



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-6-94-100>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.3.085.345:004.056.5

ШИРОКОДИАПАЗОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ЭКРАНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПСЕВДООВАЛЬНЫХ РАССЕИВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ КАНАЛУ

С.Э. САВАНОВИЧ., Т.В. БОРБОТЬКО

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

Поступила в редакцию 6 июня 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В работе рассмотрены результаты исследования влияния взаимного расположения влагосодержащих псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 10...20, 2...4, 1...4 и 1...2 мм на значения коэффициентов отражения конструкций экранов электромагнитного излучения, включающих в себя эти элементы, и эффективной поверхности рассеяния наземных объектов, на поверхности которых закреплены или нанесены указанные конструкции. Размещение трех- или двухслойных структур, сформированных на основе псевдоовальных элементов с линейными размерами 2...4, 1...4, 1...2 мм, между двумя монослоями, выполненными на основе элементов с размерами 10...20 мм, приводит к снижению до -17,6 дБ значений коэффициентов отражения в диапазоне частот 2–12 ГГц конструкций экранов электромагнитного излучения, включающих в себя эти элементы. Значения эффективной поверхности рассеяния наземных объектов, на поверхности которых размещены указанные конструкции экранов электромагнитного излучения, варьируются в пределах 0,08...11,80 м², что свидетельствует о существенном затруднении перехвата информации о местоположении и характеристиках наземных объектов средствами технической разведки в диапазоне частот их функционирования.

Ключевые слова: защита информации, конструкция экрана электромагнитного излучения, псевдоовальный рассеивающий элемент, хлорид натрия, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, коэффициент отражения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Саванович С.Э., Борботько Т.В. Широкодиапазонная конструкция экрана электромагнитного излучения на основе псевдоовальных рассеивающих элементов для защиты информации от утечки по электромагнитному каналу. Доклады БГУИР. 2022; 20(6): 94-100.

WIDE-BAND ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING CONSTRUCTION BASED ON PSEUDO-OVAL SCATTERING ELEMENTS FOR INFORMATION PROTECTION AGAINST LEAKAGE VIA ELECTROMAGNETIC CHANNEL

SVIATLANA E. SAVANOVICH, TIMAFEY V. BORBOTKO

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

Submitted 6 June 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The paper considers the results of a study of the influence of the relative position of moisture-containing pseudo-oval scattering elements with linear dimensions of 10...20, 2...4, 1...4 and 1...2 mm on the electromagnetic radiation reflection coefficients values of the electromagnetic radiation shielding structures, including these elements, and the effective scattering surface of the ground objects, on the surface of which the indicated structures are fixed or applied. Placement of three- or two-layer structures formed on the basis of pseudo-oval elements with linear dimensions of 2...4, 1...4, 1...2 mm, between two monolayers made on the basis of elements with dimensions of 10...20 mm, leads to the decrease up to -17,6 dB of the electromagnetic radiation reflection coefficients values in the frequency range of 2–12 GHz of the electromagnetic radiation shielding structures, including these elements. The values of the effective scattering surface of ground objects, on the surface of which the indicated electromagnetic radiation shielding structures are located, vary within 0,08...11,80 m², which is the reason of a significant difficulty in intercepting information about the location and characteristics of ground objects by means of technical intelligence in the frequency range of their operation.

Keywords: information security, electromagnetic radiation shielding structure, pseudo-oval scattering element, sodium chloride, sodium carboxymethyl cellulose, reflection coefficient.

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

For citation. Savanovich S.E., Borbotko T.V. Wide-Band Electromagnetic Radiation Shielding Construction Based on Pseudo-oval Scattering Elements for Information Protection Against Leakage Via Electromagnetic Channel. Doklady BGUIR. 2022; 20(6): 94-100.

