

УДК 004.056.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ТОРФОСОДЕРЖАЩИМИ ЭКРАНИРУЮЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Л.М. ЛЫНЬКОВ, Д.В. СТОЛЕР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 6 сентября 2013*

Представлены результаты исследования характеристик отражения и ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц экранами с различным рельефом поверхности на основе порошкообразных торфов низинного и верхового происхождения.

*Ключевые слова:* низинный и верховой торфа, характеристики отражения и ослабления, экраны электромагнитного излучения.

### Введение

В настоящее время поиск новых материалов и композитов на их основе для создания высокоэффективных, широкополосных, технологичных и удобных в эксплуатации экранирующих конструкций электромагнитных излучений является актуальной задачей в системах защиты информации и различных объектов от негативного воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ).

Предполагается использование торфа в качестве основного материала для экранов электромагнитного излучения. В настоящее время на основе торфа уже существуют конструкции, обладающие достаточно высокими теплоизолирующими и звукопоглощающими свойствами. Применение торфа позволяет снизить пористость, повысить прочность и получить экологически чистые конечные конструкции, благодаря его уникальным свойствам [1].

### Методика эксперимента

Для изготовления образцов были использованы два вида торфа: низинный и верховой из месторождения «Усяж» (Смолевичский район, Минская область).

Торф представляет собой натуральный природный материал, который характеризуется содержанием в своем составе разнообразных органических и неорганических соединений. Основными химическими элементами органической части являются углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N) и сера (S). Указанные элементы содержатся в торфе в пределах 48–65 % С; 4,7–7,3 % Н; 24,7–45,2 % О; 0,5–4 % N; 0,02–1,2 % S. Основными группами органических соединений торфа являются битумы, водорастворимые и легкогидролизуемые, гуминовые вещества, целлюлоза и лигнин. Химические элементы неорганической части в торфе находятся в виде ионов, солей или комплексных соединений [2, 3]. Торф является сложной многокомпонентной полидисперсной системой, совмещающей три фазы агрегатного состояния: твердую, жидкую и газообразную. Структурный элемент торфа – это твердая компонента, состоящая из неразложившихся растительных остатков гумуса и минеральных веществ с сохранившимся клеточным строением. В строении твердой компоненты принимают участие частицы размером от нескольких сантиметров до долей микрона. В зависимости от

происхождения торф бывает трех типов: верховой – его образуют растения, получающие атмосферное питание; переходный – его образуют остатки олиготрофных растений (перепревшие остатки); низинный – его также образуют перепревшие остатки и растения (торфообразователи), питающиеся грунтовыми водами [4].

Основными физико-химическими свойствами торфов являются влажность, зольность и степень разложения. Понятие влажности ( $\omega$ ) используется для оценки общего содержания воды в торфе и характеризуется выраженным в процентах отношением массы воды в торфе к его общей массе. Существуют различные типы влажности: естественная, эксплуатационная, условная, объемная и др. Содержание воды в торфе, используемом для различных целей, характеризуется рабочей влажностью  $\omega_p$ . Рабочая влажность – это натуральная влажность топливного торфа. Содержание золы в торфе оценивается отношением ее массы к массе торфа, и этот показатель называется зольностью. Различают рабочую зольность ( $A^P$ ) и зольность на сухое вещество торфа ( $A^C$ ). На практике используют зольность на сухое вещество торфа, так как рабочая зольность является переменной величиной, зависящей от влажности, поэтому вместо нее используют в качестве основной характеристики зольность  $A^C$  [2, 3]. Степенью разложения торфа является процентное содержание в торфе аморфной бесструктурной массы, включающей гуминовые вещества и мелкие частицы тканей растений [5].

Исследования проводились путем использования двух объектов исследования – образцов защитных экранов с пирамидальной и плоской поверхностью для двух видов низинного и одного вида верхового порошкообразного торфа. Для этого были использованы полые модули для создания образцов с плоской поверхностью и модули с расположенным внутри барьером из прессованной целлюлозы в виде усеченных восьмиугольных пирамид для создания образцов с пирамидальной поверхностью. Боковые стенки модулей с основанием, крышкой и барьер были изготовлены из радиопрозрачных материалов и не оказывали влияния на снимаемые радиочастотные характеристики. Толщина всех образцов защитных экранов составила 50 мм, в том числе высота пирамид в пирамидальном модуле составила 30 мм. На рис. 1 показана схема модуля с барьером пирамидальной формы, заполненного определенным видом торфа, по отношению к падающей, отраженной и прошедшей электромагнитным волнам.

