

**ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА,
ЭЛЕКТРОНИКА**

УДК 621.315.5/.7

**ВЛИЯНИЕ ЭКРАНОВ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОЙ
ПОВЕРХНОСТЬЮ НА ОСЛАБЛЕНИЕ МОЩНОСТИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

О.В. БОЙПРАВ, М.Ш. МАХМУД, М.Р. НЕАМАХ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 23 марта 2011*

Приводятся результаты исследований влияния экранов с пирамидальной поверхностью, изготовленных на основе бетона, шунгитового и тауритового порошков, на ослабление мощности электромагнитных излучений (ЭМИ) в диапазоне частот 0,7...16 ГГц. Показана эффективность использования этих экранов для защиты от излучений радиолокационных систем.

Ключевые слова: мощность электромагнитного излучения, экраны с пирамидальной поверхностью, экраны с плоской поверхностью, шунгит, таурит.

Введение

В комплексе мероприятий, проводимых любым государством и направленных на безусловное обеспечение национальной безопасности, важное место занимают разработка и развитие средств получения информации о воздушно-космической обстановке. Эти средства включают в себя мощные радиолокационные системы (РЛС), которые позволяют решать комплексно задачи обнаружения, сопровождения и распознавания объектов, обеспечивать одно-временную работу по большому числу целей [1, 2]. Для корректного функционирования данных систем требуется уменьшение уровня сигналов, отражаемых от зданий и сооружений (пассивных помех). Оно может быть достигнуто путем использования радиопоглощающих покрытий (РПП) в структуре отражающих эти сигналы объектов.

Все известные на сегодняшний день РПП делятся на несколько основных типов: резонансные, градиентные и конфигурационные (геометрически неоднородные) [3].

РПП резонансного типа основаны на явлении суперпозиции отраженных от нескольких поверхностей волн. В случае, когда волны, отраженные от поверхностей электропроводящей пленки и металлической основы, находятся в противофазе и одинаковы по амплитуде, происходит их взаимная компенсация. Создание разности фаз в полволны осуществляют нанесением $\lambda/4$ -слоя диэлектрика, при этом его толщина зависит от длины волны в свободном пространстве и диэлектрической проницаемости. К основным недостаткам РПП данного типа относятся узкополосность, ухудшение поглощающих свойств при наклонном падении волны, зависимость от поляризации и необходимость увеличения толщины при уменьшении частоты ЭМИ [4].

Для расширения рабочего диапазона частот используются РПП градиентного типа, представляющие собой многослойные структуры с плавным или ступенчатым изменением по толщине комплексной диэлектрической (или магнитной) проницаемости; увеличение тангенса угла диэлектрических потерь при этом обеспечивается в направлении к задней поверхности. Однако этот тип РПП является наиболее сложным с точки зрения практической реализации [3].

Конфигурационные РПП обладают определенной геометрией наружной или внутренней сторон в виде выступающих шипов, пирамид, конусов, преобразующих плоскую падающую волну в поверхностную, которая в дальнейшем погашается в поверхностном слое [5]. Такие покрытия имеют широкую рабочую полосу частот, малый коэффициент отражения и, как правило, меньшую по сравнению с градиентными покрытиями массу. Однако чаще всего размеры РПП со структурой подобного типа превышают размеры плоскостойких РПП.

Таким образом, большинство разрабатываемых в настоящее время средств уменьшения радиолокационной заметности объектов не способно обеспечить их малоотражающие свойства в широком диапазоне частот, имея при этом требуемые минимальные массогабаритные характеристики [3].

Цель работы – создание экранов со сниженными массогабаритными параметрами, обеспечивающих подавление ЭМИ антенно-передающих средств радиолокационных и телекоммуникационных систем в диапазоне частот 0,7...16 ГГц.

Методика проведения эксперимента

В качестве основных материалов для изготовления поверхностного слоя экранов были взяты порошкообразные шунгит и таурит.