Введение

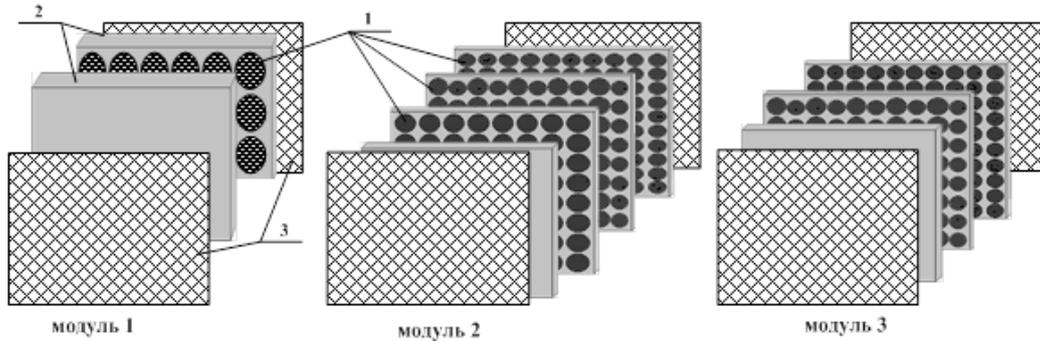
Одна из задач обеспечения защиты информации направлена на противодействие утечке информации, распространение которой ограничено [1], в том числе информации о местоположении и характеристиках наземных объектов, содержащейся в отраженных от их поверхности электромагнитных излучений (ЭМИ), формируемых средствами технической разведки (СТР) и осуществляющих ее получение по электромагнитному каналу (ЭМК) [2]. Решение указанной задачи сводится к уменьшению информативности демаскирующих признаков наземных объектов, включающих снижение их отражательных свойств и, соответственно, эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) за счет применения конструкций экранов ЭМИ [3], наносимых или закрепляемых на поверхности наземных объектов.

Учитывая, что защиту информации о наземных объектах необходимо обеспечивать в диапазоне частот 2–12 ГГц [4], актуальным представляется разработка широкодиапазонной конструкции экрана ЭМИ на основе псевдоовальных рассеивающих элементов, содержащих растворы хлорида натрия (NaCl). Целесообразность применения таких элементов в конструкциях экранов ЭМИ установлена в работах [5, 6].

Методика проведения эксперимента

Разработана конструкция экрана ЭМИ в виде совмещенных по ее ширине модулей, выполненных на основе влагосодержащих псевдоовальных рассеивающих элементов 1 и связующего материала 2 (рис. 1). Придание конструкции прочностных свойств обеспечивалось

применением армирующих элементов 3. Модуль 1 выполнен в виде монослоя, образованного при объединении двух слоев связующего материала, между которыми равномерно распределен слой влагосодержащих элементов, линейный размер которых в поперечнике составлял 10...20 мм. Модули 2 и 3 получены в результате объединения четырех и трех слоев связующего материала, между смежными слоями которого размещены элементы с размерами 2...4, 1...4, 1...2 и 1...4, 1...2 мм соответственно в порядке уменьшения их линейных размеров по отношению к поверхности наземных объектов.



1 – псевдоовальные рассеивающие элементы; 2 – связующий материал; 3 – армирующие элементы
1 – pseudooval scattering elements; 2 – binding material; 3 – reinforcing elements

Рис. 1. Эскиз модулей, выполненных на основе псевдоовальных рассеивающих элементов
Fig. 1. Sketch of modules made on the basis of pseudooval scattering elements

Для установления влияния размеров элементов и их взаимного расположения в конструкции экрана ЭМИ на ширину ее рабочего диапазона частот предложены три варианта ее конструктивного решения (рис. 2):

- 1) экран ЭМИ № 1 (рис. 2, *a*) – два модуля 1, между которыми размещен модуль 2;
- 2) экран ЭМИ № 2 (рис. 2, *b*) – два модуля 1, между которыми размещен модуль 3;
- 3) экран ЭМИ № 3 (рис. 2, *c*) – два модуля 3, между которыми размещен модуль 1.

