты связи для подаваемой мощности C_{fwd}, обратной мощности C_{rev} и передаваемой мощности C_{trans} определяются по следующим формулам при условии, что каждый порт подключен к согласованной нагрузке и к согласованному источнику сигнала:

$$C_{fwd} = \frac{P_3}{P_1},$$

$$C_{rev} = \frac{P_4}{P_2},$$

$$C_{trans} = \frac{P_2}{P_1},$$

где P_1, P_2, P_3, P_4 – соответствующие значения мощности на каждом из портов направленного ответвителя.

Полезная мощность, подаваемая на передающее устройство, определяется по формуле

$$P_{net} = \frac{C_{trans}}{C_{fwd}} PM_1 - \frac{PM_2}{C_{rev}},$$

где PM_1 и PM_2 – значения мощности, измеренные соответствующими измерителями с линейной характеристикой.

В случае, если КСВН антенны известен, можно использовать один ответвитель с тремя разъемами. Например, если КСВН антенны равен 1,5, то это соответствует коэффициенту отражения по напряжению, равному 0,2.

Точность зависит от направленности ответвителя. Направленность характеризует способность ответвителя разделять подаваемый и обратный сигналы. Для хорошо согласованных передающих устройств обратная мощность намного меньше подаваемой. Поэтому эффект направленности менее важен, чем отражательная способность. Например, когда КСВН передающей антенны равен 1,5, а направленность ответвителя составляет 20 дБ, тогда абсолютная максимальная неопределенность полезной мощности вследствие ограничения направленности составит 0,22 – 0,18 = 0,04 дБ с U-образным вероятностным распределением, где 0,22 дБ – это потери кажущейся случайной мощности при КСВН, равном 1,5.

Полезная мощность, подаваемая на передающее устройство, определяется по формуле

$$P_{net} = C_{fwd} PM_1 (1 - VRC^2).$$

I.4.2.2 Установление стандартного электромагнитного поля при использовании рупорных антенн

Усиление рупорной антенны определяется с учетом рекомендаций, приведенных в I.3.3. Значение напряженности электрического поля по направления главного лепестка *E,* В/м, определяется по формуле

$$E = \sqrt{\frac{\eta_0 P_{net} g}{4\pi}} \frac{1}{d},$$

где η_0 = 377 Ом для свободного пространства;

P_{net} – полезная мощность, определенная методом, приведенным в I.4.2.1, Вт;

g – значение усиления антенны, определенное в I.3.3;

d – расстояние от раскрыва антенны до датчика поля, м.

I.4.2.3 Диапазон испытательных частот и шаг изменения частоты при проверке камеры

Испытание на КСВН камеры должно охватывать полосу частот, в которой проводится калибровка датчика с применением такого же шага частоты, как указано в I.2.3.

Проверка КСВН должна проводиться на самой низкой и самой высокой рабочей частоте каждой антенны. В случае применения радиопоглотителей с узким диапазоном, например ферритов, измерения необходимо провести для большего количества фиксированных частот. Камера должна использоваться для калибровки датчиков только в том диапазоне частот, в котором выполняются требования по критерию КСВН.

I.4.2.4 Процедура проверки камеры

Камера, применяемая для калибровки, должна проверяться по следующей методике, за исключением случаев, когда камеру нельзя использовать из-за ее физических параметров. В таких случаях применяется альтернативный метод, приведенный в I.4.2.7.

Датчик поля должен размещаться в измерительном положении, с использованием подставки из материала с низкой диэлектрической постоянной (например, вспененного стирола) в соответствии с рисунками I.3 и I.4.

Датчик поля размещается в том месте, где он будет применяться при калибровке. Его поляризация и положение в направлении электрической оси передающей рупорной антенны будут изменяться для определения КСВН камеры. Как при испытаниях на КСВН, так и при калибровке датчика должна применяться одна и та же передающая антенна.

Расположение стандартной усиливающей рупорной антенны и датчика внутри камеры показано на рисунке I.3. Датчик и рупорная антенна должны быть установлены на одной горизонтальной осевой линии на расстоянии L, измеренном от передней грани антенны до центра датчика.

В каждом случае датчик поля должен быть расположен в направлении центра раскрыва рупорной антенны.

