

УДК 620.22 – 026.61

## ПОГЛОТИТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКООБРАЗНОГО ТОРФА В ПОЛИМЕРНОМ СВЯЗУЮЩЕМ ИЗ ГИДРОГЕЛЯ

Д.В. СТОЛЕР, Т.А. ПУЛКО, Н.В. НАСОНОВА, Ю.В. СМИРНОВ

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

*Поступила в редакцию 14 апреля 2015*

Исследовано влияние типа и объемного содержания порошкообразного торфонаполнителя в составе композиционных материалов на характеристики экранирования электромагнитного излучения в диапазоне частот 8...12 ГГц. Показано, что коэффициенты передачи и отражения ЭМИ незначительно изменяются для различных видов торфяного сырья и в основном определяются объемным содержанием компонентов и толщиной слоя. Коэффициент передачи исследованных материалов изменяется в пределах  $-4,5...-2,1$  дБ и коэффициент отражения в пределах  $-12,2...-8,2$  дБ.

*Ключевые слова:* поглотители электромагнитного излучения, торфяное сырье, полимерное связующее.

### Введение

Многообразие свойств торфяного сырья предопределяет различные направления его использования. В современных условиях отсутствует необходимость проведения глубокой конверсии материала, что позволяет избежать дополнительных капитальных вложений и научно-исследовательских работ. Торфяное сырье находит широкое применение в качестве химико-технологического сырья в сельском хозяйстве, медицине, строительстве, радиозоологии. Актуально использование композитов на основе порошкообразного торфа в качестве радиопоглощающего, теплоизолирующего, звукопоглощающего и маскирующего материала. Применение торфа позволит снизить массу, повысить прочность и получить экологически чистые универсальные конструкции, обладающие защитными свойствами против воздействий различной физической природы [1, 2]. При производстве композиционных строительных материалов торф может выступать как в качестве основного, так и в качестве вспомогательного материала [3].

Целью данной работы является исследование экранирующих электромагнитное излучение характеристик и эксплуатационных свойств композиционных материалов на основе торфяного наполнителя в полимерном связующем.

### Обоснование проведения исследования

Торф представляет собой натуральный природный материал, который характеризуется содержанием в своем составе разнообразных органических и неорганических соединений. 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]. 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 с сохранившимся клеточным строением, гумуса и минеральных веществ. В строении твердой компоненты принимают участие частицы

размером от нескольких сантиметров до долей микрона. 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 химических соединений, входящих в состав органического вещества 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 [5, 6].

Высокое содержание углерода в составе торфа обуславливает перспективность его применения в качестве компонента экрана ЭМИ. Для улучшения адгезионных свойств торфонаполнителя в качестве связующего для формирования композиционного материала предлагается использование полиэлектролитного гидрогеля [7]. Гидрогелевые материалы характеризуются системой пор размерами в десятки и более микрон и представляют собой нерастворимую сеть гидрофильных полимеров, способную поглощать воду и биологические жидкости. Пространственная структура гидрогелей является результатом поперечной сшивки полимеров, формирующих нерастворимую структуру в окружающем растворе [8]. Гидрогель относится к классу высокогигроскопических веществ, способных поглощать и удерживать в набухшем состоянии огромные количества (200...400 мл на 1 г сухого вещества) влаги в зависимости от условий окружающей среды. При этом в указанном масштабе набухания влага не изменяет своих свойств, кроме физической подвижности. Это имеет существенное значение при создании водосодержащих экранирующих материалов со стабильными свойствами.

### Методика проведения эксперимента

Исследовались образцы композиционных материалов на основе торфяного сырья с различным процентным содержанием полимерного связующего. Использовался торф двух типов: низинный и верховой, отличающиеся физико-химическими свойствами, а также торфогрунт, изготовленный из верхового торфа, минеральных удобрений (азот, фосфор, калий), микроэлементов и структурирующих компонентов (табл. 1). В качестве полимерного связующего использовался полиэлектролитный гидрогель, синтезированный на основе водно-солевого раствора гидролизата полиакрилонитрильного волокна. Используемый полимер обладает хорошей адгезией к разным типам подложек, заполняя поры и неровности материала, с образованием межмолекулярных связей между контактирующими молекулами полимера и используемым торфяным сырьем. Формировались образцы однородной структуры одинаковой толщины с последующей объемной полимеризацией поверхности при комнатной температуре в течение 48 ч. Коэффициент влагосодержания образцов определялся в соответствии с формулой:

$$Вл_{\text{сод}} = \frac{m_{\text{пр}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{пр}}} = \frac{m_{\text{жидк}}}{m_{\text{пр}}},$$

где  $m_{\text{с}}$ ,  $m_{\text{пр}}$  – масса сухого и пропитанного образца торфяного сырья соответственно, г.

