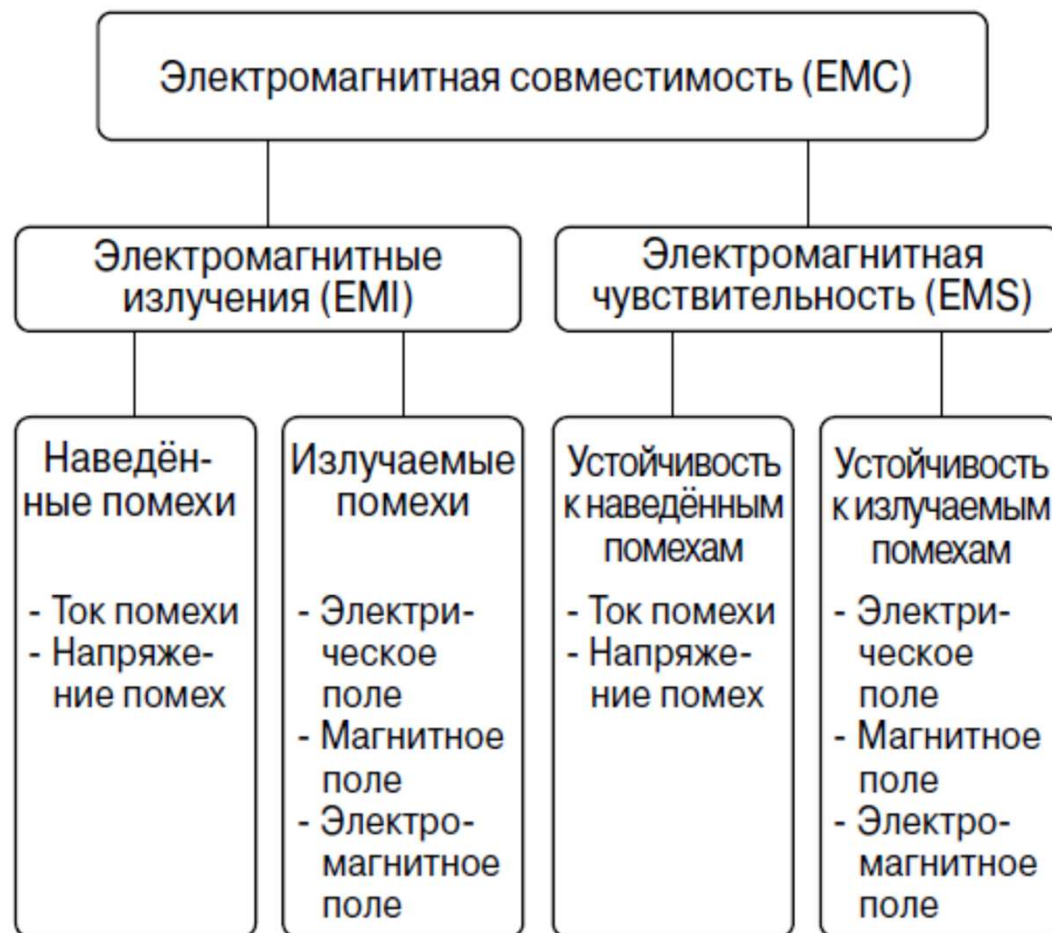


ДИПОЛЬ

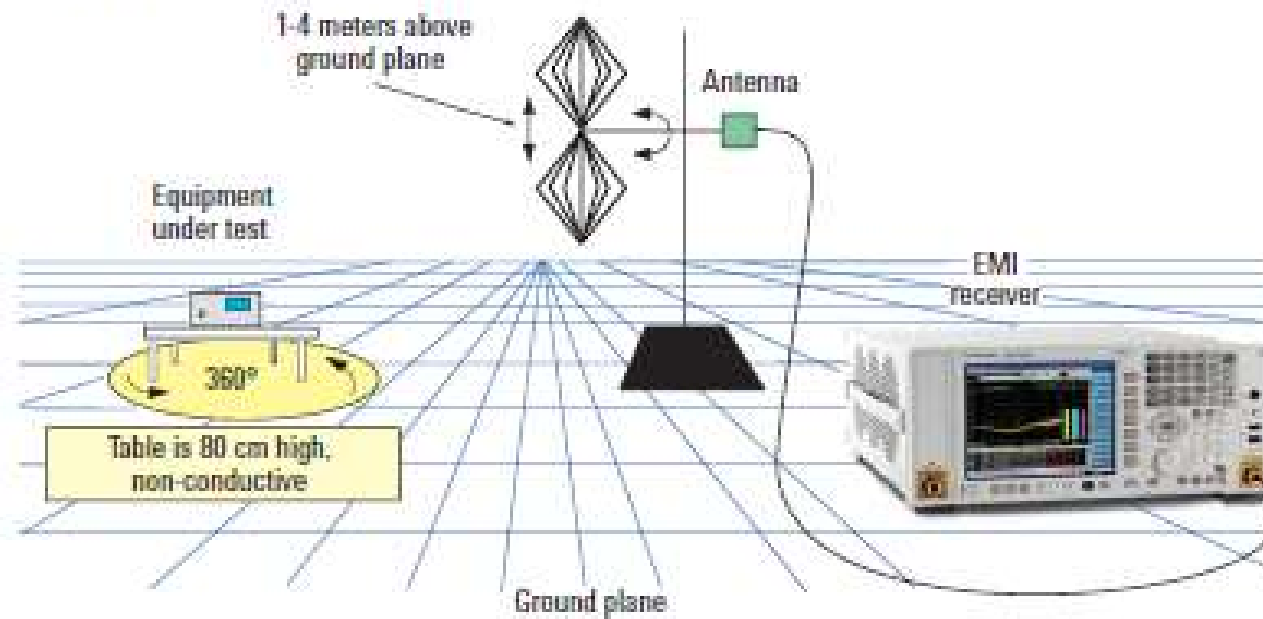
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВАЛИДАЦИИ МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕЗЭХОВЫХ КАМЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЭМИССИИ

Смирнов А.П. Д.т.н., руководитель направления ЭМС и радиоизмерений,
Басалаев К.К. руководитель департамента ,
Занин Ю.М. технический специалист,
Колдашов Ф.Г. технический специалист



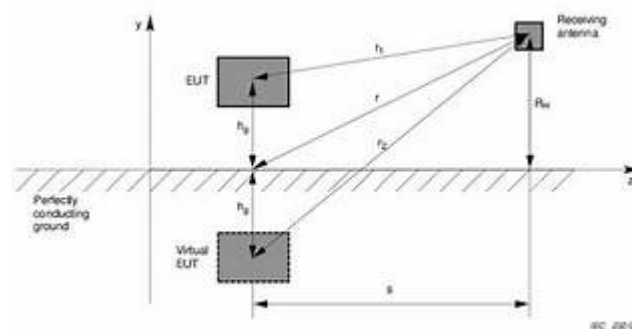
Внешний вид измерительной системы
на примере открытой испытательной площадки