Шунгит относится к группе твердых углеродистых минеральных веществ, представляющих в основной массе аморфные разновидности углерода, близкие по составу к графиту. Химический состав шунгита непостоянен: в среднем содержит 30–40% углерода и 60–70% золы. В золе содержится 35–50% окиси кремния, 10–25% окиси алюминия, 4–6% окиси калия, 1–5% окиси натрия, 1–4% окиси титана [6]. Основным структурным элементом шунгита являются закрытые полые глобулы размером до 20 мкм. Установлено также наличие межглобулярных пустот [7]. Крупнейшее в мире разведанное месторождение шунгитовых пород – Зажогинское, расположенное в Республике Карелия (Российская Федерация).

Коксуский шунгит называют тауритом. Его крупнейшее месторождение находится в Алматинской области (Республика Казахстан). Основное отличие между шунгитом и тауритом заключается в процентном содержании в составе этих минералов углерода (для таурита оно лежит в пределах 10–15%) [8].

Шунгит является электропроводным материалом, его удельное сопротивление составляет от $3,53 \cdot 10^{-3}$ до $3,29 \cdot 10^{-2}$ см. Это позволяет получать значение коэффициента передачи слоя порошкообразного шунгита толщиной 3 мм не ниже –9 дБ при значении коэффициента отражения, равном –5 дБ. Величину коэффициента передачи можно снижать, например, с помощью создания металлических кластеров на поверхности шунгитового порошка (в [9] в диапазоне частот 8...12 ГГц для такого образца было получено значение –12 дБ при незначительном увеличении коэффициента отражения). Кроме того, шунгитовый порошок, благодаря своим ингибиторным свойствам, композитному составу, невысокой стоимости и массе может использоваться в качестве компонента для производства материалов, обеспечивающих эффективное экранирование ЭМИ [9].

В лабораторных условиях были изготовлены 2 смеси с целью создания на их основе 2 объектов исследования – образцов защитных экранов с пирамидальной поверхностью: бетон (60%) и шунгит (40%), бетон (60%) и таурит (40%). Установлено, что высота неоднородностей у данных экранов составляет 30 мм.

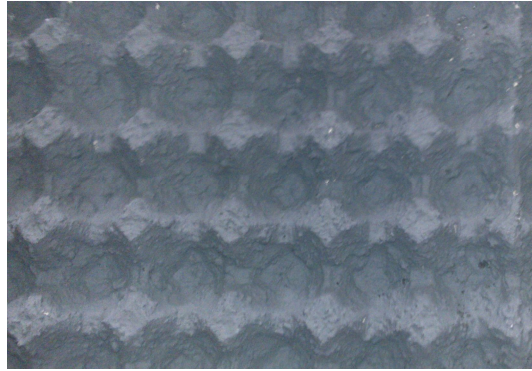


Рис. 1. Внешний вид экрана с пирамидальной поверхностью, изготовленного на основе смеси бетона и таурита

Исследования изготовленных экранов включали в себя 3 этапа: калибровка измерительной системы, измерения в выбранном диапазоне частот уровня мощности ЭМИ, прошедшей через образец, и анализ построенных на основе результатов измерений графических зависимостей. Структурная схема измерительной установки представлена на рис. 2.

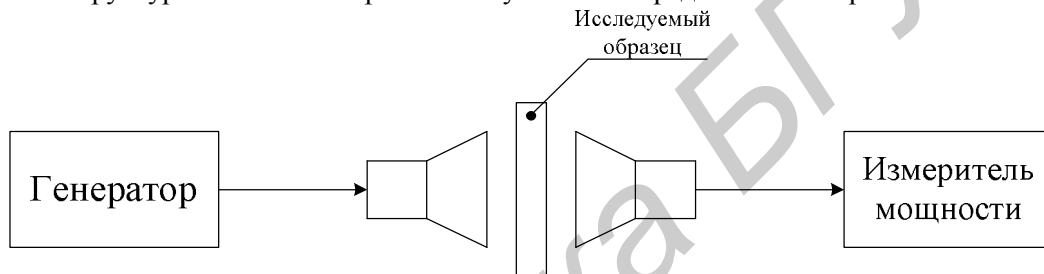


Рис. 2. Структурная схема измерения уровня мощности электромагнитной волны, прошедшей через защитный экран

Для проведения исследований были взяты 19 частот из диапазона 0,7...16 ГГц с разным интервалом между соседними значениями последних: для поддиапазона 0,7...1 ГГц – с интервалом 0,1 ГГц, для поддиапазона 2...16 ГГц – с интервалом 1 ГГц. Данный частотный диапазон выбран, исходя из того, что большинство РЛС осуществляют в нем свою работу.

