

*Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов*

УДК 535.24

**БЕЛОУСОВА Елена Сергеевна**, аспирант каф. «Защита информации»;  
**МАХМУД Мохаммед Шакир Махмуд**, аспирант каф. «Защита информации»;  
**ЛЫНЬКОВ Леонид Михайлович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Защита информации»;  
**НАСОНОВА Наталья Викторовна**, канд. техн. наук, доцент каф. «Защита информации»  
*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Беларусь*

**BELOUSOVA Elena Sergeevna**, Post-graduate student of the Department «Information Security»;  
**MAHMOOD Mohammed Shakir Mahmood**, Post-graduate student of the Department  
«Information Security»;  
**LYNKOV Leonid Mihailovich**, Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department  
«Information Security»;  
**NASONOVA Natalia Viktorovna**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor of the Department  
«Information Security»  
*Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

---

## РАДИОЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ШУНГИТОСОДЕРЖАЩИХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

## RADIO SHIELDING PROPERTIES OF CONCRETE BASED ON SHUNGITE NANOMATERIALS

---

Разработаны варианты экранирующих строительных материалов на основе портландцемента с добавлением порошкообразного наноматериала – шунгита. Исследованы характеристики ослабления и отражения ЭМИ полученных материалов. Даны рекомендации по использованию.

Modifications of shielding construction materials based on Portland cement with the addition of powder nanomaterial shungite were developed. Attenuation and reflection of electromagnetic radiation for obtained materials were studied. Recommendations for using are given.

**Ключевые слова:** строительные материалы, шунгит, экранирование, коэффициент отражения, ослабление.

**Key words:** construction materials, shungite, screening, reflection coefficient, attenuation.

Одним из перспективных направлений современной науки является создание новых многофункциональных композиционных материалов на наноуровне, с использованием природного сырья. Интерес к таким материалам вызван, прежде всего, тем, что они успешно заменяют во многих отраслях промышленности дорогостоящие материалы.

Шунгит применяется для изготовления строительных материалов, как на этапе строительства зданий и сооружений в виде порошкообразного наполнителя бетонов и штукатурок, так и при необходимости экранирования электромагнитных излучений уже имеющихся помещений в виде красок, штукатурок, облицовочных плит [1, 2]. Основным недостатком таких материалов является использование магнезитового цемента в качестве вяжущего материала, что значительно удорожает продукцию.

Так как шунгит обладает электропроводностью, то на его основе создан ряд экранирующих электромагнитное излучение материалов и изделий, которые могут быть использованы в строительстве и облицовке защищаемых помещений, при формировании защитных корпусов и чехлов для электронного оборудования (персональных компьютеров, мобильных телефонов и т.д.) [3].

Под экранированием электромагнитных волн понимается как защита приборов от воздействия внешних электромагнитных полей (ЭМП), так и локализация электромагнитных излучений каких-либо средств. Эффективность экранирования электромагнитного излучения (ЭМИ) – отношение действующих значений напряженности в данной точке пространства при отсутствии и наличии экрана [4].

Современные экраны ЭМИ выполняются из композитов и включают дисперсный наполнитель (частицы порошкообразных веществ, волокна, микросферы и частицы различной формы), распределенный и зафиксированный в связующем веществе (матрице).

Одним из наиболее активно используемых материалов для формирования экранов ЭМИ является углерод в форме порошка или волокон [5]. Преимуществом углерода по сравнению с не менее широко исполь-

*Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозкранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов*

зубными металлическими наполнителями являются: более низкие вес, стоимость и неподверженность коррозии.

Шунгитовые породы представляют собой по структуре природный композит – равномерное распределение высокодисперсных кристаллических силикатных частиц в аморфной силикатной матрице (рис. 1). Средний размер силикатных частиц – около 1 мкм [3].