CISPR radiated EMI test setup





Принцип измерений – поиск максимума сигнала при перемещении приемной антенны по высоте 1-4 м



- Асинхронное сканирование по частоте
- Изменение ориентации объекта
- Изменение поляризации



Полностью безэховая камера FAR



Необходимы нормы для условий FAR

- Открытые ИП (OATS)
- Альтернативные ИП с защитой от погодных условий
- Полубезэховые камеры (SAC)
- Полностью безэховые камеры (FAR)
- Экранированные камеры с поглотителем (ALSE)

Физический смысл их конструктивного исполнения понятен из названия

- В ИП типа ALSE не предъявляются требования к характеристикам напольной поверхности.
- Вообще-то под определение ALSE могут попадать ИП как SAC, так и FAR,
- Некоторые национальные стандарты ошибочно **ALSE=FAR** (автомобильные стандарты)
- Ряд из перечисленных ИП могут работать в частотном диапазоне, выходящем за диапазон 30 МГц-1 ГГц.
- Наиболее распространенными являются ИП типа SAC с измерительным расстоянием 3 м.
- В последнее время стали активно появляться ИП типа FAR с измерительным расстоянием 3 м



Объектом исследований являлись малогабаритные ИП
SAC и FAR с измерительным расстоянием 3 м (30-1000 МГц)



Нормативные процедуры проверки ИП для частот 30-1000 МГц

Нормативные процедуры проверки ИП для частот 30-1000 МГц

Признак	ГОСТ Р 520-93	ГОСТ Р 520-93-2013
Оценка соответствия ИП	Аттестация	Валидация
Метод проверки ИП	NSA	NSA, RSM
Типы площадок ИП (30-1000 МГц)	OATS, SAC	OATS, SAC, FAR
Типы антенн для проверки ИП SAC методом NSA	Настраиваемые диполи, ШП антенны	Настраиваемые диполи, ШП антенны
Требования к антеннам для проверки SAC	Нет указаний	Близость к диполю Герца
Погрешность калибровки	1 дБ	1 дБ
Стандартные данные NSA SAC	Таблица	Таблица
Типы антенн для проверки ИП FAR методом NSA	-	Приемная антенна того же типа, что измерительная антенна
Требования к антеннам для проверки FAR	-	Передающая антенна габаритами не более 45 см
Стандартные данные NSA FAR	-	Формула (график)
Дополнительные поправки для FAR		Ниже 110 МГц@3м и 60 МГц@5м – методом моделирования
Погрешность калибровки	1 дБ	1 дБ

Анализ обоснованности аттестации как формы оценки соответствия ИП

Организационной формой проверки соответствия ИП требованиям является аттестация площадок по процедурам аттестации испытательного оборудования, обоснованной ГОСТ Р 51320. Правомочность такого подхода и активное использование указанного стандарта в настоящее время сомнительна и нецелесообразна по ряду причин:

- несмотря на определение площадки как “испытательной” она не создает никаких воздействий, определяющих или влияющих на режим функционирования исследуемого источника помех, что является характерным признаком технического средства как испытательного оборудования;
- не отражает активное внедрение площадок типа FAR;
- содержит ряд методических неоднозначностей, касающихся определения NSA в части учета характеристик антенн и возможности получения частотной зависимости непрерывно, а не только на дискретных точках;
- появляется обязательность проведения МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПМА, которые фактически являются пересказом положений стандартов и вряд ли содержат существенные недостатки;
- обуславливает необходимость применения СИ утвержденных типов, поверка которых недостаточна для оценки характеристик ИП, но исключает калибровку СИ (антенн) или перевод их в разряд средств испытаний или вспомогательного оборудования;
- используемые подходы к аттестации характеризуются нередким включением в состав проверяемых характеристик БЭК не важных для измерений эмиссии излучаемых ИП, например, коэффициента экранирования, но значение которых могут стать причиной необоснованной забраковки ИП, изначально предназначенной для измерений эмиссии ИП.



~~Отказ от использования ГОСТ Р 51320 как потерявшего актуальность~~



Использование исключительность ГОСТ CISPR 16-1-4 (2013, 2019)

Т а б л и ц а 7 — Методы валидации испытательных площадок OATS, на основе OATS, SAC и FAR

Вид испытательной площадки	Применение метода валидации испытательной площадки		
	Настроенные диполи NSA	Широкополосные антенны NSA	Широкополосные антенны RSM
OATS	Да	Да	Да
OATS с укрытием от атмосферных воздействий	Нет	Да	Да
SAC	Нет	Да	Да
FAR	Нет	Да	Да

Отсутствие опорной площадки оставляет единственным методом проверки ИП – метод NSA

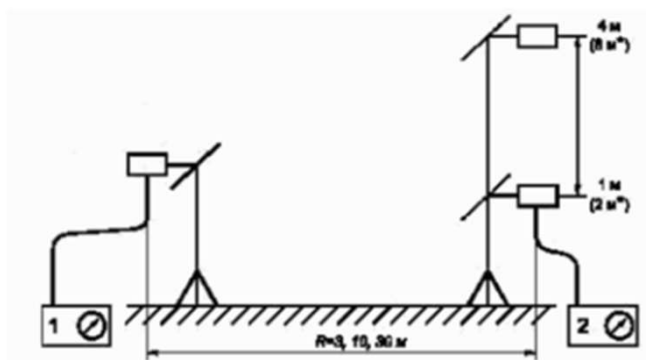


Особенности проверки характеристик типа SAC



Измерение

$$SA_{SAC} = AF_1 + AF_2 - 20lg \left(\frac{6}{5} k \left| \alpha_1 \beta_1 \frac{e^{-ikr_1}}{r_1} + \rho \alpha_2 \beta_2 \frac{e^{-ikr_2}}{r_2} \right| \right),$$

