

Актуальные вопросы аттестации измерительных площадок для испытаний на ЭМС

Малай И.М., д.т.н., доцент

Шкуркин М.С., к.т.н.

Содержание

- 1** Законодательные основы ЭМС и метрологии ЭМС
- 2** Площадки для испытаний на ЭМС по CISPR 16-1-4
- 3** Площадки для испытаний на ЭМС по CISPR 12 и CISPR 25
- 4** Площадки для испытаний на ЭМС по МЭК 61000-4-3
- 5** Проблемы калибровки антенн для испытаний на ЭМС

1 Законодательные основы ЭМС и метрологии ЭМС

Законодательная основа испытаний ТС на ЭМС (ЕС, США)

Директива Европейского союза 2014/30/EU об электромагнитной совместимости (DIRECTIVE 2014/30/EU)

Правило 10 ЕЭК ООН (UN ECE R10 (Automotive))

Основные стандарты

- | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| ■ IEC/EN 61000-3-2 | ■ IEC/EN 61000-4-8 | ■ IEC/EN 61000-4-18 |
| ■ IEC/EN 61000-3-3 | ■ IEC/EN 61000-4-9 | ■ IEC/EN 61000-4-19 |
| ■ IEC/EN 61000-3-11 | ■ IEC/EN 61000-4-10 | ■ IEC/EN 61000-4-20 |
| ■ IEC/EN 61000-3-12 | ■ IEC/EN 61000-4-11 | ■ IEC/EN 61000-4-21 |
| ■ IEC/EN 61000-4-2 | ■ IEC/EN 61000-4-12 | ■ IEC/EN 61000-4-27 |
| ■ IEC/EN 61000-4-3 | ■ IEC/EN 61000-4-13 | ■ IEC/EN 61000-4-28 |
| ■ IEC/EN 61000-4-4 | ■ IEC/EN 61000-4-14 | ■ IEC/EN 61000-4-29 |
| ■ IEC/EN 61000-4-5 | ■ IEC/EN 61000-4-15 | ■ IEC/EN 61000-4-31 |
| ■ IEC/EN 61000-4-6 | ■ IEC/EN 61000-4-16 | ■ IEC/EN 61000-4-34 |
| ■ IEC/EN 61000-4-7 | ■ IEC/EN 61000-4-17 | ■ IEC/EN 61000-4-39 |

Стандарты на продукцию

- | | | |
|--------------------|------------------------|-----------------|
| ■ EN 50370 | ■ EN 301489-1 | ■ IEC 60533 |
| ■ EN 50561-1 | ■ EN 301489-7 | ■ IEC 60601-1-2 |
| ■ EN 61643 | ■ EN 301489-17 | ■ IEC 61009-1 |
| ■ EN 300329 | ■ EN 301489-24 | ■ IEC 61326 |
| ■ EN 300340 | ■ FCC 97-270 (part 68) | ■ IEC 61850-3 |
| ■ EN 300342-1 | ■ IEC 60255-1 | ■ IEC 62052-11 |
| ■ EN 300386-2 | ■ IEC 60255-22-1 | |
| ■ EN 300386 V1.3.2 | ■ IEC 60255-26 | |

Стандарты ANSI/IEEE

- | | | |
|--------------------|----------------------|--------------------|
| ■ ANSI/IEEE C37.90 | ■ ANSI/IEEE C37.90.1 | ■ ANSI/IEEE C62.41 |
|--------------------|----------------------|--------------------|

Стандарты в области телекоммуникации

- | | | |
|-------------------------|--------------|--------------------------|
| ■ Bellcore GR-1089-Core | ■ ITU-T K.21 | ■ ITU-T K.45 |
| ■ ITU-T K.12 | ■ ITU-T K.28 | ■ Telcordia GR-1089-Core |
| ■ ITU-T K.17 | ■ ITU-T K.41 | |
| ■ ITU-T K.20 | ■ ITU-T K.44 | |

Стандарты CISPR

- | | | |
|----------------|----------------|------------|
| ■ CISPR 11 | ■ CISPR 16-1-2 | ■ CISPR 22 |
| ■ CISPR 12 | ■ CISPR 16-1-3 | ■ CISPR 24 |
| ■ CISPR 13 | ■ CISPR 16-1-4 | ■ CISPR 25 |
| ■ CISPR 14-1 | ■ CISPR 16-2-1 | ■ CISPR 32 |
| ■ CISPR 15 | ■ CISPR 16-2-2 | |
| ■ CISPR 16-1-1 | ■ CISPR 16-2-3 | |

Стандарты в области обороны и космоса

- | | |
|---------------|---------------|
| ■ MIL STD 461 | ■ RTCA/DO 160 |
|---------------|---------------|

Стандарты общие

- | | | |
|----------------|----------------|--------------------|
| ■ EN 61000-6-1 | ■ EN 61000-6-3 | ■ IEC TS 61000-6-5 |
| ■ EN 61000-6-2 | ■ EN 61000-6-4 | |

Стандарты автомобильной промышленности

- | | | |
|---------------|----------------|----------------|
| ■ ISO 7637-1 | ■ ISO 11452-5 | ■ SAE J1113-12 |
| ■ ISO 7637-2 | ■ ISO 11452-8 | ■ SAE J1113-13 |
| ■ ISO 7637-3 | ■ ISO 11452-11 | ■ SAE J1113-21 |
| ■ ISO 7637-4 | ■ ISO 16750-2 | ■ SAE J1113-22 |
| ■ ISO 10605 | ■ JASO D001-94 | ■ SAE J1113-24 |
| ■ ISO 11452-2 | ■ SAE J1113-2 | ■ SAE J1113-25 |
| ■ ISO 11452-3 | ■ SAE J1113-4 | ■ SAE J1113-27 |
| ■ ISO 11452-4 | ■ SAE J1113-11 | ■ SAE J1455 |

Законодательная основа испытаний технических средств на ЭМС (РФ)

Организации по разработке стандартов России

- ☐ ФГУП «ЛОНИИР» - ведущая организация
- ☐ ФГУП «НИИР»
- ☐ Технический комитет по стандартизации ТК 30
«Электромагнитная совместимость технических средств»
- ☐ Росстандарт



Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств»



182 стандарта, в результате применения которых
на добровольной основе обеспечивается соблюдение
требований технического регламента



194 стандарта, содержащих правила и методы
исследований (испытаний) и измерений



140 стандартов, гармонизированных с
зарубежными стандартами в области ЭМС
(около **75%**)



153 стандарта, гармонизированных с
зарубежными стандартами по видам и методам
испытаний (около **80%**)

Метрологические аспекты испытаний технических средств на ЭМС

Если результаты измерений показателей ЭМС используются в сфере государственного регулирования по ФЗ-102, то **необходимо:**

Средства измерений

Испытания в целях
утверждения типа СИ

МИ 3290-2010

Испытательное
оборудование

Аттестация

ГОСТ Р 8.568-2017
ГОСТ РВ 0008-002-
2013

Методики
измерений

Метрологическая
экспертиза и
аттестация

ГОСТ Р 8.563-2009
Приказ
Минпромторга РФ
от 15.12.2015 г.
№ 4091

Программное
обеспечение

Аттестация и
идентификация

ГОСТ Р 8.654-2009

Оборудование для испытаний на ЭМС (эмиссия, устойчивость)

Излучаемые радиопомехи

Безэховые экранированные
камеры

Испытательные
(измерительные) площадки

Реверберационные камеры

ТЕМ (GTEM) камеры

другое ИО

Кондуктивные радиопомехи и электростатические разряды

Экранированные камеры

Испытательные генераторы
и системы для оценки
помехоустойчивости к
различным воздействиям
(импульсные помехи разной
длительности, изменения и
провалы напряжения,
фликер, электростатические
разряды и т.д.)

2 Площадки для испытаний на ЭМС по *CISPR 16-1-4*



ГОСТ CISPR 16-1-4-2013

ГОСТ Р 51320-99
ГОСТ Р 51318.16.1.4-2008
ГОСТ 30805.16.1.4-2013



CISPR 16-1-4-2020

I

открытые площадки

OATS – Open Area
Test Site

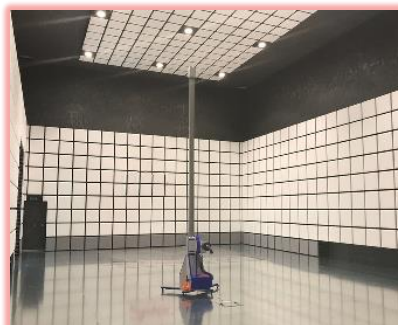


3 м
10 м
30 м

II

альтернативные
площадки с пластиной
заземления

SAC – Semi
Anechoic Chamber



3 м
10 м

III

альтернативные
площадки без
пластины заземления

FAR – Fully
Anechoic Room



3 м
5 м
10 м

открытые площадки

SAC – полуБЭК

FAR – БЭК

Диапазон частот от 30 до 1000 МГц

Затухание площадки не более ± 4 дБ относительно теоретического значения

открытые площадки

SAC – полуБЭК

FAR – БЭК

Диапазон частот от 1 до 18 ГГц

+

Локальное
укрытие
РПМ



КСВН площадки не более 6 дБ

от 30 до 1000 МГц

Методы измерений характеристик площадок

Тип площадки	Настраиваемые диполи Метод затухания площадки NSA	Широкополосные антенны Метод затухания площадки NSA	Широкополосные антенны Метод опорной площадки
Открытая OATS	✓	✓	✓
OATS с укрытием от осадков	⊘	✓	✓
ПолуБЭК SAC	⊘	✓	✓
БЭК FAR	⊘	✓	✓

Особенности измерений NSA SAC

NSA – Normalized Site Attenuation – затухание (ГОСТ Р 51320) или нормализованное затухание (СИСПр 16-1-4) площадки

NSA SAC – NSA SemiAnechoic Chamber – нормализованное затухание площадки в полубезэховой камере (СИСПр 16-1-4)

затухание площадки
ГОСТ Р 51320

=

нормализованное
затухание площадки
СИСПр 16-1-4

Def (NSA) – отношение напряжения, подводимого к передающей антенне, к напряжению на выходе приемной антенны с учетом свойств самих антенн

По сути NSA – коэффициент передачи системы

«кабельная сборка – передающая антенна – площадка – приемная антенна – кабельная сборка»

$$NSA = U_{\text{ПРД}} - U_{\text{ПРМ}} - KK_{\text{ПРД}} - KK_{\text{ПРМ}} - L$$

$U_{\text{ПРД}}$ – уровень напряжения на выходе генератора, дБ (мкВ)

$U_{\text{ПРМ}}$ – уровень напряжения, измеренный приемником, дБ (мкВ)

$KK_{\text{ПРД}}$ – коэффициент калибровки передающей антенны, дБ (1/м)

$KK_{\text{ПРМ}}$ – коэффициент калибровки приемной антенны, дБ (1/Ом)

