

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.4.1>

УДК: 573.877

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ТКАНИ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ

Д.П. Скулачев, А.С. Косов

Институт космических исследований Российской академии наук
117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2022 г.

Аннотация. Экранированные безэховые камеры применяются при испытаниях электронных устройств, чувствительных к внешним электромагнитным полям, или когда требуется, чтобы электромагнитное излучение не распространялось за пределы места проведения испытаний, а также когда вокруг испытываемого устройства необходимо обеспечить условия минимальных отражений электромагнитных волн.

Наилучшее экранирование обеспечивает сплошной замкнутый металлический экран достаточной толщины. В результате обычно подобные устройства представляют собой сложные и тяжелые сооружения.

Если испытаниям подвергаются малогабаритные изделия, то возможно использовать упрощенные камеры, экран которых выполнен из металлизированной ткани, а вся аппаратура работает от автономного источника энергопитания. Приведен пример простой технология укладки металлизированной ткани. Указано, что при использовании такой ткани следует учитывать особенности электродинамики многослойного экранирования.

Ключевые слова: ближнее поле, измерение, металлизированная ткань, СВЧ, экранирование обычное.

Финансирование: Госконтракт № 1921730301771217000241361/217/2258-3-2019.

Автор для переписки: Скулачев Дмитрий Петрович, dskulach@mx.iki.rssi.ru

Введение

Экранированные безэховые камеры (БЭК) применяются при испытаниях электронных устройств, чувствительных к внешним электромагнитным полям, в случаях, когда требуется, чтобы электромагнитное излучение во время испытаний не распространялось за пределы ограниченного пространства, а также когда вокруг испытываемого устройства необходимо обеспечить условия минимальных отражений электромагнитных волн, например при антенных измерениях. Обычно БЭК представляют собой экранированные камеры, внутренние поверхности которых закрыты материалом, поглощающим радиоизлучение.

Экранирующие свойства БЭК оцениваются коэффициентом экранирования, определяемым как отношение энергий электромагнитного поля внутри и снаружи камеры. Наилучшее экранирование обеспечивает сплошной (без каких-либо щелей и отверстий) замкнутый металлический экран достаточной толщины. В результате подобные БЭК обычно представляют собой сложные и тяжелые сооружения.

Если испытаниям в БЭК подвергаются малогабаритные изделия, то возможно использовать упрощенные камеры, экран которых выполнен из металлизированной ткани, а вся аппаратура работает от автономного источника энергопитания. Технология укладки металлизированной ткани может быть достаточно простой, но должна учитывать особенности электродинамики многослойного экрана.

1. Металлизированная ткань

Металлизированные ткани изготавливаются из различных материалов методом покрытия пряжи или готовой ткани тонким слоем металла. Известны

ткани, где используется чисто металлическая пряжа или же в обычную пряжу вплетен микропровод.

Далее для определенности мы будем рассматривать ткань МЕТАКРОН 1П16-Н10 [1], изготовленную из полиэстера, гальванически покрытого слоем никеля толщиной 10 мкм. Внешний вид образца ткани под микроскопом показан на рисунке 1 (в падающем свете) и рисунке 4 (в проходящем свете).

На рисунке 1 приведена фотография ткани под микроскопом. Видно, что волокна ткани после покрытия превратились в металлические проволочки, находящиеся в контакте друг с другом. В результате получилось полотно толщиной примерно 0.1 мм и плотностью около 200 г/м².