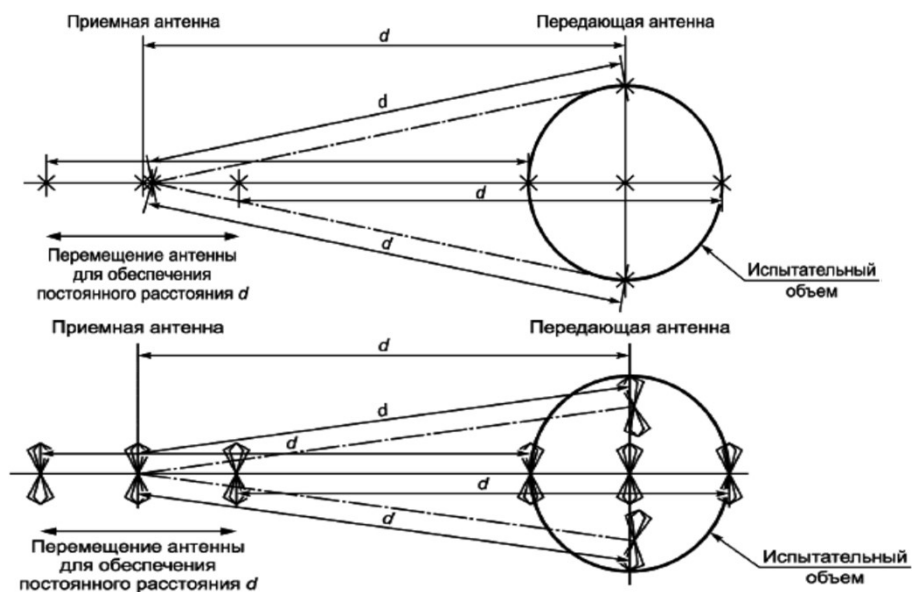


- Используются анализаторы цепей;
- Существуют требования к погрешности характеристик элементов измерительного тракта
- Допуск (отклонение) учитывает погрешности
- 4 дБ = 1 дБ + 1 дБ + 1 дБ + 1 дБ (4 фактора)

Расчет

$$NSA_{SAC}^H = \max_{h_2} \left(20lg \left(\frac{6}{5} k \left| \frac{e^{-ikr_1}}{r_1} - \frac{e^{-ikr_2}}{r_2} \right| \right) \right)$$

$$NSA_{SAC}^V = \max_{h_2} \left(20lg \left(\frac{6}{5} k \left| \cos^2(\vartheta_1) \frac{e^{-ikr_1}}{r_1} + \cos^2(\vartheta_2) \frac{e^{-ikr_2}}{r_2} \right| \right) \right)$$



- Передающая (по крайней мере) антенна должна быть минимально размеров для адекватного РО;
- Иначе различные антенны будут приводить к различным РО

Рис.1. Положение антенн для ВП и ГП (ГОСТ CISPR 16-1-4)

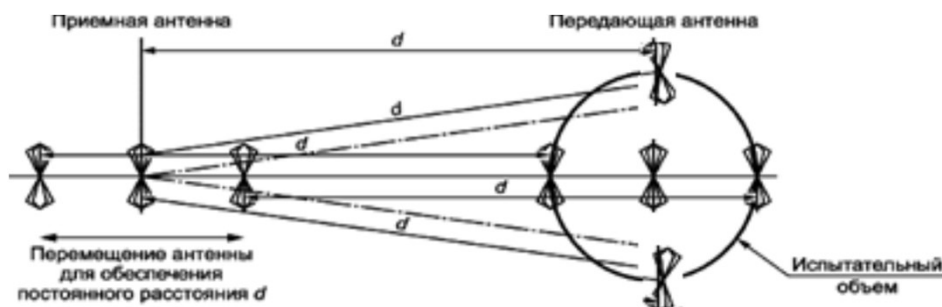


Рис. 2. Возможное положение антенн для ГП

Г ДИПОЛЬ



Выбор измерительных антенн

Диапазон частот от 30 до 300 МГц
Коэффициент калибровки от 10 до 25 дБ(1/м)
Погрешность калибровки ± 2 дБ
Габаритные размеры 1327 × 501 × 501 мм

Диапазон частот от 300 до 1000 МГц
Коэффициент калибровки до 30 дБ(1/м)
Погрешность калибровки ± 1.5 дБ
Габаритные размеры 400 × 150 × 150 мм

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОКОЛ ПОВТОР

Частота, МГц	Коэффициент калибровки, дБ(1/м)	Погрешность калибровки, дБ
30	10	±2
50	15	±2
70	20	±2
100	25	±2
150	30	±1.5
200	30	±1.5
300	30	±1.5
500	30	±1.5
700	30	±1.5
1000	30	±1.5

Погрешность измерения в диапазоне частот от 30 до 1000 МГц не превышает ±0.5 дБ

ВН № 000002

Замена пары антенн единственной

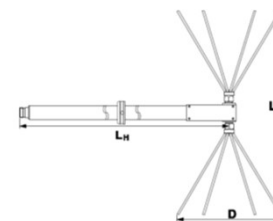
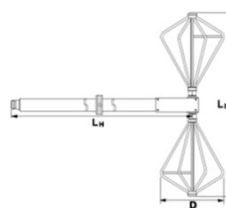


PCD 3100, SeibersdorfLabor



Диапазон частот от 30 до 1000 МГц
Коэффициент калибровки 26-44 дБ(1/м)
Погрешность калибровки ± 2 дБ
Размеры 210 × 170 × 130 мм

UBA 9115, Schwarzbeck



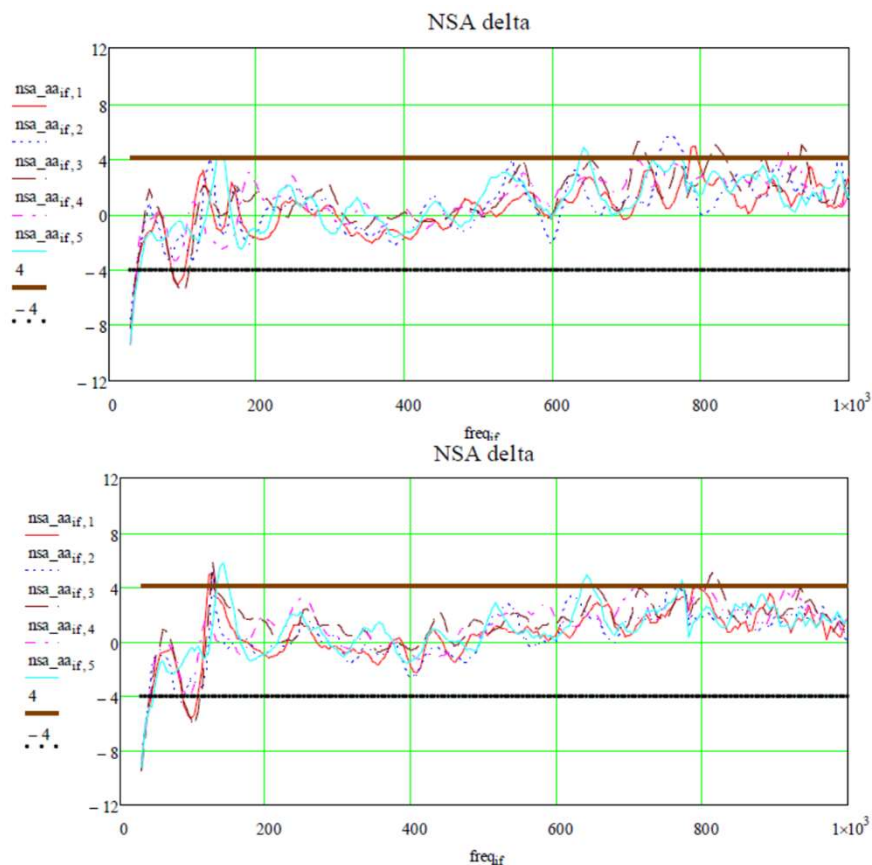
BBVU 9135 $L_E=444$ mm
BBUK 9139 $L_E=330$ mm
BAOC 9216 $L_E=276$ mm
BBOC 9217 $L_E=390$ mm