*Рис. 1. Внешний вид шунгитовой породы*

*Таблица*

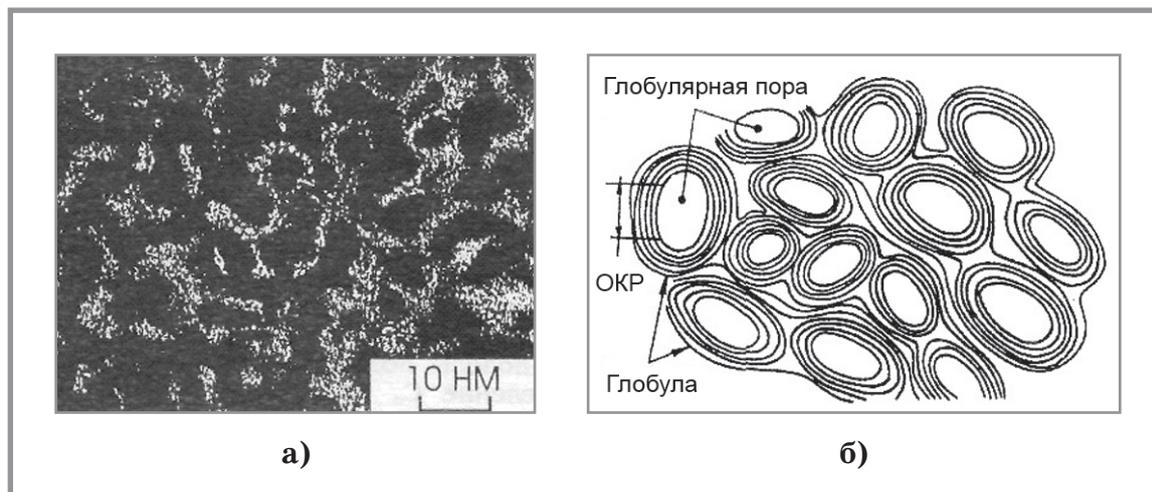
**Химический состав шунгита, масс. %**

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	C	H <sub>2</sub> O крист.
57,0	0,2	4,0	2,5	1,2	0,3	0,2	1,5	1,2	29,0	4,2

Шунгит, получаемый из шунгитовой породы, имеет сложный минеральный состав. В табл. приведен минеральный состав породы, полученной из Зажогинского месторождения (Республика Карелия, Россия).

Широкий набор полезных свойств шунгитовой породе придает так называемый шунгитовый углерод и структура породы.

На основе анализа компонентов, входящих в состав данной породы, была предложена его физико-химическая модель. В основе модели – полые многослойные глобулы (рис. 2) менее 6 нм в диаметре, в которых определена роль компонентов, экстрагируемых из шунгитового углеро-



**Рис. 2.** Электронно-микроскопический снимок шунгитового углерода на просвет (а) и соответствующая ему модель глобулярного строения (б) [7]

да: воды, микроэлементов, дифильной битумоидной органики, фуллеренов [6].

Экранирующие ЭМИ материалы являются композиционными, так как помимо шунгитового наполнителя включают и другие компоненты – связующее и другие добавки. Проведённый анализ свойств современных вяжущих материалов, используемых в строительстве, позволил сделать заключение в необходимости дальнейшего изучения процессов создания низкозатратных искусственных камней на основе портландцементов.

На первом этапе был изготовлен шунгитосодержащий бетон по традиционной схеме путем смешивания порошка шунгита, портландцемента марки 500 и воды в различных соотношениях. Установлено, что при этом широко используемый в практике параметр соотношения вода/цемент, равный  $0,3 \div 0,5$ , при добавлении шунгитового порошка не приводил к созданию высокопрочных бетонных шунгитосодержащих искусственных камней, покрытий и плиток на их основе.

Образцы экранов, изготавливаемых по данной технологии, обладали низкими прочностными характеристиками. На рис. 3. представлен внешний вид поверхности таких образцов.