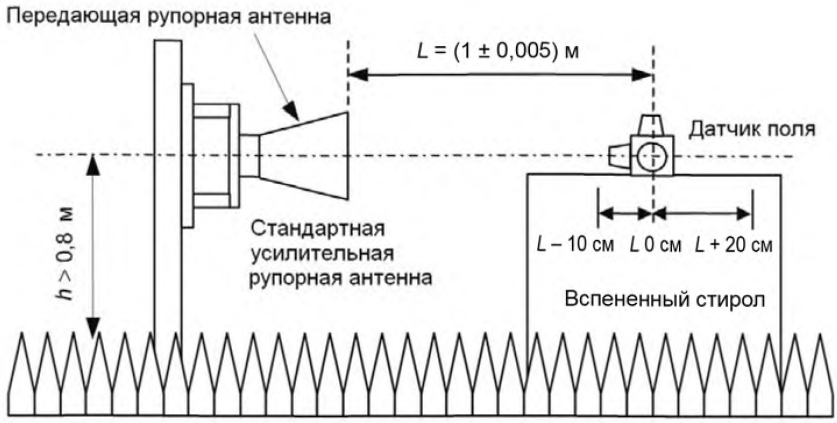


Рисунок I.3 – Испытательная установка для проведения проверки камеры

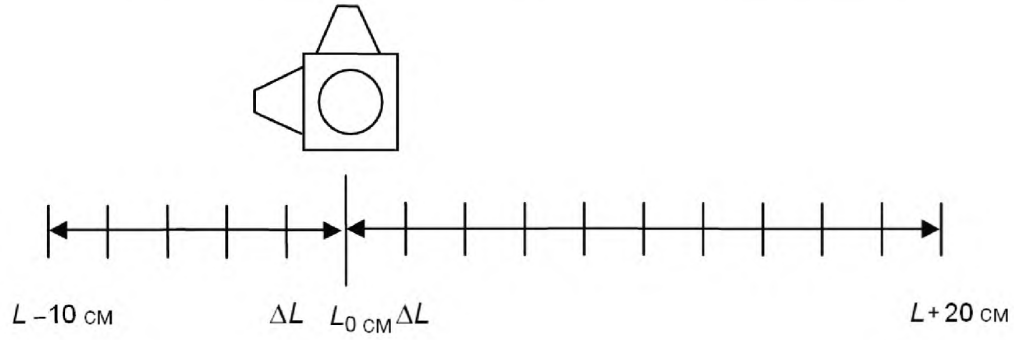


Рисунок I.4 – Позиция датчика при определении КСВН камеры при изменении с шагом ΔL

Испытательная установка показана на рисунках I.3 и I.4, где расстояние от L – 10 см до L + 20 см представляет собой расстояние при калибровке, измеренное от лицевой поверхности рупорной антенны до центра датчика поля. $L_{0\ см}$ – нулевая позиция.

Позиции должны устанавливаться с шагом ΔL = 2 см в следующие положения: L – 10 см, L – 8 см, L – 6 см, …, L_0, L + 2 см, L + 4 см, …, L + 20 см.

Если датчик поля расположен в ближнем поле передающей рупорной антенны (на расстоянии менее $2D^2/\lambda$, где D – максимальный размер антенны и λ – длина волны в свободном пространстве), то усиление передающей антенны является непостоянным и должно определяться для каждой позиции.

Постоянная мощность, создающая определенную напряженность поля (например, 20 В/м) на расстоянии 1 м, применяется для всех позиций датчика. Регистрируют данные для всех позиций и на всех частотах при вертикальной поляризации передающей антенны и датчика поля. Повторяют измерения при горизонтальной поляризации передающей антенны и датчика поля.

Все полученные данные должны удовлетворять требованиям, установленным в I.4.2.5.

I.4.2.5 Критерий принятия коэффициента стоячей волны по напряжению

Результаты измерения КСВН должны сравниваться при использовании следующей методики. Для этого проводят расчет напряженности поля по I.4.2.2.

а) Расчет напряженности поля.

Напряженность электрического поля в пространстве между расстояниями 90 и 120 см рассчитывается с шагом 2 см для каждой частоты.

Этот расчет основывается на значении напряженности электрического поля на расстоянии 1 м, которое используется при проверке.

b) Корректировка данных.