Описание образцов композиционных материалов с различной объемной долей содержания торфяного сырья и полимерного связующего представлены в таблице.

Таблица 1. Описание образцов композиционных материалов на основе торфяного сырья и полимерного связующего

№ образца	Тип торфа	Физико-химические свойства		Толщина слоя, мм	Объемная доля компонентов, %		Влаго содержание, %
		Рабочая влажность, %	Зольность, %		торфа	полимера	
1	Низинный I	58	15	1,54	20	80	8
2	Низинный I	58	15	1,66	30	70	10
3	Низинный I	58	15	2,80	40	60	17
4	Низинный II	45	30	1,72	20	80	10
5	Низинный II	45	30	2,2	30	70	14
6	Низинный II	45	30	2,55	40	60	19
7	Верховой	25	23	1,63	20	80	13
8	Верховой	25	23	2,53	30	70	16
9	Верховой	25	23	3,2	40	60	18
10	Торфогрунт	53	10	1,33	20	80	8
11	Торфогрунт	53	10	1,58	30	70	12
12	Торфогрунт	53	10	2,13	40	60	19

На рис. 1 приведен внешний вид образца композиционного материала на основе торфяного сырья и полимерного связующего, а также электронно-микроскопический снимок поверхности образца при увеличении 50 мкм.

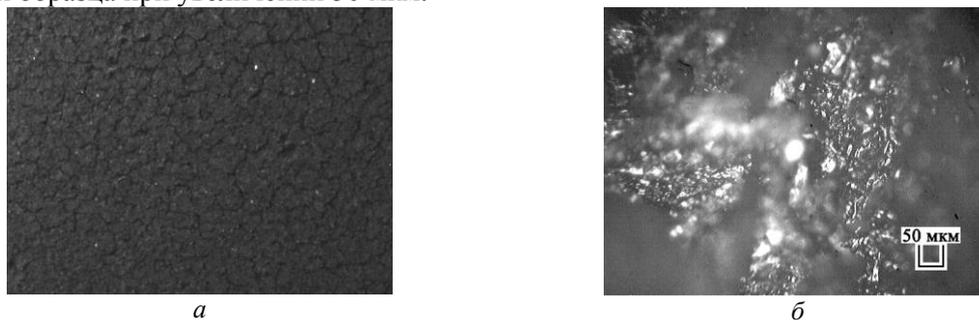


Рис. 1. Образцы композиционных материалов на основе торфяного сырья и полимерного связующего: а – внешний вид образца; б – электронно-микроскопический снимок композитного образца (20 масс. % торфяного сырья, 80 масс. % полиэлектролитного гидрогеля)

Исследование экранирующих характеристик образцов композитных материалов проводилось с использованием панорамного измерителя ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводным трактом, которые обеспечивают выделение и детектирование уровней падающей и отраженной волн электромагнитного излучения от образца в диапазоне частот 8...12 ГГц. Калибровка оборудования перед началом измерений экранирующих характеристик производилась по стандартной методике [9].

### Обсуждение результатов

Частотные зависимости коэффициентов передачи для исследуемых образцов композиционных материалов с различной объемной долей низинного (первого/второго типов) и верхового торфа приведены на рис. 2.