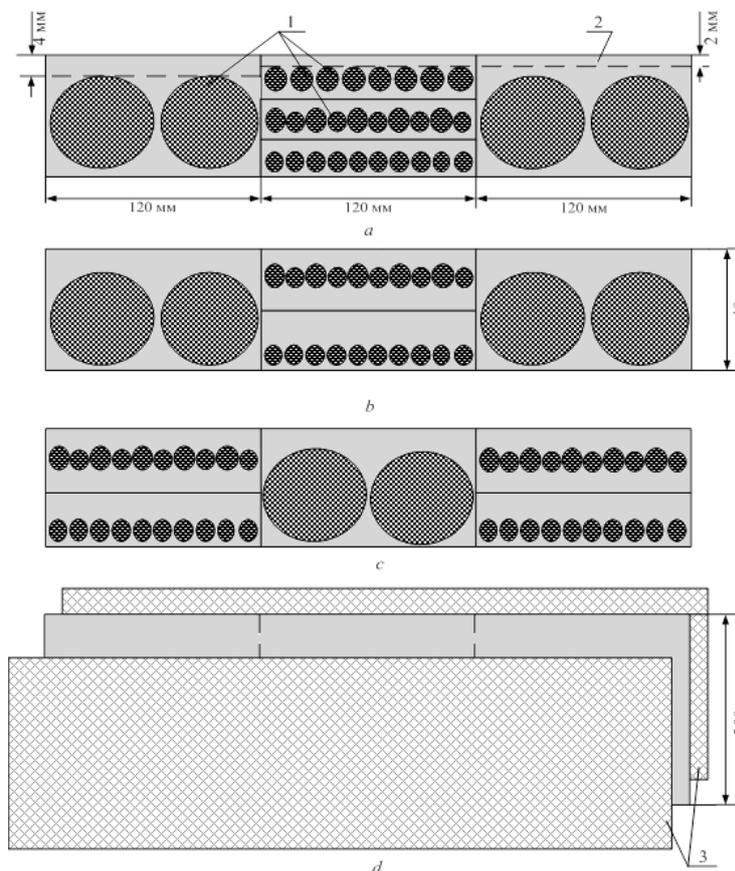


Рис. 2. Эскиз конструкций экранов электромагнитного излучения: *a, b, c* – вид спереди в разрезе, *d* – вид сверху
Fig. 2. Electromagnetic radiation shields scratch: *a, b, c* – sectional front view, *d* – view from above

Конструкции экранов ЭМИ, выполненные на основе вышеперечисленных псевдоовальных рассеивающих элементов, при их нанесении или закреплении на поверхности наземных объектов будут обеспечивать противодействие утечке информации в широком диапазоне частот за счет уменьшения ЭПР наземных объектов в случае согласования волновых сопротивлений внешней и нижней поверхностей экранов, свободного пространства и поверхности наземных объектов.

Согласование поверхностей экранов ЭМИ № 1–3 и свободного пространства обеспечивалось применением в качестве связующего материала полиуретановой мастики, которая является диэлектрическим материалом неорганического происхождения. Согласование поверхностей экранов ЭМИ и поверхности наземных объектов обеспечивалось ступенчатым увеличением диэлектрической проницаемости элементов, применяемых в конструкциях экранов, за счет пропитки псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 10...20 и 1...2 мм растворами NaCl 20 % концентрации под воздействием вакуума, с размерами 2...4 и 1...4 растворами электролита указанной концентрации методом иммерсионного смачивания.

Влагосодержание псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 10...20 и 1...2 мм составляло 41...45 %, 2...4 и 1...4 мм – 22...24 и 26...30 % соответственно.