Диапазон частот от 30 до 1000 МГц
Коэффициент калибровки до 40 дБ(1/м)
Погрешность калибровки ± 1 дБ

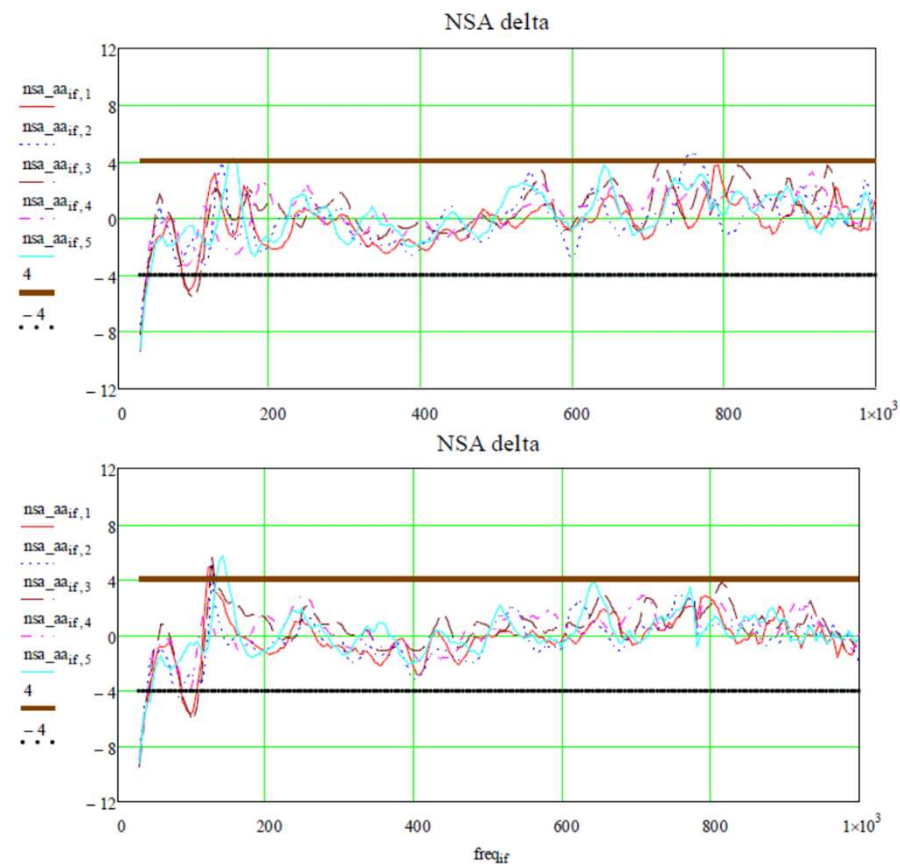


Учет реальной ДНА при валидации SAC (ВП)

Относительно NSA диполя Герца



Относительно NSA реальной ДНА

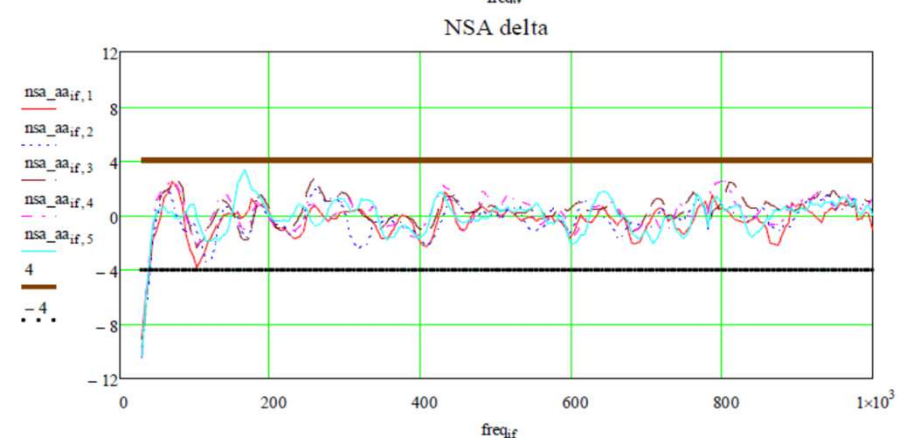
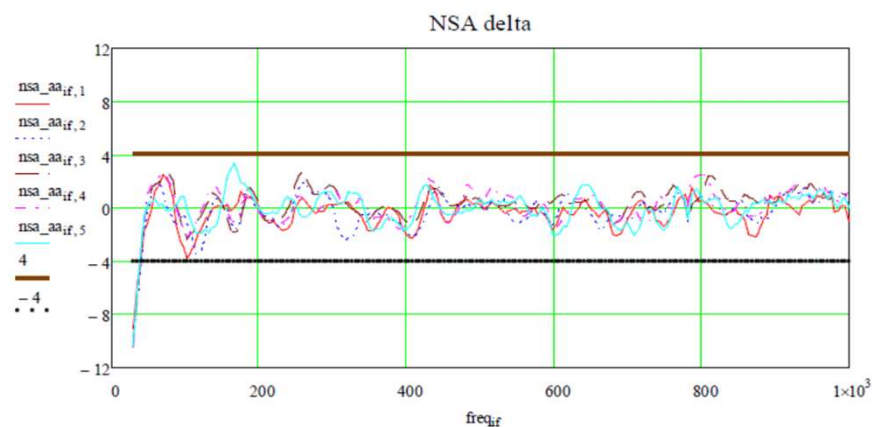
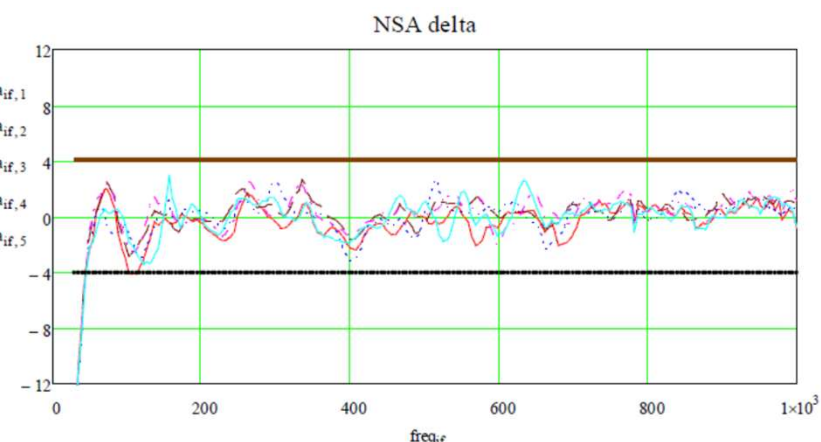
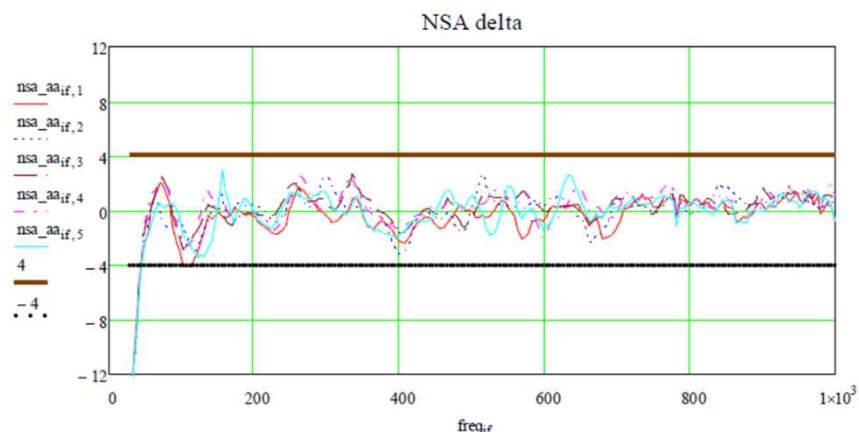