Данные корректируются по следующей методике: так как датчик, используемый для измерения КСВН, может не показать при измерении значение напряженности поля, равное расчетному:

– индицируемое датчиком значение напряженности электрического поля на расстоянии 1 м должно быть скорректировано к расчетному положению для расстояния 1 м. Полученная разница между показаниями датчика и расчетной напряженностью поля применяется как корректирующее значение k для всех данных на расстоянии 90 и 120 см.

Например, сравнивается значение датчика V_{mv} (например, 21 В/м) с расчетным значением V_{cv} (например, 20 В/м) на расстоянии 1 м. В этом случае корректирующее значение k составит $V_{cv} - V_{mv} = -1$ В/м;

– корректирующее значение k должно быть прибавлено к данным, полученным при измерительных позициях от 90 до 120 см;

– одинаковый расчет должен применяться для всех измеренных значений на всех частотах измерений. В приведенном выше примере $k = -1$ В/м. Поэтому $k = -1$ прибавляется ко всем измеренным значениям данных датчика.

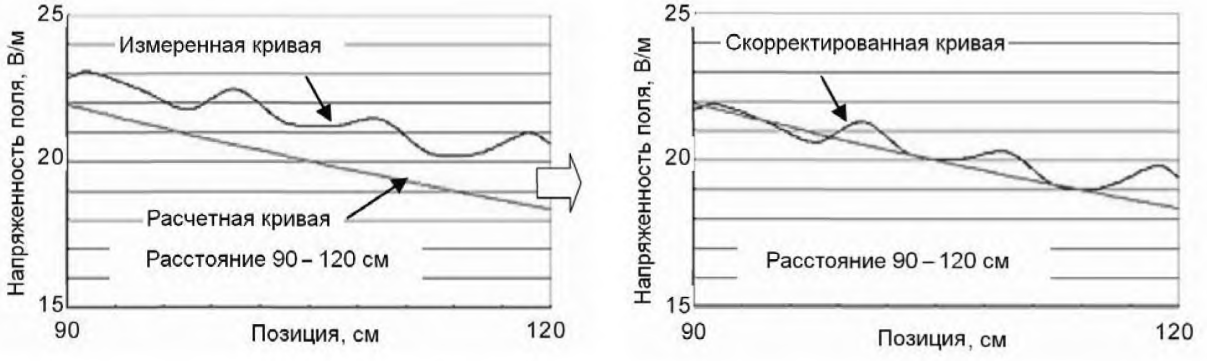


Рисунок I.5 – Пример коррекции данных

c) Сравнение измеренных и расчетных данных.

Если разница между данными расчетной и измеренной кривых превышает ±0,5 дБ в любой измерительной позиции, то камера не должна использоваться для калибровки датчика.

Примечание – Критерий 0,5 дБ устанавливается в соответствии с бюджетом неопределенности измерений и проверяется в нескольких существующих камерах, которые подходят для калибровки датчика поля (включая как минимум один национальный метрологический институт, проводящий калибровку оборудования). Это является только одной составляющей общей неопределенности.

Некоторые датчики поля имеют металлический корпус или стойку, а также батареи или схему. Эти блоки могут создавать ошибки из-за отражения на определенных расстояниях и частотах. Когда используются такие датчики, влияние отражений должно быть сведено к минимуму, например, путем вращения датчика или изменения его ориентации.

I.4.2.6 Проверка держателя датчика электромагнитного поля

Держатель датчика может создавать отражения электромагнитных полей при проведении калибровки. Поэтому влияние держателя на результаты калибровки должно проверяться заранее.

Методика, приведенная в настоящем подразделе, подходит для любых новых используемых держателей.

Порядок проведения проверки:

a) датчик размещают на эталонной подставке, изготовленной из материала с относительной диэлектрической постоянной менее 1,2 и тангенсом диэлектрических потерь менее 0,005. Размещение датчика должно быть таким же, как и при калибровке. Эталонный держатель должен иметь минимально возможные размеры. Любые другие поддерживающие структуры не должны влиять на измерения, насколько это возможно, и находиться на расстоянии не менее 50 см от датчика. Необходимо избегать размещения поддерживающих структур спереди (между антенной и датчиком) и сзади датчика;

b) генерируют стандартное поле, которое находится в пределах динамического диапазона датчика в позиции при калибровке;

c) регистрируют данные датчика для всех частот калибровки. При необходимости вращают или изменяют положение датчика для всех позиций при калибровке (для трехкоординатных изотропных датчиков поля каждая координата должна проверяться отдельно), повторяют шаги по перечислениям a) и b). Регистрируют показания пробника для всех ориентаций;

d) удаляют эталонный держатель и заменяют его калибруемым держателем, который необходимо проверить. Повторяют шаги по перечислениям b) и c);

e) сравнивают результаты шагов по перечислениям c) и d). Разница между измерением этих двух держателей при одинаковой ориентации датчика должна быть менее ±0,5 дБ.