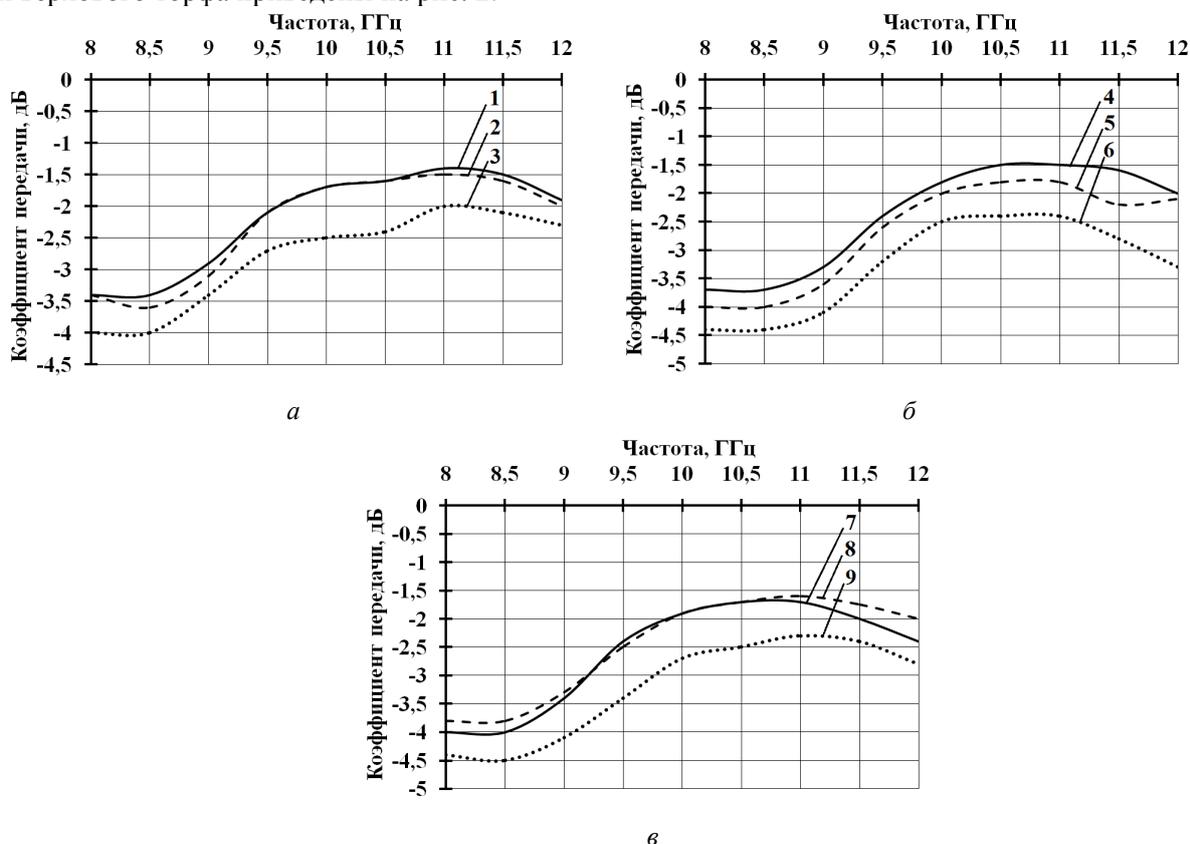


Рис. 2 Частотные зависимости коэффициентов передачи образцов композиционных материалов в частотном диапазоне 8...12 ГГц: а – низинный торф первого типа; б – низинный торф второго типа; в – верховой торф

На основании полученных зависимостей коэффициента передачи ЭМИ от частоты (рис. 2) было установлено, что образцы с объемным содержанием порошкообразного торфа в 20 % и 30 % характеризуются значениями коэффициента передачи в пределах от  $-1,4$  дБ до  $-3,5$  дБ. При увеличении объемного содержания наполнителя до 40 % независимо от используемого вида торфяного сырья наблюдается характерное изменение значений коэффициента передачи в пределах от  $-2$  дБ до  $-4,5$  дБ. При этом с ростом частоты для всех образцов характерно увеличение коэффициента передачи ЭМИ до  $-2$  дБ.

Из полученных графиков зависимостей коэффициента отражения ЭМИ от частоты (рис. 3) следует, что в зависимости от типа и объемного содержания торфяного сырья в составе образцов композиционных материалов полученные значения находятся в пределах  $-8 \dots -12,5$  дБ.

Размещение металлической подложки за исследуемыми образцами позволяет значительно увеличить значения коэффициентов отражения ЭМИ независимо от типа используемого торфяного сырья и его объемного содержания в составе образцов. Использование низинного и верхового торфа в объеме 20 % и 30 % позволяет получить значения коэффициентов отражения ЭМИ в пределах  $-1,8 \dots -5$  дБ. Увеличение объема торфяного сырья до 40 % приводит к снижению значений коэффициента отражения ЭМИ до  $-6 \dots -7,9$  дБ в зависимости от типа используемого торфа, что объясняется увеличением концентрации углерода и уровня влагосодержания в составе образцов композиционных материалов.

