

Шамов Андрей Иванович, магистрант
Дальневосточный федеральный университет
Shamov Andrew Ivanovich
Far Eastern Federal University

РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОЙ БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ DEVELOPMENT OF A SMALL-SIZED ANECHOIC CHAMBER

Аннотация. В статье представлена разработка малогабаритной безэховой камеры, предназначенной для проведения антенных измерений и изучения радиопоглощающих свойств материалов и специальных покрытий в условиях ограниченного пространства. Проведено исследование принципа конструирования безэховых камер, выявлены основные характеристики, влияющие на конфигурацию и габаритные размеры проектируемой безэховой камеры.

Abstract. The article presents the development of a small-sized anechoic chamber designed for antenna measurements and testing of electronic equipment in confined spaces.

Ключевые слова: Безэховая камера, малогабаритная безэховая камера, компактное проектирование, радиопоглощение.

Keywords: Anechoic chamber, small-sized anechoic chamber, compact design.

Современные исследования в области радиопоглощающих материалов и специальных покрытий требуют точной экспериментальной базы, способной обеспечить воспроизводимость и достоверность результатов [1]. В настоящее время в распоряжении научных организаций, научных отделов крупных предприятий, лабораторий военной промышленности и др. отраслей имеется достаточное количество безэховых камер, однако большинство из них отличаются внушительными размерами. Что в свою очередь, влечет за собой высокие эксплуатационные и финансовые расходы на обслуживание.

Кроме того, большие размеры безэховых камер создают определенные трудности при контроле точности проведения экспериментов. Компактные камеры позволяют значительно упростить процедуру калибровки, настройки аппаратуры и размещения исследуемых образцов, а также сократить время на проведение измерений. Особенно это актуально в условиях, когда требуется проведение серии повторяющихся тестов с минимальными отклонениями параметров измерительной установки.

Также стоит отметить еще одну проблему, связанную с неточностью и воспроизводимостью измерений в крупногабаритных безэховых камерах. В традиционных измерительных установках изменение углового положения антенны или исследуемого образца зачастую осуществляется вручную [1], что неизбежно вносит погрешности, связанные с несовпадением углов поворота и неточностями в позиционировании. Компактные безэховые камеры позволяют значительно упростить процедуру калибровки, настройки аппаратуры и размещения исследуемых образцов, а также сократить время на проведение измерений особенно это актуально в условиях, когда требуется проведение серии повторяющихся тестов с минимальными отклонениями параметров измерительной установки.

Для решения вышеперечисленных проблем поставлена задача разработки стенда, предназначенного для изучения радиопоглощающих свойств материалов и специальных покрытий. Разрабатываемый стенд представляет собой безэховую камеру, разработанную под антенну с определенным по размеру раскрывом апертуры, работающую на определенном диапазоне частот.

Разрабатываемый стенд предназначен для исследования радиопоглощающих материалов и специальных покрытий в СВЧ диапазоне от 2 ГГц до 20 ГГц.

Характеристики определяющие габариты безэховой камеры

Сложность проектирования безэховых камер заключается в необходимости соблюдения условия дальней зоны [1], поскольку в ближней реактивной зоне измерение



параметров радиопоглощения некорректно из-за наличия стоячих волны и сильных градиентов поля, что искажается получаемые данные. Это накладывает ограничения на минимальные размеры безэховых камер и расстояния между антенной и исследуемым образцом, особенно при СВЧ измерениях.

Если в безэховой камере измеряются диаграммы направленности антенн или диаграммы рассеивателей, в простейшем случае она может иметь прямоугольную форму, а ее продольный размер определяется расстояние R между передающей и испытываемой антеннами или рассеивателем, как и в свободном пространстве.

Расстояние до дальней зоны рассчитывается по формуле (1):

$$R \geq \frac{n \cdot D^2}{\lambda} \quad (1)$$

где, n – коэффициент, выбираемый в пределах от 2 до 8;

D – полный раскрыв апертуры антенны, м;

λ – длина волны самой большой частоты, м.