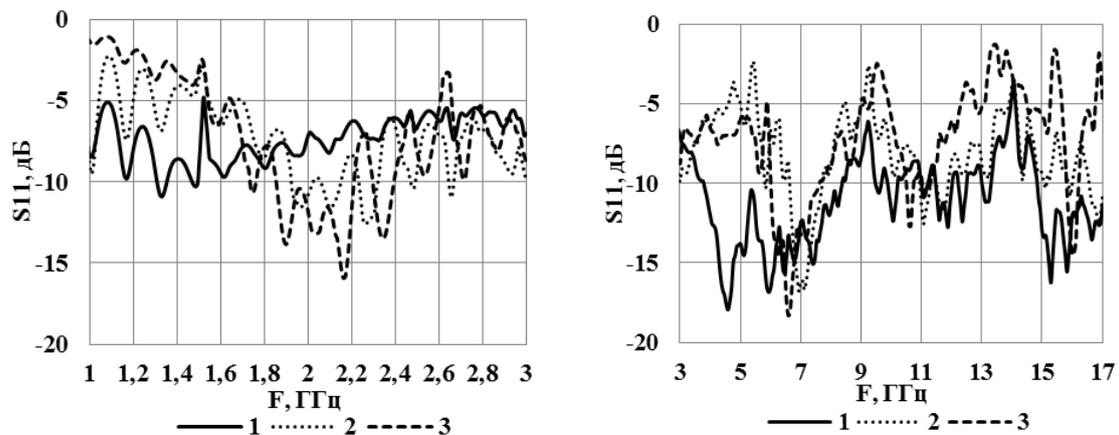
Толщина образцов экранов ЭМИ определялась в результате экспериментальных исследований и составляла 10 мм при линейном их размере 360 × 300 мм. Выбор размеров элементов, применяемых в экранах ЭМИ № 1–3, и их взаимное размещение относительно друг друга обусловлен диапазоном частот, в котором функционируют СТР.

Определение значений коэффициентов отражения ЭМИ образцов экранов № 1–3 в диапазоне частот 2–12 ГГц осуществлялось с помощью панорамного измерителя коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18 с рупорными антеннами П6–23 М по методике, приведенной в [7]. При измерении значений коэффициентов отражения ЭМИ образцы экрана размещались на металлической подложке.

Измерение значений ЭПР образцов экранов ЭМИ № 1–3 выполнялось с помощью специализированного измерительного комплекса, состоящего из безэховой камеры, системы пространственной фиксации исследуемых образцов экрана, векторного анализатора электрических цепей Anristu VectorStar MS4642B и комплекта антенн П6-23А, в соответствии с методикой, приведенной в [8].

Результаты и их обсуждение

На основании анализа полученных результатов установлено, что в диапазоне частот 1–17 ГГц значения коэффициентов отражения образцов экранов ЭМИ № 1 и 2 варьируются в пределах –4,7...–17,6 и –2,5...–16,8 дБ соответственно (рис. 3). Значения коэффициента отражения образца экрана ЭМИ № 3 составляют –1,3...–18,3 дБ в рассматриваемом диапазоне частот.



Образцы экрана электромагнитного излучения: 1 – № 1, 2 – № 2, 3 – № 3
Electromagnetic radiation shield samples: 1 – No. 1, 2 – No. 2, 3 – No. 3

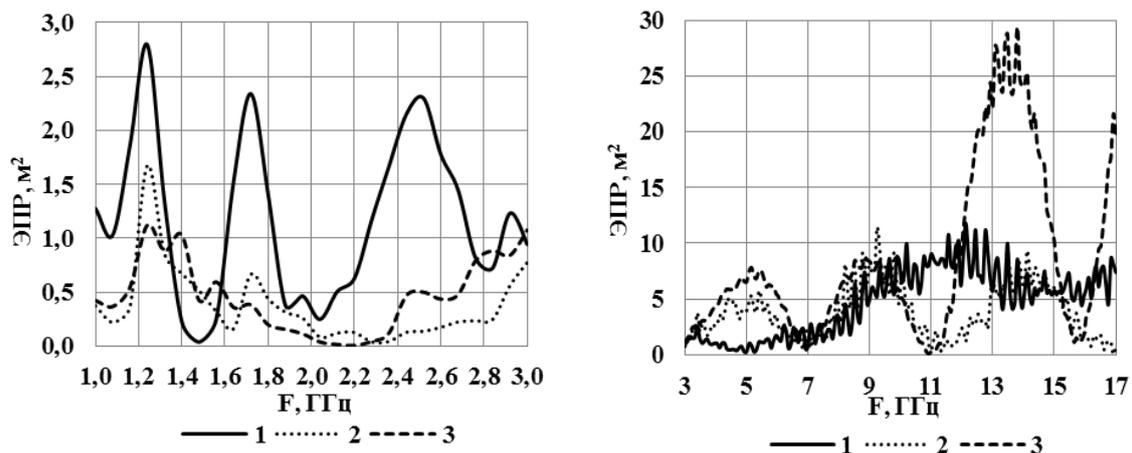
Рис. 3. Частотные зависимости (диапазон частот 1–17 ГГц) значений коэффициентов отражения электромагнитного излучения образцов экрана № 1–3, размещенных на металлической подложке
Fig. 3. Frequency dependences (frequency range 1–17 GHz) of electromagnetic radiation reflection coefficients values of the shield samples No. 1–3, placed on a metal substrate

