

**Х. Д. А. Абдулхади, Е. С. Белоусова, А. М. Прудник, Л. М. Лыньков**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь*

## **МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ ИГЛОПРОБИВНОГО МАТЕРИАЛА С ПРОВОДЯЩИМИ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

**Аннотация.** Представлены результаты разработки экранов электромагнитного излучения, обладающих гибкостью и незначительными массогабаритными параметрами. В качестве основы экранов электромагнитного излучения был выбран иглопробивной материал, на который наносились проводящие или диэлектрические покрытия. Установлено, что при нанесении на иглопробивной материал проводящих или диэлектрических покрытий (до 5 мм) увеличивается предел прочности до 5–10 кгс/мм<sup>2</sup> и уменьшается поверхностное электрическое сопротивление до 0,05 МОм/квadrat, при этом массогабаритные параметры экранов существенно не изменяются. Показано, что частотные зависимости коэффициентов отражения и передачи коррелируют для покрытий различных видов. Образец экрана электромагнитного излучения на основе иглопробивного материала с покрытием, содержащего порошкообразный шунгит, обладает коэффициентом отражения, измеренным в режиме короткого замыкания порядка –22,8 дБ в диапазоне частот 2–4 ГГц, что позволяет использовать данный материал для обеспечения электромагнитной совместимости, защищенности информации и защиты персонала от электромагнитного излучения.

**Ключевые слова:** иглопробивной материал, коэффициент отражения, коэффициент передачи, титаномagnetит, шунгит, экраны электромагнитного излучения

**Для цитирования:** Механические и электромагнитные свойства экранов на основе иглопробивного материала с проводящими и диэлектрическими покрытиями / Х. Д. А. Абдулхади [и др.] // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 44–50. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-1-44-50>

**H. D. A. Abdulhadi, E. S. Belousova, A. M. Prudnik, L. M. Lynkou**

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

## **MECHANICAL AND ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF SHIELDS ON THE BASE OF NEEDLE-PUNCHED MATERIAL WITH CONDUCTIVE AND DIELECTRIC COATINGS**

**Abstract.** The results of the development of electromagnetic radiation shields with flexibility and minor weight and size parameters are presented. Needle-punched material was chosen as the basis for the shields of electromagnetic radiation, which was coated with conductive or dielectric coatings. It has been proved that when applied to a needle-punched material of thin (up to 5 mm) conductive or dielectric coatings, the ultimate strength increases to 5–10 kgf/mm<sup>2</sup> and the surface resistance decreases to 0.05 MOhm/sq, while the weight and size parameters of the shields do not change significantly. It was shown that the frequency dependencies of the reflection and transmission coefficients correlate for coatings of various types. A sample of an electromagnetic radiation shields based on a needle-punched coated material consisting of powdered shungite has a reflection coefficient measured in the short circuit mode is about –22.8 dB in the 2–4 GHz frequency range, which allows to use this material to ensure electromagnetic compatibility, information security and personnel protection from electromagnetic radiation.

**Keywords:** needle-punched material, reflection coefficient, transmission coefficient, titanomagnetite, shungite, electromagnetic radiation screens

**For citation:** Abdulhadi H. D. A., Belousova E. S., Prudnik A. M., Lynkou L. M. Mechanical and electromagnetic properties of shields on the base of needle-punched material with conductive and dielectric coatings. *Vestsi Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2019, vol. 64, no. 1, pp. 44–50 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-1-44-50>

**Введение.** На сегодняшний день существует множество разработок экранов электромагнитного излучения (ЭМИ), отличающихся структурой, составом и электромагнитными характеристиками [1–3]. Необходимо отметить, что большинство из них обладает высокой прочностью, но при этом они имеют значительные массогабаритные параметры [2, 3]. Сложность задачи разра-

ботки экранов ЭМИ заключается в том, что эффективность поглощения излучения материалом возрастает при увеличении его толщины, следовательно, увеличиваются массогабаритные характеристики. Таким образом, актуальной является сфера разработки экранов ЭМИ, обладающих легкостью, прочностью и незначительной массой.