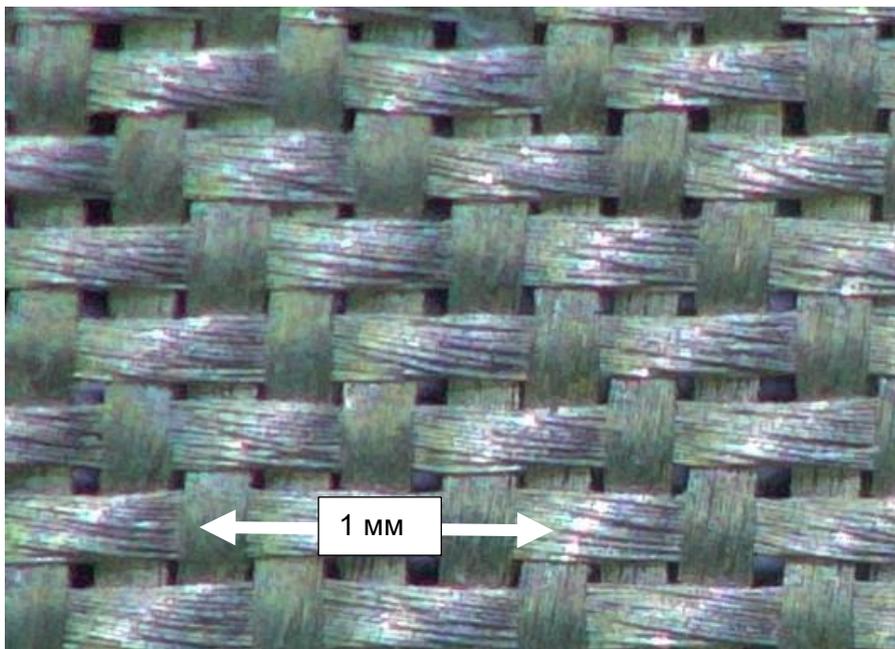


Рис. 1. Металлизированная ткань под микроскопом в отраженном свете

Видно также, что ткань обладает мелкими сквозными отверстиями поэтому мы вправе рассматривать ткань как тонкий перфорированный металлический лист.

Металлизированная ткань выпускается в рулонах, шириной около метра, поэтому отдельные полотнища необходимо соединять вместе. Руководства по конструированию электромагнитных экранов рекомендуют соединять части экрана сплошными паяными или сварочными швами. Плотное и прочное

металлическое покрытие волокон ткани позволяет проводить пайку полотна низкотемпературными припоями, причем эти действия допускаются производителями. Опыт показывает, что данная технология сложна в исполнении и требует расхода большого количества припоя.

Производители ткани применили никель в качестве покрытия. Выбранный металл достаточно устойчив к коррозии и при фиксированном механическом контакте обеспечивает стойкое переходное электрическое сопротивление. Это позволяет надеяться, что пайку можно заменить на плотную укладку слоев ткани в два слоя с перехлестом и закрепление ее на поверхности методами обивки, применяемыми в мебельной промышленности.

Для обоснования такого подхода следует рассмотреть, как работает перфорированный металлический лист в качестве электромагнитного экрана.

2. Перфорированный металлический экран в переменном электромагнитном поле

На рисунке 2 показаны силовые линии электрической компоненты поля вблизи отверстия в металлическом экране [2]. При этом длина волны падающего слева электромагнитного излучения выбрана значительно большей, чем диаметр отверстия.

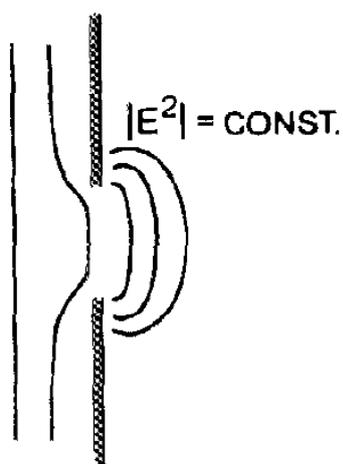


Рис. 2. Электрическое поле в ближней зоне

На рисунке 2 видно, что напряженность электрического поля примерно постоянна, отверстие почти не ослабляет падающую волну. Но поле справа от

экрана почти полностью является нераспространяющейся модой, стоячей волной, существующей лишь в непосредственной близости от отверстия. На рисунке не удалось показать ничтожно малую по напряженности часть поля, которая относится к убегаящей волне, формирующей в дальней зоне справа сферический фронт излучения, ослабленного перфорированным экраном.

На рисунке 3 [2] показана расчетная зависимость напряженности поля на разных расстояниях от отверстия. Относительное расстояние на рисунке 3 выражено в единицах диаметра отверстия. При расчетах диаметр отверстия выбран в 100 раз меньше длины волны.



Рис. 3. Зависимость напряженности поля при удалении от отверстия

Видно, что поле меняется медленно, если расстояние меньше диаметра отверстия и быстро уменьшается примерно на 100 дБ при удалении на 100 диаметров. На рисунке выделена зона, ближайшая к отверстию (PROX), ближняя (NEAR) и дальняя (FAR) зоны излучения из отверстия. Цифры около кривой соответствуют показателю степени в функции, аппроксимирующей закон изменения поля в ближней и дальней зонах. В дальней зоне поле убывает как обратный квадрат расстояния.