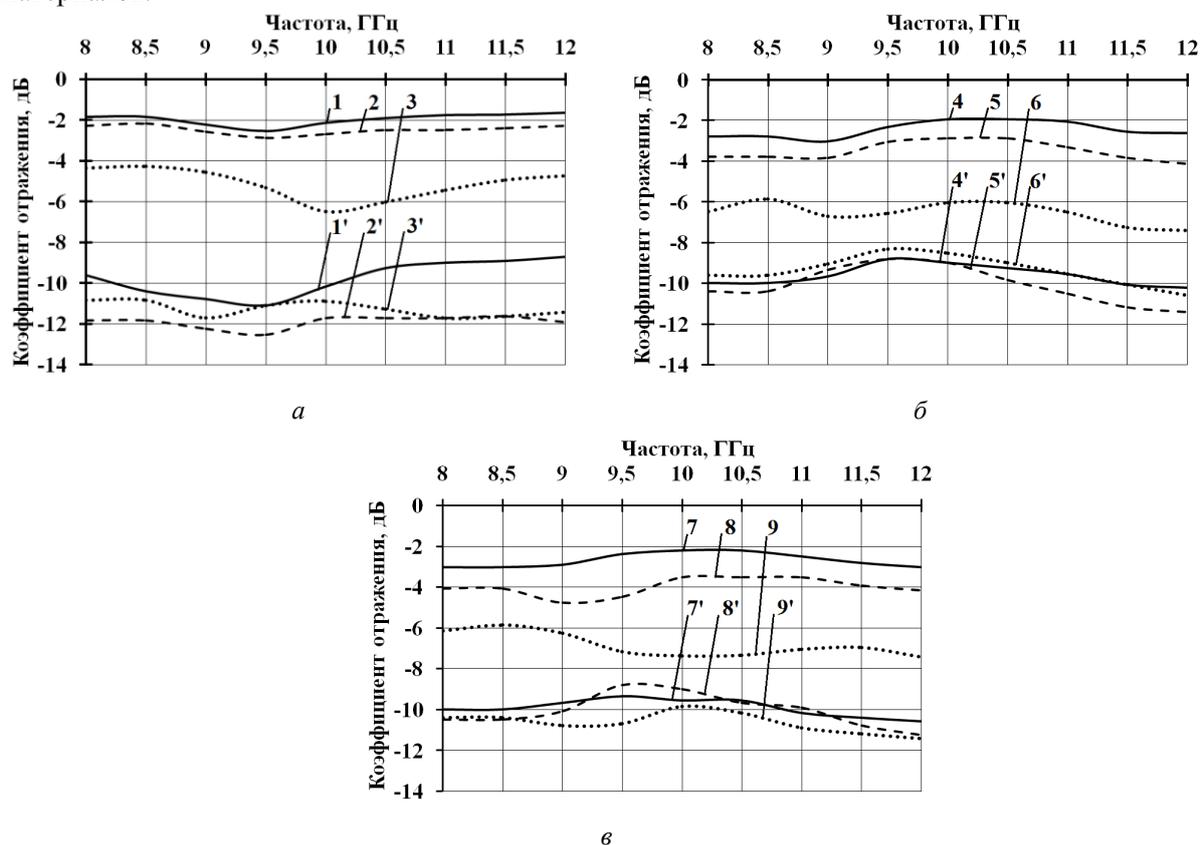


Рис. 3 Частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ образцов композиционных материалов в частотном диапазоне  $8 \dots 12$  ГГц при использовании металлического отражателя (образцы 1–9) и без использования металлического отражателя (образцы 1'–9'): *а* – низинный торф первого типа; *б* – низинный торф второго типа; *в* – верховой торф

Для образцов композиционных материалов на основе торфогрунта (рис. 4, *в*) можно наблюдать характерное снижение коэффициента передачи ЭМИ с  $-2,1 \dots -3,75$  дБ до  $-2,65 \dots -4$  дБ, что связано с увеличением объемного содержания органического наполнителя и уровня влагосодержания исследуемых образцов.