*Целью данной работы* являлась разработка экранов ЭМИ на основе иглопробивного материала для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, защищенности средств передачи, обработки и хранения информации, соответствия требованиям электромагнитной экологии, а также установления закономерностей изменения механических и электромагнитных свойств при нанесении проводящих и диэлектрических покрытий.

**Обоснование выбора материалов.** В качестве основы для создания экранов ЭМИ применяли углеродсодержащий иглопробивной материал [1], на который наносили проводящие и диэлектрические покрытия, в качестве которых использовали порошки титаномагнетита, шунгита, диоксида титана и силикагеля.

Иглопробивной материал в своем составе имеет полиэфирные (70 %) и полипропиленовые (20 %) волокна. Отличительной особенностью данного материала является наличие угольного волокна УГЦВ-1-Р (10 %) [4–6]. Поверхностная плотность материала (величина, используемая в текстильной промышленности) при толщине от 4,7 до 6,0 мм, составляет 250–305 г/м<sup>2</sup>, при этом иглопробивной материал обладает свойством экранирования электромагнитного излучения. Коэффициент передачи электромагнитного излучения составляет от –9,6 до –4,2 дБ в диапазоне частот 2–17 ГГц при толщине материала до 4,7 мм и плотности 305 г/м<sup>2</sup>.

Для создания проводящих покрытий были выбраны порошки титаномагнетита и шунгита. Титаномагнетит относится к ферритмагнетикам, характеризуется плотностью от 4,8 до 5,3 г/см<sup>3</sup>. Применение шунгита обусловлено его физико-химическими характеристиками: плотностью 2,1–2,4 г/см<sup>3</sup>; пористостью до 5 %; механической прочностью 1180–2380 кг/см<sup>2</sup>; коэффициентом электропроводности 1500 См/м. В диэлектрических покрытиях присутствовали добавки порошков диоксида титана и силикагеля, которые обладают гидроскопичностью и сильными адсорбирующими свойствами.

В качестве связующих материалов использовали адгезив на основе бутандиен-стирольного каучука (БСК) и огнезащитный состав. Для исследования механических и электромагнитных свойств экранов ЭМИ с диэлектрическими и проводящими покрытиями были приготовлены две группы образцов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Составы диэлектрических и проводящих покрытий для нанесения на иглопробивной волокнистый материал

T a b l e 1. Composition of the needle-punched materials with conductive and dielectric coatings

Номер образца	Связующее	Процентное содержание, об. %	Материал	Процентное содержание, об. %
1	Адгезив на основе БСК	67	Титаномагнетит	33
2	Огнезащитный состав	50		50
3	Адгезив на основе БСК	67	Проводящий порошок шунгита	33
4	Огнезащитный состав	50		50
5	Адгезив на основе БСК	67	Диэлектрический порошок TiO <sub>2</sub>	33
6	Огнезащитный состав	60		40
7	Адгезив на основе БСК	67	Диэлектрический силикагель	33
8	Огнезащитный состав	70		30

**Методика проведения эксперимента.** При исследовании механических свойств образцов экранов ЭМИ производили определение предела прочности в соответствии с ГОСТ ИСО 1924-1-96 «Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 1. Метод нагружения с постоянной скоростью». Для испытаний использовали разрывную машину РМГ-50МГ4 с относительной погрешностью измерения силы ±1 %.

Образцы закрепляли в зажимах разрывной машины, не касаясь испытуемых частей, с силой натяжения не более 0,3 Н так, чтобы предотвратить их скольжение во время испытаний и прилагаемая сила имела направление, параллельное их краям. Испытания проводили в машинном и поперечном направлениях. Результаты испытаний образцов, разорвавшихся у кромок зажимов или сместившихся при испытании, не учитывали.

Разрушающее усилие  $F$  определяли средним арифметическим значением результатов десяти измерений в машинном и поперечном направлениях. Разрушающее усилие округляли с точностью до 0,1 Н при значении до 50 Н; до 1 Н при значениях 50–500 Н; 5 Н при значениях 500–1000 Н; 10 Н при значениях свыше 1000 Н. Относительная погрешность определения разрушающего усилия при растяжении не превысила  $\pm 4\%$  при доверительной вероятности 0,95.