Низкое качество бетонов с наполнителем из порошкового шунгита на основе портландцементов может быть связано со скоростью схватывания применяемого цемента. Поэтому предлагается использование во-

*Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозкранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов*

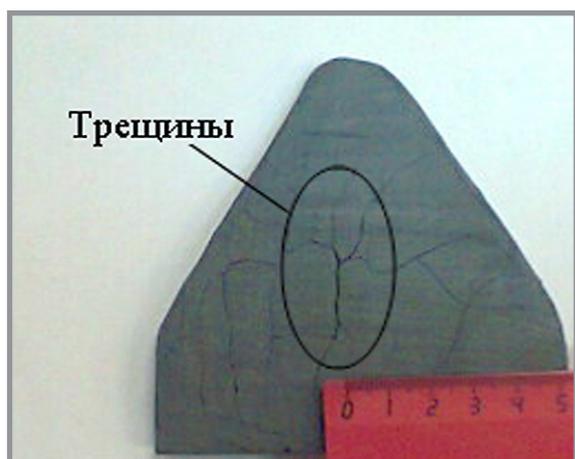
дных растворов хлорида кальция в качестве технологического ускорителя [7] схватывания бетонов.

Хлорид кальция  $\text{CaCl}_2$  представляет собой бесцветные ромбические кристаллы с параметрами решётки

$$a = 6,24 \text{ \AA}, b = 6,43 \text{ \AA}, c = 4,20 \text{ \AA}. \quad (1)$$

Плотность его равна  $2,512 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $772^\circ\text{C}$ , температура кипения  $1600^\circ\text{C}$ . Хлорид кальция сильно гигроскопичен и энергично поглощает водяные пары, сначала образуя твёрдые гидраты, а затем расплываясь в жидкость. Растворимость в воде такова (в граммах на 100 граммов воды): 49,6 ( $0^\circ\text{C}$ ), 74 ( $20^\circ\text{C}$ ), 154 ( $99^\circ\text{C}$ ).

Исследование процессов создания шунгитобетонов на основе портландцементов позволили предложить новую лабораторную технологию создания отделочных материалов в форме плоских плиток с линейными размерами  $\approx 0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$  (рис. 4). В процессе исследования было выявлено, что использование растворов хлористого кальция в качестве водных добавок при приготовлении шунгитосодержащих бетонов позволило получить прочные монолитные искусственные камни и покрытия на различные основания толщиной 1–5 мм. Такие изделия отличаются от аналогов (на основе магниезальных бетонов) значительно меньшей стоимостью (до 10 раз по стоимости вяжущих компонентов). Приготов-



*Рис. 3. Внешний вид образца экрана из шунгитосодержащего бетона на основе портландцемента*



*Рис. 4. Внешний вид образца шунгитобетонной плитки*

ление шунгитосодержащих смесей в первую очередь определяется соотношением наполнителей (порошок шунгита, другие добавки), вяжущего материала (марка портландцементов) и процентным содержанием хлорида кальция в водных растворах. В проводимых исследованиях выявлено, что для приготовления искусственных камней оптимальным является 30% -е содержание хлорида кальция в водных растворах. При уменьшении содержания хлорида кальция или при его повышении, качество шунгитобетонов снижалось [8].

На рис. 5 представлены результаты измерений значений коэффициента отражения и ослабления электромагнитных волн в шунгитобетонных плитках на основе смесей порошков шунгита (размер фракций не более 0,5 мм) и портландцемента марки 500 в весовом соотношении 1:1 в 30% -х водных растворах хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$ . Влажная смесь в процессе изготовления экранов наносилась на основание и при комнатной температуре выдерживалась до полного схватывания и затвердевания. Толщина исследуемых шунгитобетонных плиток составляла 3,8 мм. Внешний вид поверхности таких плиток представлен на рис. 4. Измерение характеристик ослабления и отражения проводили в диапазоне 0,7...18 ГГц при помощи измерительного комплекса SNA 0,01-18.

Ослабление ЭМИ такими плитками имеет тенденцию к увеличению от 4 дБ до 9 дБ в частотном диапазоне 10...18 ГГц (рис. 5а). Зависимость коэффициента отражения от частоты имеет нелинейный характер и характеризуется значениями не более 6 дБ в диапазоне 0,5...8 ГГц и 4...18 дБ в диапазоне 8...18 ГГц при условии введения дополнительного металлического отражателя, размещаемого за шунгитобетонной плиткой (рис. 5в).