L – потери в кабельных сборках, дБ

$NSA_{\text{ГОСТ}} - NSA$



$\leq \pm 4$ дБ



$> \pm 4$ дБ



Особенности измерений NSA SAC

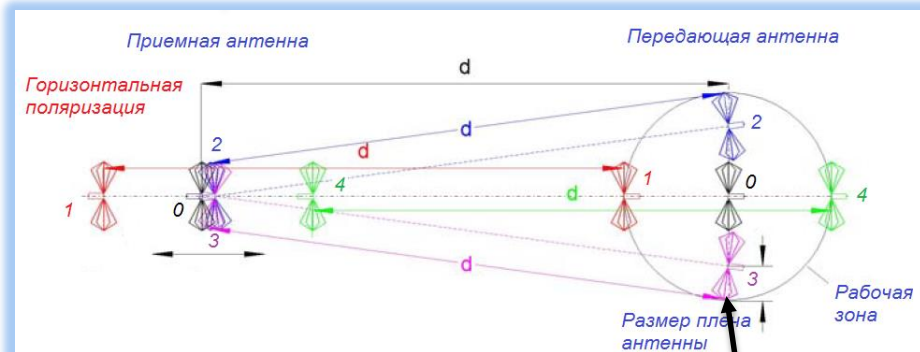
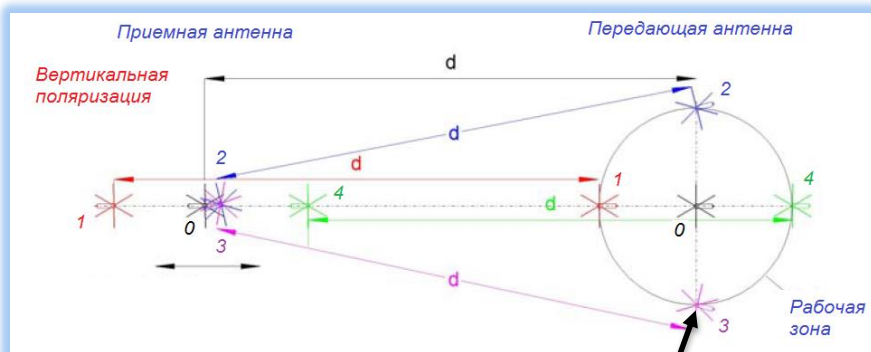
1 Определение размеров рабочей зоны (испытательный объем, quit zone)

Диаметр поворотного стола

Размер объекта испытаний при его вращении на 360°

Рекомендации ГОСТ –
окружность диаметром 1,5 м

2 Определение мест размещения измерительных антенн (п. 5.4.6 СИСПр 16-1-4)



ВП, ГП: $h_{\text{прм}} = 1 \dots 4 \text{ м}$

ВП: $h_{\text{прд}} = 1 \dots 1.5 \text{ м}$

ГП: $h_{\text{прд}} = 1 \dots 2 \text{ м}$

ВП: Ось антенны на край рабочей зоны

Расстояние d - постоянное

В позициях 2 и 3 антенны также сонаправлены

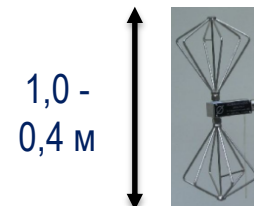
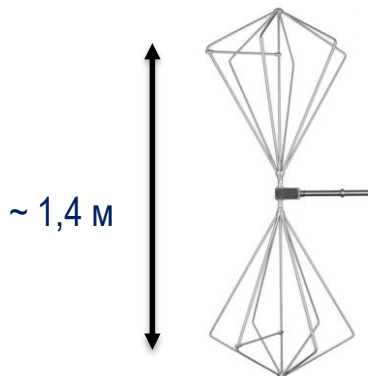
ГП: Край антенны на край рабочей зоны

3 Выбор измерительных антенн

Биконическая
30 – 300 МГц

Биконическая
Логопериодическая
300 – 1000 МГц

Ограничений по размерам антенн нет
Однако, косвенно не более 1,5 м (т.к. 0,25 м между пластиной и антенной)



4 Конфигурация измерительного тракта



Антенная мачта
 $h = 1 \dots 2$ м

Аттенюатор (2 шт.)
(3 – 6) дБ

Межканальный
соединитель (1 шт.)
совместимый

Автоматизированная
мачта

$h = 1 \dots 4$ м

Векторный
анализатор
цепей

30 ... 1000 МГц

Комплект антенн
(2 по 2 шт.)
30 ... 300 МГц
0,3 – 1 ГГц

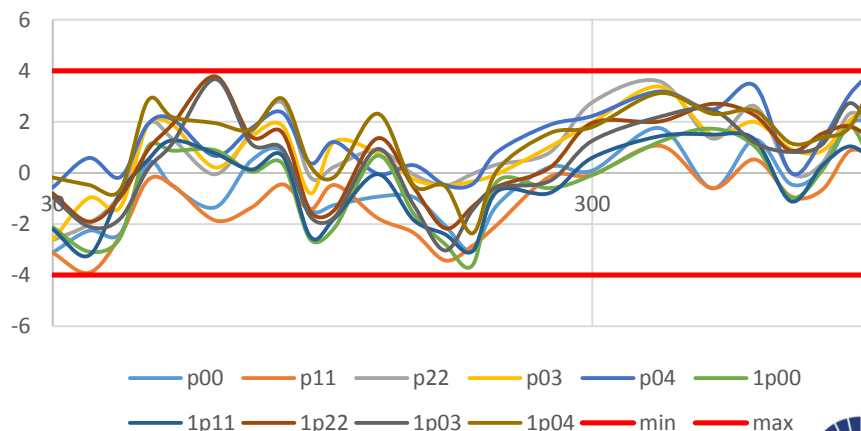
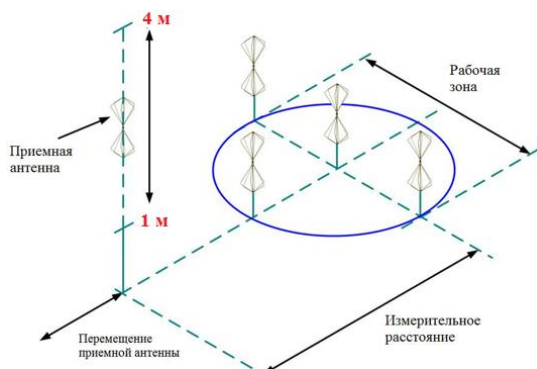
СВЧ кабельная
сборка (2 шт.)
6 м
10 м

Набор ферритовых
фильтров
30 шт.

5 Логическая схема измерений

Положение в пространстве		Символ	Поддиапазон частот	Символ	Высота	Символ	Поляризация	Символ	
Справа ПРД		1	От 30 до 300 МГц	1	Верх ПРД	1	Вертикальная	0	
Центр ПРД и ПРМ		2							
Ближняя ПРД и ПРМ		3							
Дальняя ПРД и ПРМ		4	От 300 по 1000 МГц	2	Низ ПРД	2	Горизонтальная	1	
Слева ПРМ		5							
ПРД – передающая антенна ПРМ – приемная антенна									
Возможные состояния									
1110	1111	1120	1121	2110	2111	2120	2121	3110	3111
1210	1211	1220	1221	2210	2211	2220	2221	3210	3211
3120	3121	4110	4111	4120	4121	5110	5111	5120	5121
3220	3221	4210	4211	4220	4221	5210	5211	5220	5221

Δ NSA_ГП



Принципиально важно!!!

Антенная мачта:

- 1 Диэлектрическая
- 2 Автоматизированная
- 3 Высота подъема от 1 до 4 м

Антенны:

Погрешность калибровки не
более ± 1 дБ



Уровень Государственного
эталона ГЭТ-45-2011

Рекомендуется

Аттенюаторы фиксированные

Для согласования; номиналы 3; 6 дБ

Ферритовые фильтры

На кабельные сборки для снижения
влияния наводок

Не использовать

гибридные (билогопериодические) антенны

Рекомендации по габаритам ПБЭК



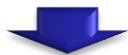
Отечественных НТД нет. Некоторые положения отражены в ГОСТ Р 51320 и ГОСТ СИСПР 16-1-4



Существует ANSI C63.7-2015 Guide for Construction of Test Sites for Performing Radiated Emission Measurements (Руководство по строительству испытательных площадок для проведения измерений излучаемых радиопомех)



Для измерительного расстояния 3 м



Длина и ширина ПБЭК определяются размерами пластины заземления – **9 × 6 м** (п. 6.2.1.2 ANSI C63.7-2015)



Высота ПБЭК определяется (п. 5.3d ANSI C63.7-2015):

$$h_{\Sigma} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

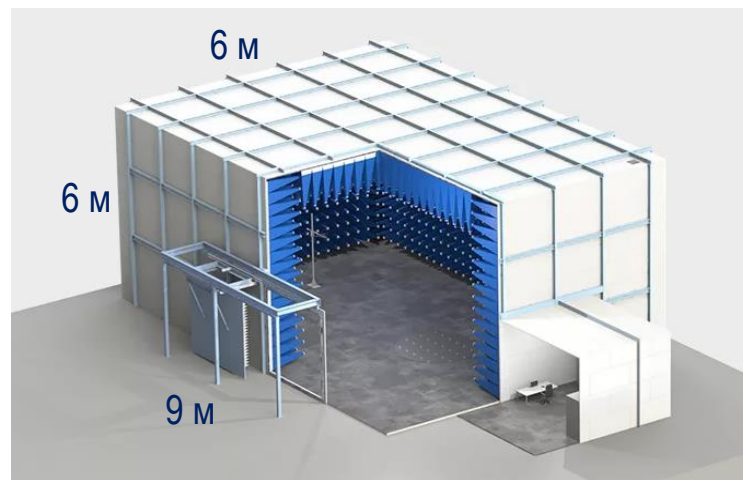
h_1 – высота подъема приемной антенны при измерении NSA, $h_1 = 4$ м

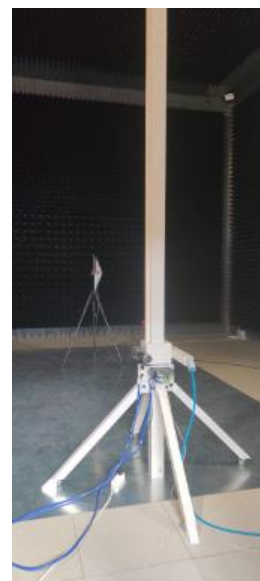
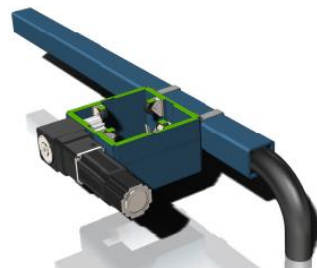
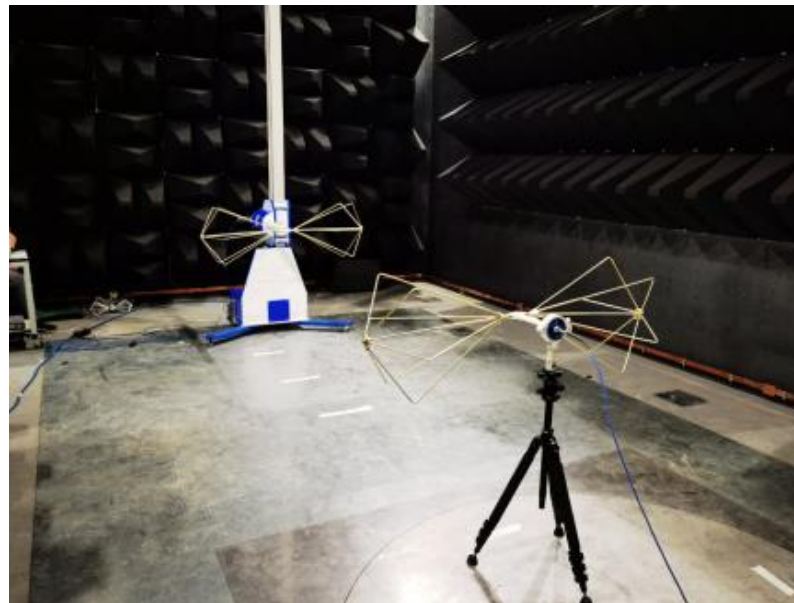
h_2 – размер плеча антенны, $h_2 \approx 0,7$ м

h_3 – высота РПМ, $h_3 \approx 0,7$ м

h_4 – расстояние между краем антенны и РПМ, $h_4 \geq 0,25$ м

$$h_{\Sigma} \geq \mathbf{5,65 \text{ м}}$$





Особенности измерений NSA FAR (FSNSA)