I.4.2.7 Альтернативная методика проверки безэховой камеры

Данная альтернативная методика проверки безэховой камеры применяется, когда методика проверки безэховой камеры, приведенная в I.4.2.4, не может быть применена.

Датчик поля устанавливают в позицию, в которой он будет применяться при калибровке. Его поляризация и позиция по отношению к передающей рупорной антенне будет изменяться для определения КСВН камеры. Как при испытаниях на КСВН, так и при калибровке датчика должна применяться одна и та же передающая антенна.

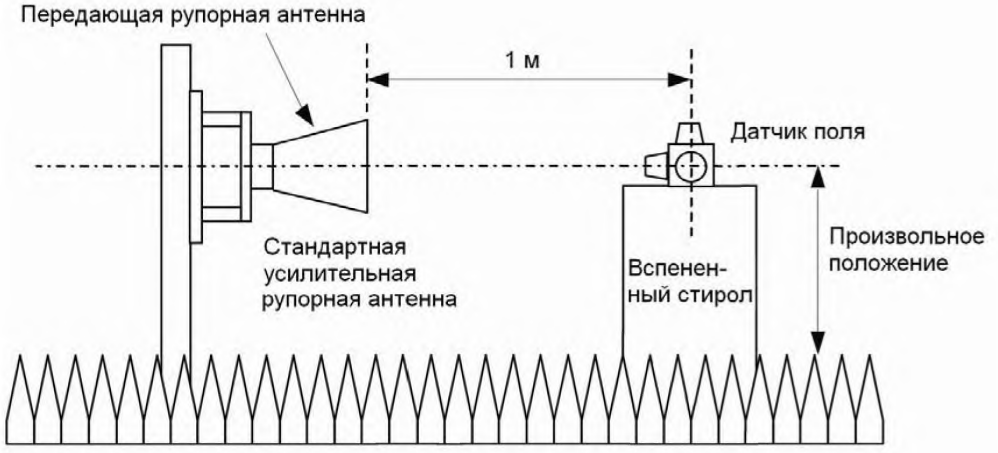


Рисунок I.6 – Пример расположения антенны и датчика

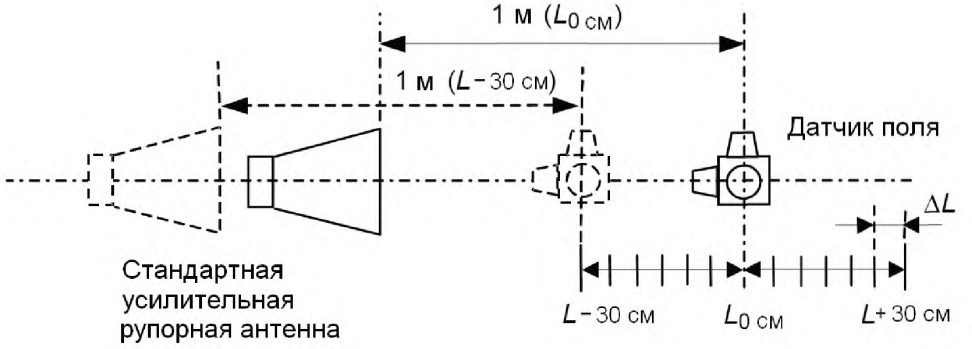


Рисунок I.7 – Расположение передающей антенны и датчика поля при проведении проверки камеры

Расположение передающей антенны и датчика поля показано на рисунках I.6 и I.7, при этом расстояние, измеренное от лицевой поверхности рупорной антенны до центра датчика поля, должно составлять 1 м на протяжении всего измерения.

Для уменьшения влияния на результаты измерения желательно использовать материал с низкой диэлектрической постоянной для держателя датчика. Держатель, используемый при калибровке, должен оцениваться отдельно (см. I.4.2.6).

Позиции должны устанавливаться с шагом ΔL = 5 см в следующие положения: L – 30 см, L – 25 см, L – 20 см, …, L_0, L + 5 см, L + 10 см, …, L + 30 см.