Термин «рассеяние радиоволн» употребляется не только в случае взаимодействия волн с неоднородностями, распределёнными по объёму. О рассеянии говорят при отражении радиоволн от шероховатых поверхностей, при описании дифракции на отдельных объектах [9].

Для обеспечения наименьшего отражения от внешней поверхности экрана, обращенной к источнику ЭМИ, требуется реализовать плавный переход волновых характеристик от воздуха к рабочему материалу экрана, т.е. сгладить границу раздела сред. Уменьшения отражения от поверхности радиопоглощающих материалов можно добиться и тем, что материалу придается структура или форма, увеличивающая его активную поверхность. Падая на такую поверхность, электромагнитные

Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов

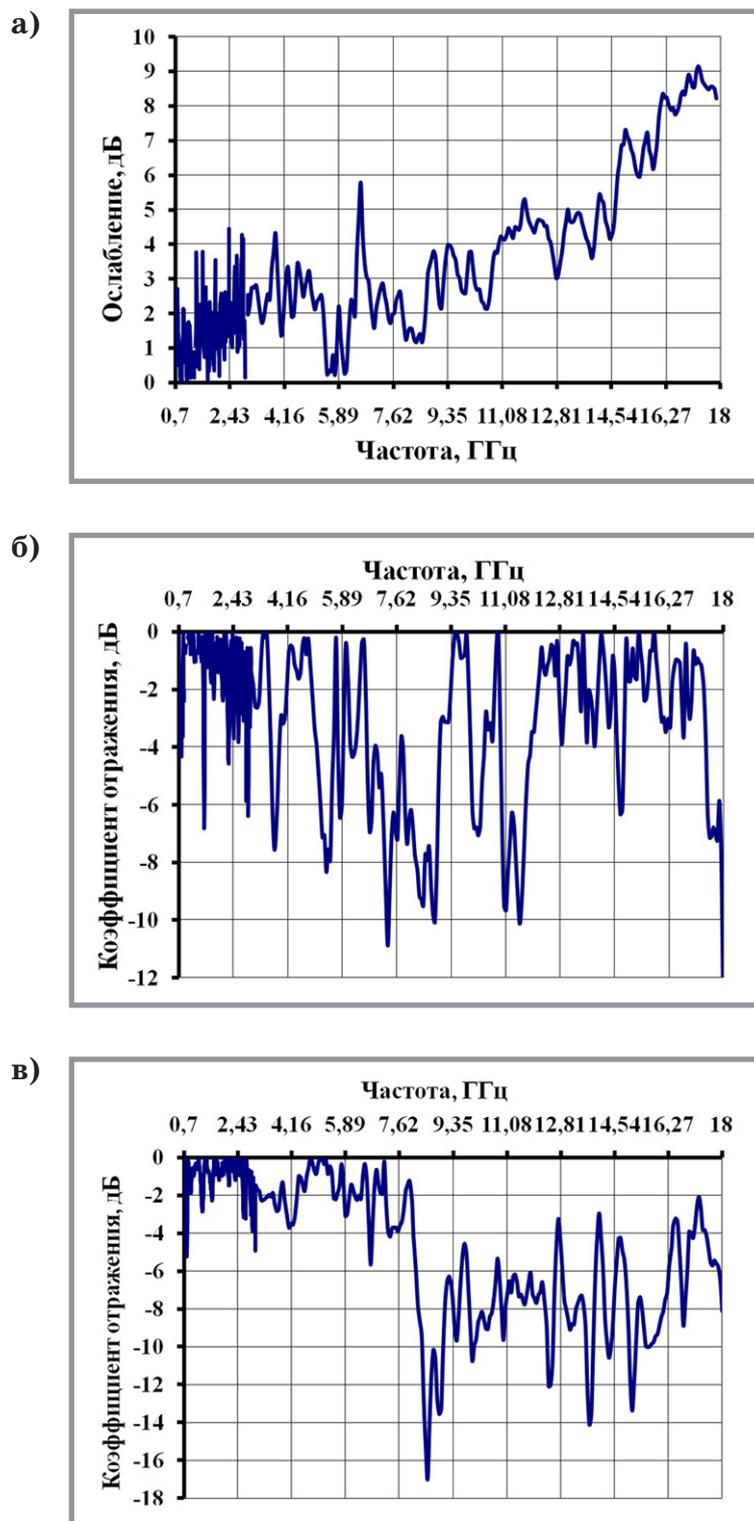


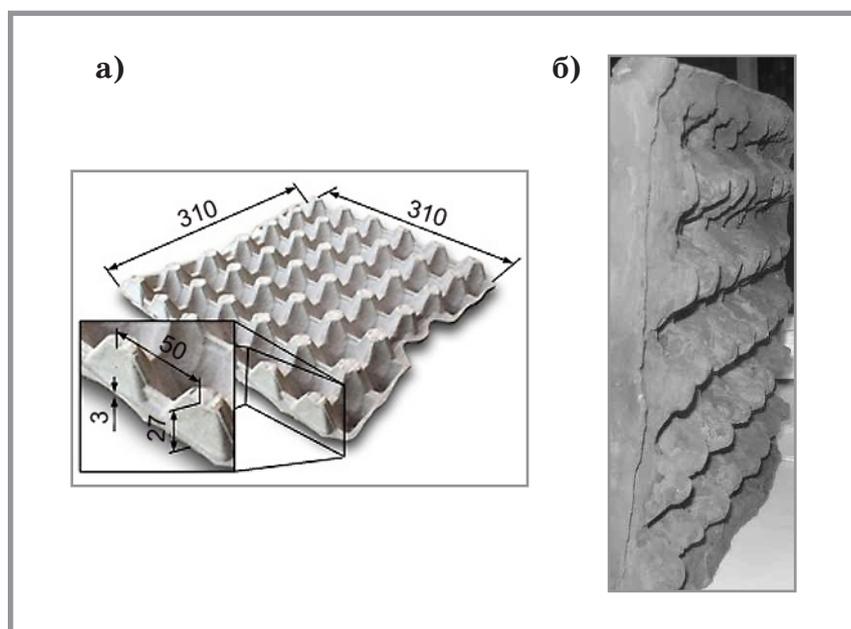
Рис. 5. Частотная зависимость бетонов на основе шунгита в диапазоне частот 0,7...18 ГГц: а – ослабление; б – коэффициент отражения без металлического отражателя; в – коэффициент отражения с металлическим отражателем

*Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов*

волны многократно отражаются и теряют значительно больше энергии, чем при падении на ровную поверхность. Подобного эффекта также добиваются, когда слои поглощающего материала располагают в порядке возрастания их плотности по мере удаления от внешней поверхности экрана, т.е. при постепенном увеличении концентрации проводящих добавок по мере удаления от поверхности материала [10].