NSA FAR – Normalized Site Attenuation Fully Anechoic Chamber (Free Space NSA) – нормализованное затухание площадки, реализованной в полностью безэховой камере

$$\Delta NSA = U_{\text{ПРД}} - U_{\text{ПРМ}} - NSA_{\text{Теор}} - KK_{\text{ПРД}} - KK_{\text{ПРМ}} - L$$

$U_{\text{ПРД}}$ – уровень напряжения на выходе генератора, дБ (мкВ)

$U_{\text{ПРМ}}$ – уровень напряжения, измеренный приемником, дБ (мкВ)

$KK_{\text{ПРД}}$ – коэффициент калибровки передающей антенны, дБ (1/м)

$KK_{\text{ПРМ}}$ – коэффициент калибровки приемной антенны, дБ (1/Ом)

L – потери в кабельных сборках, дБ

$$NSA_{\text{Теор}} = 20 \lg \left(\frac{5Z}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} - \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f),$$

$$Z = 50 \text{ Ом}$$

d – расстояние между антеннами, м

$\beta = 2\pi/\lambda$, 1/м

f – частота, МГц



Особенности измерений NSA FAR (FSNSA)

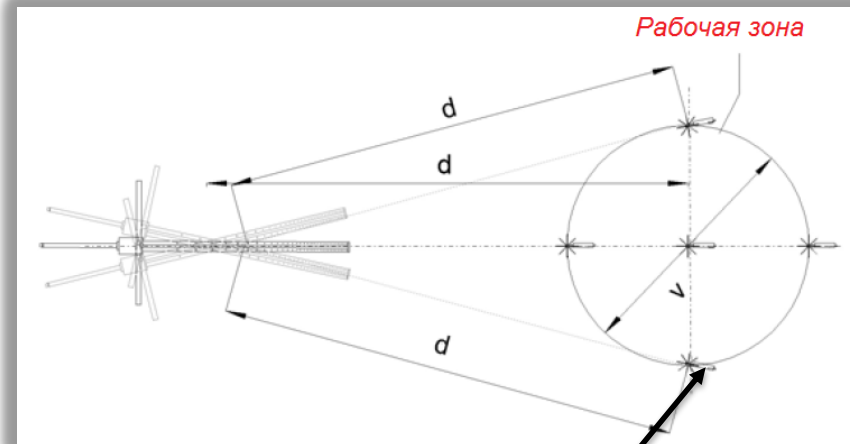
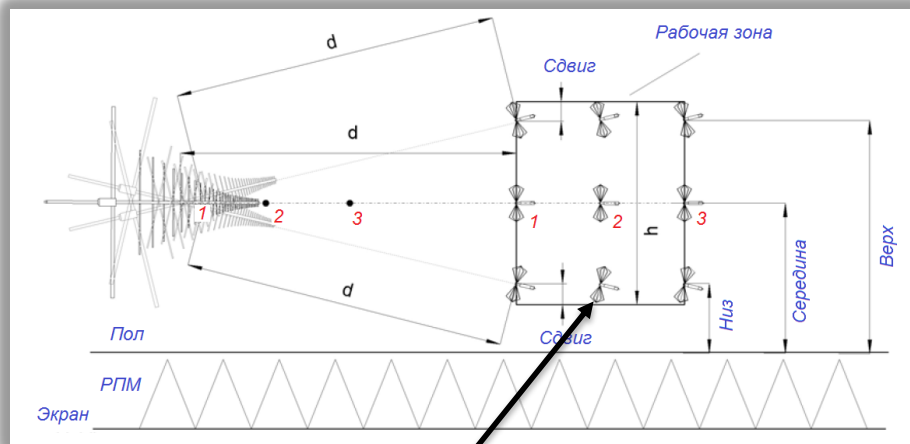
1 Определение размеров рабочей зоны (испытательный объем, quit zone)

Размер объекта испытаний при его вращении на 360°



Рекомендации ГОСТ – цилиндр диаметром D_{max} и высотой H_{max}

2 Определение мест размещения измерительных антенн

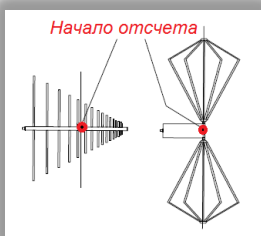


ВП: **Край** антенны на край рабочей зоны

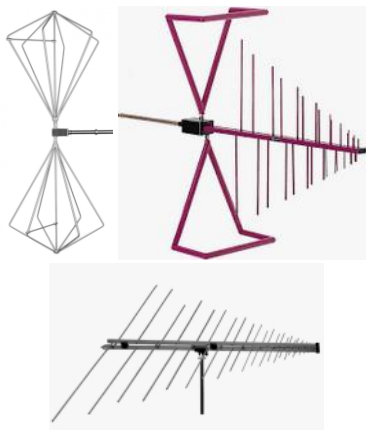
Расстояние d – **const**

ВП: **Ось** антенны на край рабочей зоны

Высота приемной антенны – **const**



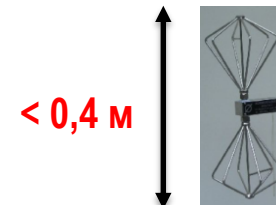
3 Выбор измерительных антенн



Приемная
30 – 1000 МГц
Биконическая
Билогопериодическая
Логопериодическая

Передающая
30 – 1000 МГц
Биконическая

Размер антенны
не более 40 см



4 Конфигурация измерительного тракта



Антенная мачта
(1 шт.)
 $h = 1 \dots 1.5$ м

Аттенюатор (2 шт.)
10 дБ

Межканальный соединитель (1 шт.)
СОВМЕСТИМЫЙ

Антенная мачта
(1 шт.)

$h = 0,5 \dots 2.5$ м

Векторный анализатор цепей
30 ... 1000 МГц

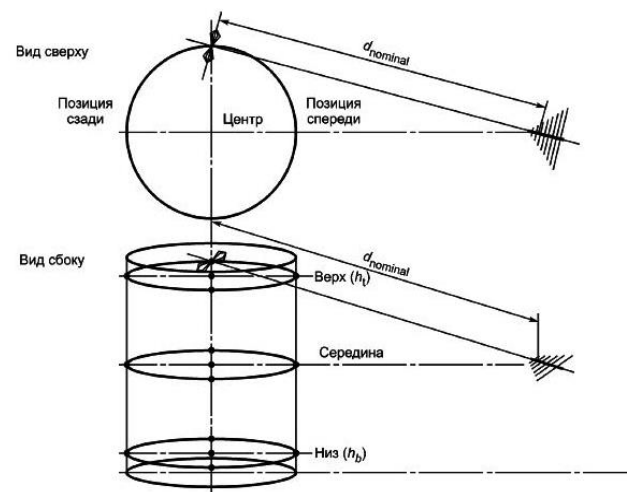
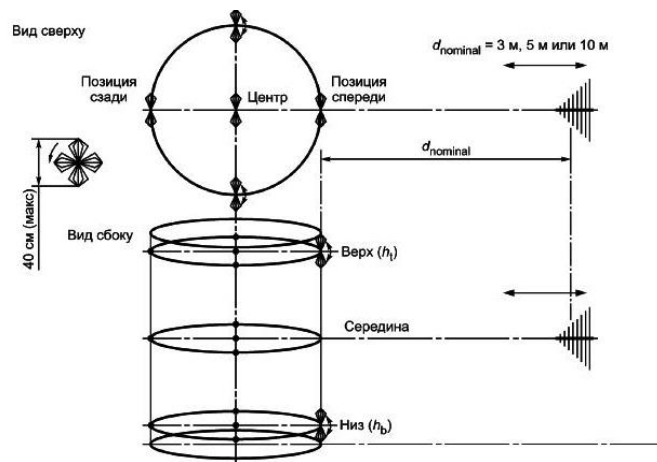
Комплект антенн
(2 или 3 шт.)
30 ... 1000 МГц

СВЧ кабельная сборка (2 шт.)
4 м
8 м

Набор ферритовых фильтров
30 шт.

5 Логическая схема измерений

Положение в пространстве		Символ	Поддиапазон частот		Символ	Высота		Символ	Поляризация		Символ
Справа ПРД		1	От 30 до 300 МГц		1	Низ ПРД		1	Вертикальная		0
Центр ПРД и ПРМ		Центр ПРД				2					
Ближняя ПРД и ПРМ		3				От 300 по 1000 МГц		2	Верх ПРД		3
Дальняя ПРД и ПРМ		4									
Слева ПРМ		5									
ПРД – передающая антенна ПРМ – приемная антенна											
Возможные состояния											
1110	1111	1120	1121	1130	1131	2110	2111	2120	2121		
1210	1211	1220	1221	1230	1231	2210	2211	2220	2221		
2130	2131	3110	3111	3120	3121	3130	3131	4110	4111		
2230	2231	3210	3211	3220	3221	3230	3231	4210	4211		
4120	4121	4130	4131	5110	5111	5120	5121	5130	5131		
4220	4221	4230	4231	5210	5211	5220	5221	5230	5231		



Принципиально важно!!!