В результате осуществления двух этапов исследования для каждого из образцов на 19 частотах были получены значения уровней прошедшей мощности ЭМИ при значениях падающей мощности в 1 мВт, 2 мВт, 3 мВт и 5 мВт. При этом между передающей и приемной антеннами защитный экран не устанавливался.

Результаты калибровки приведены в таблице. Следует отметить, что калибровка на каждой из частот проводилась десятикратно с целью увеличения точности дальнейших измерений. Рассчитано, что погрешность калибровки на всем рассматриваемом диапазоне составила 10 %.

На втором этапе исследований между антеннами устанавливался защитный экран, после чего для каждой из 19 частот с помощью генератора поочередно формировались сигналы с уровнями мощности, соответствующими выбранным на первом этапе равным значениям уровней мощности сигнала на приемной антенне, и снимались показания измерителя.

Результаты калибровки измерительной системы по выходной мощности

Частота, ГГц	Выходная мощность, мВт			
	1	2	3	5
	Входная мощность, дБм			
0,7	10,3	13	14,8	17
0,8	5,1	8,2	9,9	12
0,9	4	7,1	8,8	11
1	2,6	5,7	7,3	9,5
2	3,7	6,6	8,3	10,5
3	7,1	10,1	11,9	14,3
4	8,1	11,2	13	15
5	12,1	15,3	17	19,2
6	13,9	16,5	18,4	20,6
7	13,2	16,3	18	20,3
8	14,9	17,9	19,8	22
9	11	14	15,7	17,9
10	12,1	15,4	17,3	19,6
11	15	18	19,9	22,2
12	14	17	18,7	20,9
13	16	19,1	20,9	23
14	16,2	19,2	21	23,1
15	18	20,6	22,3	25
16	17,1	20,2	21,8	23,8

Результаты и их обсуждение

В результате осуществления двух этапов исследования для каждого из образцов на 19 частотах были получены значения уровней прошедшей мощности ЭМИ в 1 мВт, 2 мВт, 3 мВт, 5 мВт.

Частотные зависимости уровней прошедшей мощности ЭМИ представлены на рис. 3, 4.