Высоты антенны 1 м (вверху) и 1.5 м (внизу)

Наблюдается улучшение характеристик в ВЧ части – адекватность ДНА в Е-плоскости

Относительно NSA диполя Герца

Относительно NSA реальной ДНА



Высоты антенны 1 м (вверху) и 2 м (внизу)

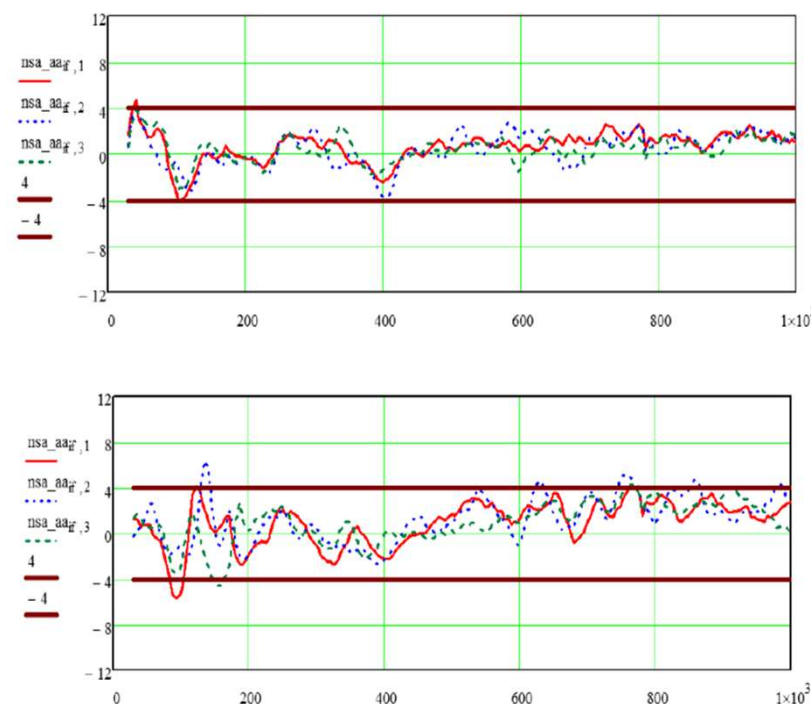
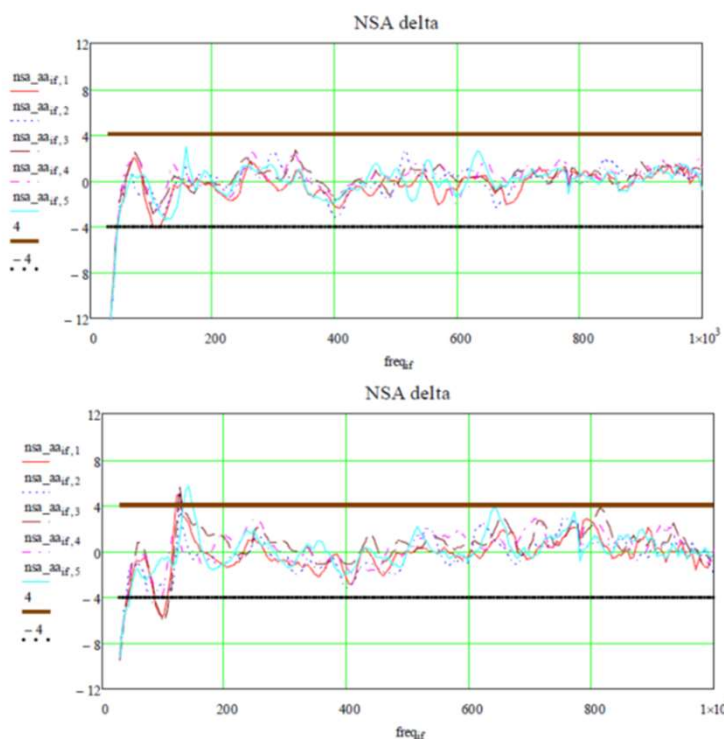
Отличий характеристик не наблюдается – совпадение ДНА в Н-плоскости

Повышение чувствительности измерений

- Увеличение мощности излучения
- Уменьшение полосы пропускания анализатора спектра или ВАЦ
- Накопление результатов измерений



