

РЕВЕРБАЦИОННЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕСТИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРОИЗВОДСТВА АО «ГЦМО ЭМС»

Нефедов М.В.

Заместитель директора по науке

АО «ГЦМО ЭМС»

В настоящее время одним из основных технически и методически сложных моментов при проведении испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения, является воспроизведение в т.н. «рабочей зоне» - месте, где размещается испытуемое РЭС, электромагнитного поля большой напряженности в широком диапазоне частот.

Современные нормативные документы, регламентирующие методы и средства проведения испытаний на ЭМС [1,2], подразумевают воспроизведение в рабочей зоне единицы напряженности электрического поля (НЭП) величиной в десятки и сотни вольт на метр (В/м).

Для решения этой задачи, как правило, используют различные полеобразующие системы, созданные на основе безэховых экранированных камер (БЭК), а также ГТЕМ- и ТЕМ- камер, четырехпроводных линий, экранированных ячеек и т.д.

Основными недостатками данного испытательного оборудования (ИО) является ограниченный динамический и частотный диапазоны воспроизведения единицы НЭП, небольшая рабочая зона, ограничение габаритов испытуемых РЭС, высокая стоимость модернизации или улучшения характеристик ИО для расширения круга выполняемых задач.

Альтернативой данным ИО является использование реверберационных экранированных камер (РЭК) – экранированных камер, внутри которых, с помощью вращающегося рассеивателя электромагнитных волн – тюнера, можно создать равномерное электрическое поле большой напряженности в рабочем объеме РЭК.

Основными достоинствами этого подхода является возможность воспроизведения равномерного электрического поля с напряженностью от долей единиц до сотен В/м во всём объеме камеры, в широком диапазоне частот, при небольших подводимых мощностях.

В то же время, большая трудозатратность калибровки РЭК, необходимость контроля равномерности НЭП внутри РЭК в нескольких пространственных точках, а также отсутствие специального программного обеспечения (СПО) для комплексного управления тюнером и входящими в состав испытательного стенда средствами измерений, значительно затрудняют широкое применение РЭК в отечественных испытательных лабораториях.

Для решения этих проблем в АО «ГЦМО ЭМС» [3] была проведена ОКР, целью которой стало создание полноценных РЭК для применения в диапазоне частот от 200 МГц до 18 ГГц в автоматизированном режиме.

Результатом проведенной ОКР стало создание двух прототипов РЭК:

- РЕВЕР1000 для диапазона частот 1 (0,5) - 18 ГГц и изделий габаритами до 50 x 50 см (рисунки 1 и 2);

- РЕВЕР200 для диапазона частот 210 МГц - 18 ГГц и изделий габаритами до 1,5 x 1,5 метров (максимум 2 x 2 метра) (рисунки 3 и 4).



Рисунок 1. Общий вид камеры РЕВЕР1000



Рисунок 2. Общий вид рабочей зоны камеры РЕВЕР1000



Рисунок 3. Общий вид камеры РЕВЕР200

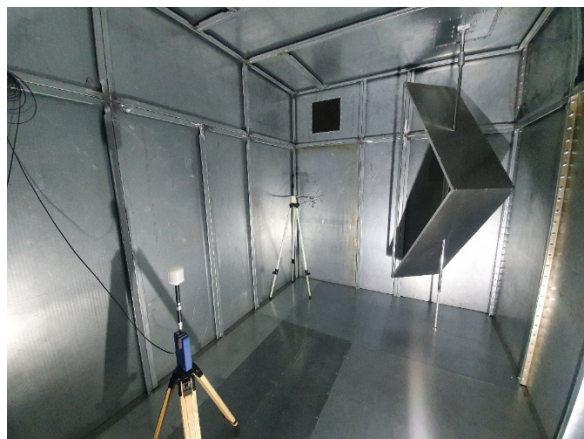


Рисунок 4. Общий вид рабочей зоны камеры РЕВЕР200

Для проверки соответствия созданных РЭК современным нормативным документам в области ЭМС, были проведена оценка основных характеристик реверберационных камер, таких как диапазон рабочих частот, величина воспроизводимой НЭП в рабочем объеме камеры и его однородность, эффективность экранирования камеры.