Диаметр Dmax Высота Hmax	Измерительное расстояние
1,5 м	3 м
2,5 м	5 м
5 м	10 м

Антенна:
Линейный размер передающей
антенны не более **40 см**

Антенны:
Погрешность калибровки не
более **± 1 дБ**



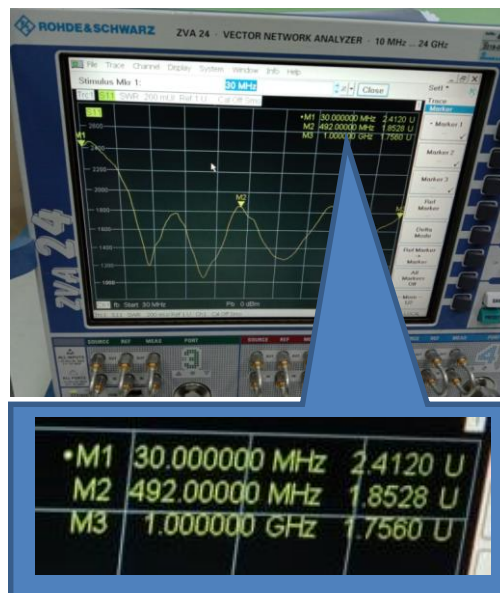
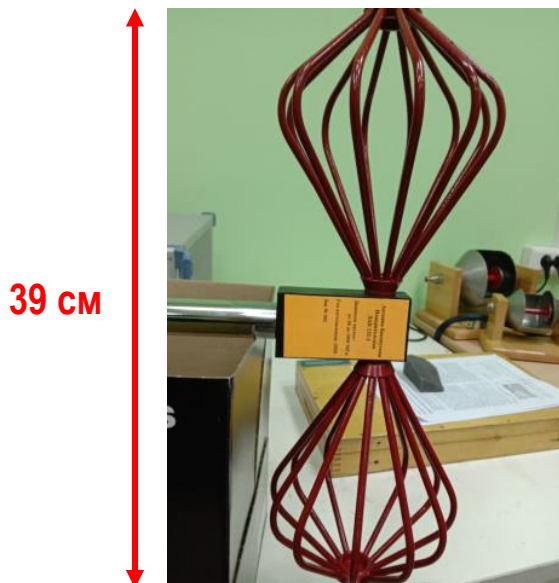
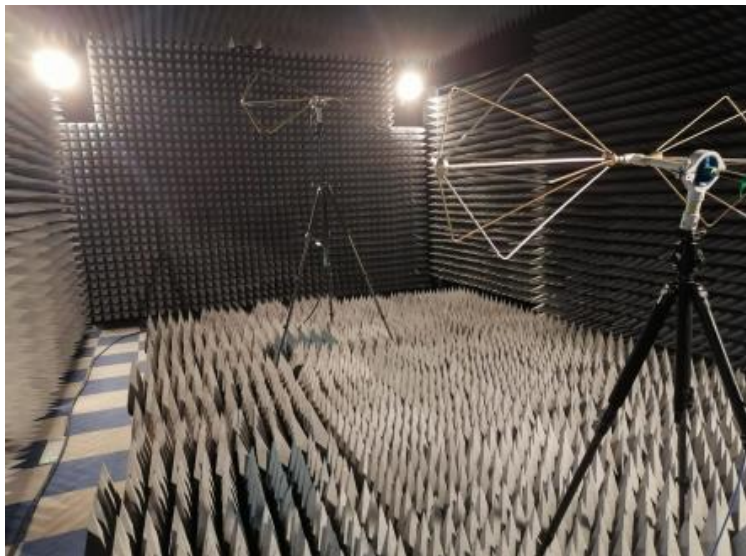
Уровень Государственного
эталона ГЭТ-45-2011

Рекомендуется

Аттенюаторы фиксированные
Для согласования; номиналы 3; 6 дБ

Ферритовые фильтры
На кабельные сборки для снижения
влияния наводок

Использовать
гибридные (билогопериодические) антенны



РЕЗУЛЬТАТЫ КАЛИБРОВКИ

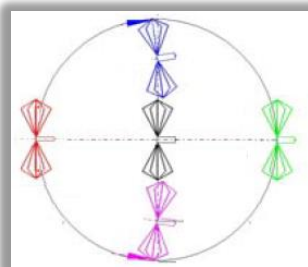
Е, КГц	K_{11} , дБ	Г, МГц	K_{11} , дБ
30	15,0	100	23,5
35	15,2	150	24,2
40	15,2	200	24,5
45	15,0	250	24,5
50	15,2	300	24,5
55	15,0	350	24,5
60	15,2	400	24,5
65	15,0	450	24,5
70	15,2	500	24,5
75	15,0	550	24,5
80	15,2	600	24,5
85	15,0	650	24,5
90	15,2	700	24,5
95	15,0	750	24,5
100	15,2	800	24,5
105	15,0	850	24,5
110	15,2	900	24,5
115	15,0	950	24,5
120	15,2	1000	24,5
125	15,0	1050	24,5
130	15,2	1100	24,5
135	15,0	1150	24,5
140	15,2	1200	24,5
145	15,0	1250	24,5
150	15,2	1300	24,5
155	15,0	1350	24,5
160	15,2	1400	24,5
165	15,0	1450	24,5
170	15,2	1500	24,5
175	15,0	1550	24,5
180	15,2	1600	24,5
185	15,0	1650	24,5
190	15,2	1700	24,5
195	15,0	1750	24,5
200	15,2	1800	24,5
205	15,0	1850	24,5
210	15,2	1900	24,5
215	15,0	1950	24,5
220	15,2	2000	24,5
225	15,0	2050	24,5
230	15,2	2100	24,5
235	15,0	2150	24,5
240	15,2	2200	24,5
245	15,0	2250	24,5
250	15,2	2300	24,5
255	15,0	2350	24,5
260	15,2	2400	24,5
265	15,0	2450	24,5
270	15,2	2500	24,5
275	15,0	2550	24,5
280	15,2	2600	24,5
285	15,0	2650	24,5
290	15,2	2700	24,5
295	15,0	2750	24,5
300	15,2	2800	24,5
305	15,0	2850	24,5
310	15,2	2900	24,5
315	15,0	2950	24,5
320	15,2	3000	24,5
325	15,0	3050	24,5
330	15,2	3100	24,5
335	15,0	3150	24,5
340	15,2	3200	24,5
345	15,0	3250	24,5
350	15,2	3300	24,5
355	15,0	3350	24,5
360	15,2	3400	24,5
365	15,0	3450	24,5
370	15,2	3500	24,5
375	15,0	3550	24,5
380	15,2	3600	24,5
385	15,0	3650	24,5
390	15,2	3700	24,5
395	15,0	3750	24,5
400	15,2	3800	24,5
405	15,0	3850	24,5
410	15,2	3900	24,5
415	15,0	3950	24,5
420	15,2	4000	24,5
425	15,0	4050	24,5
430	15,2	4100	24,5
435	15,0	4150	24,5
440	15,2	4200	24,5
445	15,0	4250	24,5
450	15,2	4300	24,5
455	15,0	4350	24,5
460	15,2	4400	24,5
465	15,0	4450	24,5
470	15,2	4500	24,5
475	15,0	4550	24,5
480	15,2	4600	24,5
485	15,0	4650	24,5
490	15,2	4700	24,5
495	15,0	4750	24,5
500	15,2	4800	24,5
505	15,0	4850	24,5
510	15,2	4900	24,5
515	15,0	4950	24,5
520	15,2	5000	24,5
525	15,0	5050	24,5
530	15,2	5100	24,5
535	15,0	5150	24,5
540	15,2	5200	24,5
545	15,0	5250	24,5
550	15,2	5300	24,5
555	15,0	5350	24,5
560	15,2	5400	24,5
565	15,0	5450	24,5
570	15,2	5500	24,5
575	15,0	5550	24,5
580	15,2	5600	24,5
585	15,0	5650	24,5
590	15,2	5700	24,5
595	15,0	5750	24,5
600	15,2	5800	24,5
605	15,0	5850	24,5
610	15,2	5900	24,5
615	15,0	5950	24,5
620	15,2	6000	24,5
625	15,0	6050	24,5
630	15,2	6100	24,5
635	15,0	6150	24,5
640	15,2	6200	24,5
645	15,0	6250	24,5
650	15,2	6300	24,5
655	15,0	6350	24,5
660	15,2	6400	24,5
665	15,0	6450	24,5
670	15,2	6500	24,5
675	15,0	6550	24,5
680	15,2	6600	24,5
685	15,0	6650	24,5
690	15,2	6700	24,5
695	15,0	6750	24,5
700	15,2	6800	24,5
705	15,0	6850	24,5
710	15,2	6900	24,5
715	15,0	6950	24,5
720	15,2	7000	24,5
725	15,0	7050	24,5
730	15,2	7100	24,5
735	15,0	7150	24,5
740	15,2	7200	24,5
745	15,0	7250	24,5
750	15,2	7300	24,5
755	15,0	7350	24,5
760	15,2	7400	24,5
765	15,0	7450	24,5
770	15,2	7500	24,5
775	15,0	7550	24,5
780	15,2	7600	24,5
785	15,0	7650	24,5
790	15,2	7700	24,5
795	15,0	7750	24,5
800	15,2	7800	24,5
805	15,0	7850	24,5
810	15,2	7900	24,5
815	15,0	7950	24,5
820	15,2	8000	24,5
825	15,0	8050	24,5
830	15,2	8100	24,5
835	15,0	8150	24,5
840	15,2	8200	24,5
845	15,0	8250	24,5
850	15,2	8300	24,5
855	15,0	8350	24,5
860	15,2	8400	24,5
865	15,0	8450	24,5
870	15,2	8500	24,5
875	15,0	8550	24,5
880	15,2	8600	24,5
885	15,0	8650	24,5
890	15,2	8700	24,5
895	15,0	8750	24,5
900	15,2	8800	24,5
905	15,0	8850	24,5
910	15,2	8900	24,5
915	15,0	8950	24,5
920	15,2	9000	24,5
925	15,0	9050	24,5
930	15,2	9100	24,5
935	15,0	9150	24,5
940	15,2	9200	24,5
945	15,0	9250	24,5
950	15,2	9300	24,5
955	15,0	9350	24,5
960	15,2	9400	24,5
965	15,0	9450	24,5
970	15,2	9500	24,5
975	15,0	9550	24,5
980	15,2	9600	24,5
985	15,0	9650	24,5
990	15,2	9700	24,5
995	15,0	9750	24,5
1000	15,2	9800	24,5
1005	15,0	9850	24,5
1010	15,2	9900	24,5
1015	15,0	9950	24,5
1020	15,2	10000	24,5
1025	15,0	10050	24,5
1030	15,2	10100	24,5
1035	15,0	10150	24,5
1040	15,2	10200	24,5
1045	15,0	10250	24,5
1050	15,2	10300	24,5
1055	15,0	10350	24,5
1060	15,2	10400	24,5
1065	15,0	10450	24,5
1070	15,2	10500	24,5
1075	15,0	10550	24,5
1080	15,2	10600	24,5
1085	15,0	10650	24,5
1090	15,2	10700	24,5
1095	15,0	10750	24,5
1100	15,2	10800	24,5
1105	15,0	10850	24,5
1110	15,2	10900	24,5
1115	15,0	10950	24,5
1120	15,2	11000	24,5
1125	15,0	11050	24,5
1130	15,2	11100	24,5
1135	15,0	11150	24,5
1140	15,2	11200	24,5
1145	15,0	11250	24,5
1150	15,2	11300	24,5
1155	15,0	11350	24,5
1160	15,2	11400	24,5
1165	15,0	11450	24,5
1170	15,2	11500	24,5
1175	15,0	11550	24,5
1180	15,2	11600	24,5
1185	15,0	11650	24,5
1190	15,2	11700	24,5
1195	15,0	11750	24,5
1200	15,2	11800	24,5
1205	15,0	11850	24,5
1210	15,2	11900	24,5
1215	15,0	11950	24,5
1220	15,2	12000	24,5
1225	15,0	12050	24,5
1230	15,2	12100	24,5
1235	15,0	12150	24,5
1240	15,2	12200	24,5
1245	15,0	12250	24,5
1250	15,2	12300	24,5
1255	15,0	12350	24,5
1260	15,2	12400	24,5
1265	15,0	12450	24,5
1270	15,2	12500	24,5
1275	15,0	12550	24,5
1280	15,2	12600	24,5
1285	15,0	12650	24,5
1290	15,2	12700	24,5
1295	15,0	12750	24,5
1300	15,2	12800	24,5
1305	15,0	12850	24,5
1310	15,2	12900	24,5
1315	15,0	12950	24,5
1320	15,2	13000	24,5
1325	15,0	13050	24,5
1330	15,2	13100	24,5
1335	15,0	13150	24,5
1340	15,2	13200	24,5
1345	15,0	13250	24,5
1350	15,2	13300	24,5
1355	15,0	13350	24,5
1360	15,2	13400	24,5
1365	15,0	13450	24,5
1370	15,2	13500	24,5
1375	15,0	13550	24,5
1380	15,2	13600	24,5
1385	15,0	13650	24,5
1390	15,2	13700	24,5
1395	15,0	13750	24,5
1400	15,2	13800	24,5
1405	15,0	13850	24,5
1410	15,2	13900	24,5
1415	15,0	13950	24,5
1420	15,2	14000	24,5
1425	15,0	14050	24,5
1430	15,2	14100	24,5
1435	15,0	14150	24,5
1440	15,2	14200	24,5
1445	15,0	14250	24,5
1450	15,2	14300	24,5
1455	15,0	14350	24,5
1460	15,2	14400	24,5
1465	15,0	14450	24,5
1470	15,2	14500	24,5
1475	15,0	14550	24,5
1480	15,2	14600	24,5
1485	15,0	14650	24,5
1490	15,2	14700	24,5
1495	15,0	14750	24,5
1500	15,2	14800	24,5
1505	15,0	14850	24,5
1510	15,2	14900	24,5
1515	15,0	14950	24,5
1520	15,2	15000	24,5
1525	15,0	15050	24,5
1530	15,2	15100	24,5
1535	15,0	15150	24,5
1540	15,2	15200	24,5
1545	15,0	15250	24,5
1550	15,2	15300	24,5
1555	15,0	15350	24,5
1560	15,2	15400	24,5
1565	15,0	15450	24,5
1570	15,2	15500	24,5
1575	15,0	15550	24,5
1580	15,2	15600</	