Удельное сопротивление разрыву  $F_{уд}$ , кН/м, вычисляли по формуле  $F_{уд} = F/b$ , где  $F$  – разрушающее усилие, Н;  $b$  – ширина образца, мм.

Индекс прочности при растяжении  $I_F$ , Н·м/г, определяли согласно  $I_F = (F_{уд} / (b \cdot m_a)) \cdot 10^3$ , где  $m_a$  – масса материала площадью  $1 \text{ м}^2$ , г.

Предел прочности при растяжении  $\sigma$ , МПа, вычисляли по формуле  $\sigma = F/(b \cdot h)$ , где  $h$  – толщина образца (среднее арифметическое результатов измерений толщины всех испытуемых образцов), мм. Результаты округляли с точностью до 1,0 МПа. Относительная погрешность определения предела прочности при растяжении не превысила  $\pm 10\%$  при доверительной вероятности 0,95.

Измерение поверхностного электрического сопротивления образцов проводилось четырехточечным методом, при помощи мегаомметра М4 100/4 1000 В с двумя медными плоскими электродами с линейными размерами  $30 \times 30$  мм и толщиной 4 мм. Результаты измерений представлены в табл. 2.

При исследовании электрофизических свойств оценивали соотношение между напряженностями электрического поля в точке пространства при отсутствии и при наличии радиопоглощающего материала, что характеризуется коэффициентами отражения и передачи ЭМИ.

Для исследования экранирующих характеристик использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01-18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн [5].

На первом этапе осуществлялась калибровка, во время проведения которой устанавливался оптимальный уровень мощности для работы детекторов измерителя. В данной модификации измерителя калибровка выполнялась автоматически.

Второй этап заключался в измерении коэффициентов передачи по схеме, изображенной на рис. 1. При этом генератор качающейся частоты (ГКЧ) измерителя формировал сигнал в заданной полосе частот и через блок А/Р подавал его в передающую антенну. Блок обработки измерительных сигналов регистрировал ЭМИ, прошедшее через исследуемый образец.

Таблица 2. Результаты измерения предела прочности при растяжении композиционных радиопоглощающих материалов

Table 2. Ultimate tensile strength of the needle-punched materials with conductive and dielectric coatings

Номер образца	Значение поверхностного электрического сопротивления, МОм/квадрат
1	0,2
2	1000
3	0,05
4	1000
5	1000
6	800
7	1000
8	1000

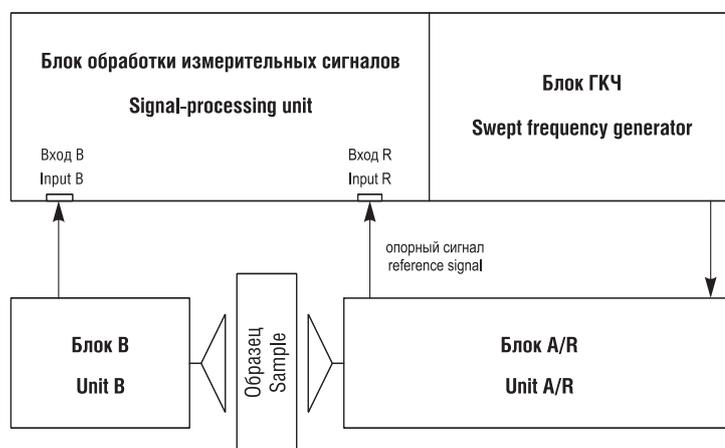


Рис. 1. Структурная схема измерительной установки SNA 0,01-18  
Fig. 1. Block diagram of the measurement setup SNA 0,01 18

Третий этап заключался в измерении коэффициентов отражения. При этом на выходе устанавливался короткозамыкатель, ГКЧ измерителя формировал сигнал в заданной полосе частот и через блок А/Р подавал его в передающую антенну. Блок обработки измерительных сигналов регистрировал ЭМИ, отраженное от исследуемого образца. Относительная погрешность измерений составила  $\pm 1\%$ .