Постоянный уровень поля (например, 20 В/м) генерируется во всех позициях. Генерируемая напряженность поля должна находиться в пределах динамического диапазона датчика поля. Регистрируют показания датчика поля для всех позиций на всех частотах при вертикальной поляризации передающей антенны и датчика поля. Повторяют измерения при горизонтальной поляризации передающей антенны и датчика поля.

Получают 26 независимых показаний датчика (по 13 позиций при двух поляризациях) для каждой частоты. Максимальный разброс показаний датчика не должен превышать ±0,5 дБ на каждой частоте.

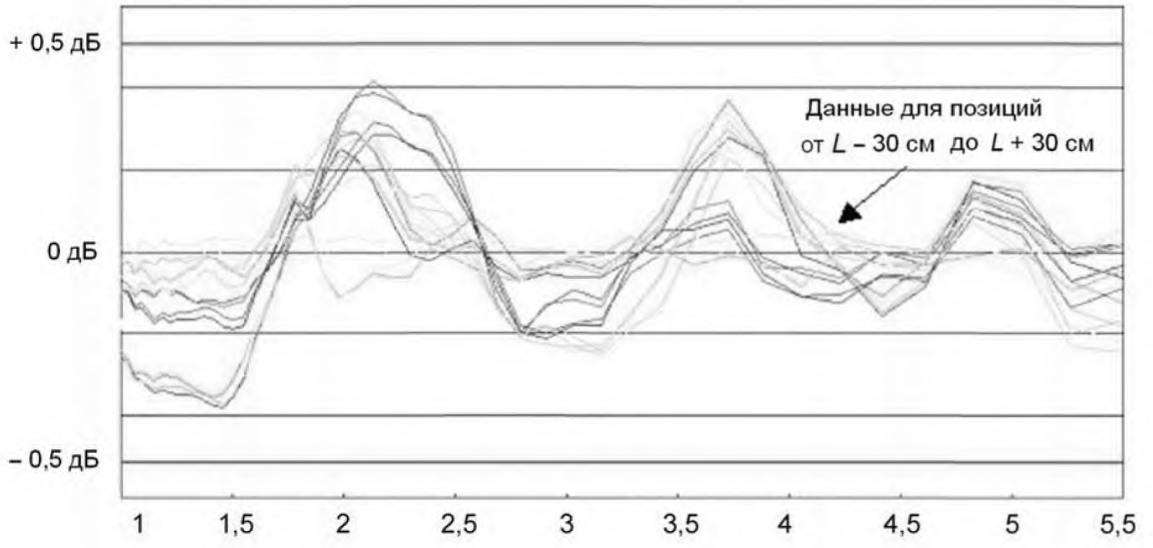


Рисунок I.8 – Пример данных альтернативной проверки камеры

I.4.3 Методика калибровки датчика

Многие современные датчики имеют внутренние корректирующие коэффициенты для обеспечения линейности характеристики. Калибровочные лаборатории могут регулировать значения корректирующих коэффициентов при проведении калибровки для обеспечения отклонения не более ±0,5 дБ от идеальной характеристики. Если такая регулировка производилась, то калибровочная лаборатория должна составить отчет о характеристике датчика до и после регулирования.

Линейность датчика должна проверяться при калибровке. Влияние линейности на калибровочную систему описано в I.3.2.

Примечание – Все нелинейности должны быть компенсированы пользователем при проведении калибровки плоскости однородного поля, если невозможно отрегулировать датчик.

Измерительная система и условия окружающей среды должны соответствовать требованиям раздела I.4 при калибровке датчика.

I.4.3.1 Испытательная установка

Держатель, который не в полной мере удовлетворяет требованиям I.4.2.6, может создать значительную неопределенность измерений. Поэтому должна проводиться проверка держателя датчика по I.4.2.6.

Калибровка датчика поля должна проводиться в соответствии с указаниями пользователя или изготовителя, касающимися ориентации пробника. Эта ориентация должна использоваться в испытательной лаборатории для ограничения эффекта изотропии. Если изготовитель не определил ориентацию датчика в технической документации, то калибровка должна проводиться при ориентации датчика, как при нормальной эксплуатации, или в соответствии с ориентацией, определенной испыта-

тельной лабораторией, при которой датчик будет использоваться в дальнейшем. В любом случае протокол калибровки должен содержать данные об ориентации датчика, при которой проводилась калибровка.