Отличия NSA SAC и NSA FAR (FSNSA)

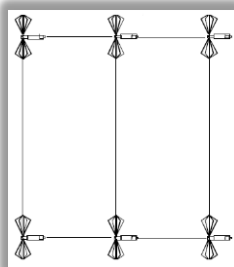
NSA SAC

NSA FAR

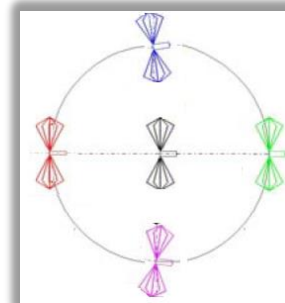
Положение
передающей
антенны



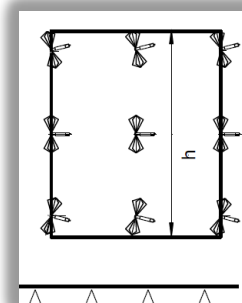
Вид сверху



Вид сбоку

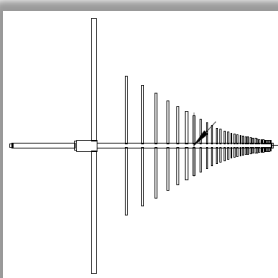


Вид сверху

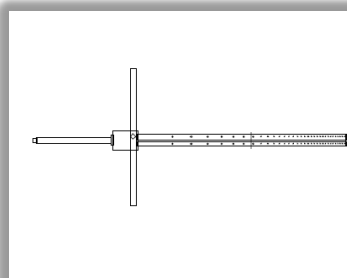


Вид сбоку

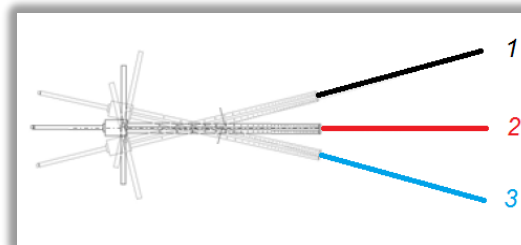
Положение
приемной
антенны



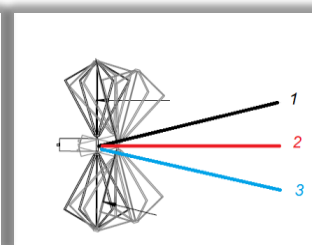
Вид сверху



Вид сбоку



Вид сверху



Вид сбоку

Размеры
передающей антенны

без ограничений

не более 0,4 м

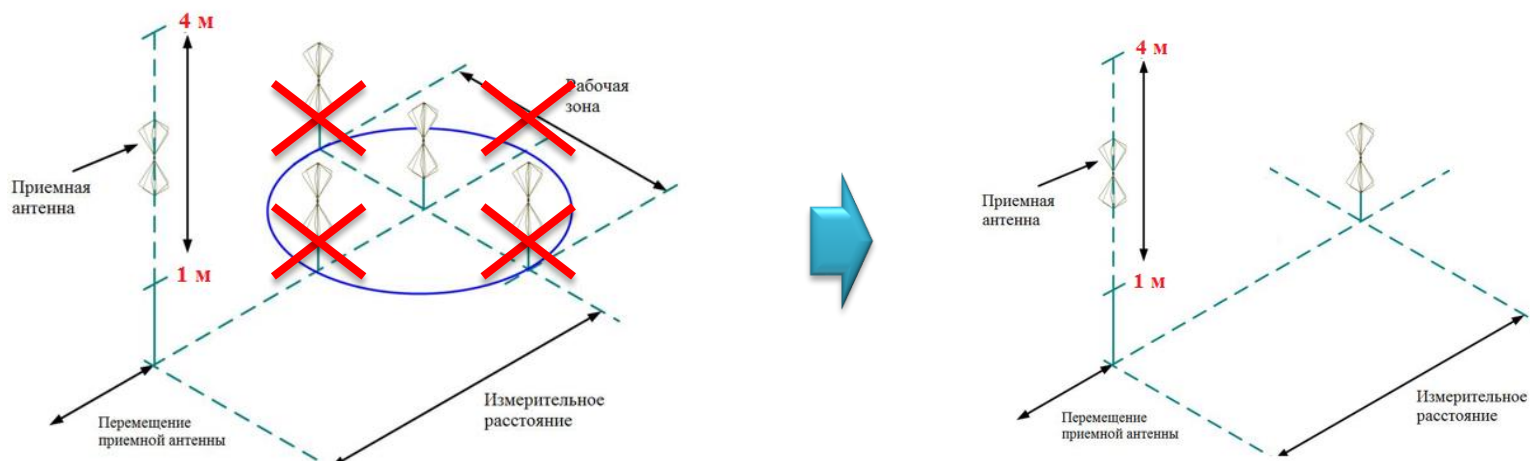
Высота подъема
приемной антенны

$h_{\text{прм}} = 1 \dots 4 \text{ м}$

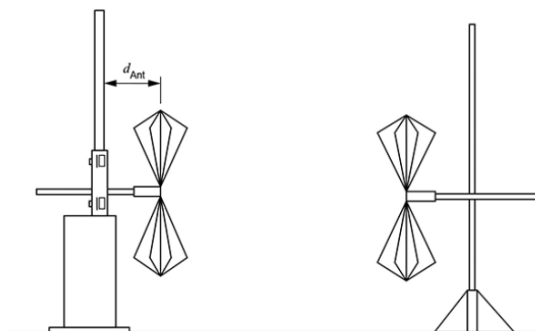
$h_{\text{прм}} = \text{const}$

Особенности измерений NSA OATS

Методика измерений NSA OATS аналогична NSA SAC, за исключением:

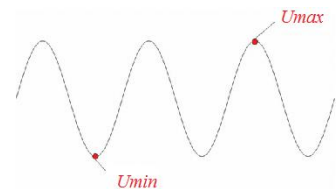


Если $D = 3; 10$ м, то $H = 4$ м
Если $D = 30$ м, то $H = 6$ м



от 1 до 18 ГГц

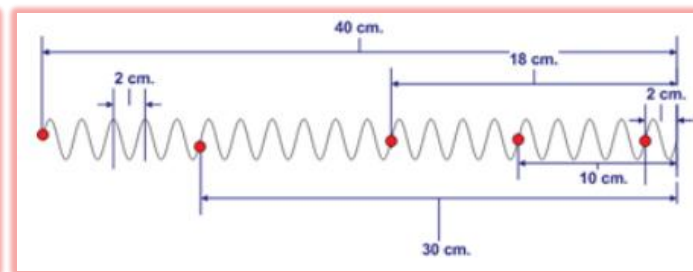
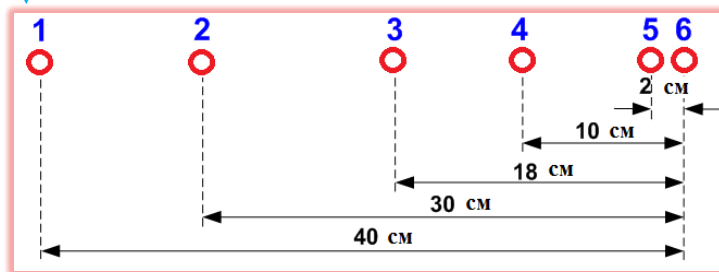
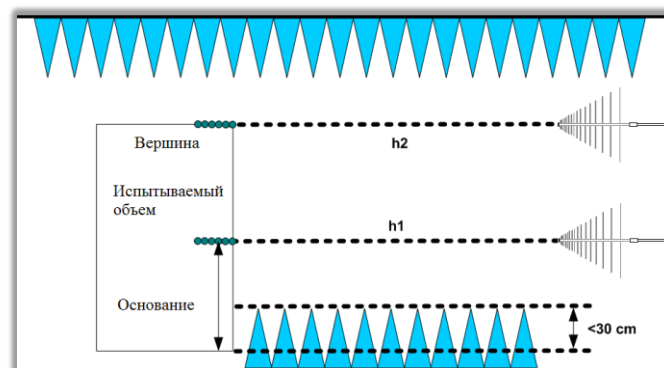
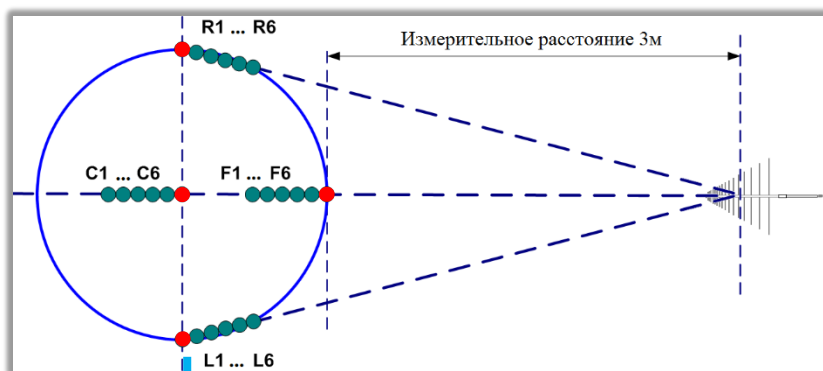
Коэффициент стоячей волны по напряжению (VSWR)



$$S_{VSWR} = U_{max} - U_{min}$$

U_{max} – максимальное значение напряжения на выходе приемной антенны в точках 1...6, дБ (мкВ)