По размерам все безэховые камеры (БЭК) можно условно разбить на две группы: Безэховые камеры, в которых человек-оператор может находиться внутри камеры, и малогабаритные безэховые камеры, размеры которых малы по сравнению с ростом человека-оператора, поэтому оператор всегда находится снаружи камеры.

Для облицовки безэховых камер применяют радиопоглощающие материалы с электрическим и магнитным поглощением. Все радиопоглощающие материалы с электрическим поглощением применяются в диапазоне от 30 МГц до 40 ГГц. Их отличительная особенность – сравнительно большая толщина радиопоглощающего материала должна быть больше четверти длины волны наименьшей частотности.

В таком случае получается, что толщина радиопоглощающего материала в ее большей части должна быть более 177 мм, исходя из того, что наименьшая излучаемая длина волны 1.7 ГГц (Таблица 1)

В качестве референсной антенны выбрана измерительная антенна RF SPIN DRH-20, технические характеристики которой представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики DRH-20

Номинальный частотный диапазон, ГГц	1.7 – 20
Номинальная мощность, Вт	35
Номинальный импеданс, Ом	50
Соединитель	SMA мама
Коэффициент СВН	< 1.5:1
Длина, мм	104
Ширина, мм	122
Полный раскрыв апертуры, мм	78
Масса, гр.	290

Расчет габаритов безэховой камеры

Исходя из формулы (1) получаем что расстояние от антенны до изучаемого образца равно:

$$R \geq \frac{2 \cdot 0.078^2}{0.015} \quad (2)$$

Следовательно, по формуле (2) получаем что $R \geq 0.81$, м.

Для удобства принимаем, что расстояние от антенны до измеряемого образца равно 0.9 м.



Для лучшего обеспечения экранирования безэховой камеры от радиоволн, отражающихся внутри рабочего пространства, примем тот факт, что внутренние стены безэховой камеры будут покрыты со всех сторон радиопоглощающим материалом. Таким образом, получается, что минимальная длина безэховой камеры, что будет равна:

$$L = 2 \cdot 0.177 + 0.9 = 1.254 \quad (3)$$

Также, с учетом того, что безэховая камера содержит каркас и экран, предотвращающий попадание радиоволн извне внутрь рабочей зоны безэховой камеры, получаем, что длина безэховой камеры с учетом каркаса и экрана будет равна 1.4 м.

Также, примем тот факт, что высота и глубина безэховой камеры равны между собой, и в 0.6 меньше длины безэховой камеры. Тогда получаем что высота и глубина безэховой камеры равны 0.84 м.

Внешний вид камеры представлен на рисунке 1.

