



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-1-89-95>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 537.874, 620.22

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ ИГЛОПРОБИВНОГО МАТЕРИАЛА И ФРАГМЕНТОВ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ

Х.Д.А. АБДУЛХАДИ, Е.А.А. АЛЬ-МАШАТТ, О.В. БОЙПРАВ, В.А. БОГУШ, А.М. ПРУДНИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 9 января 2020*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

**Аннотация.** Предложен способ создания экранов электромагнитного излучения, заключающийся в закреплении на поверхности иглопробивного углеродсодержащего материала фрагментов алюминиевой фольги. В соответствии с предложенным способом изготовлены образцы экранов. Используемые при этом фрагменты алюминиевой фольги были в виде прямоугольников и полуколлец, габаритные размеры которых не превышали 20 мм. С помощью автоматизированного измерителя коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18 получены экранирующие характеристики в диапазоне частот 0,7–17 ГГц образцов экранов, изготовленных в соответствии с предложенным способом. С помощью измерительного стенда, основными компонентами которого являются программный генератор белого шума, усилитель мощности, динамик, шумомер-спектроанализатор МАНОМ-2, в диапазоне частот 20–16000 Гц получены звукоизоляционные свойства образцов экранов, изготовленных в соответствии с предложенным способом. Показано, что величины коэффициентов отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17 ГГц исследованных экранов изменяются в пределах от –0,5 до –19,0 дБ, а величины коэффициента передачи электромагнитного излучения в указанном диапазоне частот – от –2,0 до –18,0 дБ. Установлено, что значения коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17 ГГц и значения коэффициента передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 6–17 ГГц экранов, изготовленных в соответствии с предложенным способом с использованием фрагментов алюминиевой фольги в виде полуколлец, на 1,0–6,0 дБ ниже аналогичных значений экранов, изготовленных с использованием фрагментов алюминиевой фольги в виде прямоугольников. Определено, что исследованные экраны обеспечивают ослабление звука на 2–12 дБ в диапазоне частот 20–16000 Гц. С учетом полученных результатов экраны, изготовленные в соответствии с предложенным способом, рекомендованы для использования в целях защиты информации, циркулирующей в помещениях, от утечки по акустическому каналу и каналу побочного электромагнитного излучения и наводок.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, экранирование, иглопробивное полотно, алюминиевая фольга, экранирующие характеристики, коэффициент передачи и отражения.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Абдулхадид Х.Д.А., Аль-Машатт Е.А.А., Бойправ О.В., Богуш В.А., Прудник А.М. Электромагнитные и звукоизоляционные свойства комбинированных конструкций экранов на основе иглопробивного материала и фрагментов алюминиевой фольги. Доклады БГУИР. 2020; 18(1): 89-95.

## ELECTROMAGNETIC AND SOUND INSULATION PROPERTIES OF COMBINED SHIELDS BASED ON THE NEEDLE-PUNCHING MATERIAL AND FRAGMENTS OF ALUMINUM FOIL

HAITHAM D.A ABDULHADI, EMAD A.A. ALMASHAT, OLGA V. BOIPRAV,  
VADIM A. BOGUSH, ALEKSANDER M. PRUDNIK

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 9 January 2020*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

**Abstract.** A method for creating the electromagnetic radiation shields, which consists in fixing fragments of aluminum foil on the surface of a needle-punched carbon-containing material has been proposed. In accordance to the proposed method the shield samples have been made. The fragments of the used aluminium foil were in the form of rectangles or half rings the overall dimensions of which didn't exceed 20 mm. Using an automated meter of transmission and reflection coefficients SNA 0.01–18, shielding characteristics in the frequency range 0.7–17 GHz of the shield samples made in accordance with the proposed method have been obtained. Using the measuring stand, the main components of which were a white noise generator, power amplifier, speaker, sound analyzer MANOM-2, in the frequency range 20–16000 Hz, the soundproofing properties of the shield samples made in accordance with the proposed method have been obtained. It was shown that the values of the electromagnetic radiation reflection coefficients in the frequency range of 0.7–17 GHz of the investigated shields vary from –0.5 to –19.0 dB, and the electromagnetic radiation transmission coefficient in the specified frequency range vary from –2.0 up to –18.0 dB. It was found that the of electromagnetic radiation reflection coefficient values in the frequency range 0.7–17 GHz and the electromagnet radiation transmission coefficient values in the frequency range 6–17 GHz of the shields made in accordance with the proposed method using fragments of aluminum foil in the form of half rings, by 1.0–6.0 dB below the same values of the shields made using fragments of aluminum foil in the form of rectangles. It was determined that the studied shields provide sound attenuation by 2–3 dB in the frequency range from 20–16000 Hz. In view of the obtained results, shields manufactured in accordance with the proposed method are recommended for use in order to protect information circulating in the premises from leakage through the acoustic channel and the channel of secondary electromagnetic radiation.