U_{min} – минимальное значение напряжения на выходе приемной антенны в точках 1...6, дБ (мкВ)



Положение передающей антенны

Объем измерений

Высота	Поляризация	Позиция	Перемещение
Середина испытательного объема h1	ГП ВП	Фронт (F)	0; 2; 10; 18; 30; 40 см
		Центр (C)	0; 2; 10; 18; 30; 40 см
		Справа (R)	0; 2; 10; 18; 30; 40 см
		Слева (L)	0; 2; 10; 18; 30; 40 см
Верх испытательного объема h2	ГП ВП	Фронт (F)	0; 2; 10; 18; 30; 40 см

$$VSWR = \max(A_1, A_2, \dots, A_6) - \min(A_1, A_2, \dots, A_6)$$

$$A_i = K_i + U_i$$

U_i – уровень напряжения, измеренный на выходе приемной антенны, дБ (мкВ)

$$K_6 = 20 \lg((D + 0.00)/D)$$

$$K_5 = 20 \lg((D + 0.02)/D)$$

$$K_4 = 20 \lg((D + 0.10)/D)$$

$$K_3 = 20 \lg((D + 0.18)/D)$$

$$K_2 = 20 \lg((D + 0.30)/D)$$

$$K_1 = 20 \lg((D + 0.40)/D)$$

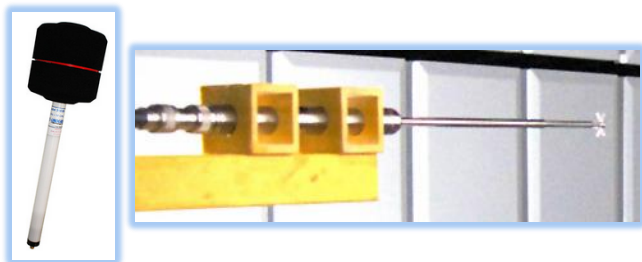
$$D = d \quad (F) \text{ для } h1 \text{ и } h2$$

$$D = d + r \quad (C) \text{ для } h1$$

$$D = \sqrt{(d + r)^2 + r^2} - 0.40 \quad (R) \text{ и } (L) \text{ для } h1$$

Передающая антенна

Всенаправленная (диполь)



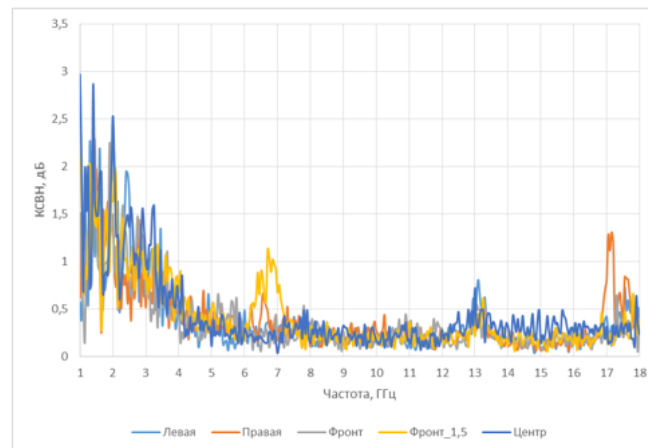
Изотропный датчик поля



Механизм перемещения антенны



Результат

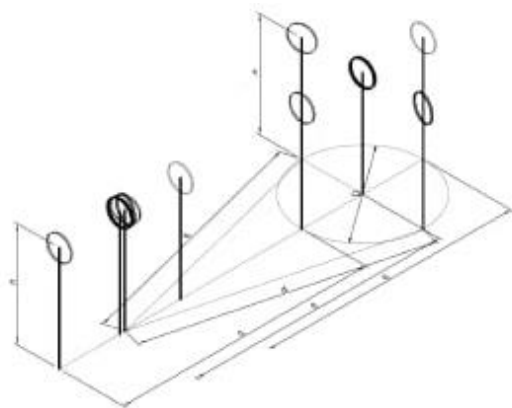


от 9 кГц до 30 МГц

Add, after the existing Annex G, the following new Annexes H, I, J, K, L, and M:

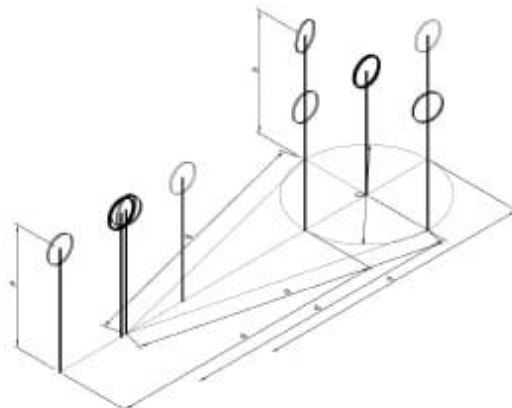
Annex H
(informative)

**Measurement uncertainties of COMTS validation results
in the frequency range 9 kHz to 30 MHz**



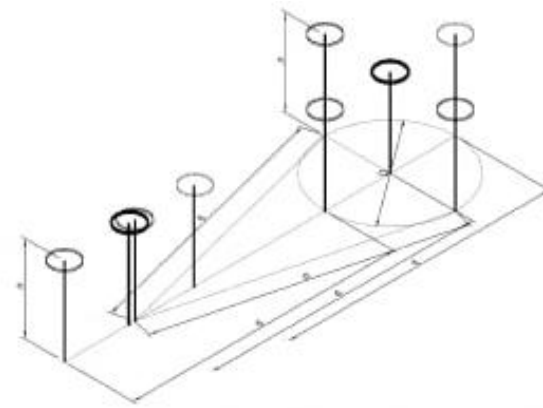
a) H_x validation measurement with loop antennas

H_x



b) H_y validation measurement with loop antennas

H_y



c) H_z validation measurement with loop antennas

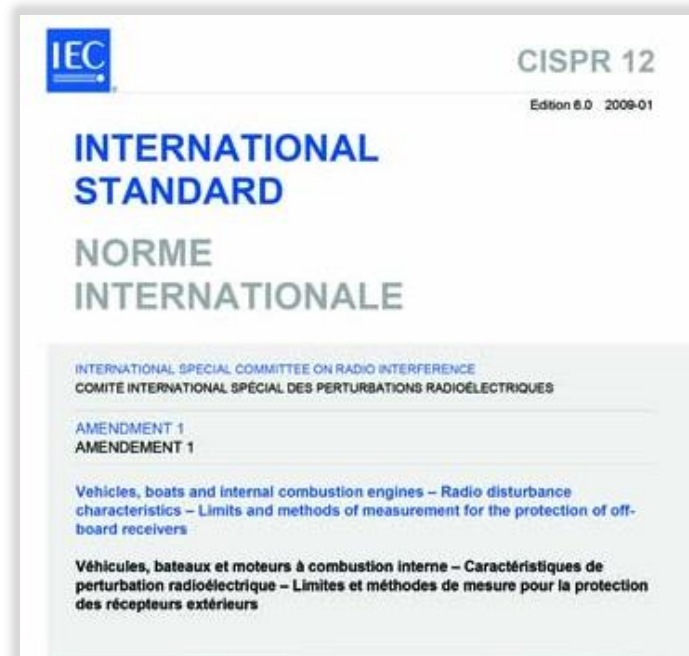
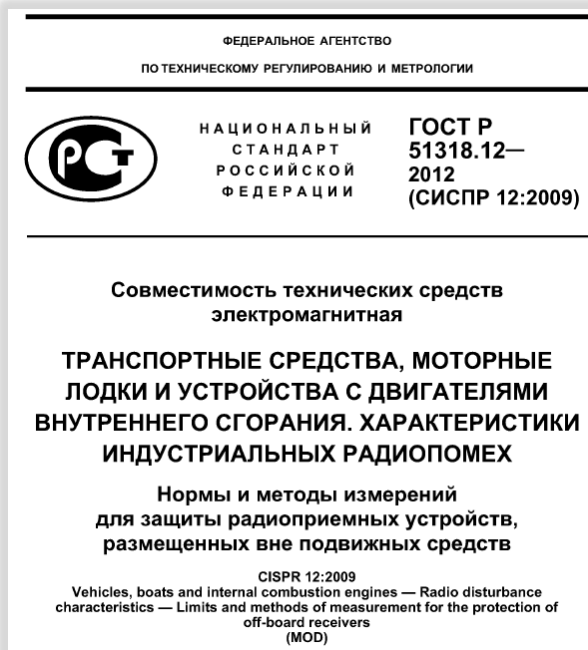
H_z

5.5.2 Normalized site insertion loss (NSIL)

The site insertion loss deviation is calculated by Equation (27):

$$\Delta A_1 = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{\text{aH,T}} - F_{\text{aH,R}} - A_{\text{Ni}}$$

3 Площадки для испытаний на ЭМС по *CISPR 12 и CISPR 25*



от 30 до 1000 МГц

$d = 10 \text{ м}$ (допускается 3 м)

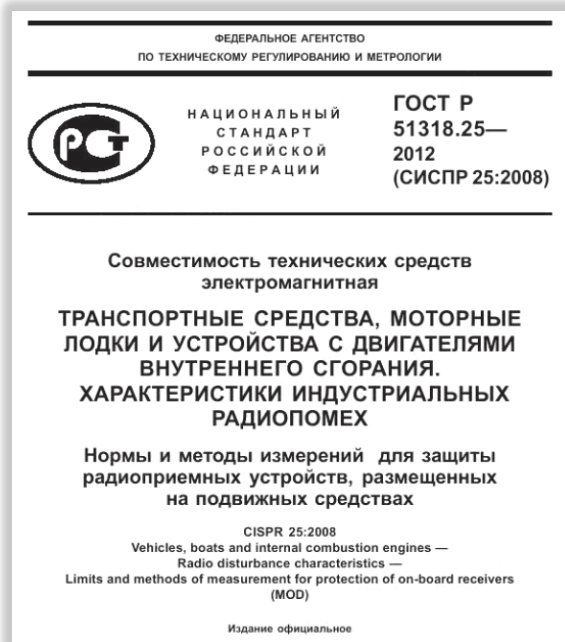


**OATS – Open Area
Test Site**

**SAC – Semi
Anechoic Chamber**

ГОСТ CISPR 16-1-4-2013

CISPR 16-1-4



от 150 кГц до 2500 МГц

Требования РПМ
МКО > - 7 дБ при f = 70...2500 МГц

Требования РПМ
МКО ≤ - 7 дБ при f = 70...2500 МГц

Требования к БЭК
при f = 150 кГц ... 1 ГГц

CISPR 25-2016 ed. 4.0 Annex J
Рекомендует использовать 2 метода оценки пригодности БЭК



Метод опорных измерений
Reference Measurement Method

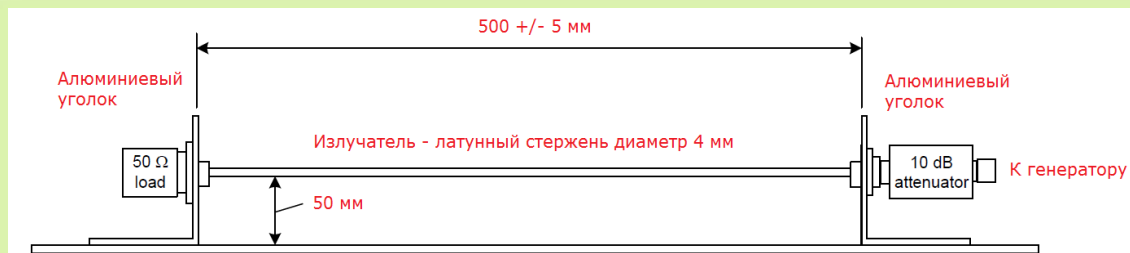
Метод моделирования антенны в виде длинной линии
Modelled Long Wire Antenna Method