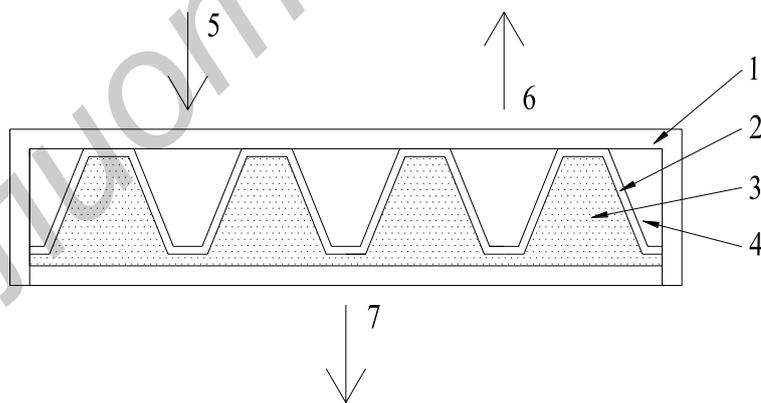


Рис. 1. Схема модуля с барьером пирамидальной формы, наполненного определенным видом торфа, где 1 – корпус модуля; 2 – барьер; 3 – торф; 4 – полое пространство; 5 – направление падающей электромагнитной волны; 6 – направление отраженной электромагнитной волны; 7 – направление прошедшей электромагнитной волны

Для проведения измерений радиочастотных характеристик была использована измерительная система, включающая генератор ЭМИ диапазона 0,01...18 ГГц, передающую и приемную антенны, измеритель мощности РМ 0,01–39,5. Генератор встроен в конструктив персонального компьютера, с которого осуществляется запуск специализированного программного обеспечения для управления значениями частоты и амплитуды формируемого ЭМИ [6, 7].

Использованные в исследованиях виды торфа обладали следующими физико-химическими свойствами – низинный торф №1:  $\omega_p = 58\%$ ,  $A^c = 15\%$ , низинный торф №2:  $\omega_p = 45\%$ ,  $A^c = 30\%$ , верховой:  $\omega_p = 25\%$ ,  $A^c = 23\%$ .

### Результаты и их обсуждение

Частотные зависимости коэффициентов передачи ( $S_{21}$ ) и отражения ( $S_{11}$ ) ЭМИ для исследуемых видов торфов с пирамидальной и плоской поверхностью приведены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