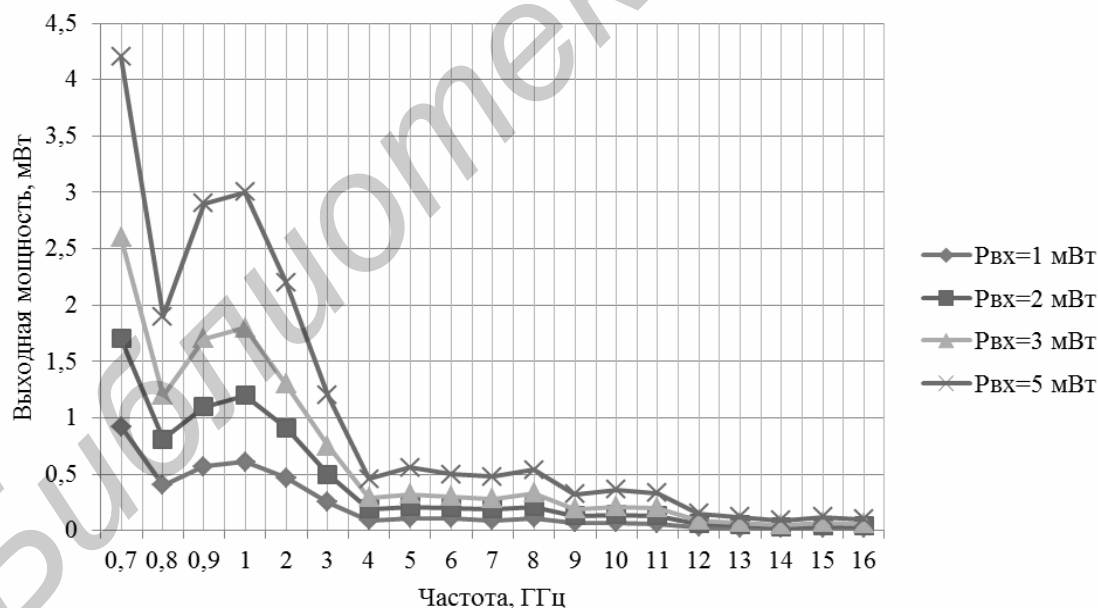


Рис. 3. Частотные зависимости уровня прошедшей мощности ЭМИ при разных уровнях мощности падающего ЭМИ для экрана с пирамидальной поверхностью, изготовленного на основе смеси бетона и шунгита

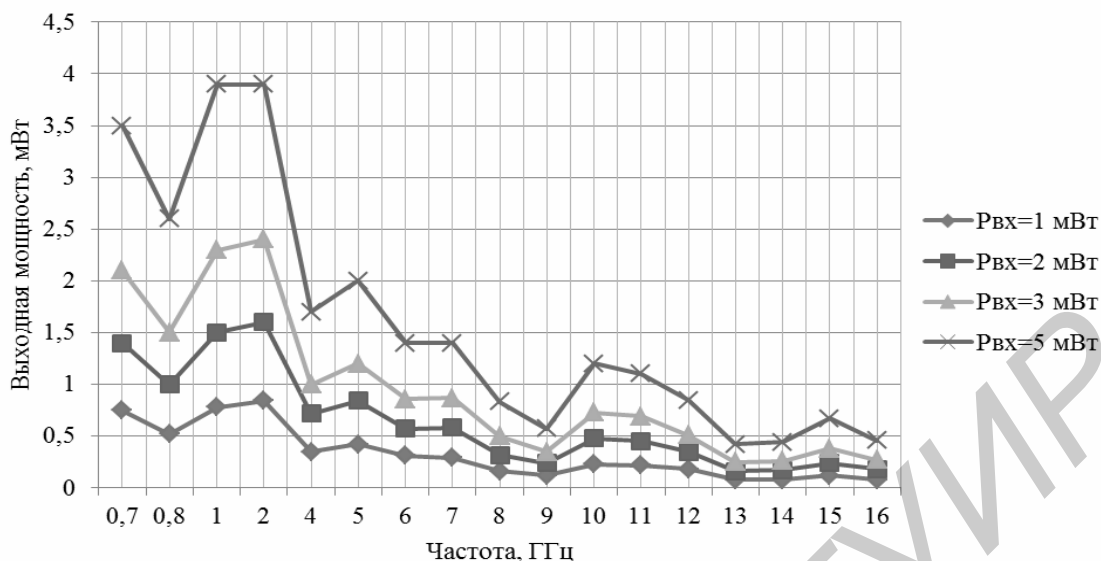


Рис. 4. Частотные зависимости уровня прошедшей мощности ЭМИ при разных уровнях мощности падающего ЭМИ для экрана с пирамидальной поверхностью, изготовленного на основе смеси бетона и таурита

Представленные графические зависимости получены на основании результатов измерений, проведенных после высыхания образцов из смеси бетона и порошкообразных шунгита и таурита. Результаты измерений, проведенных до высыхания образцов, дали меньшие значения выходной мощности на всех частотах, что объясняется присутствием в смеси воды, которая является поглотителем энергии ЭМИ [10]. При воздействии на воду ЭМИ радиочастотного диапазона появляется дипольная поляризация, приводящая к повышению диэлектрической проницаемости, а, значит, и к повышению потерь энергии [11].