3. Двухслойный экран

Если взять два очень тонких одинаковых перфорированных экрана и наложить один на другой так, чтобы отверстия совпали, то интуитивно ясно, что степень экранирования будет такая же, как у одного экрана, потому что экраны просто сольются в один. Рисунки 2 и 3 иллюстрируют, как это происходит с точки зрения электродинамики.

Поле стоячей волны в ближней зоне первого экрана практически равно падающему полю. Если на это место положить второй экран, то на каждое его отверстие будет падать волна той же напряженности, что падала на одиночный первый экран. Поэтому поле во всех зонах, в том числе и в дальней, будет для двух экранов таким же, как и для одиночного экрана.

Реальные экраны не полностью соответствуют друг другу и не одинаково сориентированы, поэтому при наложении одного на другой совпадает лишь небольшое количество отверстий. Но это будет лишь в случае плотного прилегания экранов друг к другу. В реальном случае между двумя экранами всегда есть той или иной формы полости и зазоры. Если в каком-либо месте ширина полости достаточна для возбуждения волноводных колебаний, тогда не распространяющаяся мода электромагнитного поля возбудит волновод, а от него возбудятся несовпадающие отверстия второго экрана. В результате экранирующие свойства системы из двух экранов будут существенно ослаблены.

На рисунке 4 показан в проходящем свете снимок двухслойной металлизированной ткани. Видно, что совпадает лишь примерно десятая часть отверстий и размер совпадающих отверстий примерно второе меньше, чем в одном слое. В этих условиях расчет коэффициента экранирования по [3] для одиночного экрана дает величину порядка 80 дБ, а для двух плотно прижатых экранов – около 120 дБ. При расчете условно считалось, что металлизация ткани имеет бесконечную проводимость, а два плотно прижатых экрана эквивалентны одному экрану с отверстиями, показанными слева и в центре рисунка 4.

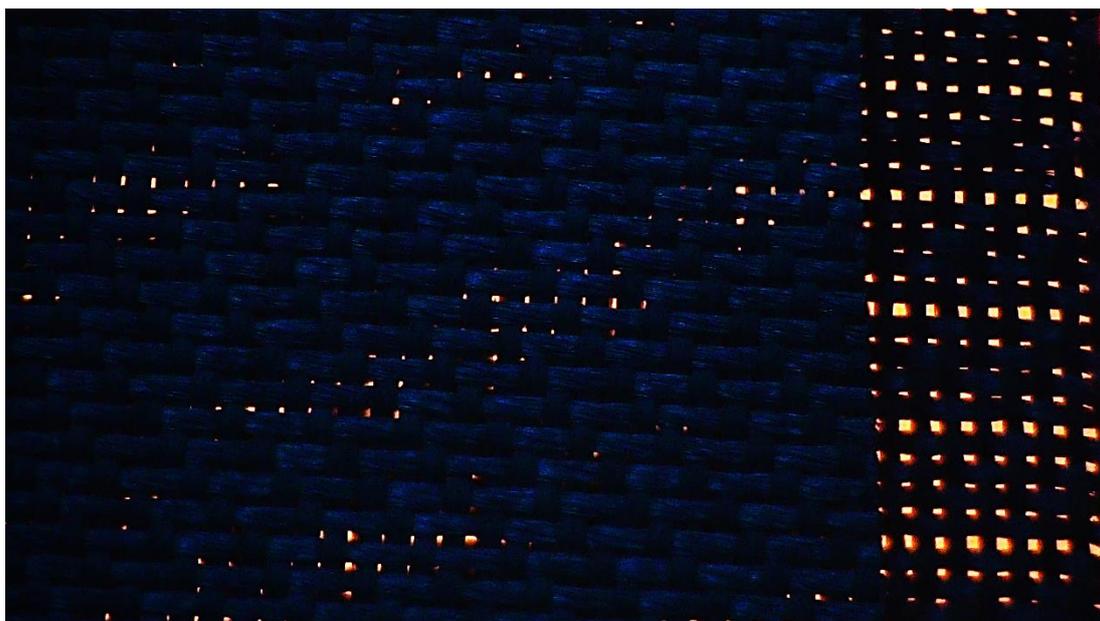


Рис. 4. Металлизированная ткань в два слоя (слева и в центре) и в один слой (справа). Максимальный размер отверстий 0.1 x 0.1 мм. Снимок сделан в проходящем свете

Экспериментальные измерения параметров металлизированной ткани были выполнены при создании лабораторной безэховой камеры.