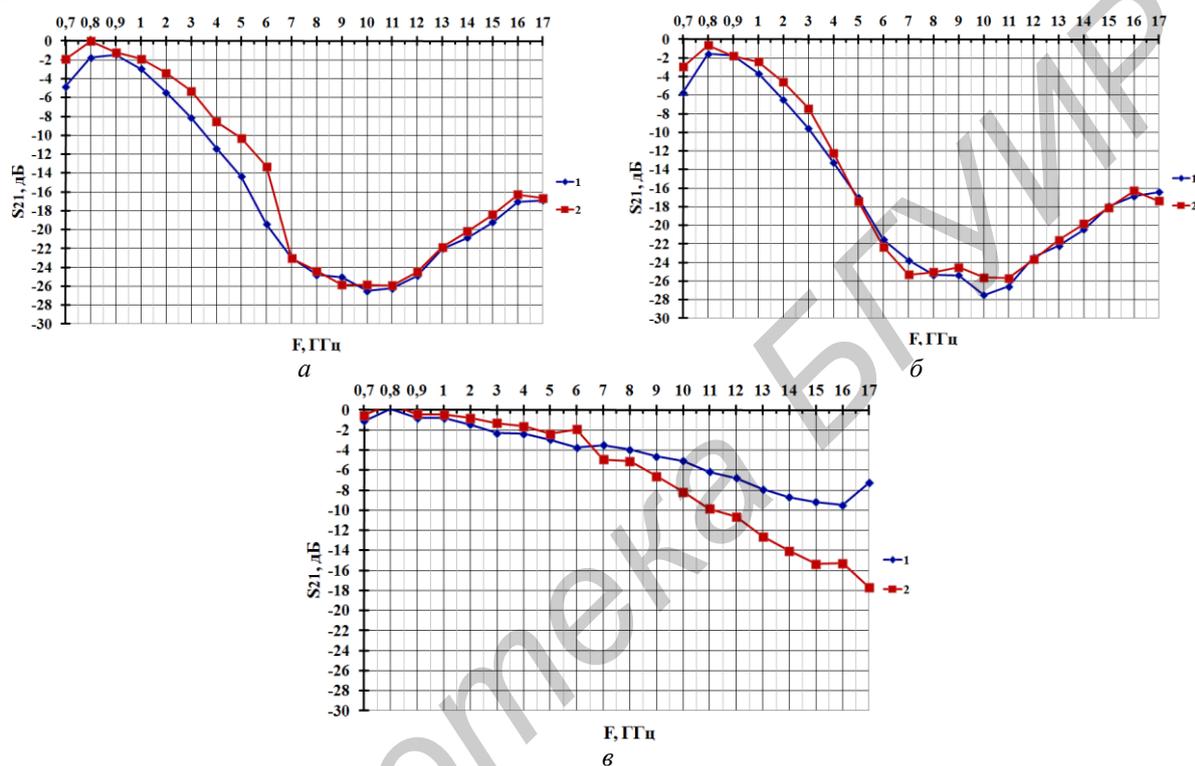


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициентов передачи образцов экранов ЭМИ на основе: *a* – низинного торфа №1, *б* – низинного торфа №2, *в* – верхового торфа в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, где 1 – плоская поверхность, 2 – пирамидальная поверхность

На основании полученных графиков зависимости коэффициента передачи образцов экранов от частоты ЭМИ (рис. 2) было установлено, что образцы на основе низинных торфов обладают схожими характеристиками, как в случае образцов с плоской, так и с пирамидальной поверхностью. По сравнению с образцами на основе верхового торфа эффективность ослабления низинных торфов резко повышается с увеличением частоты ЭМИ. Коэффициент передачи для обоих низинных торфов достигает на частоте 10 ГГц уровня  $-27,5$  дБ для образцов с плоской поверхностью и  $-25,8$  дБ для образцов с пирамидальной поверхностью. Для верхового торфа наименьшее значение коэффициента передачи составляет  $-9,4$  дБ на частоте 16 ГГц для образца с плоской поверхностью, а для образца с пирамидальной поверхностью  $-17,6$  дБ на частоте 17 ГГц.

Из графиков зависимости коэффициента отражения образцов экранов от частоты ЭМИ (рис. 3) следует, что пирамидальная поверхность для всех троих типов торфов характеризуется улучшением, то есть понижением, коэффициента отражения только в диапазоне частот 0,9...3 ГГц, а в остальном диапазоне ухудшением по сравнению с плоской поверхностью. Влияние металлического отражателя заметно у низинных торфов до 3 ГГц, а у верхового торфа во всем рассматриваемом диапазоне частот для обоих типов поверхности образцов и характеризуется ухудшением коэффициентов отражения, и только у низинного торфа №2

наблюдается заметное улучшение коэффициента отражения для пирамидальной поверхности в диапазоне частот от 5 до 10 ГГц на 1...2 дБ.

