

УДК 537:669.112.227.322

## ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЛАГОСОДЕРЖАЩЕГО ПОРОШКООБРАЗНОГО ПЕРЛИТА

*О.В. БОЙПРАВ; д-р техн. наук, проф. Т.В. БОРБОТЬКО;  
д-р техн. наук, проф. Л.М. ЛЫНЬКОВ*

*(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)*

*Предложено использовать влагосодержащий порошкообразный перлит для создания экранов электромагнитного излучения. Получены частотные зависимости коэффициентов отражения и передачи, а также ослабления мощности электромагнитного излучения диапазона частот 0,7...17 ГГц экранов на основе данного порошкообразного материала, характеризующегося различными величинами влагосодержания. С целью получения стабильного влагосодержания в перлите, для его пропитывания предложено использовать водные растворы хлорида кальция, концентрация которых составляет 10...40 масс. %. Показано, что увеличение в пределах от 10 до 40 масс. % концентрации водного раствора хлорида кальция, использованного для пропитывания перлита, приводит к снижению значений коэффициентов передачи изготавливаемых на его основе экранов электромагнитного излучения в диапазоне частот 1,7...3 ГГц на 2...20 дБ (в зависимости от размера фракций перлита и значения приращения концентрации водного раствора хлорида кальция). При этом значения коэффициентов отражения таких экранов увеличиваются в среднем на 5 дБ. Исследованные экраны могут использоваться в процессе строительства помещений, в которых предполагается размещение радиоэлектронного оборудования, выполняющего обработку информации.*

**Введение.** Экраны электромагнитного излучения (ЭМИ) на сегодняшний день используются для решения следующих задач:

- ослабление паразитных индуктивных, емкостных и электромагнитных связей между элементами радиоэлектронного оборудования;
- защита радиоэлектронного оборудования от внешних электромагнитных помех;
- защита человека от ЭМИ радиоэлектронного оборудования [1];
- защита информации от утечки по электромагнитному каналу, обеспечиваемая за счет снижения уровней побочного ЭМИ, сопровождающего процесс функционирования радиоэлектронного оборудования, выполняющего обработку данных.

Для изготовления экранов ЭМИ в настоящее время наиболее широко применяются порошкообразные материалы, физические свойства которых (электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемость) способствуют обеспечению потерь энергии взаимодействующих с ними электромагнитных волн (ЭМВ). К таким материалам относятся шунгит, бентонит, ферриты и т.п. Управляемо изменять их характеристики отражения и передачи ЭМИ возможно путем включения в них дополнительных компонентов. Это проводится с использованием одного из следующих способов:

- 1) химическое осаждение металлов (никеля, меди, кобальта и т.п.) из водных растворов на поверхность порошкообразного материала;
- 2) пропитывание порошкообразного материала водой или водными растворами.

С точки зрения простоты реализации второй способ является более приемлемым по сравнению с первым, ввиду того, что технологический процесс получения влагосодержащих материалов требует меньше временных и финансовых затрат. Величина влагосодержания порошкообразного материала, пропитанного водой или водными растворами, оказывает влияние на значение его диэлектрической проницаемости, а следовательно и на его характеристики отражения и передачи ЭМИ. При этом максимальная масса влаги, которую может сорбировать порошкообразный материал, определяется его пористостью. Следовательно, путем регулирования пористости порошкообразного материала, пропитываемого водой или водными растворами, можно управляемо изменять его характеристики отражения и передачи ЭМИ, а значит и аналогичные характеристики электромагнитных экранов на его основе. В настоящее время одним из материалов, производимых на промышленной основе и классифицируемых в процессе производства на марки в зависимости от использованной технологии изготовления, которая и определяет их размер фракций и пористость, является порошкообразный перлит.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния влагосодержания порошкообразного перлита на характеристики отражения, передачи и ослабления мощности ЭМИ экранов, формируемых на его основе.