**Результаты исследования.** При создании экранов ЭМИ предпочтительнее использовать материалы с меньшим поверхностным электрическим сопротивлением, так как в этом случае коэффициент передачи будет выше. В результате проведенных измерений нами установлено, что наименьшим поверхностным электрическим сопротивлением обладают образцы № 1 (33 об.% титаномагнетита) и № 3 (33 об.% шунгита), что обусловлено высокой концентрацией проводящих порошков в составе покрытия. Для остальных образцов величина поверхностного электрического сопротивления изменялась в пределах 800–1000 МОм/квадрат.

Результаты измерения предела прочности при растяжении образцов экранов ЭМИ составили 10 и 5 кгс/мм<sup>2</sup> для первой и второй групп соответственно (см. табл. 2). Наибольшим пределом прочности при растяжении обладают образцы с поверхностным покрытием адгезива на основе БСК (10 кгс/мм<sup>2</sup>). Добавление в состав покрытия проводящих и диэлектрических порошков на предел прочности существенно не влияют. Необходимо отметить, что нанесение покрытия на иглопробивной материал увеличивает его предел прочности на 12,1 %.

Установлено, что коэффициент передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7–17 ГГц (рис. 2, *a*) для образца 1 (33 об.% титаномагнетита) составил от –14,7 до –3,9 дБ; для образца 3 (33 об.% шунгита) – от –13 до –3,6 дБ; для образца 5 (33 об.% TiO<sub>2</sub>) – от –19,6 до –0,7; для образца 7 (33 об.% порошка силикагеля) – от –16 дБ до –1,3.

Коэффициент отражения ЭМИ в режиме холостого хода в диапазоне частот 0,7–17 ГГц (рис. 2, *b*) для образца 1 (33 об.% титаномагнетита) составил от –14,2 до –0,2 дБ; для образца 3 (33 об.% шунгита) – от –13,4 до –0,6 дБ; для образца 5 (33 об.% TiO<sub>2</sub>) – от –13,7 до –0,2 дБ; для образца 7 (33 об.% порошка силикагеля) – от –15,2 до –0,3 дБ.