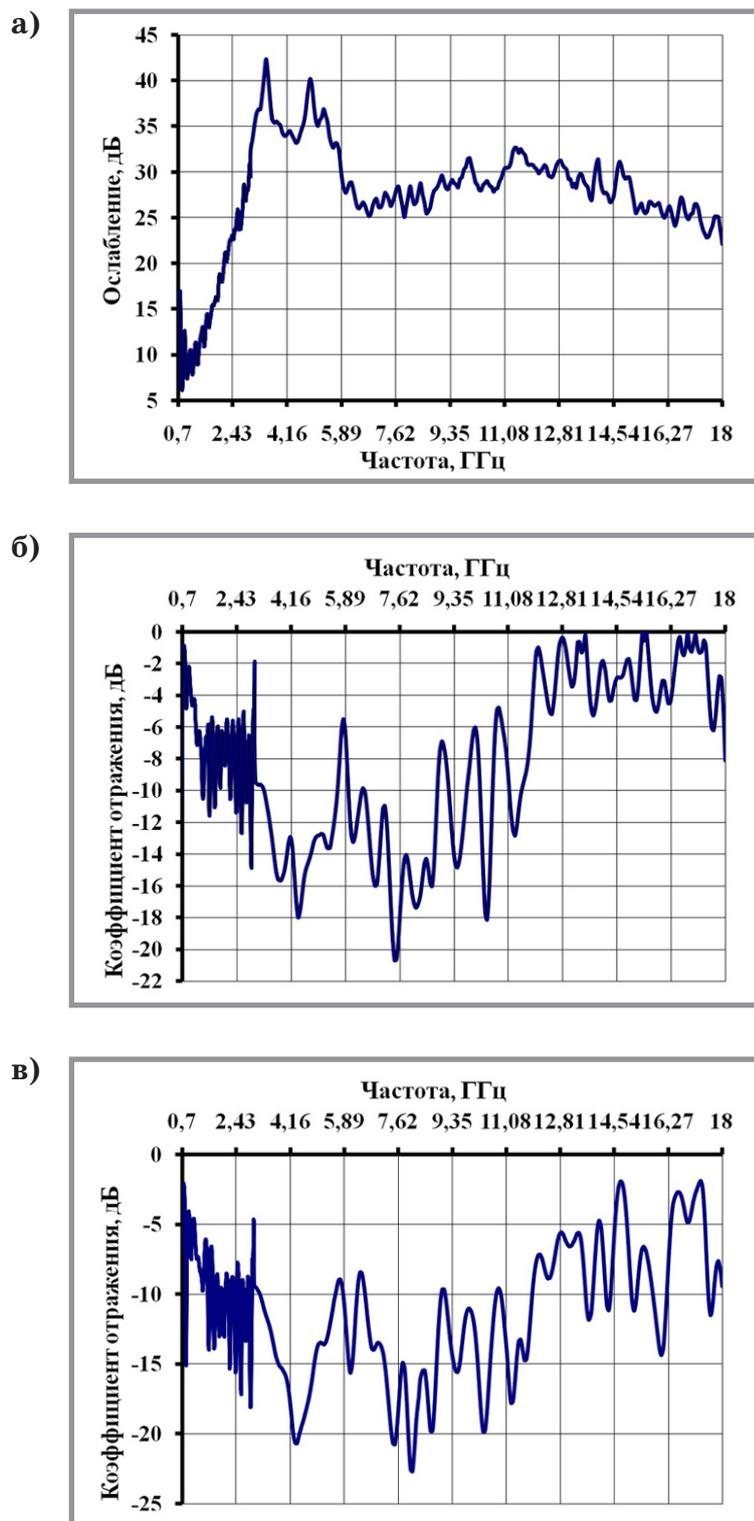
Для изучения влияния геометрии поверхности экрана на его характеристики ослабления и отражения электромагнитных волн разработана лабораторная технология создания шунгитобетонных монолитных модулей. В качестве подложки использовали промышленно производимые прессованием целлюлозные формы, сечения и внешний вид которых представлены на рис. 6а.

Шунгитобетон изготавливали на основе смесей порошков шунгита (размер фракций не более 0,5 мм) и портландцемента в весовом соотношении 1:1 в 30%-х водных растворах хлорида кальция путем заполнения таким бетоном прямоугольных деревянных опалубок размером 0,4х0,3 м. Поверхность такого модуля из шунгитобетона была выровнена по поверхности опалубки, и ее минимальная толщина составля-



**Рис. 6. Геометрические размеры и внешний вид пирамидообразных форм из прессованной целлюлозы (а), внешний вид разработанных образцов строительных модулей с шунгитобетонным покрытием (б)**

*Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозкранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов*



**Рис. 7.** Частотные зависимости пирамидообразных форм: а – в диапазоне частот 0,7...18 ГГц коэффициента передачи; б – коэффициента отражения без металлического отражателя; в – коэффициента отражения с металлическим отражателем

*Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов*

ла порядка 8...10 мм (рис. 6б). Использовалось следующее соотношение компонентов смеси: 35 масс.% шунгита, 35 масс.% цемента, 30 масс.% водного раствора хлорида кальция.