**Методика проведения эксперимента.** Для изготовления экранов ЭМИ использовался порошкообразный перлит трех типов. Перлит типа 1 характеризуется размером фракций 3 мм, типов 2 и 3 – 1...3 мм

и 0,5 мм соответственно. Перлит типа 1 изготовлен на основе обсидиановой породы, перлит типов 2 и 3 – на основе перлитовой породы [2]. С целью получения стабильного влагосодержания в перлите для его пропитывания использовались водные растворы хлорида кальция, концентрация которых составляла 10 масс. %, 20, 30 и 40 масс. %. Так как хлорид кальция характеризуется свойством гигроскопичности, то он способствует удержанию влаги в пропитанных им материалах. Максимальная растворимость хлорида кальция в воде при температуре 20 °С составляет 42,7 масс. % [3]. С использованием гравиметрического метода получены значения величин стабильного влагосодержания перлита выбранных марок, пропитанного водными растворами хлорида кальция указанных концентраций. Данные значения приведены в таблице 1. Измерения проводились при температуре воздуха 20 °С и его относительной влажности 80 %.

Таблица 1

Значения величин стабильного влагосодержания перлита, пропитанного водными растворами хлорида кальция различной концентрации

Тип перлита	Концентрация использованного водного раствора хлорида кальция, масс. %	Влагосодержание перлита, масс. %
1	10	80
2	10	90
3	10	90
1	20	160
2	20	210
3	20	160
1	30	270
2	30	290
3	30	190
1	40	300
2	40	350
3	40	310

Различные значения стабильного влагосодержания перлита типов 1, 2 и 3, пропитанного водными растворами хлорида кальция равной концентрации, обусловлено различными пористостью и размером фракций данных порошкообразных материалов. Наименьшей пористостью характеризуется перлит типа 1, ввиду того, что обсидиановая порода содержит меньше связанной воды по сравнению с перлитовой породой, а также ввиду того, что обсидиановая порода характеризуется меньшей пористостью (~ 1 %) по сравнению с перлитовой породой (5...30 %). Размер пор перлита типа 2 превышает размер пор перлита типа 3. Однако перлит типа 3 характеризуется наибольшим соотношением размеров пор и фракций. На поверхности зерен перлита фракции 0,1...0,6 мм присутствуют поры, размер которых составляет 1/3 от размера фракции. Кроме того, перлит типа 2 содержит больше закрытых пор (~ 18 %) по сравнению с перлитом типа 3 (~ 13 %). Указанные свойства и обуславливают более высокие значения величин стабильного влагосодержания перлита типа 2, пропитанного водными растворами хлорида кальция, по сравнению с аналогичными значениями для перлита типа 3 [4]. Максимальная масса 1 м<sup>3</sup> перлита типа 1 составляет 50 кг, перлита типов 2 и 3 – 65 кг и 150 кг соответственно.

Таким образом, на основании данных таблицы 1 можно сделать вывод о том, что в перлите типа 3, пропитанном 10 %-ным водным раствором хлорида кальция, и перлите типа 1, пропитанном 30 %-ным водным раствором хлорида кальция, содержатся одинаковые объемы влаги (0,135 об. %). Указанная величина сопоставима с величиной объема влаги, содержащегося в перлите типа 2, пропитанном 20 %-ным водным раствором хлорида кальция. Экраны ЭМИ изготавливались путем заполнения перлитом определенного типа, пропитанного раствором хлорида кальция одной из указанных концентраций, емкости, имеющей форму параллелепипеда.

Общее количество видов изготовленных экранов ЭМИ – 12. При этом было изготовлено по 3 идентичных экрана ЭМИ каждого из видов для того, чтобы провести оценку повторяемости результатов измерений. Характеристики каждого из видов изготовленных экранов ЭМИ приведены в таблице 2.

Измерения параметров характеристик отражения, передачи и ослабления мощности ЭМИ исследованных экранов проводились в диапазоне частот 0,8...17 ГГц по методикам, приведенным в [5].

При этом в процессе измерений использовались панорамный измеритель коэффициентов отражения и передачи SNA 0,01–18 и измеритель мощности PM 0,01–37,5.