Практика создания РЭК показывает, что реальный рабочий диапазон частот камеры часто отличается от теоретических характеристик, заложенных при проектировании. В значительной мере это связано с тем, что РЭК на низких частотах характеризуется конечным числом возбуждаемых типов волн, что в итоге приводит к неоднородному распределению электромагнитного поля в нижней области диапазона рабочих частот [4]. Формальным критерием возможности использования камеры на расчетной нижней частоте является число типов волн больше 60 [2]. При невыполнении данного критерия поле в камере характеризуется большой неоднородностью, вследствие чего характеристики камеры не могут быть улучшены, даже с помощью применения дополнительных тюнеров и иных инженерных решений.

Расчетные соотношения для оценки количества типов волн для РЭК различных геометрических форм и габаритов представлены, например, в [5]. В соответствии с

данными соотношениями были проведены расчёты нижней рабочей частоты РЭК, результаты которых представлены на рисунке 5.

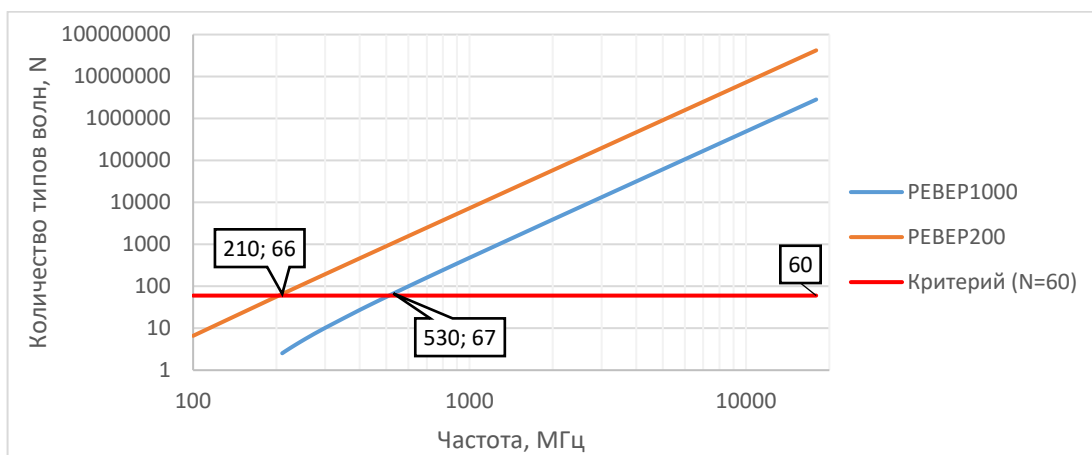


Рисунок 5. Оценка нижней рабочей частоты РЭК, в зависимости от количества возбуждаемых типов волн

Как видно из представленного графика, нижний частотный предел, для заданных внутренних размеров, для камеры РЕВЕР1000, в котором количество типов волн составляет 67, равен 530 МГц. Нижний частотный предел для камеры РЕВЕР200, в котором количество типов волн составляет 66, равен 210 МГц.

Для оценки величины НЭП, воспроизводимого в камере во всём частотном диапазоне, как правило измеряют НЭП при 1 Вт мощности, подводимой к излучающей антенне по отдельным осям измерителя напряженности поля (ИНП), расположенного в центре рабочей зоны камеры или изотропную НЭП.

Проведенные измерения показали, что для созданных РЭК воспроизводимое НЭП составляет величину не менее 60 В/м.

Так, например, на рисунке 6 показаны результаты измерений НЭП в центре рабочей зоны камеры РЕВЕР1000 в диапазоне частот от 500 МГц до 18 ГГц при 1 Вт мощности, подводимой к излучающей антенне. Измерения проводились в 380 частотных точках и 160 пространственных точках, на каждой из частот. Как видно из рисунка, величина НЭП в точке резонанса, для большинства частотных точек, значительно превышает уровень НЭП в 100 В/м.