Установлено, что образцы с пирамидальной поверхностью, изготовленные на основе смеси бетона и шунгита, обеспечивают большее затухание мощности, чем образцы, изготовленные на основе смеси бетона и таурита. Углерод в шунгите, обрамляя частицы оксида кремния, создает вокруг них «проводящую сетку». В таурите из-за меньшего, чем в шунгите, содержания углерода «проводящая сетка» относительно тонкая. В силу этого электропроводность шунгита больше электропроводности таурита, а, значит, уровень пропускаемой мощности ЭМИ шунгитом ниже, чем уровень пропускаемой мощности ЭМИ тауритом [9].

Выявлено, что для экрана, изготовленного на основе бетона и шунгита, значение коэффициента отражения в диапазоне частот 3...12 ГГц лежит в пределах $-10...-20$ дБ. Для экрана, изготовленного на основе смеси бетона и таурита, в данной частотной области оно лежит в пределах $-9,8...-16,3$ дБ.

Кроме того, установлено, что коэффициенты отражения у рассмотренных в данной работе экранов ниже коэффициентов отражения экранов с плоской поверхностью, изготовленных из смесей бетона (60%) и шунгита (40%), бетона (60%) и таурита (40%). Значения коэффициентов отражения экранов с плоской поверхностью лежат в пределах $-5...-1$ дБ. Отражение электромагнитной волны (ЭМВ) наблюдается на различных неоднородностях в материале, а при конструировании экранов определяется различием волновых сопротивлений среды распространения волны и экрана. Рассеивание плоского фронта ЭМВ на неоднородностях структуры радиопоглощающего материала или конструкции позволяет достигнуть более полного поглощения электромагнитной энергии и уменьшения уровня отраженного сигнала. При отражении от неровной поверхности происходит изменение поляризации ЭМВ. Деполаризация рассеянной ЭМВ оказывается в точности такой же, как и при отражении от идеально проводящей плоскости [12].

Заключение

Изготовленные и рассмотренные в рамках данной работы экраны обладают низким значением коэффициента отражения в частотном диапазоне 3...12 ГГц и малым весом. Благодаря этому они могут вводиться в структуру наружных стен зданий, которые отражают сигналы РЛС и вносят тем самым помехи в работу последних. Кроме того, способность данных экранов эффективно подавлять мощность ЭМИ в частотном диапазоне 3...12 ГГц будет обеспечивать защиту людей, находящихся внутри таких построек, от негативных электромагнитных воздействий.

INFLUENCE OF SCREENS WITH GEOMETRICALLY NON-UNIFORM SURFACE ON CAPACITY EASING OF ELECTROMAGNETIC RADIATIONS

O.V. BOIPRAV, M.SH. MAHMOUD, M.R. NEAMAN

Abstract

Investigation results of influence of electromagnetic capacity in a range 0,7 – 16 GHz on screens with pyramidal surfaces based on concrete, shungite and taurit powders, are presented. Efficiency of using of these screens for radiation protection of radar-tracking systems is shown.

Литература

1. Фоксвел Д., Джаксен Д. // IDR (International Defense Review). 1998. Vol. 31. P. 43–45.
2. Truker S. // Jane's NAVY International. 1998. Vol. 103, №6.
3. Алексеев А.Г., Штагер Е.А., Козырев С.В. Физические основы технологии Stealth. СПб., 2007.
4. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения. М., 1982.
5. Miazaki Y., Tano K. // Intern. symp. electromagnetic compability. 1989. Vol. 2. P. 504–508.
6. Большая Советская Энциклопедия. М., 2008.
7. Толстова О.Н., Пичугин А.М., Косо Р.А., Т.В. // Каучук и резина. 2008. № 4. С. 22– 26.
8. Борботько Т.В. и др. Углеродсодержащие минералы и области их применения: монография. Минск, 2009.
9. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Криштопова Е.А. // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. № 9. С. 44–48
10. Либерман Б.М., Гайдук В.И. // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44, № 1. С. 97–103.
11. Прохоров А.М. Физический энциклопедический словарь. М, 1988. Т. 1.
12. Басс Ф.Г. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М., 1972.