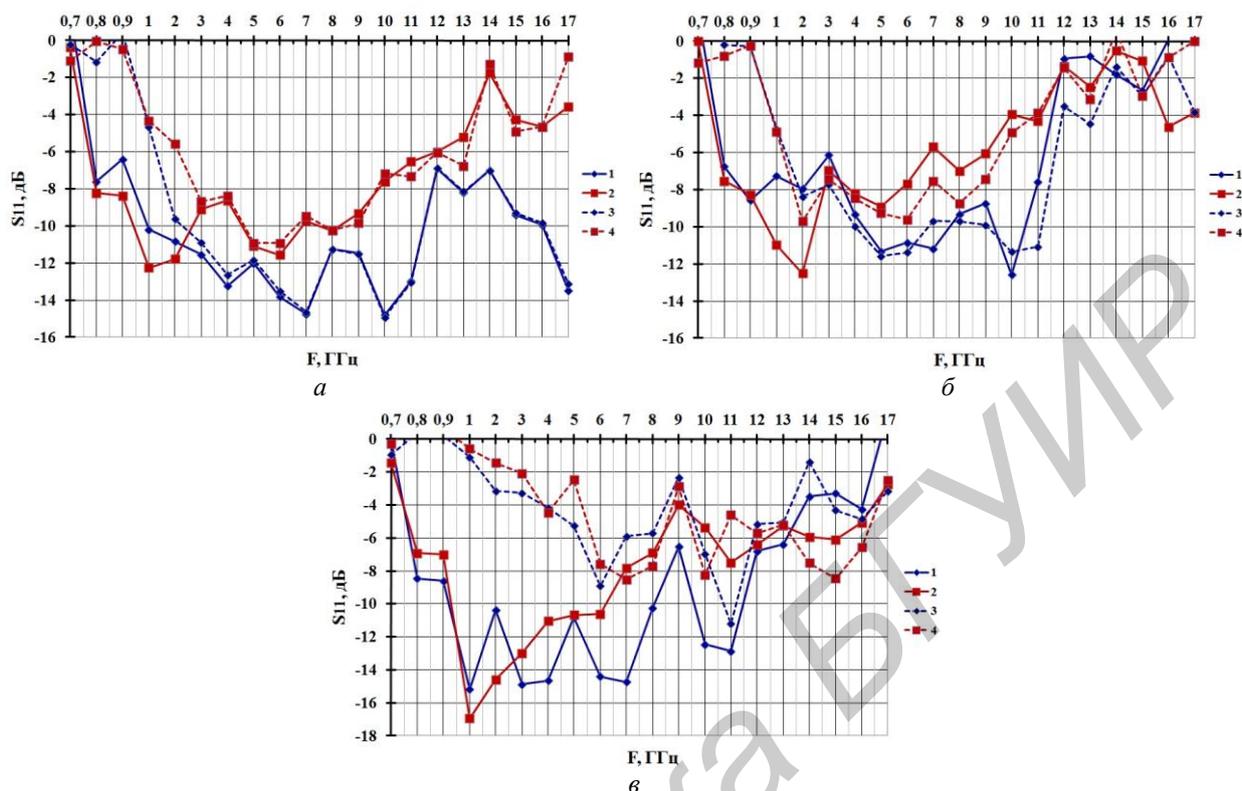


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициентов отражения образцов экранов ЭМИ на основе: *а* – низинного торфа №1, *б* – низинного торфа №2, *в* – верхового торфа в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, где 1 – плоская поверхность, 2 – пирамидальная поверхность, 3 – плоская поверхность с металлическим отражателем, 4 – пирамидальная поверхность с металлическим отражателем

Значения коэффициента отражения низинного торфа №1 при плоской поверхности образца экрана лежат в пределах от –6,4 до –14,8 дБ, а при пирамидальной – от –1,2 до –12,2 дБ. Для низинного торфа №2 с плоской поверхностью значения коэффициента отражения находятся в пределах от –0,8 до –12,6 дБ, а с пирамидальной – от –0,5 до –12,5 дБ. Образцы экранов ЭМИ на основе верхового торфа имеют значения коэффициента отражения при плоской поверхности от –3,3 до –15,1 дБ и при пирамидальной – от –2,5 до –16,9 дБ, а в случае добавления металлического отражателя: при плоской поверхности от –1,1 до –11,2 дБ и при пирамидальной – от –0,6 до –8,5 дБ.

### Заключение

На основании полученных результатов можно сделать выводы о том, что в случае низинных торфов коэффициент передачи ЭМИ не зависит от формы поверхности экрана, обращенного к фронту электромагнитной волны, а в случае верхового торфа величина ослабления при пирамидальной поверхности экрана начинает равномерно возрастать с частоты 8 ГГц по сравнению с плоской поверхностью. Уменьшение влажности торфа приводит к изменению влияния характера поверхности на величину ослабления, что видно у верхового торфа.

Наилучшими показателями коэффициента отражения характеризуется образец экрана ЭМИ на основе верхового торфа с плоской поверхностью без металлического отражателя по сравнению с образцами на основе низинных торфов, но наибольший вес при практической направленности имеют характеристики коэффициента отражения, полученные при наличии металлического отражателя, поэтому низинные торфа являются более предпочтительными по

причине стабильности их характеристик отражения между образцами экранов с (без) металлического отражателя.

Таким образом, образцы экранов ЭМИ с плоской поверхностью на основе низинных торфов обладают наилучшими радиочастотными характеристиками по сравнению с характеристиками образцов экранов ЭМИ на основе верхового торфа.

## INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION INTERACTION WITH PEAT-CONTAINING SCREENING MATERIALS

L.M. LYNKOV, D.V. STOLER

### Abstract

Investigation results of the characteristics of reflection and attenuation of electromagnetic radiation by screens with different relief surface and on the basis of lowland and upland origin powdery peat in the frequency range 0,7...17 GHz are presented.

### Список литературы

1. Хританков В.Ф. Легкие бетоны с гранулированным органическим наполнителем, направленно изменяемой структурой и микроармирующими минеральными добавками: Автореф. дис. ... доктора техн. наук. Новосибирск, 2009.
2. «Восточно-европейский институт торфяного дела». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.instorf.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=80&Itemid=56](http://www.instorf.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=80&Itemid=56). – Дата доступа: 26.08.2013.
3. Лиштвак И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И. и др. Физика и химия торфа. Москва, 1989.
4. Биогрунт. Доставка грунта и торфа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bio-grunt.ru/index.php/torf.html>. – Дата доступа: 08.09.2013.
5. «Горная энциклопедия». [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/s/stepen-razlozheniya-torfa>. – Дата доступа: 08.09.2013.
6. Бойправ О.В., Махмуд М.Ш., Неамах М.Р. // Докл. БГУИР. 2011. № 3 (57). С. 5–10.
7. Бойправ О.В., Неамах М.Р. // Тез. Докл. X белорусско-российской междунар. НТК «Технические средства защиты информации». Минск, 29-30 мая 2012. С. 77.