

Л.Х. ХАЧАТРЯН

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ В ЛАБОРАТОРИИ АНТЕНН ГИУА**

Рассматривается возможность проектирования безэховой камеры в лаборатории антенн Государственного инженерного университета Армении (ГИУА). Основываясь на методах геометрической оптики, при разработке безэховой камеры применено модульное конструирование. Наличие безэховой камеры в лаборатории позволит активизировать как учебную, так и научно-исследовательскую деятельность в университете.

Ключевые слова: антенные измерения, диаграмма направленности, длина волны, безэховая камера, радиопоглощающий материал.

Введение. Измерения параметров антенн производят на специально оборудованных полигонах, которые в зависимости от задач и состава измерительного оборудования можно разделить на научно-исследовательские, испытательные (заводские) и учебные. Научно-исследовательские полигоны предназначены для проведения разнообразных исследований как с реальными антеннами разных типов, так и с моделями; испытательные или заводские – для контрольных измерений серии однотипных антенн; учебные – для исследования в учебных целях заранее известных по характеристикам антенн. Часто одни и те же полигоны используются для выполнения научно-исследовательских работ, заводских испытаний и для учебных целей.

По устройству полигоны делятся на открытые и закрытые.

Измерения в закрытых помещениях проводить удобнее, чем на открытых площадках. Однако в первом случае образуются паразитные связи между испытуемыми антеннами за счет побочных полей, возникающих при отражении от стен, пола и потолка помещений.

Ослабление паразитных связей между испытуемыми антеннами обеспечивается применением безэховых камер.

Типы безэховых камер. Безэховой камерой называется помещение, облицованное изнутри радиопоглощающим материалом с целью уменьшения отражений от стен камеры и создания в некотором объеме камеры (безэховой зоне) условий, приближающихся к условиям "свободного пространства" [1].

К преимуществам безэховых камер относятся: не зависящие от погоды условия измерений, надежность, отсутствие электромагнитных помех. Широкий диапазон рабочих частот, заранее заданный и стабильный уровень сигналов, а также удобный доступ в камеру дают им дополнительные преимущества по сравнению с открытыми полигонами.

К недостаткам безэховых камер относится сравнительная сложность их постройки. Эти камеры обычно используются для исследования антенн сравнительно небольших размеров, поскольку стоимость камеры возрастает с увеличением ее габаритов. Несмотря на эти недостатки, постройка закрытых полигонов с безэховыми камерами экономически целесообразнее, чем сооружение открытых полигонов.

Широкое применение безэховых камер связано с тенденцией увеличения и усложнения точности стендовых испытаний радиокомплексов и антенных измерений, а также разработкой поглотителей электромагнитных волн, новейших широкополосных радиопоглощающих материалов, методов и теорий проектирования безэховых камер.

Современные безэховые камеры делятся в основном на камеры прямоугольного и рупорообразного типов (рис. 1).

Амплитуда волнового фронта

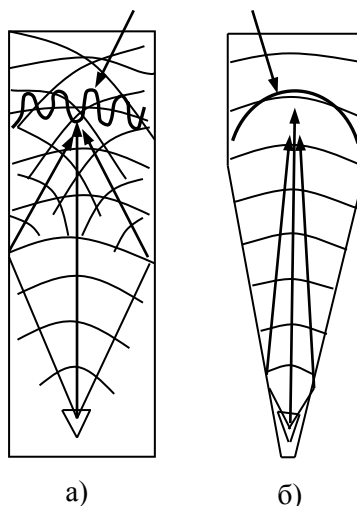


Рис. 1. Зеркальные отражения от боковых стенок в безэховых камерах:
а - прямоугольная камера; б - рупорообразная камера

Наиболее распространенной и естественной является прямоугольная форма, так как она проще всего вписывается в конфигурацию здания.

Прямоугольная безэховая камера обычно предназначена для имитации условий свободного пространства. Боковые стены, пол и потолок безэховых камер покрываются поглощающим материалом. Несмотря на это, от них могут наблюдаться значительные отражения (рис. 1а), особенно при больших углах падения. Предельные углы падения обычно ограничиваются углами, при которых уровень энергии отраженной волны оказывается значительно меньше значения, необхо-

димого для обеспечения заданной точности измерений, проводимых в данной камере. При использовании высококачественных поглотителей этот предел достигается при условии, что угол падения изменяется от 0 до 70° (угол измеряется относительно нормали к поверхности стены). Для прямоугольной камеры это приводит к критерию, согласно которому полная ширина и высота камеры должны удовлетворять соотношению [2]

$$W \geq \frac{R}{\operatorname{tg} \alpha_{\max}} \geq \frac{R}{\operatorname{tg} 70^\circ} \geq \frac{R}{2,75}, \quad (1)$$

где R – расстояние между облучающей и испытуемой антеннами; W – полная высота или ширина камеры.