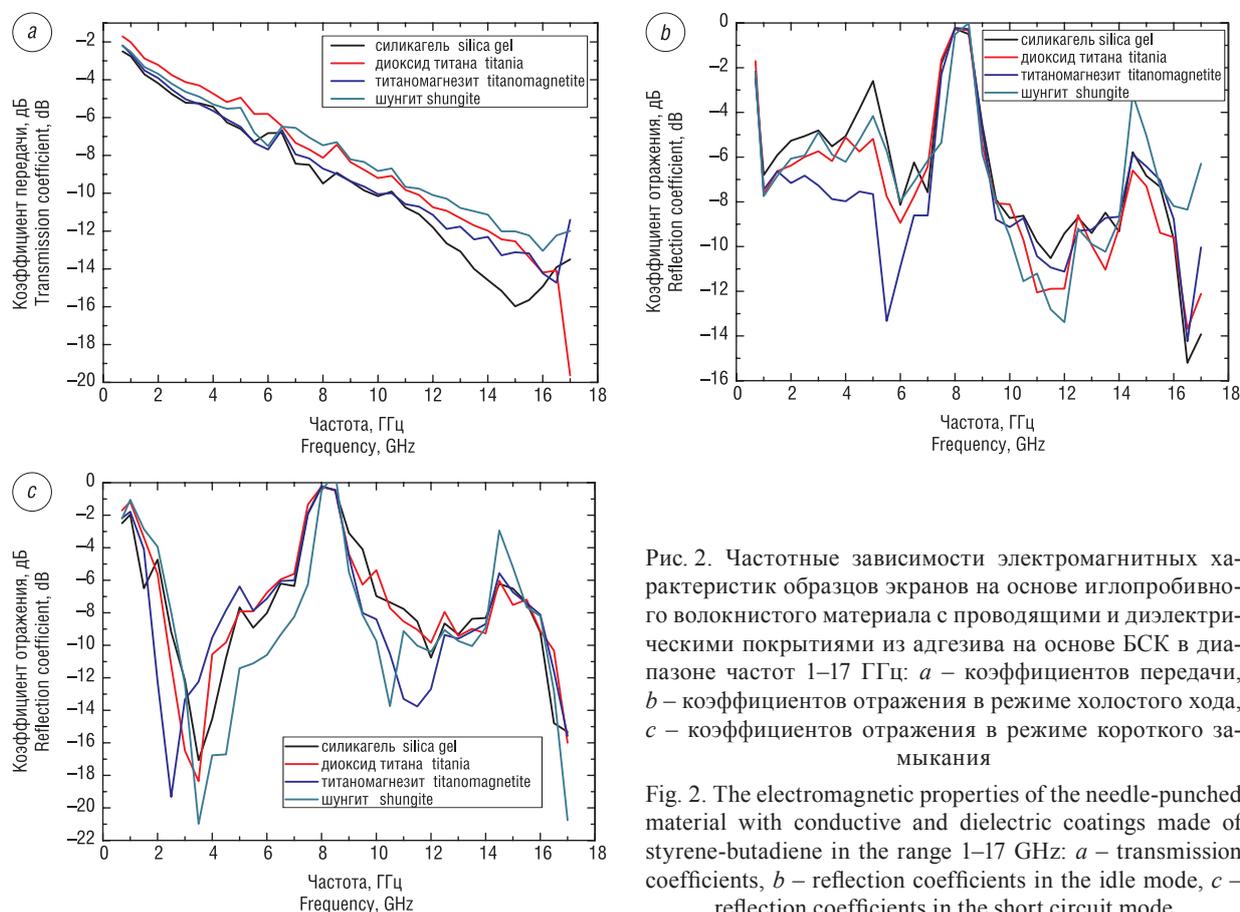


Рис. 2. Частотные зависимости электромагнитных характеристик образцов экранов на основе иглопробивного волокнистого материала с проводящими и диэлектрическими покрытиями из адгезива на основе БСК в диапазоне частот 1–17 ГГц: *a* – коэффициентов передачи, *b* – коэффициентов отражения в режиме холостого хода, *c* – коэффициентов отражения в режиме короткого замыкания