Общее количество проведенных для каждого из экранов измерений коэффициентов отражения, передачи и ослабления мощности ЭМИ составило 10. Указанное количество измерений было проведено для того, чтобы выполнить оценку повторяемости результатов.

Таблица 2

Характеристики изготовленных экранов ЭММИ

Наименование (№) экрана ЭМИ	Тип использованного перлита	Концентрация использованного водного раствора хлорида кальция, масс. %
№ 1	1	10
№ 2	1	20
№ 3	1	30
№ 4	1	40
№ 5	2	10
№ 6	2	20
№ 7	2	30
№ 8	2	40
№ 9	3	10
№ 10	3	20
№ 11	3	30
№ 12	3	40

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что значения коэффициентов передачи ЭМИ экранов № 1, № 5 и № 9 в диапазоне частот 0,8...3 ГГц составляют соответственно –1,5...–8 дБ, –1,5...–3,5 дБ, –2...–6 дБ, в диапазоне частот 3...17 ГГц равны –7...–27 дБ. Увеличение концентрации водного раствора хлорида кальция, используемого для пропитывания перлита, приводит к снижению значений коэффициентов передачи изготавливаемых на его основе экранов ЭММИ в диапазоне частот 1,7...3 ГГц на 2 дБ (экран № 2), 4...6 дБ (экран № 3), на 4...12 дБ (экран № 4, экран № 6, экран № 10), на 8...18 дБ (экран № 7, экран № 11), 8...20 дБ (экран № 8, экран № 12). В диапазоне частот 3...7 ГГц значения коэффициентов передачи ЭМИ экранов № 1, № 5 и № 9 превышают в среднем на 7 дБ аналогичные значения иных экранов ЭМИ, исследованных в рамках настоящей работы. Это обусловлено тем, что перлит, использованный для изготовления данных экранов, характеризуется большим уровнем влагосодержания, а значит, обеспечивает больший уровень поляризационных, релаксационных потерь, а также потерь на электропроводность энергии ЭМИ [6; 7]. Потери энергии ЭМИ, взаимодействующего с изготовленными экранами, связано также с дифракцией ЭМВ на частицах перлита. При этом гранулометрический состав перлита определяет амплитуду рассеиваемых им ЭМВ и количество углов, под которыми они рассеиваются [8].

Установлено, что величина влагосодержания перлита не оказывает влияния на значения коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 7...17 ГГц электромагнитных экранов на его основе.

В диапазоне 0,8...3 ГГц частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ исследованных экранов носят резонансный характер. При этом значения коэффициентов отражения ЭМИ на резонансных частотах определяются величиной влагосодержания перлита, использованного для изготовления экрана. Увеличение концентрации водного раствора хлорида кальция приводит к увеличению в среднем на 0,2 ГГц значений резонансных частот экрана ЭМИ в диапазоне частот 0,8...3 ГГц. Значения коэффициентов отражения ЭМИ экранов, изготовленных на основе перлита типов 1, 2 и 3, пропитанного 10 %-ным водным раствором хлорида кальция, составляют соответственно –5...–25 дБ, –5...–35 дБ, –5...–20 дБ. Увеличение концентрации водного раствора хлорида кальция, используемого для пропитывания перлита, приводит к увеличению значений коэффициентов отражения экранов ЭМИ в диапазоне 0,7...17 ГГц на 3...5 дБ. Размещение исследованных экранов на металлической подложке привело к изменению значений их коэффициентов отражения на резонансных частотах на 2...10 дБ, а также увеличению значений этих частот в среднем на 0,5 ГГц. Выявлено, что чем выше концентрация водного раствора хлорида кальция, использованного для пропитывания перлита, тем меньше варьируются значения коэффициентов отражения ЭМИ экранов, размещенных на металлической подложке.

Электромагнитные экраны, изготовленные на основе перлита типа 2, характеризуются меньшими значениями коэффициентов отражения ЭМИ по сравнению с экранами, изготовленными на основе перлита типов 1 и 3 в связи с тем, что перлит типа 2 обладает неоднородным гранулометрическим составом [9].