Фактически выбранные значения ширины и высоты зависят от предельных значений погрешности и измеренных характеристик поглощающего материала, применяемого для облицовки стен.

Для камер больших по сравнению с длиной волны, в которых выполняются условия геометрической оптики, возможно покрыть радиопоглощающим материалом стены, пол и потолок лишь частично в местах зеркальных и двукратных отражений (рис. 2).

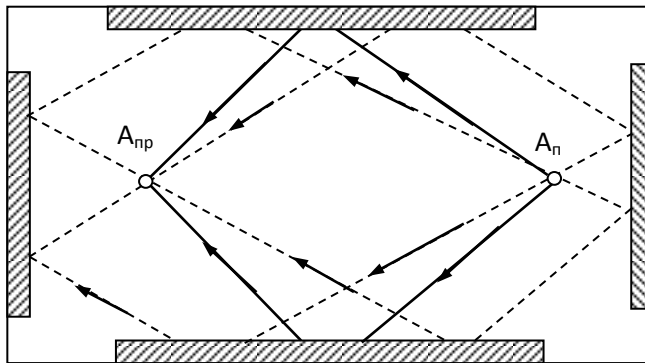


Рис. 2. Отражения радиоволн от стен безэховой камеры

В зависимости от требований к качеству камеры могут использоваться различные типы радиопоглощающего материала.

Радиопоглощающие материалы, используемые в безэховых камерах, должны обладать следующими свойствами:

- ✓ интенсивное поглощение электромагнитных волн, проникающих в глубину материала;
- ✓ минимальный коэффициент отражения для волн, падающих на ее поверхность;
- ✓ высокая механическая прочность, малый вес и габариты;
- ✓ малая стоимость.

Для того чтобы радиопоглощающий материал поглощал электромагнитную волну в широком диапазоне частот и углы отражения падающей волны были малы, необходимо выполнение следующих условий [3]:

1. Радиопоглощающий материал должен быть хорошо согласован со свободным пространством, чтобы на границе материала отражение было минимальным и энергия падающей волны максимально проходила внутрь материала.

1. Энергия волны, проходящей в материал, должна им поглощаться.

Поглощение энергии в толще материала оценивается коэффициентом поглощения

$$\alpha_M = 10 \lg \frac{P_{\Pi} - P_T}{P_{\Pi}}, \quad (2)$$

где P_T - мощность волны, поглощенной в материале; P_{Π} - мощность волны, падающей на поверхность из поглощающего материала.

Обычно величина коэффициента поглощения меньше -30 дБ .

Отражение энергии от поверхности материала оценивается коэффициентом отражения

$$k_{\text{omp}} = 10 \lg \frac{P_o}{P_{\Pi}}, \quad (3)$$

где P_o - мощность отраженной волны. Обычно коэффициент отражения бывает меньше -25 дБ .

Проектирование безэховых камер является сложной инженерной задачей, включающей радиотехнический расчет с учетом характера предлагаемых измерений.

При проектировании прямоугольной безэховой камеры опираются на основные положения геометрической оптики. При этом в расчет принимаются зеркальные отражения от материала, применяемого для облицовки стен, причем используется то значение коэффициента отражения, которое приводится в технической документации фирмы - изготовителя поглощающего материала.

Описание эксперимента. Настоящая работа посвящена проектированию безэховой камеры в лаборатории антенн Государственного инженерного университета Армении. Для снижения до минимума уровней взаимовлияния между антеннами и паразитных переотражений между стенами и обеспечения необходимой высокой точности проводимых измерений внутреннюю поверхность лаборатории с размещенными в ней антеннами и аппаратурой необходимо покрыть радиопоглощающим покрытием. Наличие радиопоглощающего материала обеспечит подавление отраженных сигналов и, как следствие, равномерное поле в зоне измерений.

Современные радиоэкранирующие и радиопоглощающие материалы отличаются легким весом и простотой монтажных работ. Радиопоглощающие материалы крепятся механически пластиковым крепежом [4,5].