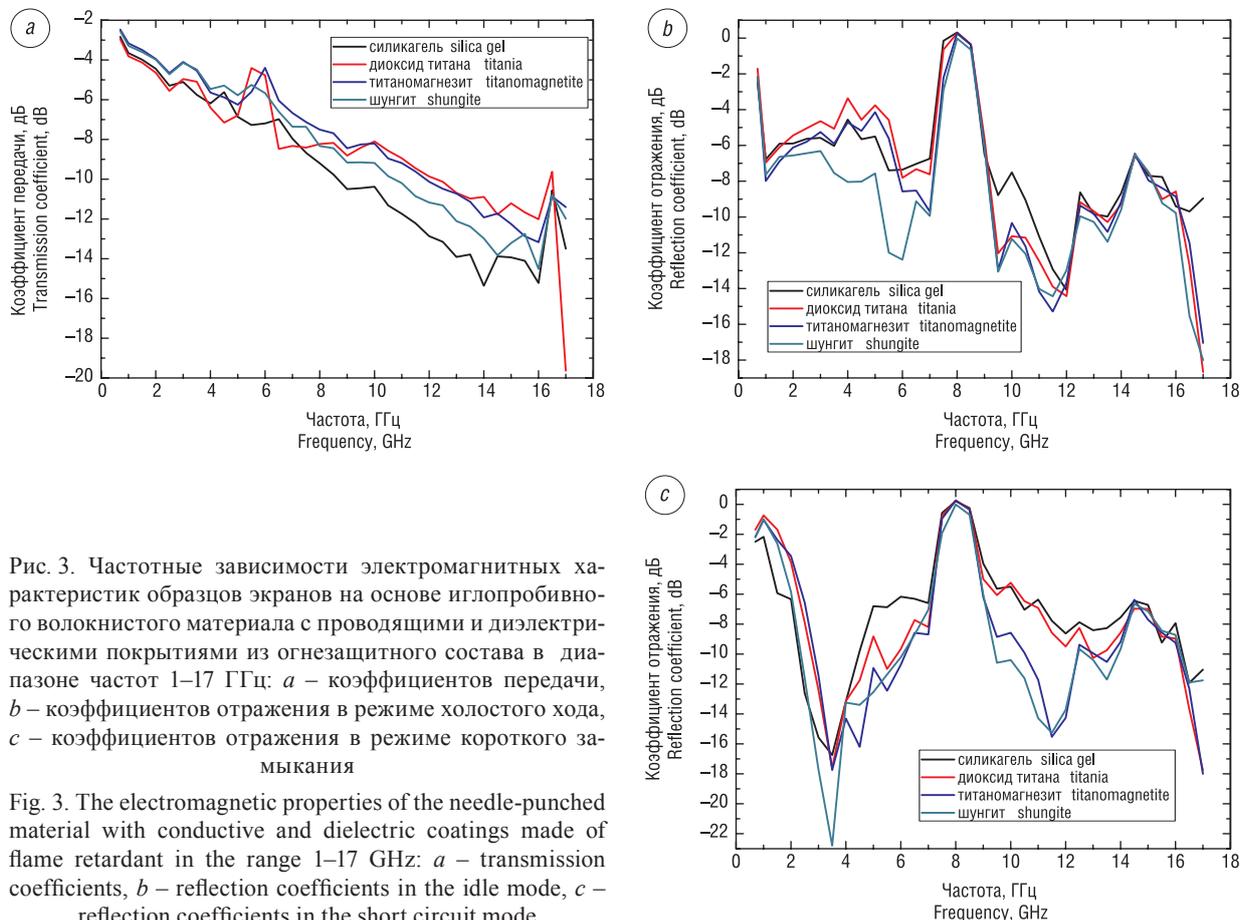
Fig. 2. The electromagnetic properties of the needle-punched material with conductive and dielectric coatings made of styrene-butadiene in the range 1–17 GHz: *a* – transmission coefficients, *b* – reflection coefficients in the idle mode, *c* – reflection coefficients in the short circuit mode

Получены также значения коэффициентов отражения ЭМИ в режиме короткого замыкания в диапазоне частот 0,7–17 ГГц (рис. 2, *с*). Показано, что коэффициент отражения для образца 1 (33 об.% титаномагнетита) составил от  $-19,3$  до  $-0,2$  дБ; для образца 3 (33 об.% шунгита) – от  $-20,9$  до  $-0,1$  дБ; для образца 5 (33 об.%  $\text{TiO}_2$ ) – от  $-18,4$  до  $-0,2$  дБ; для образца 7 (33 об.% порошка силикагеля) – от  $-17$  до  $-0,3$  дБ.

Таким образом, для покрытий иглопробивного материала с адгезивом на основе БСК частотная характеристика коэффициента передачи изменяется незначительно, наименьший коэффициент передачи получен для образца для образца 5 (33 об.%  $\text{TiO}_2$ ). Частотные характеристики коэффициента отражения для всех покрытий иглопробивного материала с адгезивом на основе БСК имеют резонанс на частоте 8 ГГц, что обусловлено градиентной структурой материала. Наименьшие значения коэффициентов отражения получены для проводящих покрытий с добавлением порошков шунгита и титаномагнетита, что объясняется величиной поверхностного электрического сопротивления данного покрытия и подтверждает правильность проведенных исследований.

Получено, что коэффициент передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7–17 ГГц для образцов экранов ЭМИ на основе иглопробивного волокнистого материала с проводящими и диэлектрическими покрытиями из огнезащитного состава изменяется следующим образом (рис. 3, *а*): для образца 5 (50 об.% титаномагнетита) коэффициент передачи составил от  $-13,2$  до  $-1,2$  дБ; для образца 4 (50 об.% шунгита) – от  $-14,5$  до  $-1,2$  дБ; для образца 6 (40 об.%  $\text{TiO}_2$ ) – от  $-12$  до  $-1,5$  дБ; для образца 8 (30 об.% порошка силикагеля) – от  $-15,4$  до  $-1,4$  дБ.