Пример расположения датчика поля и передающей антенны рупорной показан на рисунках I.9 и I.10.

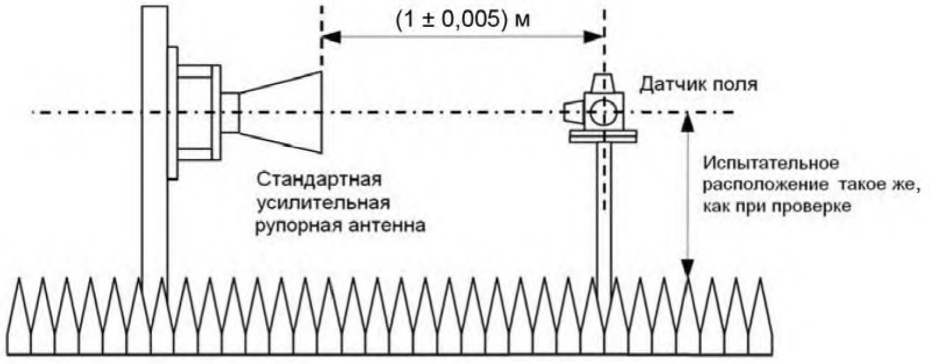


Рисунок I.9 – Расположение датчика поля при калибровке

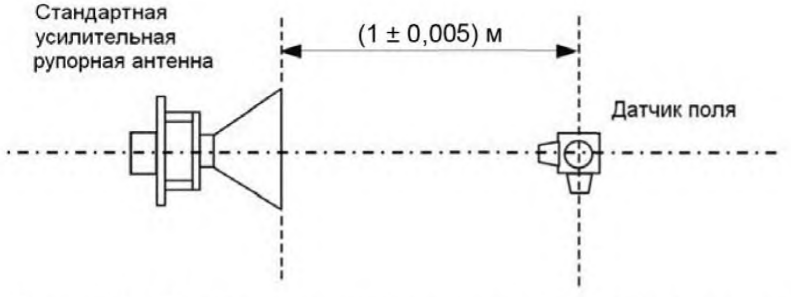


Рисунок I.10 – Расположение датчика поля при калибровке (вид сверху)

I.4.3.2 Протокол калибровки

Результаты измерений, полученные с учетом требований I.4.3.1, должны быть зафиксированы в протоколе калибровки.

Протокол калибровки должен содержать как минимум следующую информацию:

a) условия окружающей среды при проведении калибровки;
b) изготовитель датчика;
c) обозначение типа датчика;
d) серийный номер;
e) дату калибровки;
f) температуру и относительную влажность;
g) подробные данные калибровки:
   – частоту;
   – применяемую напряженность поля, В/м;
   – показания датчика, В/м;
   – ориентацию датчика;
h) неопределенность измерений.

Примечание – В [2] приведены некоторые указания относительно неопределенности измерений при калибровке датчика.

I.5 Альтернативные окружающие условия и методы калибровки датчика электромагнитного поля

Настоящий раздел устанавливает требования к окружающим условиям для альтернативных калибровочных площадок, например необходимых для калибровки в диапазоне низких частот.

Калибровка может проводиться в окружающих условиях, отличных от окружающих условий при проведении испытаний, установленных в настоящем стандарте. В отличие от испытуемого оборудования датчики поля, как правило, имеют небольшие размеры и не оснащены соединительными кабелями.

I.5.1 Калибровка датчика электромагнитного поля при использовании ТЕМ-камер

Прямоугольная ТЕМ-камера может использоваться для установки стандартных полей для калибровки датчика. Верхняя рабочая частота ТЕМ-камеры определяется по методу, приведенному в IEC 61000-4-20 (пункт 5.1). Верхняя рабочая частота ТЕМ-камеры обычно составляет несколько сотен мегагерц. Поле в центре ТЕМ-камеры между перегородкой и верхней или нижней пластиной рассчитывается по формуле

$$E = \frac{\sqrt{Z_0 P_{net}}}{h},$$

где E – напряженность электромагнитного поля, В/м;

Z_0 – полное сопротивление ТЕМ-камеры (как правило, 50 Ом);

P_{net} – полезная мощность, которая определяется в соответствии с I.4.2.1, Вт;

h – расстояние между перегородкой и верхней или нижней пластиной, м.

