

Реверберационная камера для испытаний на восприимчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Проблемы использования

А. Шостак¹

УДК 621.317 | ВАК 05.11.01

В лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР» проводятся испытания изделий авиационной промышленности гражданского и специального назначения. Основные документы, регламентирующие проведение таких испытаний, – это стандарты КТ-160G/14G и ГОСТ РВ 6601-001-2008, а также программы и методики предприятий-заказчиков.

Одним из основных видов испытаний является проверка восприимчивости изделия к радиочастотному электрическому полю высокой напряженности (High-intensity Radiated Field – HIRF), вплоть до 7,2 кВ/м (КТ-160G группа L).

Для закрытия максимально возможных категорий жесткости указанных выше стандартов, в лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР» было решено создать рабочее место на основе радиочастотной реверберационной камеры (РК) (рис. 1), которая является альтернативным методом проведения испытаний на восприимчивость к электрическому полю. Параметры РК: общие габаритные размеры 2700×1550×1650 мм, размеры рабочей зоны 700×700×700 мм, диапазон рабочих частот 400 МГц – 18 ГГц.

Данный метод испытаний в нашей стране пока не получил широкого распространения, в том числе и потому, что при разработке, аттестации и эксплуатации такого вида оборудования персоналу лаборатории приходится сталкиваться с рядом вопросов, часть которых будет рассмотрена в данной статье.

Кратко напомним, что реверберационная камера – это экранированное помещение, изготовленное обычно из алюминия или оцинкованной стали, внутри которого расположены передающая антенна, измерительный датчик, а также рассеивающий электромагнитные волны элемент – тюнер. Работа РК основана на принципе многократных отражений падающей электромагнитной волны, генерирующей высокую напряженность поля за счет усиливающей интерференции (эффекта резонанса), в результате чего образуются «стоячие» волны, которые «перемешиваются» тюнером с целью

получения однородного электрического поля в рабочем объеме РК.

Преимущество РК заключается в возможности проведения испытаний на восприимчивость к электрическому полю в широком диапазоне частот, при относительно невысоких требованиях к подводимой мощности сигнала на передающую антенну. При этом ориентация испытуемого изделия внутри рабочего объема РК менее важна, так как все его плоскости и подводимые кабели подвергаются воздействию однородного электрического поля, погрешность изменения которого, при правильно сконфигурированной геометрии, обычно лежит в пределах ±3 дБ (данное значение подтверждается аттестацией аккредитованной организации).



Рис. 1. Реверберационная камера лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР»

¹ АО «ТЕСТПРИБОР», инженер-испытатель ИЛ ЭМС.

АТТЕСТАЦИЯ

Аттестация такого вида оборудования, как реверберационная камера, накладывает, в отличие от антенны или генератора сигналов, дополнительные требования, а именно наличие программного обеспечения (ПО), которое позволяло бы одновременно контролировать положение тюнера, уровень излучаемой мощности и измеренное значение напряженности.

Хотя большинство камер зарубежного производства уже поставляется с ПО для автоматизации испытаний, в случае собственной разработки необходимо привлекать соответствующих специалистов для внедрения программы, позволяющей одновременно обмениваться данными между генератором сигналов, датчиками прямой и обратной мощности, датчиком напряженности электрического поля и приводом тюнера РК.

Сам процесс аттестации занимает значительное время, так как инженеру необходимо проводить измерение однородности создаваемого электрического поля в девяти точках испытательного объема на фиксированных частотах и в требуемых положениях тюнера. Для примера, в табл. 1 отражено требование стандарта ГОСТ РВ 6601-001-2008 к необходимому числу позиций тюнера.

Учитывая потенциальную трудоемкость испытания, а также принимая во внимание то, что при внесении испытуемого изделия картина полей будет изменяться, существенно ускорить процедуры калибровки и испытаний можно, только используя максимальное количество датчиков напряженности электрического поля в рабочем объеме.

ДАТЧИКИ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

При рассмотрении рынка измерительного оборудования обнаруживается малое количество подходящих датчиков напряженности электрического поля из реестра СИ. На момент написания данной статьи для покрытия всего частотного диапазона испытаний по КТ-160G/14G и ГОСТ РВ 6601-001-2008 возможно использовать только три датчика от двух производителей,



Рис. 2. Малогабаритная биконическая антенна

Таблица 1. Необходимое число позиций тюнера в соответствии со стандартом ГОСТ РВ 6601-001-2008

Частотный диапазон, МГц	Необходимое число позиций тюнера
200-300	50
300-400	20
400-600	16
Свыше 600	12

причем максимально регистрируемый ими уровень достигает 1 кВ/м для частот до 4 ГГц и 600 В/м для частот до 18 ГГц. И хотя этого достаточно для испытаний по ГОСТ РВ 6601-001-2008 и перекрытия большинства категорий КТ-160G, этого явно недостаточно для проведения испытаний импульсными электрическими полями по максимальным категориям жесткости КТ-160G. На зарубежном рынке присутствуют датчики, которые имеют возможность измерения импульсных электрических полей напряженностью до 600 кВ/м, но, к сожалению, пока отечественные испытательные лаборатории не могут их использовать при проведении сертификационных испытаний. Помимо этого, для удобства и ускорения калибровки рабочего объема РК желательно использовать систему из нескольких датчиков (в идеальном случае девяти), однако это требует существенного финансирования, а также большего рабочего объема.

НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ЧАСТОТЫ

РК на низких частотах характеризуется конечным числом возбуждаемых типов волн (мод), суперпозиция которых в итоге приводит к неоднородному распределению электрического поля в нижней области диапазона рабочих частот. Также следует отметить, что эффективность РК снижается с убыванием частоты, то есть мощность сигнала, необходимая для создания определенной напряженности поля, будет тем больше, чем меньше нижняя рабочая частота.



Рис. 3. Октавные рупорные антенны

Таблица 2. Сравнение реверберационной и полубезэховой экранированной камер

Реверберационная камера	Полубезэховая экранированная камера
	
Зависимость рабочих частот от геометрии	Зависимость рабочих частот от параметров радиопоглощающих материалов
Одновременный контроль трех параметров: <ul style="list-style-type: none"> • частоты, • амплитуды, • угла поворота тюнера 	Одновременный контроль двух параметров: <ul style="list-style-type: none"> • частоты, • амплитуды
Необходимость каждый раз перед испытаниями калибровать камеру в девяти точках во всем диапазоне частот при внесении в ее рабочий объем испытуемого изделия	Калибровка в одной точке
Ввиду необходимости постоянной калибровки время и трудозатраты персонала ≈ в 10 раз выше	Персонал только заменяет / переключает антенны и усилители. Проведение испытаний «вручную» дает сравнительно небольшой прирост ко времени и трудозатратам персонала
Необходимость дополнительного ПО и драйверов для управления тюнером	Стандартный пакет ПО для управления усилителями и генератором
Требуются усилители с меньшей мощностью	Необходимы мощные усилители, стоимость которых в несколько раз выше
Возможность создания полей более высокой напряженности при одинаковой подводимой мощности	С ростом требуемой напряженности необходимы более мощные усилители
Требуется дополнительная функция защиты усилителей от отраженной мощности, которая снижает подводимую мощность в случае рассогласования СВЧ-тракта	Стандартный контроль отраженной мощности датчиками мощности
Требование к однородности поля в испытательном объеме	Требование к однородности поля только по гражданским стандартам
Воздействие на все плоскости изделия и провода	Необходимо вращение или поворот изделия
Ограничение рабочего объема, количества подводимых к изделию кабелей питания и управления	Нет строгих ограничений по объему испытуемого изделия
Неудобство при размещении испытательного и испытуемого оборудования	Испытатель и заказчик имеет доступ ко всем сторонам испытуемого изделия
Невозможность выездных испытаний	Стойку с усилителями, антенны можно разобрать и вывезти
Некоторые стандарты не предусматривают использование РК	Соответствует стандартам испытаний для большинства видов продукции

Примечание: Зеленым цветом выделены преимущества, красным – недостатки камер.



ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ЭМС

Преимущества:

- ✓ ИЛ ЭМС аккредитована в системах «Военный регистр» и «АР МАК»
- ✓ Наличие всего необходимого оборудования и средств измерений
- ✓ Высококвалифицированный персонал
- ✓ Возможность проведения выездных испытаний на территории Заказчика
- ✓ Возможность проведения исследовательских испытаний

ВИДЫ РАБОТ (ИСПЫТАНИЙ)

- Устойчивость к изменениям в системе электропитания
- Восприимчивость к кондуктивным помехам
- Измерение уровня электромагнитных помех
- Устойчивость к воздействию электростатических разрядов, переменных электрических и магнитных полей
- Измерение коэффициента экранирования различных материалов
- Разработка программ и методик проведения испытаний
- Испытания по ТЗ заказчика



+7 (495) 657-87-37



tp@test-expert.ru
www.test-expert.ru



125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А

Оценить нижнюю частоту границы рабочего диапазона, при которой будут обеспечиваться необходимое число мод, а также габариты РК, можно, используя следующее выражение:

$$N = \frac{8\pi}{3}abd\frac{f^3}{c^3},$$

где a, b, d – внутренние размеры камеры, м;

f – рабочая частота, Гц;

c – скорость распространения волн, равная $3 \cdot 10^8$ м/с.