Важным фактором при разработке безэховых камер является форма сечения камеры и ее размеров. Именно от этих параметров зависят материальные затраты, которые необходимы для оборудования камеры; типы испытаний, проводимых в них; максимальные габариты устройств, которые можно испытывать. Камеры с постоянным поперечным сечением наиболее просты в реализации.

В проекте разрабатывается камера прямоугольного сечения для лаборатории антенн ГИУА. Размеры лаборатории: длина – 9 м, ширина – 6 м, высота - 3,30 м. Однако необязательно всю лабораторию покрыть радиопоглощающим материалом. Достаточно покрыть только рабочую зону камеры. Рабочая зона камеры имеет следующие размеры: длина – 7 м, ширина – 5 м, высота - 3 м (рис. 3).

Лаборатория антенн оборудована комплектом генераторов и измерительных приемников, перекрывающих диапазон частот от 3 до 10 ГГц.



Рис. 3. Примерный вид лаборатории антенн

Оптимальные углы наклонной стены составляют 25° и меньше [3]. При таком наклонном угле лучи, падающие на стенку, отражаются в потолок и претерпевают еще одно отражение до попадания в рабочую зону. При разработке безэховой камеры в лаборатории антенн выбирается наклон задней стенки на угол 15° (рис. 4).

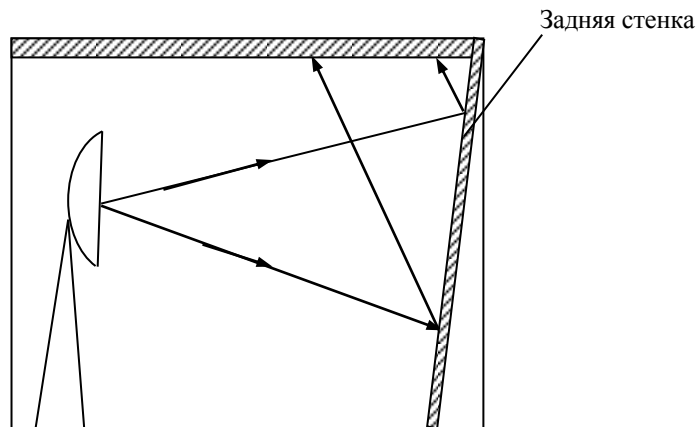


Рис. 4. Вид наклонной задней стенки

Для проведения инженерных расчетов безэховых камер используются методы геометрической оптики, т.е. построение хода лучей внутри камеры с учетом отражения их от стенок камеры (рис. 5). В основе расчета лежит построение лучей, выходящих из излучателя и отражающихся от стенок камеры. Лучи строятся так, чтобы в точке отражения выполнялся закон Снеллиуса.

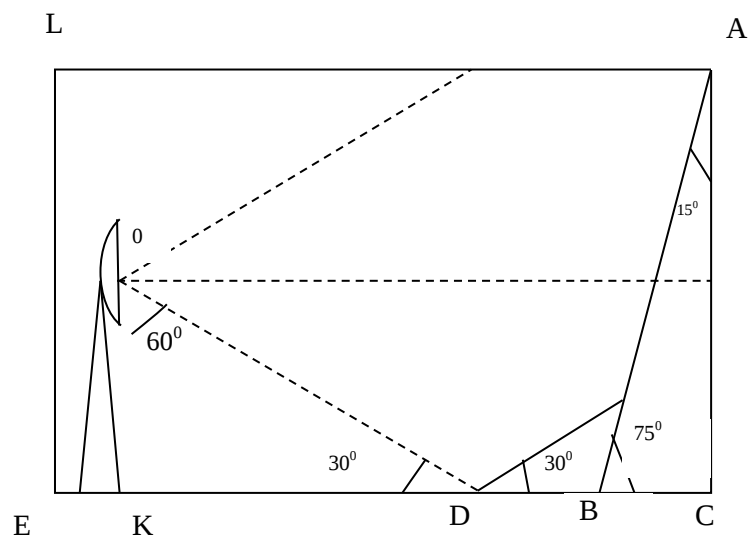


Рис. 5. Распространение лучей в камере

Из рис. 5 видно, что угол $KOD = 60^\circ$ является критическим. Следует исключить случаи малых углов, т.к. луч, переотразивший несколько раз от пола и потолка, все равно попадает в рабочий объем, но мощность сигнала будет мала, и сам переотраженный сигнал не будет иметь сильного влияния на основной сигнал.