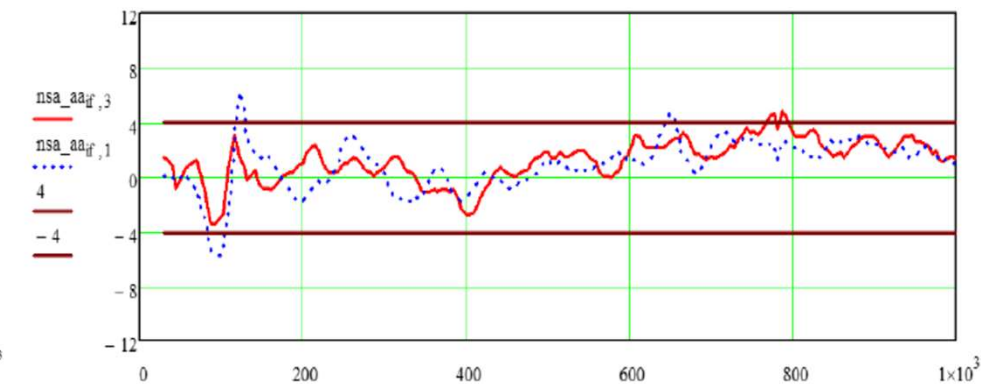
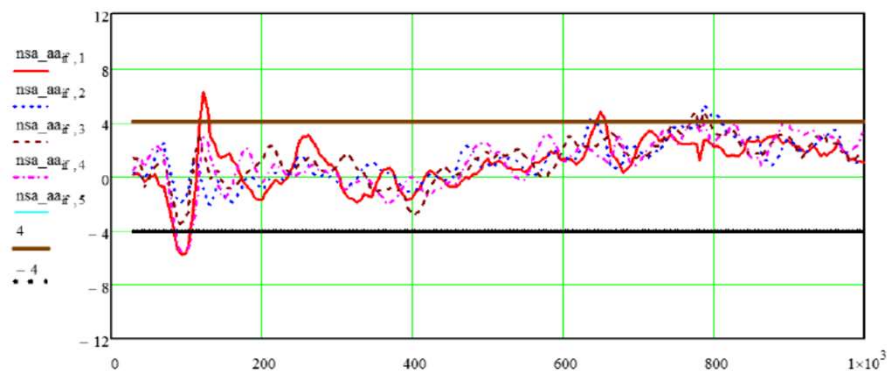
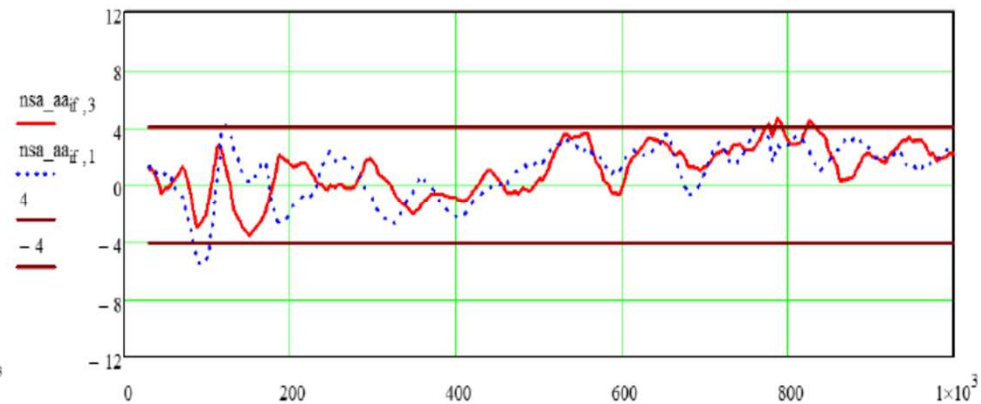
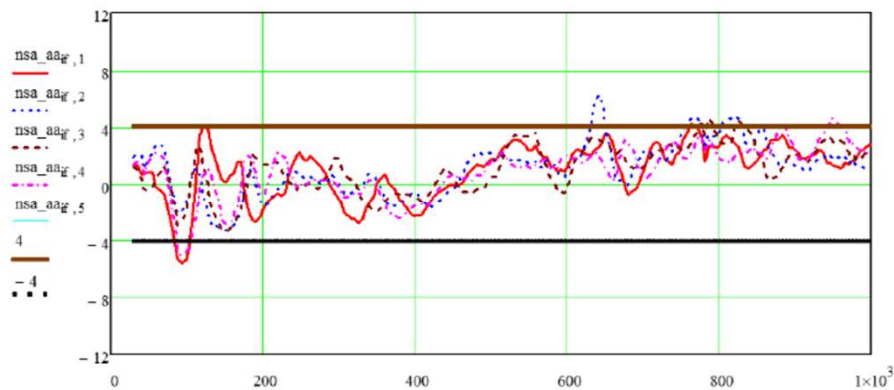
Некритичное увеличение времени измерений



Исчезли критические точки ниже 50 МГц !!!



Учет направления распространения



Изменение результатов измерений в зависимости от линии облучения (-10, 0, +10, +20 градусов), (ВП, 1 м и 1.5 м)

Лучший результат измерений в зависимости от линии облучения (+10 градусов), (для сравнения – пунктир исходные данные)



Особенности проверки характеристик типа FAR

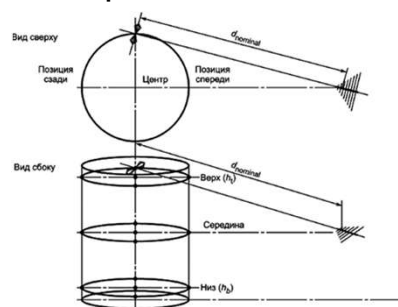
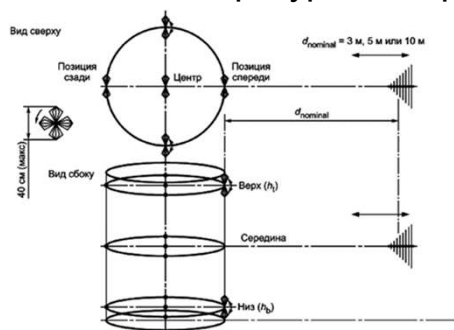


Определение понятия РО и принцип валидации FAR

Т а б л и ц а 14 — Зависимость максимальных размеров рабочего объема от измерительного расстояния