**Keywords:** electromagnetic radiation, shielding, needle-punched fabric, aluminium foil, shielding characteristics, transmission and reflection coefficient.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Abdulhadi H.D.A., Almashat E.A.A., Boiprav O.V., Bogush V.A., Prudnik A.M. Electromagnetic and sound insulation properties of combined shields based on the needle-punching material and fragments of aluminum foil. Doklady BGUIR. 2020; 18(1): 89-95.

### Введение

Безопасность связи ставит целью предотвращение несанкционированного доступа к инфокоммуникационному трафику, обеспечивая при этом доставку информации предполагаемым пользователям. Данная область включает в себя криптографическую безопасность, безопасность передачи данных, безопасность электромагнитных излучений и физическую безопасность инфокоммуникационного оборудования.

Безопасность электромагнитных излучений – это анализ уязвимостей определенной системы на предмет возможного несанкционированного доступа в результате наличия излучений от оборудования. Как правило, предотвращение распространения излучения в окружающее пространство, а точнее, снижение его до обеспечивающей безопасность данных величины, применяется к инфокоммуникационным системам, радиосетям, криптографическим системам или другим подобным устройствам обработки и передачи информации.

Безопасность электромагнитных излучений стала важной частью защиты конфиденциальных данных в государственных и частных организациях. Ряд стран разработали соответствующие протоколы для экранирования оборудования, создающего электромагнитное излучение, амплитуда которого превышает уровни, установленные стандартом MIL-STD-461G «Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment».

Одной из задач по разработке материалов для создания защитных конструкций для обеспечения безопасности систем, предназначенных для передачи речевой информации, является задача разработки материалов, обладающих экранирующими свойствами в заданном диапазоне электромагнитных излучений, но, с другой стороны, низкими звукоизоляционными характеристиками.

### Методика проведения эксперимента

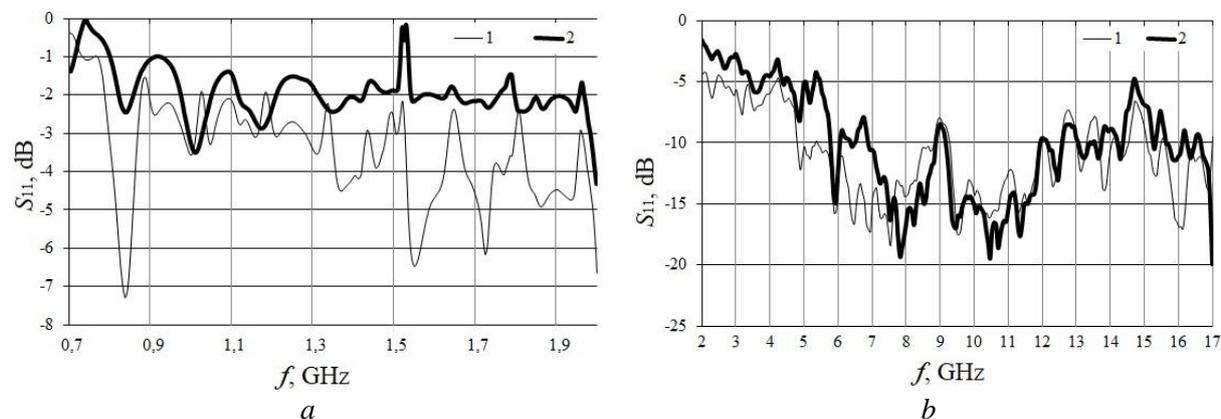
Авторами предложен способ изготовления экранов электромагнитного излучения, заключающийся в закреплении на поверхности иглопробивного углеродсодержащего материала [1] фрагментов алюминиевой фольги. В соответствии с предложенным способом сформированы два типа образцов экранов. Образцы первого типа были изготовлены с использованием фрагментов алюминиевой фольги в виде прямоугольников, длина и ширина которых не превышала 20 мм, образцы второго типа – с использованием фрагментов алюминиевой фольги в виде полуколлец, радиус и ширина которых не превышали 20 мм и 10 мм соответственно. Толщина образцов составляла  $8\pm 2$  мм.