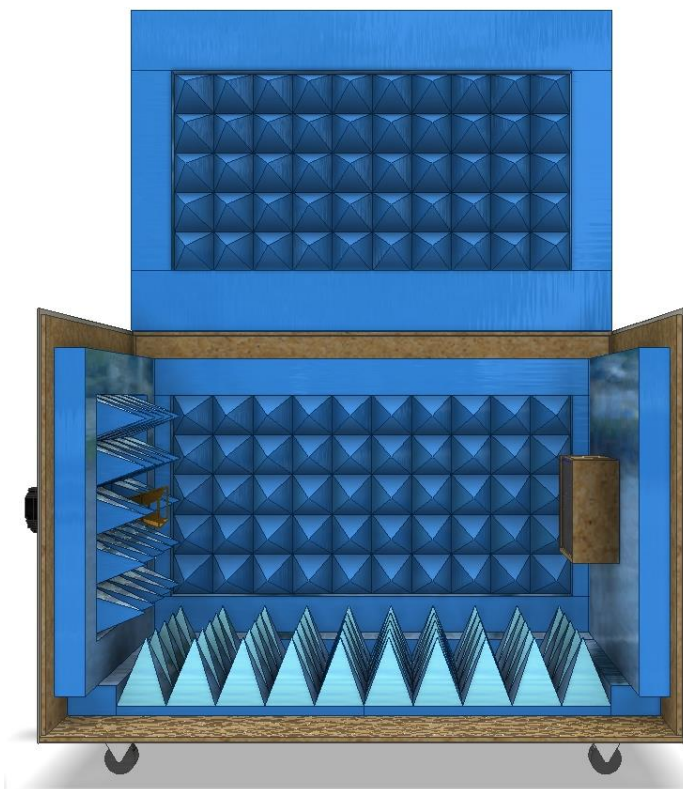


Рис. 1 – Внешний вид безэховой камеры с откинутой крышкой

Рабочая зона безэховой камеры представлена на рисунке 2.

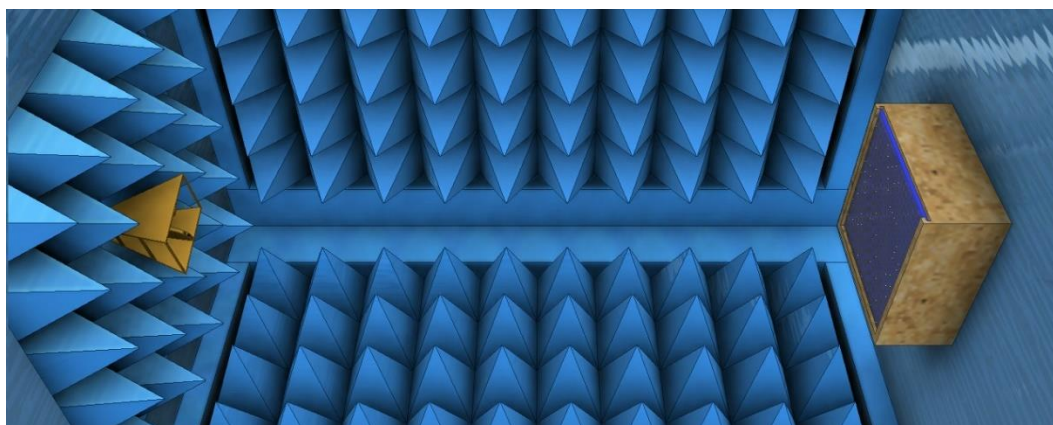


Рис. 2 – Рабочая зона безэховой камеры

Внешний вид стенда представлен на рисунке 3.