Для описанных выше образцов шунгитобетонных плиток измерение характеристик ослабления и отражения проводили в диапазоне частот 0,7...18 ГГц, результаты приведены на рис. 7.

В результате измерений установили повышение значения ослабления ЭМИ от 5 дБ до 40 дБ в диапазоне 0,7...6 ГГц и практически равномерное ослабление (25...32 дБ) в диапазоне 6...18 ГГц (рис. 7а), что объясняется толщиной таких образцов (8...10 мм) в основании пирамид, соизмеримой с длинами волны ЭМИ в исследуемом диапазоне частот.

Установлено, что значение коэффициента отражения пирамидообразными шунгитобетонными модулями имеет тенденцию к возрастанию до -5 дБ на частотах 10...18 ГГц и снижению от -4 дБ до -20 дБ в интервале частот 1...10 ГГц (рис. 7б). В случае использования металлического отражателя коэффициент отражения имеет значения -8...-23 дБ в диапазоне 8...11 ГГц и -2...15 дБ на частотах 11...18 ГГц.

Таким образом, в процессе исследований установлено, что шунгитобетонные строительные плитки толщиной до 3 мм с линейными размерами  $\approx 0,5 \times 0,5$  м<sup>2</sup> и весом 0,5 кг/м<sup>2</sup> на основе портландцементов с введением в воду, используемую для приготовления бетонного раствора, хлорида кальция, ослабляют ЭМИ от 4,0 до 9,0 дБ (в диапазоне частот 10,0...18,0 ГГц) при этом коэффициент отражения составляет -9,0 дБ при размещении металлического отражателя при частотах 8,0...18,0 ГГц. В диапазоне 0,5...8,0 ГГц плоские строительные плитки характеризуются невысокой отражательной способностью (-2,0 дБ).

В случае использования шунгитобетонных покрытий на целлюлозных формах (размер 0,4x0,3 м) с геометрическими пирамидообразными неоднородностями (~4...5 см) с таким же материалом в качестве покрытия (общая масса составила 1,5 кг/м<sup>2</sup>) ослабление ЭМИ составляет величину  $\approx 30$  дБ, а коэффициент отражения -5,0 дБ...-20 дБ в диапазоне частот 0,7...18 ГГц. Данные конструкции рекомендованы для использования в качестве облицовки стен, потолка стационарных помещений.

### Уважаемые коллеги!

При использовании материала данной статьи просим делать библиографическую ссылку на неё:

*Белюсова Е.С., Махмуд М.Ш.М., Лыньков Л.М., Насонова Н.В.* Радиозранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2013, Том 5, № 2. С. 56–67. URL: [http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild\\_2\\_2013.pdf](http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf) (дата обращения: \_\_ \_\_ \_\_ \_\_).

### Dear colleagues!

The reference to this paper has the following citation format:

*Belousova E.S., Mahmood M.S.M., Lynkov L.M., Nasonova N.V.* Radio shielding properties of concrete based on shungite nanomaterials. Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal, Moscow, CNT «NanoStroitelstvo». 2013, Vol. 5, no. 2, pp. 56–67. Available at: [http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild\\_2\\_2013.pdf](http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf) (Accessed \_\_ \_\_ \_\_ \_\_). (In Russian).