Для исследования экранирующих характеристик изготовленных образцов экранов использовался измеритель коэффициентов передачи и отражения, работающий по принципу выделения и детектирования уровней падающей и отраженной волн, по методике, описанной в [2]. Измерительная установка состоит блока обработки измерительных сигналов, генератора качающейся частоты, преобразования и обработки прошедшей волны, а также преобразования и обработки падающей/отраженной волны.

Для исследования звукоизоляционных характеристик образцов использовался измерительный стенд [3], изготовленный из двух частей алюминиевой трубы с длинами 0,8 и 0,4 м и внутренним диаметром 0,26 м. Внутренние поверхности частей трубы были облицованы звукопоглощающим материалом для уменьшения диффузной составляющей звукового поля, а наружные поверхности частей трубы были облицованы вибропоглощающим материалом на битумно-мастичной основе. Обе части трубы были закреплены на металлической станине, причем первая часть – неподвижно на виброизолирующих прокладках из резины, а другая часть передвигалась с помощью винтовой передачи. Металлическая станина была также установлена на виброизолирующие прокладки. В неподвижной части трубы был установлен микрофон М-101 с микрофонным предусилителем ВПМ-101. Для минимизации воздействия виброизоляции на микрофон, последний был подвешен на резиновых нитях внутри металлических колец, которые, в свою очередь, также устанавливались на основание из звукопоглощающего материала внутри неподвижной части трубы. В подвижной части трубы был установлен динамик Auditor с номинальным сопротивлением 4 Ом, пиковой/номинальной мощностью 170/35 Вт и чувствительностью 90 дБ. Образец фиксировали между частями трубы, закрепляя его между плоскими фланцами с резиновыми прокладками. Сигнал «белого шума», сформированный программой Daqarta, проходил через усилитель мощности LV 103, воспроизводится динамиком и излучался в трубу с установленным образцом. Регистрация сигнала осуществлялась шумомером-спектроанализатором МАНОМ-2. При оценке звукоизоляции образцов весь диапазон измерений делится на третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами от 20 Гц до 16 кГц, в соответствии с ГОСТ 12090-80 «Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды». Звукоизоляция определялась как разность уровней звукового давления при прохождении звука через исследуемый образец материала и в его отсутствие.

### Результаты и их обсуждение

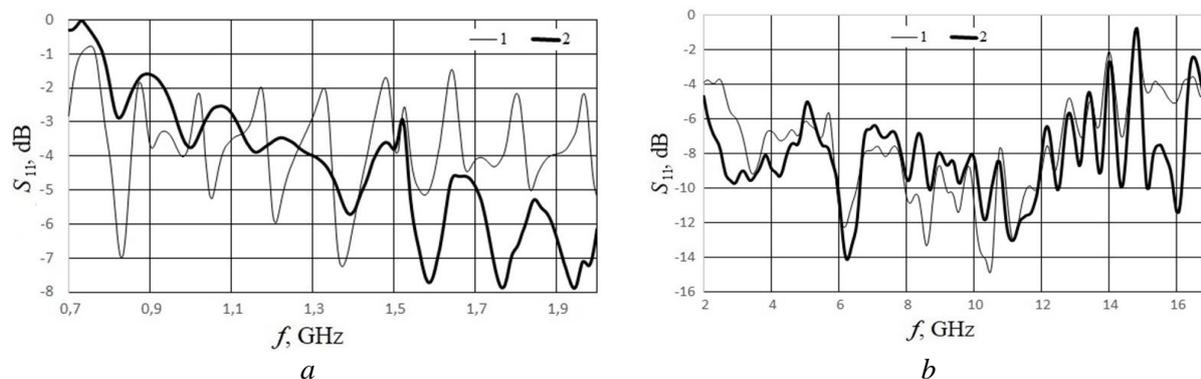
Проводились измерения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазонах УВЧ и СВЧ. Показано, что у образцов экранов первого типа величины коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–2 ГГц составили –0,5...–2,7 дБ в режиме холостого хода и –1,0...–5,6 дБ в режиме короткого замыкания (рис. 1, *a*), в то время, как в диапазоне частот 2–17 ГГц их величины составили –3,8...–19,0 дБ в режиме холостого хода и –2,0...–15,0 дБ в режиме короткого замыкания (рис. 1, *b*).