Частотные зависимости, полученные на основе результатов измерений средних значений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ экранов № 9, № 10, № 11 и № 12, представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

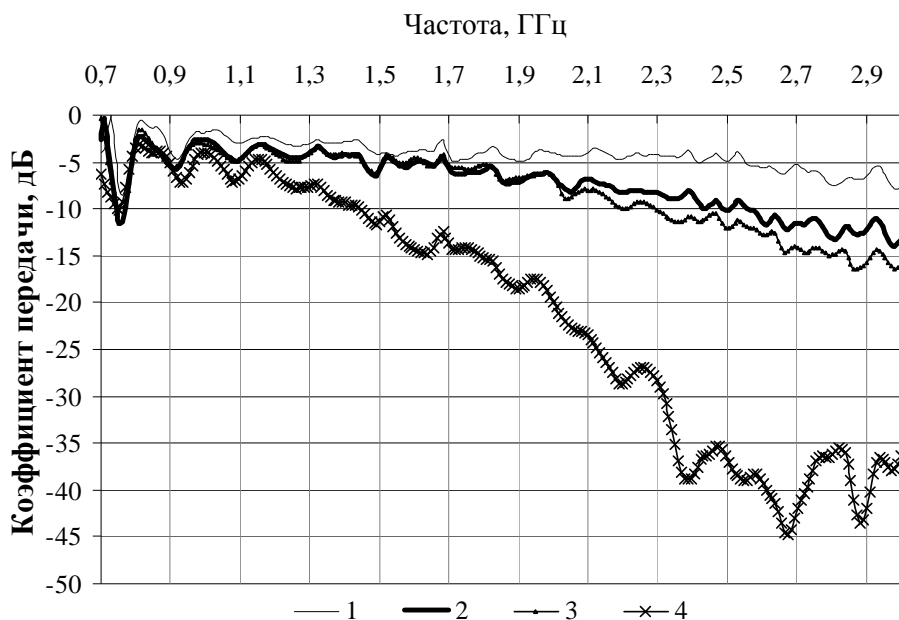


Рис. 1. Частотные зависимости коэффициентов передачи экранов ЭМИ в диапазоне 0,7...3 ГГц: 1 – экран № 9; 2 – экран № 10; 3 – экран № 11; 4 – экран № 12

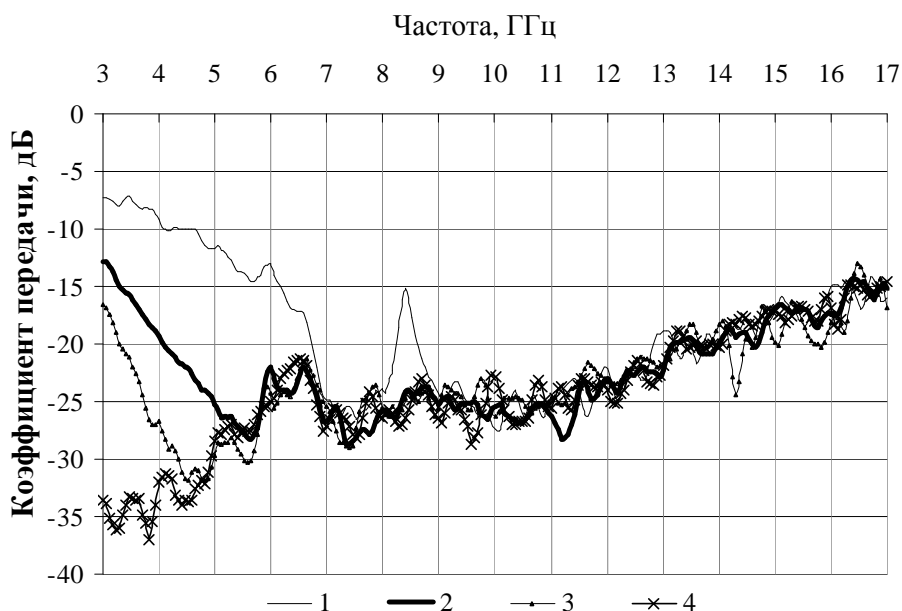


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициентов передачи экранов ЭМИ в диапазоне 3...17 ГГц: 1 – экран № 9; 2 – экран № 10; 3 – экран № 11; 4 – экран № 12

Частотные зависимости ослабления мощности ЭМИ экранами № 6 и № 9 представлены на рисунке 3 и рисунке 4 соответственно (кривые 1 соответствуют зависимостям, параметры которых измерены при уровне мощности падающего ЭМИ, равном 1 мВт; кривые 2, 3, 4 и 5 – при 2 мВт, 3, 4 и 5 мВт).