Для минимизации неопределенности измерений КСВН ТЕМ-камеры должен оставаться небольшим, например менее 1,3.

При калибровке должен применяться альтернативный метод измерения P_{net}. Аттенюатор с низким КСВН и измеритель мощности подключаются к выходному разъему ТЕМ-камеры.

I.5.2 Калибровка датчика электромагнитного поля при использовании волноводных камер

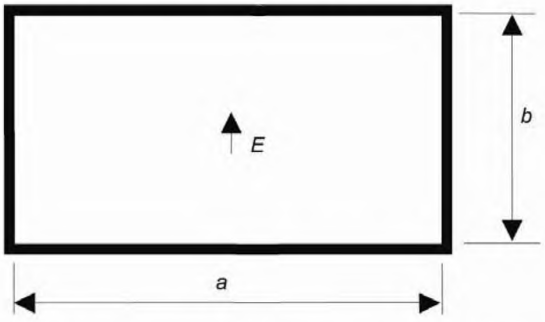


Рисунок I.11 – Вид поперечного сечения волноводной камеры

Калибровочная лаборатория должна гарантировать, что волноводная камера работает в преобладающем типе колебаний TE_{10}. Частоты более высокого порядка, которые могут возбуждаться, должны быть подавлены. Изготовители волноводных камер обычно определяют диапазон частот, в котором могут существовать только колебания преобладающего типа. Это также можно определить исходя из размеров камеры. Для датчиков с типичными размерами использование волноводных камер ограничивается приблизительно диапазоном частот 300 – 1000 МГц.

Для волноводной камеры с внутренними размерами ($a \times b$) м при $a > b$ граничная частота преобладающего типа колебаний TE_{10} определяется по формуле

$$(f_c)_{10} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\varepsilon}},$$

где μ и ε – проницаемость и диэлектрическая постоянная волноводной среды. Для волноводов с воздушным наполнением $\mu = \mu_0 = 400\pi$ нГн/м и $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8{,}854$ пФ/м. Граничная частота для волноводных камер, наполненных воздухом, составит

$$(f_c)_{10} = \frac{150}{a} \text{ МГц}.$$

Среднеквадратическое значение электрического поля в центре волновода определяют по формуле

$$E = \sqrt{\frac{2\eta_0 P_{net}}{ab\sqrt{1-((f_c)_{10}/f)^2}}},$$

где E – напряженность электрического поля, В/м;

f – рабочая частота, МГц;

η_0 = 377 Ом для волноводов с воздушным заполнением;

P_{net} – полезная мощность, подаваемая в волновод, Вт, определенная методом, приведенным в I.4.2.1.

Следует иметь ввиду, что поле внутри волноводной камеры не является TEM-волной и наибольшее значение поля находится в центре волновода (поле имеет синусоидальное распределение и стремится к нулю на стенках волновода). Рекомендуется проводить калибровку при размещении датчика в центре волновода, где поле имеет меньшие изменения (наиболее однородно), чем в других положениях. Дополнительная информация о волноводах, включая расчет граничных частот для других режимов, приведена в [5].

I.5.3 Калибровка датчика поля при использовании волноводов с открытым концом

Аналитическое и эмпирическое решения для усиления ближнего поля волноводов с открытым концом приведены в [6]. Так как простое теоретическое решение для усиления ближнего поля волноводов с открытым концом невозможно, то усиление ближнего поля волноводов с открытым концом должно определяться либо по методикам расчета полного колебания, либо по методикам измерения, приведенным в [4].

После однократного определения усиления ближнего поля волноводов с открытым концом калибровка должна проводиться по методике, приведенной в I.4.3.

I.5.4 Калибровка датчика поля методом переноса усиления

Для установления эталонных полей, создаваемых устройством, генерирующим поле (рабочим эталонным устройством), может использоваться перемещаемый датчик. Характеристика перемещаемого датчика может либо определяться из теоретических расчетов (для дипольных датчиков), либо путем проведения калибровки в соответствии с методами, приведенными в I.5.1 и I.5.2. Перемещаемый датчик может применяться для переноса рабочего эталонного поля, создаваемого гигагерцевой TEM-камерой. Распределение поля в рабочем эталонном устройстве должно измеряться с помощью перемещаемого датчика, т. е. необходимо измерить поле в достаточно большом количестве положений для доказательства однородности поля в испытательном объеме. Если параметры рабочего эталонного устройства известны, то калибровка датчика может проводиться на других уровнях мощности при обеспечении условия линейности рабочего эталонного устройства. Калибруемый датчик должен располагаться в тех же положениях, что и перемещаемый датчик.