**Рис. 1.** Зависимости коэффициента отражения от частоты электромагнитного излучения для образцов экранов первого типа: *a* – в диапазоне 0,7–2 ГГц; *b* – в диапазоне 2–17 ГГц (1 – в режиме холостого хода; 2 – в режиме короткого замыкания)

**Fig. 1.** The frequency dependencies of the reflection coefficients the shields samples of the first type: *a* – in the range 0,7–2 GHz; *b* – in the range 2–17 GHz (1 – in the idle mode; 2 – in the short circuit mode)

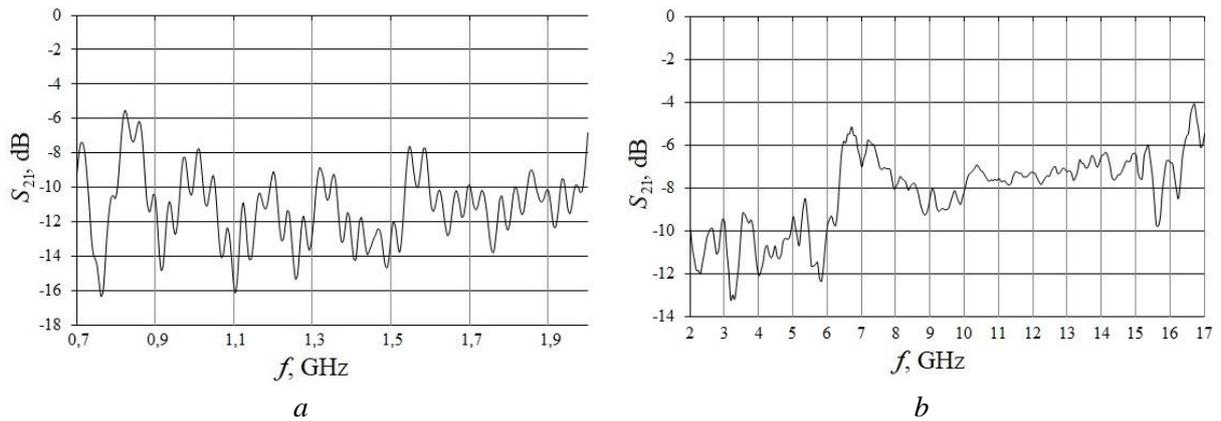
Для образцов экранов второго типа в диапазоне частот 0,7–17 ГГц величины коэффициента отражения составили –2,7...–5,2 дБ в режиме холостого хода и –0,5...–7,2 дБ в режиме короткого замыкания (рис. 2, *a*), в то же время, как в диапазоне частот 2–17 ГГц их величины составили –4,0...–11,0 дБ в режиме холостого хода и –5,0...–12,0 дБ в режиме короткого замыкания (рис. 2, *b*).



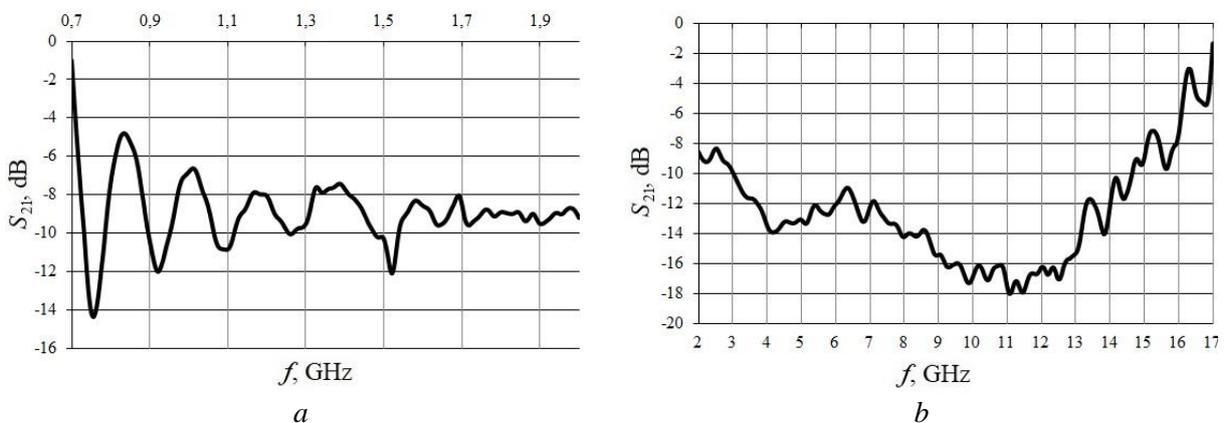
**Рис. 2.** Зависимости коэффициента отражения от частоты электромагнитного излучения образцов экранов второго типа: *a* – в диапазоне 0,7–2 ГГц; *b* – в диапазоне 2–17 ГГц (1 – в режиме холостого хода; 2 – в режиме короткого замыкания)