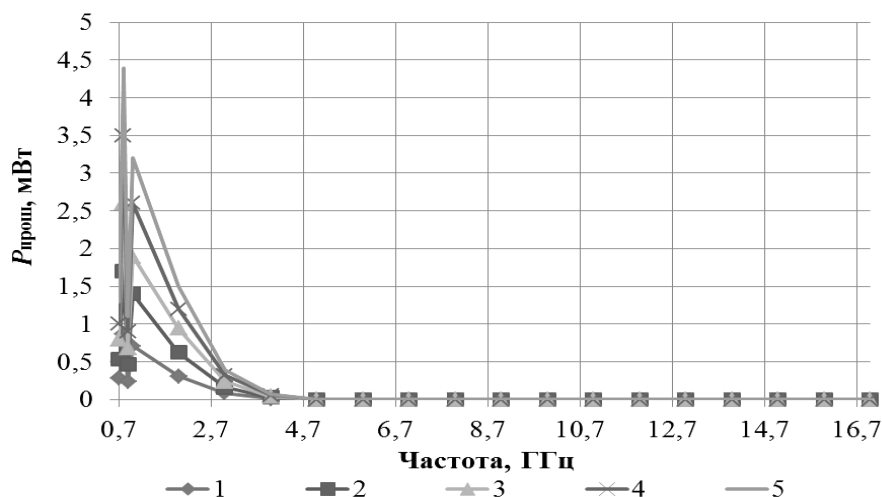


Рис. 3. Частотные зависимости ослабления мощности ЭМИ экраном № 6

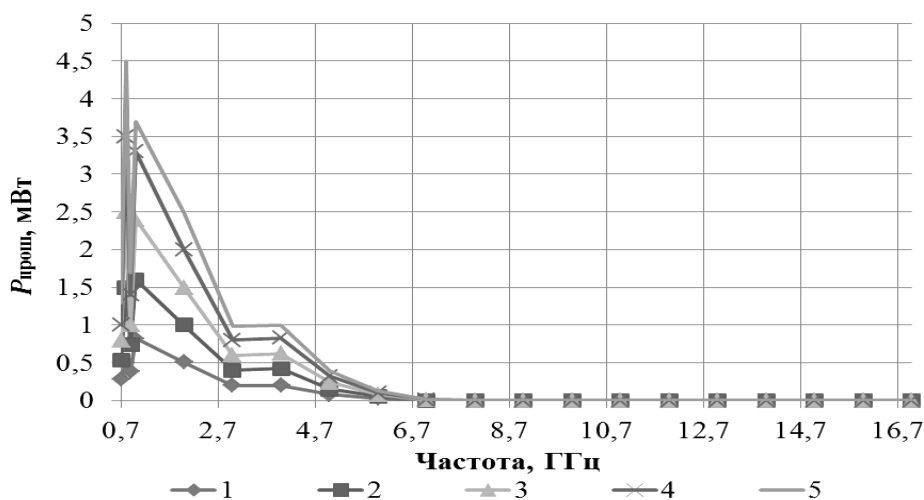


Рис. 4. Частотные зависимости ослабления мощности ЭМИ экраном № 9

На рисунке 3 и рисунке 4  $P_{\text{прош}}$  – мощность ЭМИ, прошедшего через электромагнитный экран.

Установлено, что в диапазоне частот 9...17 ГГц (для экрана № 1), 7...17 ГГц (для экранов № 2, № 5, № 9), 6...17 ГГц (для экрана № 10), 5...17 ГГц (для экранов № 3, № 4, № 6, № 11), 4...17 ГГц (для экранов № 7, № 8), 3...17 ГГц (для экрана № 12) обеспечивается полное ослабление мощности ЭМИ.