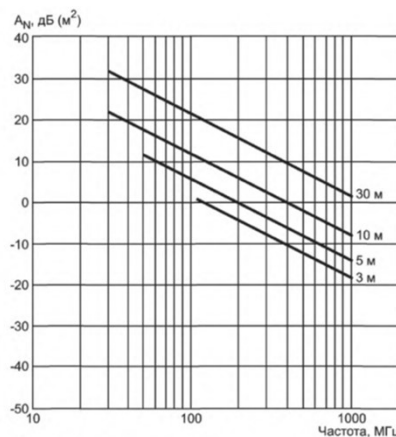
Максимальный диаметр d_{max} и высота h_{max} рабочего объема, м	Измерительное расстояние d_{nominal} , м
1,5	3,0
2,5	5,0
5,0	10,0

Конфигурация при измерениях



Формула для расчета NSA

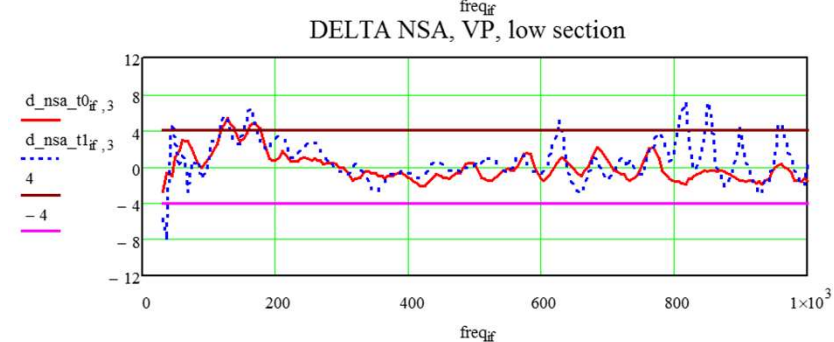
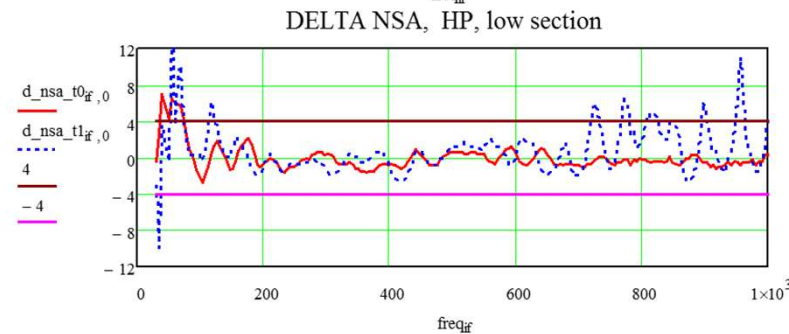
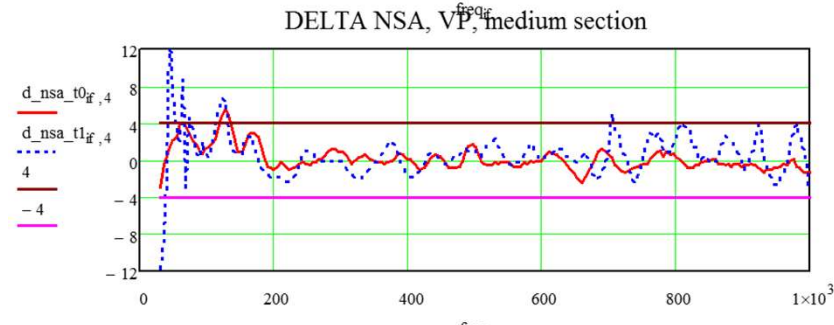
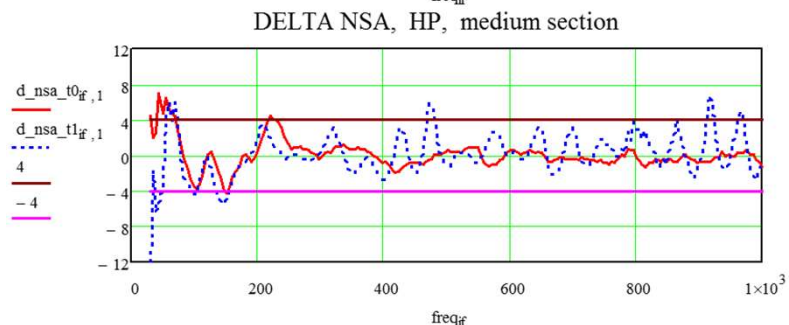
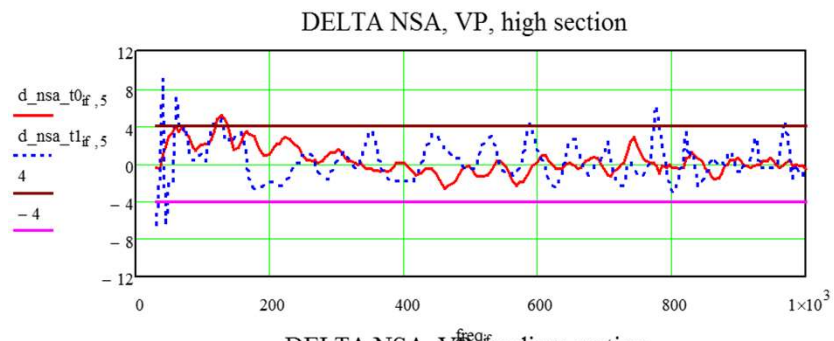
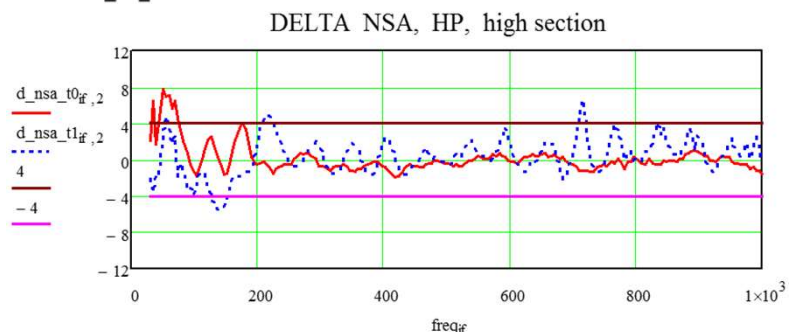
$$A_S = 20 \lg \left(\frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f_M) + F_{aR} + F_{aT},$$



Имеются ограничения применимости формулы !