Требуется опорная площадка OATS, SAC по CISPR 16-1-4

Требуется передающая антенна в виде длинной линии (50 см)

В РФ отсутствуют

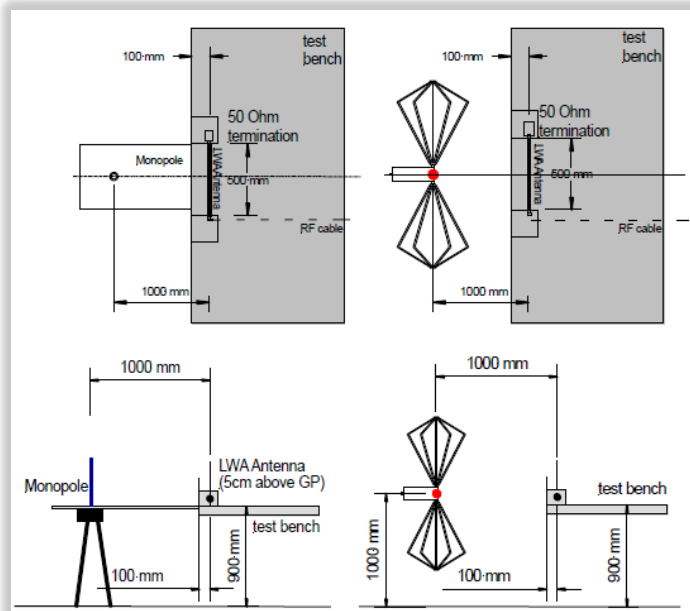


1 Измерения в БЭК с LWA

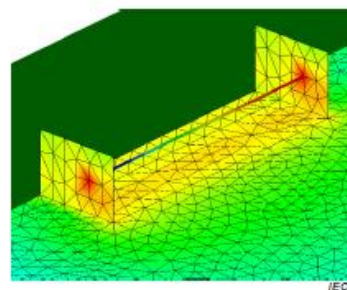
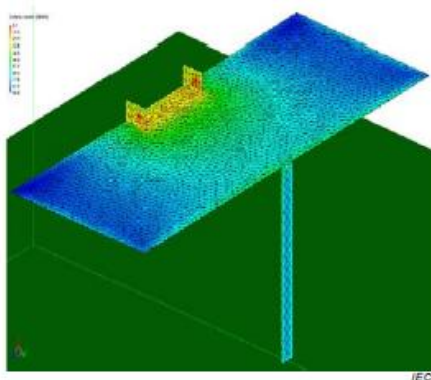
2 Сравнение результатов измерений с расчетными значениями

3 Принятие решения исходя из критерия:

90 % частотных точек +/- 6 дБ



$$E_{eq} = 120 \text{ dB}(\mu\text{V}) + S_{21} + k_{AF}$$

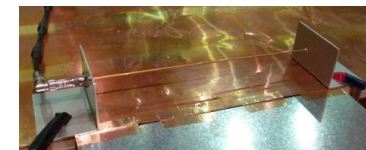


1 Выбор антенн



Приемная
150 кГц – 30 МГц
Штыревая
30 – 1000 МГц
Биконическая

Передающая
150 кГц – 1000 МГц
LWA



2 Конфигурация измерительного тракта и вспомогательное оборудование



Стальная пластина
(1 шт.)
0,5 x 1,0 м

Согласованная нагрузка (1 шт.)
50 Ом

Аттенюатор (1 шт.)
10 дБ

Антенная мачта
(1 шт.)
 $h = 1 \text{ м}$

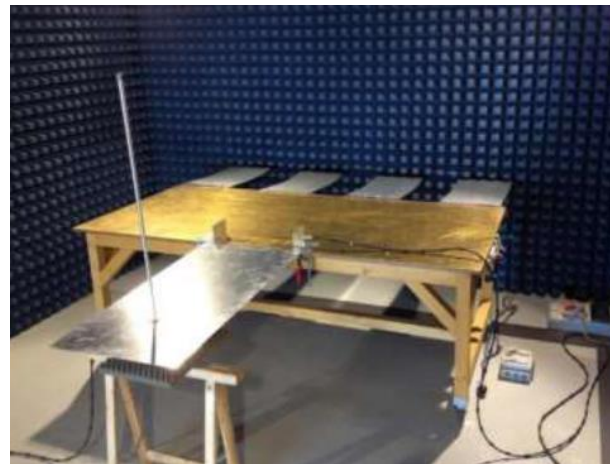
Векторный анализатор цепей
150 кГц... 1 ГГц

Комплект антенн
(2 или 3 шт.)
150 кГц... 1 ГГц

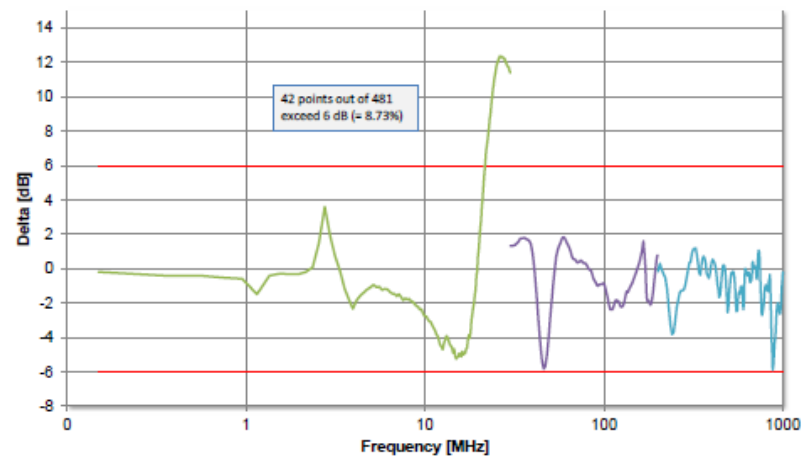
СВЧ кабельная сборка (2 шт.)
4 м
4 м

Набор ферритовых фильтров
10 шт.

3 Измерения



Всего 481 частотная точка



4 Площадки для испытаний на ЭМС по МЭК 61000-4-3

ГОСТ Р 51317.4.3-2006 (МЭК 61000-4-3:2006)

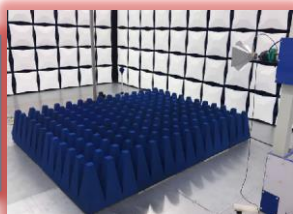
ПолуБЭК

БЭК

Диапазон частот от 80 до 6000 МГц

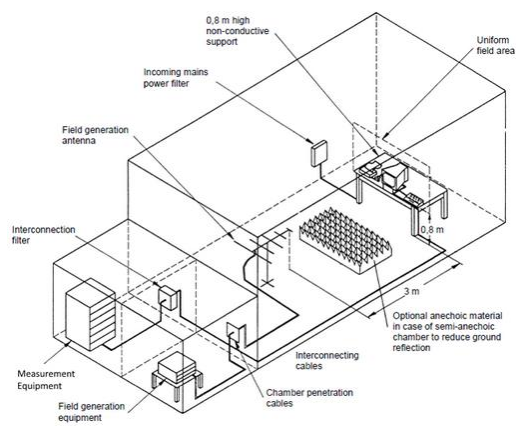


Локальное
укрытие
РПМ

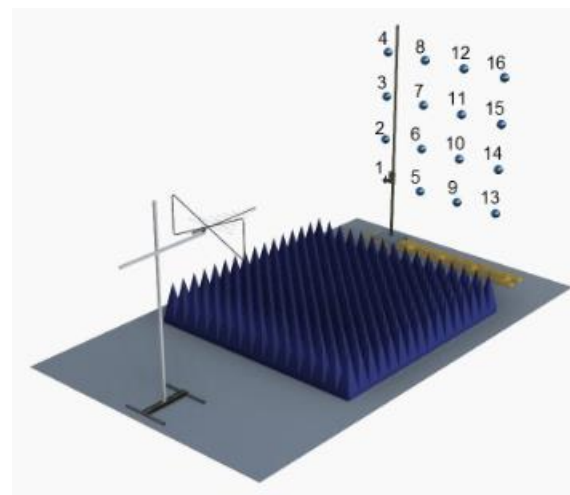
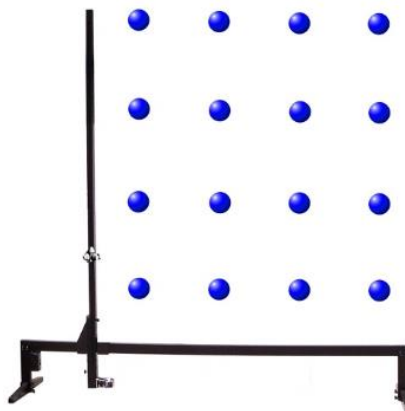


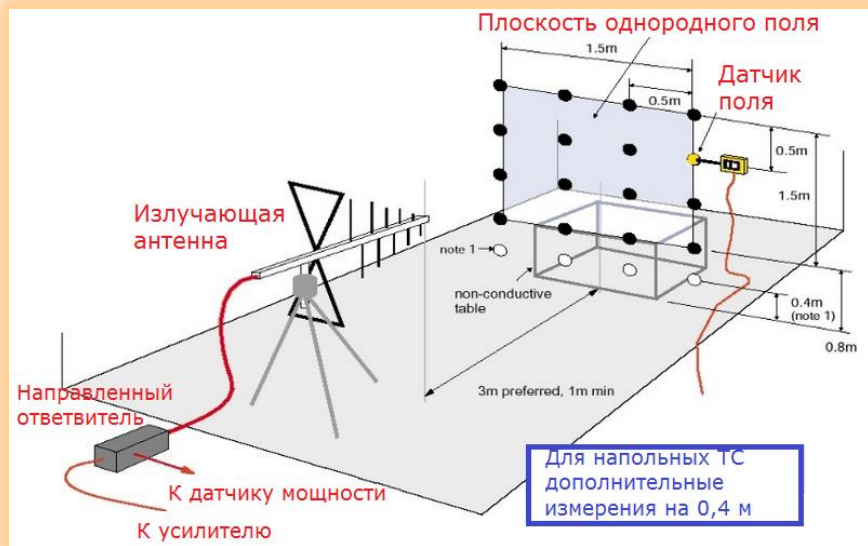
Однородность поля от 0 до 6 дБ

в рабочей зоне не менее 0,5 x 0,5 м (как правило 1,5 x 1,5 м)