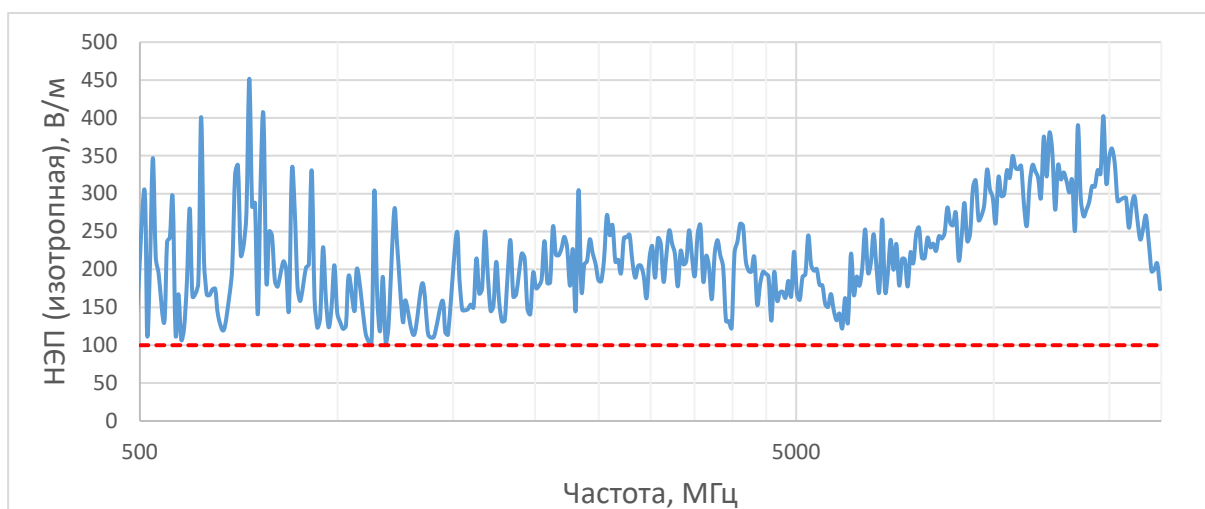


Рисунок 6. Зависимость изотропной НЭП от частоты в диапазоне частот от 500 МГц до 18 ГГц в центре рабочей зоны РЭК РЕВЕР1000 при 1 Вт подводимой к излучающей антенне мощности

В то же время, одним из основных показателей эффективности РЭК является однородность возбуждаемого поля внутри рабочей области камеры во всём рабочем диапазоне частот. Для её оценки используются методики, представленные в [2, 6]. В соответствии с этими методиками должны быть проведены измерения напряженности электрического поля в 8-9 пространственных точках во всём рабочем диапазоне частот. ИНП располагается внутри рабочего объема камеры, не ближе чем $\lambda/4$ (где λ – длина волны, соответствующая наименьшей рабочей частоте РЭК) от любых поверхностей (стен камеры, излучающей антенны, тюнера и т.д.). Затем на основе полученных результатов рассчитывается неоднородность распределения поля в камере, исходя из максимума амплитуды при каждом пространственном положении тюнера, в каждой частотной точке рабочего диапазона камеры. Как правило, неоднородность поля внутри РЭК выражается в виде девиации (среднеквадратического отклонения (СКО)) величины НЭП в рабочем объеме камеры. Полученное значение девиации не должно превышать величины в 3 дБ во всём частотном диапазоне камеры (для диапазона частот от 1 до 18 ГГц).

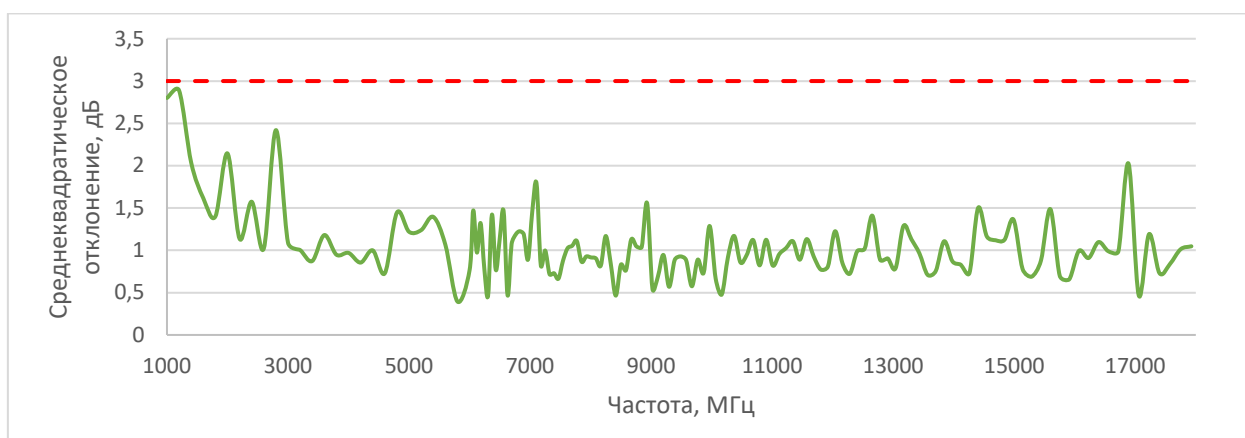


Рисунок 7. Зависимость СКО изотропной НЭП в рабочем объеме РЭК РЕВЕР1000 от частоты, в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц

На рисунке 7 показан расчет СКО изотропной НЭП в рабочем объеме РЭК РЕВЕР1000 в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц. Измерения проводились в 9 положениях ИНП внутри рабочего объема РЭК, в 180 частотных точках и 120 пространственных точках, на каждой из частот. Как видно из приведенного графика, СКО изотропной НЭП во всём диапазоне частот не превышает величины 3 дБ, что соответствует пороговым значениям, указанным в [2].

При этом, измеренная эффективность экранирования для обеих РЭК во всём диапазоне частот составляет не менее 80 дБ, что удовлетворяет требованиям действующих нормативов в части эффективности экранировки, указанным, например, в [7].

Отдельно необходимо отметить, что использованный при разработке РЭК серводвигатель, в сочетании с редуктором с большим передаточным числом, позволил достичь точности позиционирования тюнера при калибровке камеры не более 0,1 градуса, в более чем 50000 пространственных точках. Таким образом, существенно повышается точность пространственной калибровки при поиске максимума НЭП в рабочей зоне камеры.

В то же время, автоматизированный режим измерений и калибровки камеры обеспечивается с помощью разработанного в АО «ГЦМО ЭМС» СПО, которое управляет и положением тюнера, и входящими в состав стенда усилителями, генераторами, и измерителями напряженности поля (ИНП). При этом существует возможность подключения до 10 ИНП, для одновременного контроля равномерности воспроизводимого поля в нескольких пространственных точках, как в процессе калибровки, так и при проведении испытаний РЭС на ЭМС.

Поскольку калибровка РЭК может занимать продолжительное время, была предусмотрена возможность выбора скорости вращения тьюнера, количества детектируемых пространственных точек, ширины диапазона частот и количества частотных точек.

Кроме этого было разработано несколько алгоритмов работы РЭК:

- поиск и установка заданного порогового уровня (или максимума) НЭП во всех пространственных точках вращения тьюнера во всем диапазоне частот с заданным шагом – наиболее продолжительный процесс;
- частотная отстройка с заданным шагом от опорного значения НЭП в узких пространственных пределах;
- изменение с заданным шагом подводимой к излучающей антенне мощности в нужном диапазоне частот, для достижения порогового значения НЭП с небольшим изменением пространственного положения тьюнера.

Это позволило реализовать различные сценарии испытаний РЭС, в зависимости от возникающих задач и располагаемых ресурсов.

Таким образом, в результате выполненной в АО «ГЦМО ЭМС» ОКР по исследованию и разработке РЭК, удалось создать два прототипа РЭК в диапазоне частот от 210 МГц до 18 ГГц и от 1 ГГц до 18 ГГц. Данные прототипы способны в автоматизированном режиме воспроизводить в заданном рабочем объеме требуемую величину НЭП во всём рабочем диапазоне частот.

Проведенные расчёты и измерения основных характеристик РЕВЕР200 и РЕВЕР1000 показали, что созданные РЭК удовлетворяют требованиям нормативных документов в области проведения испытаний на ЭМС авиационной и специальной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ РВ 6601-001-2008. Оборудование бортовое авиационное. Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерения. М.: Стандарт-информ, 2008.*
2. *КТ-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (Внешние воздействующие факторы). М.: НИИАО, 2015.*
3. <https://www.scemc.ru>.
4. *Демаков А. В., Комнатнов М. Е., Газизов Т. Р. Обзор исследований в области разработки и применения реверберационных камер для испытаний на электромагнитную совместимость // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 2. С. 151-190.*
5. *Liu B. H., Chang D. C., Ma M. T. Eigenmodes and the composite quality factor of a reverberating chamber, NBS Technical Note 1066. – National Bureau of Standards, 1983. 62 p.*
6. *Space engineering. Electromagnetic compatibility handbook. – ESA Requirements and Standards Division, ESTEC, 2012. – 228 p.*
7. *ГОСТ Р 50414-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для испытаний. Камеры экранированные. Классы, основные параметры, технические требования и методы испытаний.*