4. Безэховая камера с использованием металлизированной ткани

Лабораторная БЭК имеет внутренние размеры 3 x 3 x 3 м и предназначена для работы в диапазоне частот от 9 до 18 ГГц. Конструкция выполнена на деревянном каркасе и обшита изнутри, включая пол и потолок, строганными досками. Деревянные детали обработаны антипиреном и антисептиком. В окончательном варианте на доски уложена экранирующая металлизированная ткань МЕТАКРОН 1П16-Н10 в два слоя. Укладка ткани производилась внахлестку, так чтобы края ткани первого слоя не совпадали с краями второго. Крепление ткани к стенам, потолку и полу проводилось стандартными металлическими скобами с помощью строительного степлера. Скобы устанавливались с шагом 150 мм.

БЭК предназначена для работы в автоматизированном режиме с использованием автономных источников питания, поэтому в состав БЭК не входят фильтры ввода электропитания, вентиляции и освещения. Для входа

персонала одна из стенок БЭК снабжена проемом. Проем в рабочем режиме закрывается плоским щитом, который прижимается к стенке камеры рядом болтов с гайками. Щит покрыт металлизированной тканью в два слоя и на него со стороны камеры установлены радиопоглощающие блоки МОХ-П-400 [4] размером 450 x 450 x 400 мм.

Измерения коэффициента экранирования производились на этапе изготовления с помощью антенн Пб-23 и лабораторных образцов широкополосного генератора и СВЧ радиометра. Генератор и передающая антенна размещались внутри закрытой камеры, а СВЧ радиометр с приемной антенной располагались снаружи. Результаты измерений показали, что в диапазоне частот от 9 до 18 ГГц коэффициент экранирования камеры, обшитой одним слоем металлизированной ткани, составляет от 60 до 70 дБ, а двумя слоями – от 65 до 80 дБ. Таким образом двуслойное покрытие улучшает экранирование, но в ограниченной степени.

Внутренняя поверхность камеры затем была закрыта радиопоглощающими блоками МОХ-П-400. После установки радиопоглощающего материала были проведены измерения параметров БЭК, которые показали, что коэффициент экранирования в диапазоне частот от 9 до 18 ГГц составляет от 75 до 85 дБ, а коэффициент безэховости не менее 40 дБ. Коэффициент безэховости измерялся методом непосредственного измерения рассеиваемой мощности с помощью генератора с коротким излучающим рупором и СВЧ приемника с ребристой рупорной антенной. Измерения проводились в частотных поддиапазонах 9-10 ГГц и 17-18 ГГц с использованием отдельных рупорных антенн для каждого поддиапазона. Уровень боковых и задних лепестков приемных антенн составлял менее 60 дБ. Суммарная погрешность измерений была не более 5 дБ.

Заключение

Использование экранирующей ткани позволяет создавать простые в изготовлении и достаточно легкие БЭК для лабораторного использования.

Использование двухслойного покрытия металлизированной тканью вполне оправдано, но в реальных условиях не приводит к увеличению коэффициента экранирования до величин, рассчитанных для идеального случая.

Финансирование: Госконтракт № 1921730301771217000241361/217/2258-3-2019

Литература

1. Металлизированная электропроводящая ткань Метакрон для защиты от излучений [web]. ООО НПП «Техностиль». Дата обращения: 12.12.2022. URL: <http://www.metakron>
2. Dürig U., Pohl D.W., Rohner F. Near-field optical-scanning microscopy. *Journal of Applied Physics*. 1986. V.59 (10). P. 3318-3327. <https://doi.org/10.1063/1.336848>
3. Полонский Н.Б. *Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры*. Москва, Советское радио. 1979. 216 с.
4. Радиоэкранирующие материалы [web]. ООО НПП «Радиострим». Дата обращения: 12.12.2022. URL: <http://www.radiostrim.ru>

Для цитирования:

Скулачев Д.П., Косов А.С. Особенности применения металлизированной ткани для экранирования безэховой камеры. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2023. №4. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.4.1>