**Fig. 2.** The frequency dependencies of the reflection coefficients of the shields samples of the second type: *a* – in the range 0,7–2 GHz; *b* – in the range 2–17 GHz (1 – in the idle mode; 2 – in the short circuit mode)

Получены также величины коэффициента передачи электромагнитного излучения для изготовленных образцов электромагнитных экранов (рис. 3, 4). Установлено, для образцов экранов первого типа указанные значения в диапазонах частот 0,7–2 ГГц (рис. 3, *a*) и 2–17 ГГц (рис. 3, *b*) составили –5,9...–16,2 дБ и –5,4...–13,2 дБ соответственно. Для образцов экранов второго типа значения коэффициента передачи электромагнитного излучения в диапазонах 0,7–17 ГГц (рис. 3, *a*) и 2–17 ГГц (рис. 3, *b*) соответственно варьировались в пределах –2,0...–12,2 дБ и –4...–18,0 дБ.

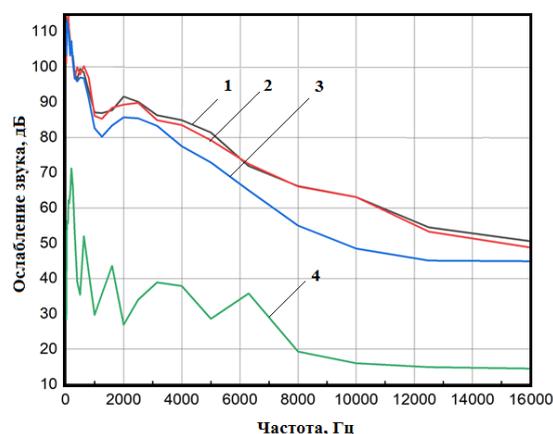


**Рис. 3.** Зависимости коэффициентов передачи от частоты электромагнитного излучения образцов экранов первого типа: *a* – в диапазоне 0,7–2 ГГц; *b* – в диапазоне 2–17 ГГц  
**Fig. 3.** The frequency dependencies of the transmission coefficients of the shields samples of the first type: *a* – in the range 0,7–2 GHz; *b* – in the range 2–17 GHz



**Рис. 4.** Зависимости коэффициентов передачи от частоты электромагнитного излучения образцов экранов второго типа: *a* – в диапазоне 0,7–2 ГГц; *b* – в диапазоне 2–17 ГГц  
**Fig. 4.** The frequency dependencies of the transmission coefficients of the shields samples of the second type: *a* – in the range 0,7–2 GHz; *b* – in the range 2–17 GHz

На рис. 5 представлены звукоизоляционные характеристики исследованных образцов экранов в сравнении со звукоизоляционной характеристикой полиэтиленовых пластин толщиной 600 мм, которые в настоящее время широко используются в целях снижения уровней акустических шумов, воздействующих на помещения.



**Рис. 5.** Звукоизоляционные характеристики воздушной среды (кривая 1), образцов экранов первого и второго типов (кривые 2 и 3 соответственно), полиэтиленовой пластины толщиной 600 мм (кривая 4)  
**Fig. 5.** Sound insulation characteristics of the air (curve 1), shields samples of the first and the second types (curves 2 and 3 respectively), a polyethylene plate 600 mm thick (curve 4)

Как видно из рис. 5, изготовленные и исследованные экраны первого и второго типов обеспечивают ослабление звука на 2–3 дБ и на 2–12 дБ в диапазоне частот 20–16000 Гц.

### Заключение

Показано, что величины коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц экранов, изготовленных на основе углеродосодержащего иглопробивного полотна и фрагментов алюминиевой фольги в соответствии с предложенным способом, составляют –0,5...–19,0 дБ при величинах коэффициента передачи электромагнитного излучения –2,0...–18,0 дБ. Определено, что путем изменения содержания углерода в иглопробивном материале и геометрических размеров фрагментов алюминиевой фольги можно обеспечить в заданном диапазоне частот требуемые характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения указанных экранов. В частности, при повышении процентного содержания углерода в иглопробивном материале можно снизить значения их коэффициента передачи электромагнитного излучения, при этом их масса и линейные размеры существенно не изменятся. При изменении формы фрагментов алюминиевой фольги можно снизить значения коэффициента отражения электромагнитного излучения таких экранов. Простота технологического процесса их изготовления и низкая степень подверженности применяемых при этом материалов к воздействию внешней среды являются факторами, обуславливающими невысокую стоимость таких экранов по сравнению с аналогами.