Помимо геометрии и габаритов РК, на характеристики создаваемого поля будут влиять тип тюнера, его геометрия, положение и их количество в рабочем объеме.

При разностороннем подходе к процессу разработки и анализа конструкции РК, влияние тюнера на распределение электрического поля в рабочем объеме можно оценить, используя средства электродинамического моделирования, например CST Microwave Studio или Ansys HFSS.

ТЮНЕР

Как уже было сказано, многократные отражения излучаемых антенной электромагнитных волн от стен корпуса РК образуют стоячие волны с неравномерными по амплитуде областями. Для обеспечения однородного распределения электрического поля внутри РК прибегают к изменению положения тюнера, что приводит к изменению граничных условий РК. Электрическое поле в рабочем объеме РК считается однородным, если в пределах заданной погрешности усредненные по всем положениям тюнера (в зависимости от частоты испытательного сигнала число позиций тюнера за один полный оборот может колебаться от 12 до 200 и более) значения амплитуд напряженности одинаковы во всем рабочем объеме.

Тюнер должен быть асимметричным (в РК АО «ТЕСТ-ПРИБОР» используется тюнер типа Z-Fold) с наименьшим размером $\lambda/3$ для самой низкой частоты, которая будет использована, а самый большой размер тюнера должен быть приблизительно 75% наименьшего размера РК. Увеличение размеров тюнера приводит к уменьшению отклонения напряженности ЭМП во внутреннем объеме РК, однако при этом уменьшается рабочий объем. Так же, при ориентации друг напротив друга, два тюнера типа Z-Fold позволяют добиться более высокой однородности электрического поля в рабочем объеме камеры.

АНТЕННЫ

Излучающие антенны должны располагаться не ближе 0,75 м ($\lambda/3$ – фактическое ограничение) от любой стены или объекта и позиционироваться так, чтобы предотвратить встречное направление между основными

лепестками диаграмм направленности (ДН) этих антенн или между испытуемым изделием и основным лепестком ДН любой антенны. Это требование накладывает ограничения на габариты используемых антенн, в случае использования РК с диапазонами рабочих частот от 400 МГц и выше. Большинство трудностей возникает с габаритными биконическими ОВЧ и логопериодическими антеннами УВЧ-диапазонов. Однако рынок испытательного оборудования позволяет решить данную задачу, например можно использовать малогабаритную биконическую антенну с диапазоном частот 30 МГц – 1 ГГц (рис. 2). Хотя коэффициент усиления такой антенны хуже, чем у логопериодической, свойства РК нивелируют требования к требуемой подводимой мощности. В диапазоне от 1 ГГц и выше габариты рупорных антенн позволяют без особого труда размещать их в РК любых размеров. Использование октавных рупоров (рис. 3) позволит также сэкономить на мощности усилителей, ввиду более высоких значений коэффициента усиления.

* * *

Таким образом, реверберационные камеры следует рассматривать как альтернативу безэховым камерам при испытаниях на восприимчивость к радиочастотному электрическому полю только при условии принятия и решения компромиссов и допущений, которые были рассмотрены в данной статье, часть которых отражена в табл. 2. Более уместным будет сказать, что оба вида испытательного оборудования дополняют друг друга при выполнении испытаний на ЭМС.

В настоящий момент реверберационная камера АО «ТЕСТПРИБОР» находится в стадии дооснащения и подготовки к аттестации, по завершению которой планируется расширить возможности лаборатории в части испытаний на восприимчивость к радиочастотному электрическому полю.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Демаков А. В., Комнатнов М. Е., Газизов Т. Р.** Обзор исследований в области разработки и применения реверберационных камер для испытаний на электромагнитную совместимость. УДК 621.317.2
2. **Кечиев Л. Н., Балюк Н. В.** Зарубежные военные стандарты в области ЭМС / Под ред. Л. Н. Кечиева. М.: Грифон, 2014. (Библиотека ЭМС).
3. ГОСТ РВ 6601-001-2008. Оборудование бортовое авиационное. Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерения. М.: Стандартиформ, 2008.
4. КТ-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (Внешние воздействующие факторы). М.: НИИАО, 2015.

Н А Н О В О Й В Ы С О Т Е

Организаторы

The background of the entire poster is a deep blue. It features a stylized globe in the lower half. Three curved streaks of light, colored white, blue, and red from top to bottom, arc across the sky from the left side. A red five-pointed star is positioned at the top of the white streak. Two white paper airplanes are shown in flight, one above the other, moving from left to right. The text "МАКС 2021" is prominently displayed in the lower center. "МАКС" is in white, with the letter "А" containing a stylized white airplane silhouette. "2021" is in a bright blue color.

МАКС 2021

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ
САЛОН**

Устроитель



WWW.AVIASALON.COM • 20-25 ИЮЛЯ • ЖУКОВСКИЙ