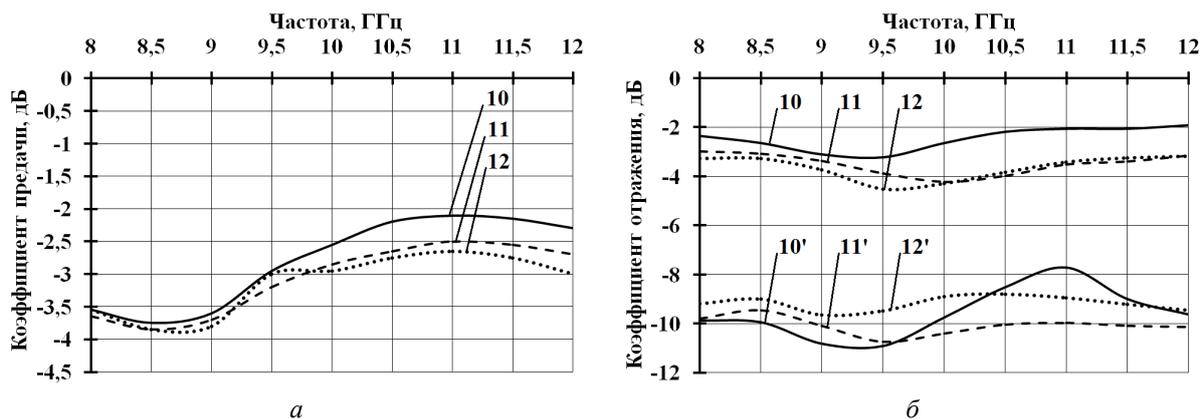


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения образцов композитных материалов на основе торфогрунта в частотном диапазоне 8...12 ГГц при использовании металлического отражателя (образцы 10–12) и без использования металлического отражателя (образцы 10'–12')

Частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ образцов композитных материалов на основе торфогрунта характеризуются увеличением значений в пределах  $-7,8 \dots -11$  дБ по мере увеличения объемного содержания торфяного сырья и уровня влагосодержания образцов. При использовании металлической подложки наблюдается характерное увеличение значений коэффициентов отражения ЭМИ. При наличии металлической подложки наименьшими значениями коэффициента отражения, изменяющимися в пределах  $-3,1 \dots -4,7$  дБ, обладает образец композитного материала с 40 % объемным содержанием торфогрунта.

### Заключение

На основании результатов исследований можно сделать выводы о том, что полученные композитные материалы с увеличением объемного содержания порошкообразного наполнителя характеризуются улучшением экранирующих свойств, соответствующих понижению коэффициента передачи и отражения в рассматриваемом диапазоне частот. Увеличение толщины слоя приводит к снижению коэффициента отражения ЭМИ.

## ELECTROMAGNETIC RADIATION ABSORBERS BASED ON POWDERED PEAT IN POLYMER HYDROGEL BINDER

D.V. STOLER, T.A. PULKO, N.V. NASONOVA, Yu.V. SMIRNOV

### Abstract

The influence of the type and volume content of powdered peat on the shielding characteristics of composite materials was investigated in the frequency range of 8...12 GHz. It was shown, that the transmission and reflection coefficients slightly differ for various types of peat components and mainly depend on the volume content and the layer thickness. The transmission coefficient for the studied materials varies in the range of  $-4.5 \dots -2.1$  dB and the reflection coefficient – in the range of  $-12.2 \dots -8.2$  dB.

### Список литературы

1. Колбун Н.В., Хай Нгуен Ван, Фан Н. Занг и др. // Докл. БГУИР. 2007. № 1. С. 88–93.
2. Алябад Х.М., Пулко Т.А., Насонова Н.В. и др. Пассивные технические средства обеспечения информационной безопасности от утечки по электромагнитному, оптическому и акустическому каналам. Минск, 2010.
3. Хританков В.Ф. Лёгкие бетоны с гранулированным органическим заполнителем, направленно изменяемой структурой и микроармирующими минеральными добавками: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. Новосибирск, 2009.

4. «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: 26.04.2015.
5. *Лиштвак И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И.* Физика и химия торфа. Москва. 1989.
6. Биогрунт. Доставка грунта и торфа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bio-grunt.ru/index.php/torf.html>. – Дата доступа: 08.09.2013.
7. *Аль-Адеми Я.Т.А., Смирнов Ю.В., Пулко Т.А. и др.* // Докл. БГУИР. 2014. №4. С. 93–98.
8. *Harrison K.* Biomedical polymers. United Kingdom, 2007.
9. *Богущ В.А., Борботько Т.В., Гусинский А.В.* Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. Минск, 2003.