Принимая во внимание звукоизоляционные и электромагнитные свойства исследованных экранов, можно сделать вывод о том, что они могут найти применение в качестве элементов конструкций, предназначенных для облицовки стен помещений, в пределах которых циркулирует информация ограниченного распространения. Эти экраны будут способствовать защите такой информации от утечки по акустическому каналу, а также каналу побочного электромагнитного излучения и наводок.

### Список литературы

1. Prudnik A., Beloglazov A., Kudryavtseva T., Lynkou L. Production technology and shielding properties of the needle-punched non-woven fabrics with carbon additives. (20–22 September 2017). *Electromagnetic disturbances EMD 2017: Proceedings of the 24<sup>th</sup> International conference*. Poland, Białystok, 2017. P. 108–111.
2. Абдулхадид Х.Д.А., Белоусова Е.С., Прудник А.М., Лыньков Л.М. Механические и электромагнитные свойства экранов на основе иглопробивного материала с проводящими и диэлектрическими покрытиями. *Вестні НАН Беларусі*. 2019; 64(1):44-50.
3. Зельманский О.Б., Худолей И.С., Прудник А.М., Лыньков Л.М., Петров С.Н. Методика оценки снижения разборчивости речи конструкциями для средств защиты информации. *Вестник Военной Академии Республики Беларусь*. 2010; 2:153-158.

### 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. (20–22 September 2017). *Electromagnetic disturbances EMD 2017: Proceedings of the 24<sup>th</sup> International conference*, Poland, Białystok, 2017. P. 108–111.
2. Abdulhadi H.D.A., Belousova E.S., Prudnik A.M., Lyn'kov L.M. [Mechanical and electromagnetic properties of the shields on the base of needle-punched material with conductive and dielectric coatings]. *Vesci NAN Belarusi = Vesci NAN Belarusi*. 2019; 64(1):44-50. (in Russ.)
3. Zelmanski O.B., Hudolej I.S., Prudnik A.M., Lyn'kov L.M., Petrov S.N. [Methodology for assessing the decrease in speech intelligibility by designs for information security tools]. *Vestnik Voennoj akademii Respubliki Belarus = Vestnik Voennoj akademii Respubliki Belarus*. 2010; 2:153-158. (in Russ.)

### Вклад авторов

Абдулхадид Х.Д.А. и Аль-Машатт Е.А.А. изготовили образцы экранов и провели измерения значений их коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения.

Бойправ О.В. разработала способ изготовления экранов и выполнила интерпретацию результатов измерения их значений коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения.

Богуш В.А. определил цель проведения исследования, поставил задачи, выполнил интерпретацию результатов измерения звукоизоляционных характеристик экранов.

Прудник А.М. выполнил измерение звукоизоляционных характеристик экранов, описал полученные результаты исследования.

### Authors contribution

Abdulhadi H.D.A. and Al-Mashatt E.A.A. made shields samples and measured their electromagnetic radiation reflection and transmission coefficients values.

Boiprav O.V. developed a method for shields manufacturing and interpreted the results of their electromagnetic radiation reflection and transmission coefficients values.

Bogush V.A. defined the purpose of the study, set tasks, performed an interpretation of the measurement results of the shields soundproofing characteristics.

Prudnik A.M. performed the measurement of soundproofing characteristics of screens, described the results of the study.

### Сведения об авторах

Абдулхадид Х.Д.А., аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Аль-Машатт Е.А.А., аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Бойправ О.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Богуш В.А., д.ф.-м.н., профессор, ректор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Прудник А.М., к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

Abdulhadi H.D.A., PG student of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Al-Mashatt E.A.A., PG student of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Boiprav O.V., PhD, Associate Professor, Associate Professor of Information Security Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Bogush V.A., D.Sci, Professor, Rector of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Prudnik A.M., PhD, Associate Professor, Associate Professor of Engineering Psychology and Ergonomics Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
+375-17-293-88-24;  
e-mail: aleksander.prudnik@bsuir.by  
Прудник Александр Михайлович

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brouki str., 6,  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
+375-17-293-88-24;  
E-mail: aleksander.prudnik@bsuir.by  
Prudnik Aleksander Mikhailovich