### Библиографический список:

1. Пат. 7239261США, МПК7 H01Q 17/00; H05K 9/00. Electromagnetic wave absorption material and an associated device / HitachiLtd (JP). № 10/913494; заявл. 09.08.2004; опубл. 03.07.2007.
2. Пат. 2233255 РФ, МПК C04B28/30 C04B111:20. Сухая строительная смесь / Л.Н. Поцелуева, Ю. Д Гончаров (РФ). № 2003103719/03; заявл. 29.01.2003; опубл. 27.07.2004.
3. Углеродсодержащие минералы и области их применения / Т.В. Борботько, Л.М. Лынькова и др. Минск: Бестпринт. 2009. 156 с.
4. *Шапиро Д.Н.* Основы теории электромагнитного экранирования. Л.: Энергия. 1975. 112 с.
5. *Барсуков С.В.* Интегрированная защита специальных экранированных помещений // Специальная Техника. 1999. № 6. С. 21–25.
6. *Соловьева А.Б.* Органическое вещество шунгитовых пород / А.Б. Соловьева, Н.Н. Глаголев, Н.А. Зайченко // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Тез. докл. междунар. симп. 2–7 июня 1998. Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, Институт геологии. 2000. С. 131–133.
7. *Волков И.А.* Версия о фуллереновой природе пористости глобулярных шунгитов Карелии / И.А. Волков, И.А. Кушмар // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Тез. докл. междунар. симп. 2–7 июня 1998. Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, Институт геологии. 2000. С. 121–124.

*Е.С. БЕЛОУСОВА и др. Радиозранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов*

8. *Криштопова Е.А.* Поглотители электромагнитного излучения на основе смесей порошкообразных наполнителей / Е.А. Криштопова, М.Ш. Махмуд, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. 2012. № 1. С. 17–21.
9. *Ишимару А.* Распространение и рассеивание волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир. 1981. Т. 2. 280 с.
10. Пат. 4050073 США, МПК Н 01 Р 1/22. Electromagnetic power absorber / S. Richard. Iwasaki (США); California Institute of Technology. № 834257; заявл. 14.01.1976; опубл. 20.09.1977; НПК 342/4. 4 с.

### References:

1. Pat. 7239261 U.S.A. МПК7 H01Q 17/00; H05K 9/00. Electromagnetic wave absorption material and an associated device / Hitachi Ltd (JP). № 10/913494, appl. 08.09.2004, publ. 03.07.2007.
2. Pat. 2233255 RF, IPC C04B28/30 C04B111:20. Dry mortar / L.N. Potselueva, Yu.D. Goncharov (RF). № 2003103719/03; appl. 29/01/2003; publ. 27.07.2004.
3. Carbon-containing minerals and their application / T.V. Borbotko, L.M. Lynkov and others. Minsk: Bestprint. 2009. P. 156.
4. *Shapiro D.* Fundamentals of the theory of electromagnetic shielding. L.:Energy. 1975. P. 112.
5. *Barsukov S.V.* Integrated protection of special shielded room // Special Technique. 1999. № 6. P. 21–25.
6. *Solovieva A.B.* Organic substance of shungite / A.B. Solovyeva, N.N. Glagolev, N.A. Zaichenko // Carbonaceous formation in geological history: Abstracts of the International Symposium. 2–7 June 1998. Petrozavodsk: Karelian Research Center Russian Academy of Sciences, Institute of Geology. 2000. P. 131–133.
7. *Volkov I.A.* The version about fullerene nature of the globular porosity of the Karelian shungites / I.A. Volkov, I.A. Kushmar // Carbonaceous formation in geological history: Abstracts of the International Symposium. 2–7 June 1998. Petrozavodsk: Karelian Research Center Russian Academy of Sciences, Institute of Geology. 2000. P. 121–124.
8. *Krysh-topova E.A.* Electromagnetic absorbers based on blends of powdered fillers / E.A. Krysh-topova, M.SH. Mahmood, L.M. Lynkov // Reports of BSUIR. 2012. № 1. P. 17 21.
9. *Ishimaru A.* Propagation and Scattering in randomly inhomogeneous media. M: Mir. 1981. Vol. 2. P. 280.
10. Pat. 4050073 U.S.A., МПК Н 01 Р 1/22. Electromagnetic power absorber / S. Richard. Iwasaki (США); California Institute of Technology. № 834257; appl. 14.01.1976; publ. 20.09.1977; НПК 342/4. 4 p.

**Контакты**  
**Contact information**

e-mail: elena1belousova@gmail.com