Зону AVEL необходимо покрыть радиопоглощающим материалом. При создании безэховой камеры применено модульное конструирование, которое обеспечивает повышенную монтажную гибкость конструированных креплений. Для покрытия стенок лаборатории радиопоглощающим материалом необходимо разместить в ней модульные конструкции, которые обеспечивают высокие радиотехнические характеристики безэховых камер, более низкие затраты на их создание и выгодны как при изготовлении новых сборно-разборных безэховых камер, так и при реконструкции существующих. Например, пол и потолок лаборатории могут быть собраны на модулях размером 1 м×1 м, на которых будет натянут радиопоглощающий материал. Боковые стены лаборатории будут выполнены в виде занавесей-жалюзи из радиопоглощающего материала. Наклонная стена фиксируется на полу под предусмотренным углом с помощью специальных крепежных планок. На основе стандартизированных компонентов можно реализовать различные конструкции с учетом возможных размеров. Для лаборатории антенн был выбран радиопоглощающий материал "Крона", технические характеристики которого приведены в таблице [5].

Таблица

Технические характеристики радиопоглощающего материала "Крона"

Диапазон длин волн эффективной работы	0,8 ... 23 см
Коэффициент отражения при нормальном падении электромагнитной волны на плоскую, закрытую радиопоглощающим материалом металлическую поверхность	17...41 дБ
Вес варьируется	от 250 до 700 г/м ²
Водопоглощение покрытия	не более 20%

Для безэховой камеры лаборатории антенн ГИУА, основываясь на математических расчетах, при погонном размере 1 м потребуется 58 ...60 м радиопоглощающего материала.

Заключение. Разработанная безэховая камера в лаборатории антенн ГИУА позволит:

- ✓ повысить точность результатов измерений;
- ✓ проводить аттестацию антенн различного назначения совместно с Национальным институтом метрологии;
- ✓ измерять параметры более крупных по габаритам антенн, фазированных антенных решеток (ФАР) и активных ФАР в ближней зоне;
- ✓ измерять параметры малогабаритных антенн, мобильных телефонов, а также антенных устройств ближней связи, таких как Bluetooth и WiFi;
- ✓ существенно расширить объем поставленных лабораторных работ по антеннам СВЧ диапазона в учебном процессе ГИУА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование теоретических вопросов электродинамики, связанных с созданием расчетных эталонов по антенным измерениям и проектированием безэховых камер: Отчет ВНИИРИ. – Ереван, 1982. – 115 с.
2. Куммер В.Х., Джиллесси Э.С. Антенные измерения // ТИИЭР. - 1978. - Т.66, N4.- С.143-174.
3. Фрадин А.З., Рыжов Е.В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. - М.: Связь, 1972. - 314 с.
4. <http://www.emci.ru/anechoic.html>
5. <http://ckbrm.ru/index.php?products=61>.

ГИУА (Политехник). Материал поступил в редакцию 10.07.2014.

L.Խ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԱՆԱՐՁԱԳԱՆՔ ՍԵՆՅԱԿԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ՀՊՃՀ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱՅՈՒՄ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳԵՐԻ ԶԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Դիտարկվում է անարձագանք սենյակի նախագծումը ՀՊՃՀ անտենաների լաբորատորիայում: Հիմնվելով երկրաչափական օպտիկայի մեթոդների վրա՝ անարձագանք սենյակ նախագծելիս կիրառված է մոդուլային կառուցում: ՀՊՃՀ լաբորատորիայում անարձագանք սենյակի առկայությունը թույլ կտա ակտիվացնել ինչպես ուսումնական, այնպես էլ գիտահետազոտական գործունեությունը համալսարանում:

Առանցքային բառեր. անտենային չափումներ, ուղղվածության դիագրամ, ալիքի երկարություն, անարձագանք սենյակ, ռադիոկլանիչ նյութ:

L.KH. KHACHATRYAN

DESIGNING AN ANECHOIC CHAMBER FOR PARAMETER MEASUREMENT IN THE ANTENNA LABORATORY OF SEUA

The possibility of designing an anechoic camera in the Antenna laboratory of State Engineering University is considered. Based on the methods of geometrical optics, at developing an anechoic camera, modular design is applied. The presence of an anechoic chamber in the laboratory will allow to activate the educational and research activity at the university.

Keywords: antenna measurements, radiation pattern, wavelength, anechoic chamber, radioabsorbing material.