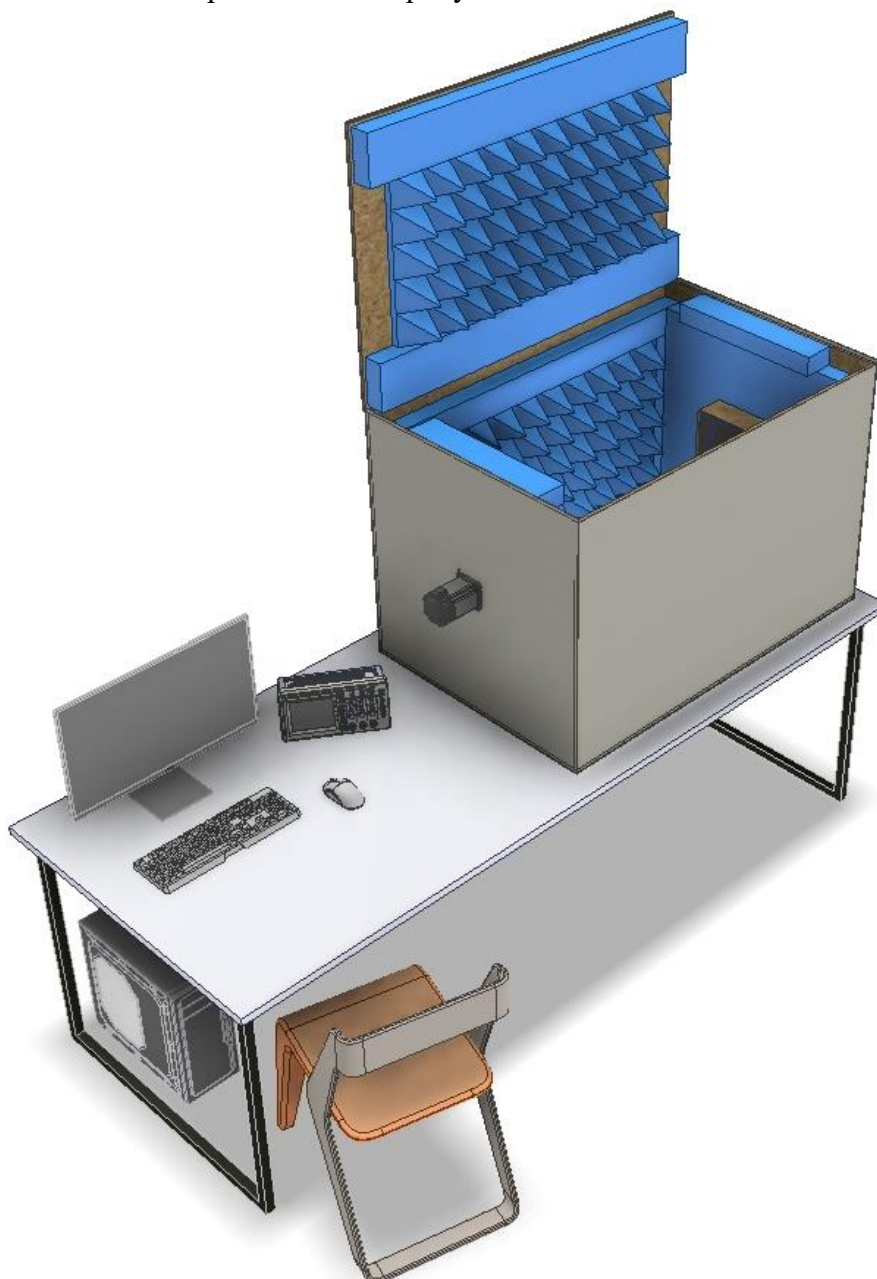


Рис. 3 – Внешний вид стенда

Список литературы:

1. Мицмахер М. Ю., Торгованов В. А. М70 Безэховые камеры СВЧ. – М.: Радио и связь, 1982. – 128 с., ил.
2. Майзелес Е. Н., Торгованов В. А. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей. Под ред. М. А. Колосова, М. Изд-во «Советское радио», 1972, 232 стр., т. 4400 экз., ц. 64 коп.
3. Безэховая камера [Электронный ресурс] // Яндекс.Патенты. – Патент SU345452A1. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU345452A1_19720714. – (Дата обращения: 14.06.2025).
4. Безэховая камера [Электронный ресурс] // Яндекс.Патенты. – Патент RU2606341C1. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2606341C1_20170110. – (Дата обращения: 14.06.2025).
5. Рупорная безэховая камера [Электронный ресурс] // Яндекс.Патенты. – Патент SU451919A1. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU451919A1_19741130. – (Дата обращения: 14.06.2025).

6. Безэховая камера [Электронный ресурс] // Яндекс.Патенты. – Патент SU1232090A1. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU1232090A1_19880228. – (Дата обращения: 14.06.2025).
7. Компактная гибридная камера для испытаний на ЭМС в соответствии со специальным назначением [Электронный ресурс]. – URL: <https://2test.ru/solutions/proizvodstvo-radioelektroniki/bezekhovye-kamery-ispytatelnoe-oborudovanie/bezekhovye-kamery/kompaktnaya-gibridnaya-kamera-dlya-ispytaniya-na-ems-v-sootvetstvii-s-voennymi-standartami/>. – (Дата обращения: 14.06.2025).
8. Mini-Compact Range CR-M20 [Электронный ресурс] // MVG-World. – URL: <https://www.mvg-world.com/en/products/antenna-measurement/compact-ranges/mini-compact-range>. – (Дата обращения: 14.06.2025)