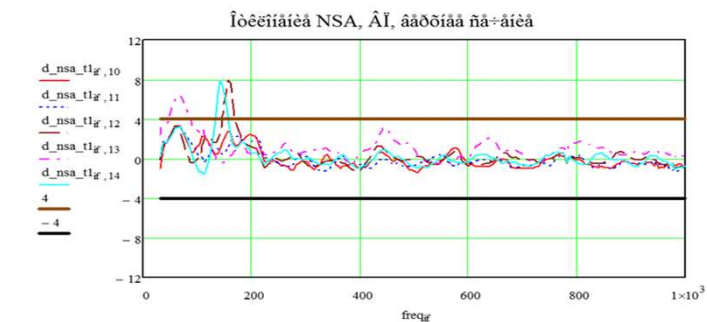
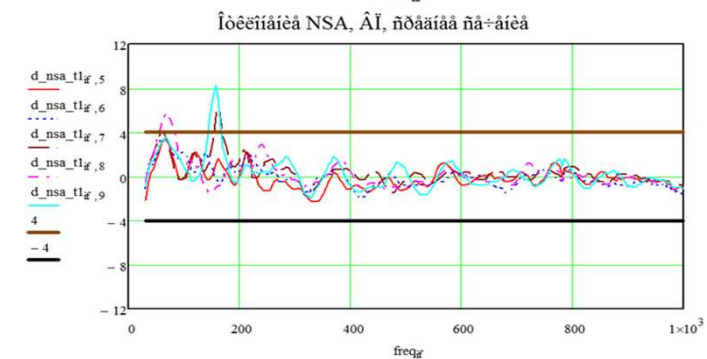
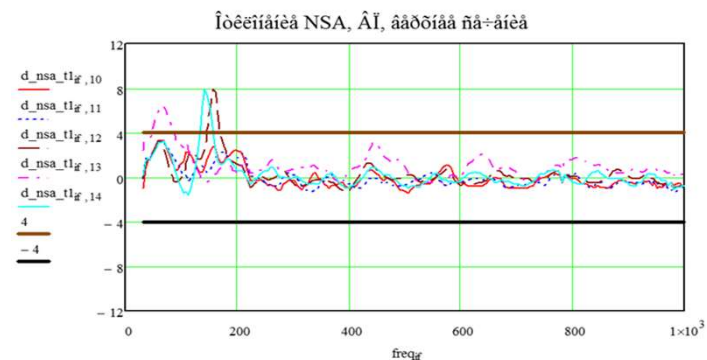
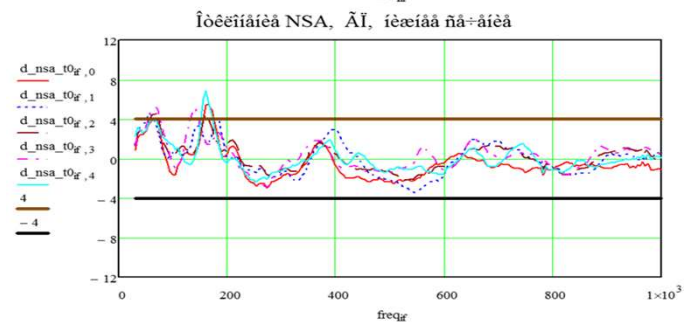
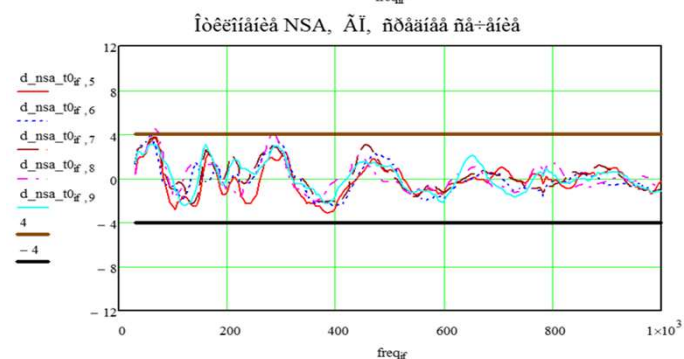
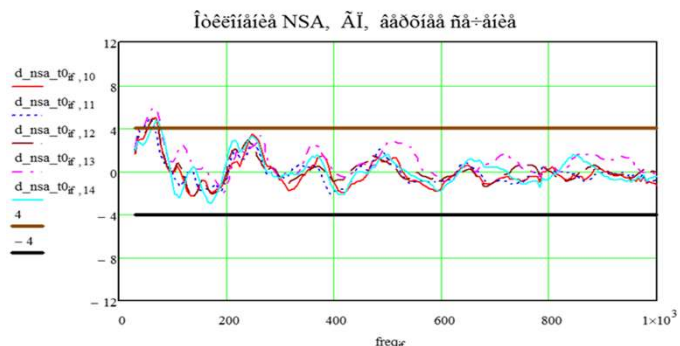
Влияние направленности антенн при валидации FAR



Результаты NSA FAR для направленной (штатной) и ненаправленной (привлекаемой) **ПРМ** антенн



Контроль корреляции в пределах сечения РО при валидации FAR



Результаты NSA FAR в пределах сечения РО должны проявлять видимую корреляцию

На частотах ниже 60 МГц при измерительном расстоянии 5 м или на частотах ниже 110 МГц при измерительном расстоянии 3 м необходимо применять коэффициенты коррекции для ближнего поля для каждой из испытательных позиций, указанных в таблице 14, для сравнения нормализованного затухания площадки с теоретическим значением нормализованного затухания на рисунке 42 [см. уравнение (37)]. Коэффициенты коррекции для ближнего поля зависят от характеристик антенн, измерительного расстояния, используемого рабочего объема и должны быть определены методами численного моделирования NEC [4]. Достаточно небольшие неопределенности получают из уравнения (37). При использовании альтернативного метода опорной испытательной площадки (см. 5.4.7.2) коэффициенты коррекции для ближнего поля не применяют, если при измерениях на опорной испытательной площадке и при валидации безэховой камеры используются те же антенны и частоты.



Данные поправки и методы их расчетов должны быть результатом широкого обсуждения и согласования заинтересованными организациями


Процедуры расчетов (Приложение) должны быть впоследствии доступны



Важные аспекты при SAC;

- Учет реальной ДНА антенн
- Минимизация размеров антенн
- Замена пары антенн (30-300 и 300- 1000) одной широкополосной антенной (30-1000)
- Итерационный поиск оптимального направления измерений
- Учет чувствительности измерений, особенности в НЧ части

Важные аспекты при FAR:

- Строгое соблюдение требований к габаритам ПРД антенны
 - Строгий выбор однотипной приемной антенны
 - Замена пары антенн (30-300 и 300- 1000) одной широкополосной антенной (30-1000)
 - Учет корреляции результатов в пределах сечений РО
 - Обоснованный учет поправок и ближнего поля, особенности в НЧ части
- 



Спасибо за внимание!

Смирнов А.П., доктор технических наук
Руководитель направления ЭМС
и радиоизмерений НПФ "Диполь"
Тел. (495) 6452002, моб. 8-903-502-49-25
smirnov@dipaul.ru