Получены также значения коэффициента отражения в диапазоне частот 0,7–17 ГГц, измеренные в режиме холостого хода (рис. 3, *б*). Для образца 2 (50 об.% титаномагнетита) коэффициент отражения составил от  $-17$  до  $-4,3$  дБ; для образца 4 (50 об.% шунгита) – от  $-18$  до  $-4,4$  дБ; для образца 6 (40 об.%  $\text{TiO}_2$ ) – от  $-18,7$  до  $-4,4$  дБ; для образца 8 (30 об.% порошка силикагеля) – от  $-14$  до  $-4,4$  дБ.



Значения коэффициента отражения ЭМИ, измеренного в режиме короткого замыкания в диапазоне частот 0,7–2 ГГц (рис. 3, с), для образца 2 (50 об.% титаномагнетита) составили от –18 до 0 дБ; для образца 4 (50 об.% шунгита) – от –22,8 до 0 дБ; для образца 6 (40 об.%  $\text{TiO}_2$ ) – от –17,8 до 0 дБ. Для образца 8 (30 об.% порошка силикагеля) коэффициент отражения имеет значение от –16,8 до 0 дБ.

У всех образцов волокнистого материала с проводящими и диэлектрическими покрытиями из огнезащитного состава наблюдается ярко выраженный полуволновой резонанс на частоте 8 ГГц для частотных характеристик коэффициента отражения, обусловленный волокнистой структурой материала и наличием слоев различного рода.

**Заключение.** На основе проведенных измерений можно сделать вывод, что при изменении состава покрытия на иглопробивном материале изменяются электромагнитные свойства экрана ЭМИ. Например, при добавлении в состав покрытия проводящих компонентов (порошкообразный шунгит) увеличивается предел прочности до 5–10 кгс/мм<sup>2</sup>, уменьшается поверхностное электрическое сопротивление и увеличивается коэффициент отражения, при этом массогабаритные параметры существенно не изменяются. Для образца экрана ЭМИ на основе иглопробивного материала и покрытием из БСК и шунгита коэффициент передачи составляет от –18 до –4,4 дБ, коэффициент отражения, измеренный в режиме короткого замыкания – от –22,8 до 0 дБ.

Полученные результаты показывают, что данные материалы могут применяться при производстве композиционных радиопоглощающих материалов для экранирования ЭМИ в диапазоне частот 1–17 ГГц. При использовании по назначению разработанных композиционных радиопоглощающих материалов могут изготавливаться специальные экранирующие матрицы. Величина содержания диэлектрических и проводящих включений будет определяться требованиями к диапазону частот, в котором должно обеспечиваться необходимое значение коэффициентов передачи и отражения. Данные матрицы не будут нуждаться в специальной упаковке, что позволит увеличить их технологичность и уменьшить стоимость.

### Список использованных источников

1. Production technology and shielding properties of the needle-punched non-woven fabrics with carbon additives / A. Prudnik [et al.] // *Electromagnetic disturbances EMD 2017: Proc. of the 24<sup>th</sup> Inter. conf., Poland, Białystok, 20–22 Sept. 2017.* – Białystok, 2017. – P. 108–111.
2. Белоусова, Е. С. Углеродсодержащие бетоны на основе измельченной древесины [Электронный ресурс] / Е. С. Белоусова, Л. М. Лыньков, Абдульсалам Мефтах Мохамед Абульгасим // *Нанотехнологии в строительстве.* – 2015. – Т. 7, № 3. – Режим доступа [http://nanobuild.ru/ru\\_RU/journal/Nanobuild-3-2015/43-59.pdf](http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-3-2015/43-59.pdf) – Дата доступа 29.03.2018.
3. Отделочные композиционные материалы для создания экранированных защищенных помещений / Е. С. Белоусова [и др.] // *Вестн. связи.* – 2013. – № 3 (119). – С. 47–51.
4. Электромагнитные экраны на основе волокнистых углеродсодержащих композитов для защиты биологических объектов от электромагнитного излучения / О. В. Бойправ [и др.] // *Нефтехимический комплекс.* – 2017. – № 1. – С. 21–22.
5. Модифицирование иглопробивного полотна для создания пожаробезопасных экранов электромагнитного излучения / Х. Д. А. Абдулхади [и др.] // *Взаимодействие излучения с твердым телом: материалы 12-й Междунар. конф., Минск, 19–22 сент. 2017 г.* – Минск, 2017. – С. 196–197.
6. Электромагнитные характеристики углеродсодержащего нетканого материала с геометрическими неоднородностями / Х. Д. А. Абдулхади [и др.] // *Докл. БГУИР.* – 2017. – № 1 (103). – С. 87–90.