Метод переноса является точным при выполнении следующих условий:

– установка не изменяется между измерениями переносного и калибруемого датчика;

– положение датчика при измерении воспроизводится;

– передаваемая мощность поддерживается одинаковой;

– испытываемый датчик является аналогичным переносному датчику по конструкции (размер и конструкция элементов);

– кабели, подключаемые к головке сенсора, и показание прибора не создают помех и не искажают поле;

– устройство рабочего стандарта является в значительной степени безэховым.

В [7] и [8] приводится более полная информация об этих методах.

I.6 Ссылочные документы

[1] STUBENRAUCH, C., NEWELL, C. A. C., REPJAR, A. C. A., MacREYNOLDS, K., TAMURA D. T., LARSON, F. H. LEMANCZYK, J., BEHE, R., PORTIER, G., ZEHREN, J. C., HOLLMANN, H., HUNTER, J.D., GENTLE, D. G., and De VREEDE, J. P. M. International Intercomparison of Horn Gain at X-band. IEEE Trans. On Antennas and Propagation, October 1996, Vol. 44, No. 10
(Международное сличение рупорных усилительных антенн X-диапазона)

[2] IEEE 1309, Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz
(Калибровка сенсоров и датчиков электромагнитного поля, за исключением антенн, от 9 кГц до 40 ГГц)

[3] KANDA, M. and KAWALKO, S. Near-zone gain of 500 MHz to 2.6 GHz rectangular standard pyramidal horns. IEEE Trans. On EMC, 1999, Vol. 41, No. 2
(Усиление в ближней зоне в полосе частот от 500 МГц до 2,6 ГГц для стандартной пирамидальной рупорной антенны с прямоугольным сечением)

[4] NEWELL, Allen C., BAIRD, Ramon C. and Wacker, Paul F. Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduced distances by extrapolation technique. IEEE Trans. On Antennas and Propagation, July 1973, Vol. AP-21, No. 4
(Точное измерение усиления и поляризации антенны на уменьшенном расстоянии методом экстраполяции)

[5] BALANIS, C. A. Advanced Engineering Electromagnetic. John Wiley & Sons, Inc., 1989, pp 363-375
(Электромагнитная совместимость в современном машиностроении)

[6] WU, Doris I. and KANDA, Motohisa. Comparison of theoretical and experimental data for the near field of an open-ended rectangular waveguide. IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, November 1989, Vol. 31, No. 4
(Сравнение теоретических и экспериментальных данных для ближнего поля волноводов с открытым концом)

[7] GLIMM, J., MŰNTER, K., PAPE, R., SCHRADER, T. and SPITZER, M. The New National Standard of EM Field Strength; Realisation and Dissemination. 12th Int. Symposium on EMC, Zurich, Switzerland, February 18-20, 1997, ISBN 3-9521199-1-1, pp. 611–613
(Новый национальный стандарт напряженности электромагнитного поля. Реализация и распространение)

[8] GARN, H., BUCHMAYR, M., and MULLNER, W. Precise calibration of electric field sensors for radiated-susceptibility testing. Frequenz 53 (1999) 9-10, page 190–194
(Прецизионная калибровка датчиков электрического поля для испытаний на устойчивость к излучаемым помехам)

Приложение Д.А
(справочное)

Сведения о соответствии государственного стандарта ссылочному международному стандарту

Таблица Д.А.1

Обозначение и наименование международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование государственного стандарта
IEC 61000-4-6:2006 Электромагнитная совместимость. Часть 4-6. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями	IDT	СТБ IEC 61000-4-6-2009 Электромагнитная совместимость. Часть 4-6. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями

Ответственный за выпуск *В. Л. Гуревич*

Сдано в набор 07.05.2009. Подписано в печать 19.06.2009. Формат бумаги 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Arial. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 7,20 Уч.- изд. л. 4,59 Тираж экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
Научно-производственное республиканское унитарное предприятие
«Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС)
ЛИ № 02330/0549409 от 08.04.2009.
ул. Мележа, 3, 220113, Минск.

gost.e-ecolog.ru