Рассчитано, что средние значения результатов серий измерений, проведенных для каждого из экранов одного вида, отличаются не более, чем на 5 %.

**Закключение.** В результате проведенного исследования установлено, что за счет изменения размера фракций порошкообразного перлита и величины его влагосодержания можно управляемо изменять значения коэффициентов отражения и передачи ЭМИ, а также ослабления мощности ЭМИ экранами на его основе. Показано, что увеличение в пределах от 10 до 40 масс. % концентрации водного раствора хлорида кальция, использованного для пропитывания перлита, приводит к снижению значений коэффициентов передачи изготавливаемых на его основе экранов ЭМИ в диапазоне частот 1,7...3 ГГц на 2...20 дБ (в зависимости от размера фракций перлита и значения приращения концентрации водного раствора хлорида кальция). При этом значения коэффициентов отражения ЭМИ увеличиваются в среднем на 5 дБ.

В целях достижения стабильного влагосодержания перлита для его пропитывания можно, наряду с водными растворами хлорида кальция, использовать водные растворы иных гигроскопичных материалов (например, хлорида магния).

Исследованные экраны ЭМИ могут использоваться в процессе строительства помещений, в которых предполагается размещение радиоэлектронного оборудования, выполняющего обработку информации. При этом данные экраны могут применяться в качестве облицовочных элементов стен таких поме-

щений. На основе влагосодержащего перлита могут также изготавливаться композиционные радиоэкранирующие материалы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шапиро, Д.Н. Электромагнитное экранирование / Д.Н. Шапиро. – Долгопрудный: Издат. Дом «Интеллект», 2010. – 120 с.
2. Мелконян, Р.Г. Аморфные горные породы – новое сырье для стекловарения и строительных материалов / Р.Г. Мелконян; под общ. ред. И.И. Мазура. – М.: «НИИ Природа», 2002. – 388 с.
3. Позин, М.Е. Технология минеральных солей / М.Е. Позин. – Л.: Химия, 1974. – 792 с.
4. Адрианов, Р.А. Пенопласты на основе фенолформальдегидных полимеров / Р.А. Адрианов, Ю.Е. Пономарев. – Ростов н/Д: Изд-во Ростов. ун-та, 1987. – 80 с.
5. Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразных отходов производства чугуна / О.В. Бойправ, Т.В. [и др.] // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2013. – Вып. № 67. – С. 19. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=41430>.
6. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, 1989. – 544 с.
7. Бензарь, В.К. Техника СВЧ-влажнометрии / В.К. Бензарь. – Минск: Выш. школа, 1974. – 349 с.
8. Уфимцев, П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции / П.Я. Уфимцев. – М.: Сов. радио, 1962. – 244 с.
9. Фок, В.А. Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн / В.А. Фок. – М.: Сов. радио, 1970. – 520 с.

Поступила 10.04.2014

#### **ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDS BASED ON WATER CONTAINING POWDERED PERLITE**

***O. BOIPRAV, T. BORBOTKO, L. LYNKOU***

*It's proposed to use the water containing powdered perlite to create the electromagnetic radiation (EMR) shields. The frequency dependences of EMR reflection and transmission coefficients, as well as electromagnetic radiation power weakening of frequency range 0,7...17 GHz shields on the basis of this powdered material having different water content values is taken. It is proposed to use a calcium chloride water solutions in concentrations of 10...40 wt. % for perlite impregnation to obtain a stable water content in it. It is shown that increasing in the range of 10 to 40 wt. % of concentration of calcium chloride water solution, used for perlite impregnation reduces the values of the EMR transmission coefficients values of shields based on this material in frequency range of 1,7...3 GHz on 2...20 dB (depending on the perlite fractions size and increment value of calcium chloride water solution concentration). The EMR reflection coefficients values increase in this case on average by 5 dB. Investigated EMR shields can be used in the construction process of rooms, where radioelectronic equipment performing information processing is placed.*