### References

1. Prudnik A., Beloglazov A., Kudryavtseva T., Lynkou L. Production technology and shielding properties of the needle-punched non-woven fabrics with carbon additives. *Electromagnetic disturbances EMD 2017: Proceedings of the 24<sup>th</sup> International conference, Poland, Białystok, 20–22 September 2017.* Białystok, 2017, pp. 108–111.
2. Belousova E. S., Lyn'kov L. M., Abdul'salam Meftakh Mokhamed Abul'gasim. The carbonaceous concrete based on sawdust. *Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*, 2015, vol. 7, no 3. Available at: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU/journal/Nanobuild-3-2015/43-59.pdf](http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-3-2015/43-59.pdf) (accessed 29 March 2018) (in Russian).
3. Belousova E. S., Nasonova N. V., Pulko T. A., Lyn'kov L. M. Finishing composite materials for creating shield-protected rooms. *Vesnik svyazi* [Communication Herald], 2013, no. 3 (119), pp. 47–51 (in Russian).
4. Boiprav O. V., Abdulkhadi Kh. D. A., Prudnik A. M., Kudryavtseva T. M. Electromagnetic shields based on fibrous carbon-containing composites to protect biological objects from electromagnetic radiation. *Neftekhimicheskii kompleks* [Petrochemical Complex], 2017, no. 1, pp. 21–22 (in Russian).

5. Abdulkhadi Kh. D. A., Aiad Kh. A. E., Pulko T. A., Prudnik A. M., Lyn'kov, L. M. The needle-punched fabric modification to create fireproof shields of electromagnetic radiation. *Vzaimodeistvie izlucheniya s tverdym telom: materialy 12-i Mezhdunarodnoi konferentsii, Minsk, 19–22 sentyabrya 2017 g.* [Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference “Interaction of radiation with a solid-state materials”, Minsk, September 19–22, 2017]. Minsk, 2017, pp. 196–197 (in Russian).

6. Abdulhadi H. D. A., Almashat E. A. A., Elsayyah N. M. E., Boiprav O. V., Prudnik A. M. The electromagnetic characteristics of the carbon-containing non-woven fabric with geometric irregularities. *Doklady BGUIR*, 2017, no. 1 (103), pp. 87–90 (in Russian).

### Информация об авторах

*Абдулхадид Хаусам Дия Абдулхадид* – аспирант кафедры защиты информации, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: haitham\_dheyaa@yahoo.com

*Белусова Елена Сергеевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belousova@bsuir.by

*Прудник Александр Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: aleksander.prudnik@bsuir.by

*Лыньков Леонид Михайлович* – научный руководитель лаборатории материалов и элементов электронной и сверхпроводниковой техники, Научно-исследовательская часть Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: leonid@bsuir.by

### Information about the authors

*Haitham D.A. Abdulhadi* – Graduate Student of the Information Security Department, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Brovka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: haitham\_dheyaa@yahoo.com

*Alena S. Belousova* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Information Security Department, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Brovka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belousova@bsuir.by

*Aleksander M. Prudnik* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Information Security Department, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Brovka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aleksander.prudnik@bsuir.by

*Leonid M. Lynkou* – D. Sc. (Engineering), Chief Scientist of the Materials and Elements for Electronics and Superconductive Electronics Laboratory, R&D Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Brovka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: leonid@bsuir.by