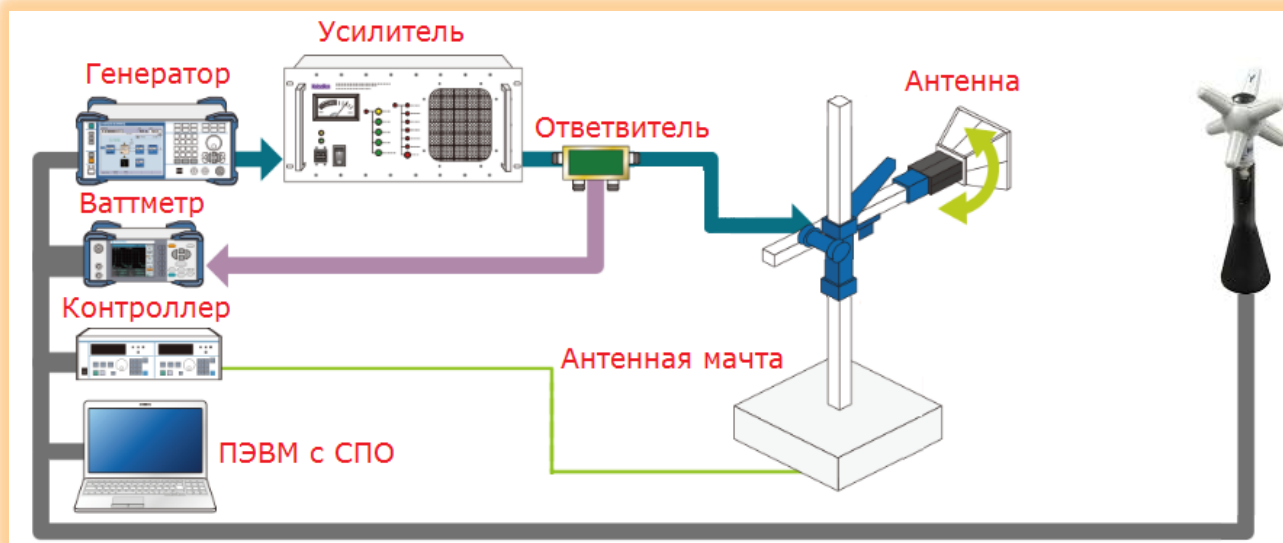
61000-4-3





Важно!!!

Излучающая антенна:
штатная



Аттестация по МЭК 61000-4-3

В части стенда для испытаний
Испытательные уровни
Насыщение усилителя

В части БЭК
Однородность поля

Необходимые условия для аттестации

Антенна излучающая



Средство измерений утвержденного типа

Направленный ответвитель



Вспомогательное оборудование

Генератор сигналов



Средство измерений утвержденного типа

Усилитель мощности



Вспомогательное оборудование

Датчик мощности



Средство измерений утвержденного типа

Датчик поля



Средство измерений утвержденного типа

5 Проблемы калибровки антенн для испытаний на ЭМС

Противоречия в подходах к метрологическому обеспечению антенн, применяемых в ЭМС



ГПЭ единицы напряженности
электрического поля в
диапазоне частот
от 300 Гц до 1 ГГц

ГЭТ 45-2011

Калибровка антенн:

Дальняя зона

Свободное пространство

ГОСТ 8.560-94

Альтернативные
испытательные площадки
эталонного класса в
диапазоне частот
от 30 МГц до 18 ГГц

Калибровка антенн:

**На фиксированных
расстояниях 1; 3; 10 м**

**В условиях металлической
подстилающей поверхности**

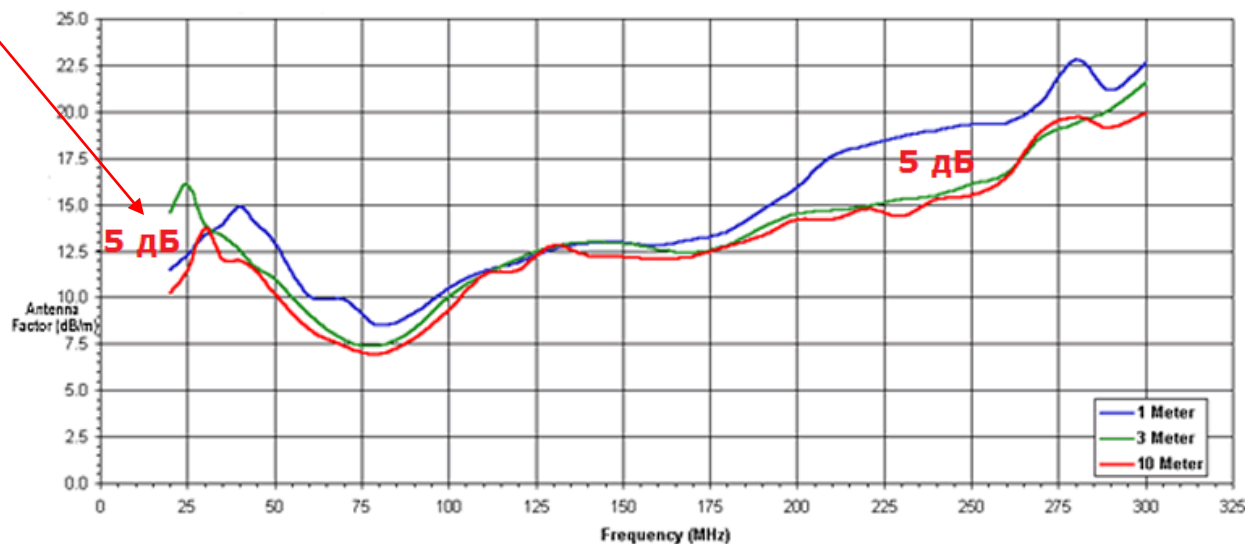
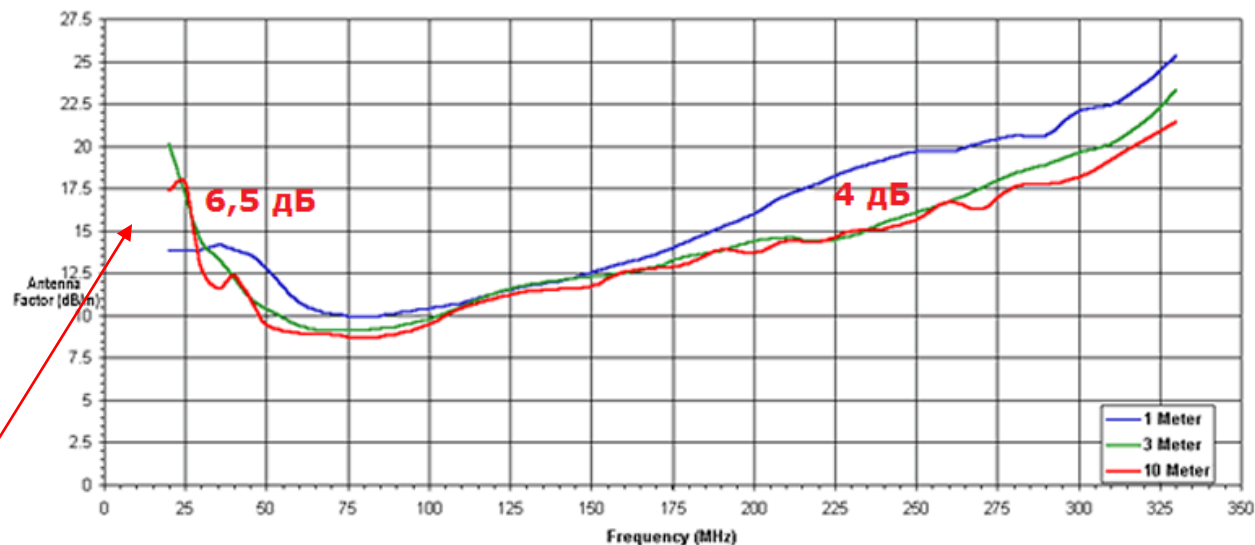
CISPR 16-1-6-2017

**Характеристики антенн, измеренные разными подходами разными методами,
приводят к некорректным результатам оценки параметров ЭМС**

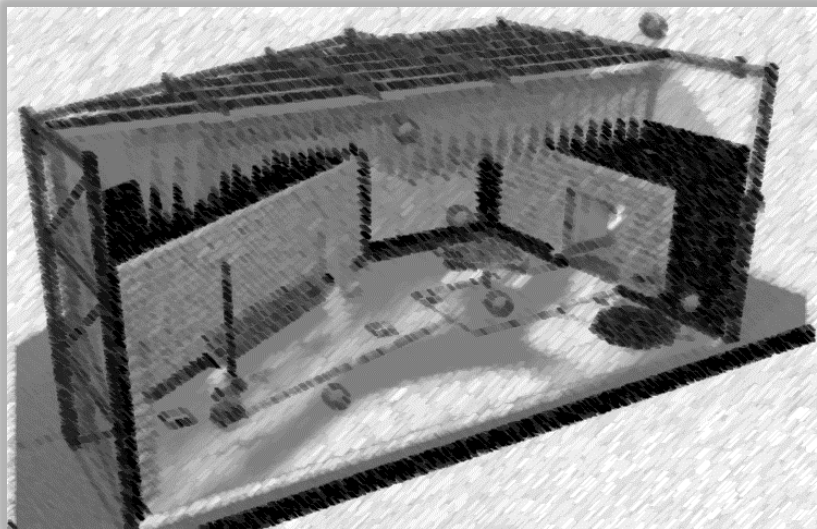
Результаты
калибровки антенн
на 1 и 10 м
отличаются на 5 и
более дБ



Результаты
испытаний на ЭМС
могут быть
недостовверны



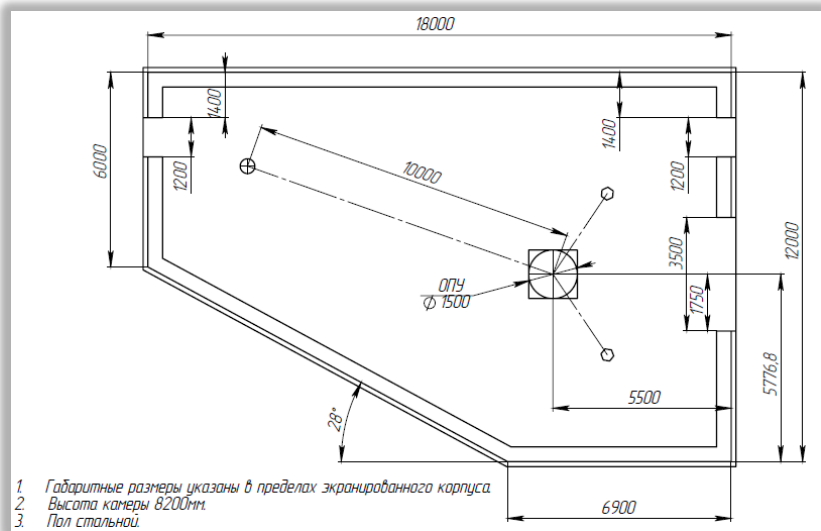
Предложения по разрешению противоречий



ОКР «Разработка государственного специального эталона амплитудных характеристик измерительных антенн в диапазоне частот от 30 МГц до 18 ГГц, предназначенных для измерений параметров ЭМС»



Внешний вид здания, предназначенного для размещения ПБЭК (здание ВНИИФТРИ)



Габаритный чертеж полубезэховой камеры

Благодарю за внимание!

*Малай И.М., д.т.н,
заместитель генерального директора
по радиотехническим и электромагнитным измерениям
E-mail: malay@vniiftri.ru*

*Шкуркин Максим Сергеевич, к.т.н.
Начальник отдела антенных измерений
E-mail: shkurkin@vniiftri.ru*