Показано, что удаление псевдоовальных элементов с линейным размером 2...4 мм в образце экрана ЭМИ № 1 обеспечивает для образца экрана № 2 снижение его значений коэффициента отражения на частотах 1,9–3,4 ГГц при их одновременном увеличении на частотах 3,4–17,0 ГГц. Разница в значениях коэффициента отражения ЭМИ на указанных частотах составляет –3,4...–5,2, –1,5...–13,9 дБ соответственно. Это обусловлено ухудшением согласования поверхности образца экрана ЭМИ № 2 и свободного пространства, что подтверждается наличием резонанса на частотах 1,9–2,3 ГГц, свойственного для рассеивающих элементов с линейным размером 10...20 мм.

Определено, что уменьшение в два раза содержания элементов с линейным размером 10...20 мм при двукратном увеличении элементов с размерами 1...4 и 1...2 мм в образце экрана ЭМИ № 2 обеспечивает для образца экрана № 3 снижение его значений коэффициента отражения на частотах 1,9–2,3 ГГц при одновременном их увеличении на частотах 9,3–17,0 ГГц и не оказывает существенного влияния на его значения коэффициента отражения на частотах 1,0–9,3 ГГц. Разница в значениях коэффициентов отражения ЭМИ на указанных частотах составляет от –3,1 до –7,6 дБ.

Установлено, что комбинация элементов с линейными размерами 10...20, 2...4, 1...4 и 1...2 мм, реализованная в образце экрана ЭМИ № 1, обеспечивает снижение его значений коэффициента отражения в 2...4 раза на частотах 1–8 и 3–17 ГГц по сравнению с конструкциями, выполненными в виде монослоев на основе элементов с размерами 10...20 и 1...2 мм соответственно. Сочетание элементов с размерами 10...20, 1...4 и 1...2 мм, реализованное в образцах экранов ЭМИ № 2 и 3, обеспечивает снижение их значений коэффициентов отражения в 1,5...2,0 раза на частотах 1–3 ГГц по сравнению с конструкциями, выполненными в виде монослоев на основе элементов с размерами 10...20 и 1...2 мм.

Показано, что размещение образца экрана ЭМИ № 1 на поверхности наземных объектов позволяет снизить их значения ЭПР в 2...5 раз на частотах 2,8–17,0 ГГц по сравнению с конструкцией, выполненной в виде монослоя на основе элементов с размером 10...20 мм, в 1,5...10 раз на частотах 3,0–8,2 и 10–17 ГГц по сравнению с монослоем, выполненным на основе элементов с размером 1...2 мм (рис. 4). Применение образцов экранов ЭМИ № 2 и 3 приводит к снижению значений ЭПР наземных объектов в 10...15 раз на частотах 2–3, 6,4–12,0, 5,2–7,7 и 9,8–12,0 ГГц соответственно по сравнению с конструкциями, выполненными в виде монослоя, на основе элементов с размерами 10...20 и 1...2 мм.



Образцы экрана электромагнитного излучения: 1 – № 1, 2 – № 2, 3 – № 3
Electromagnetic radiation shield samples: 1 – No. 1, 2 – No. 2, 3 – No. 3

Рис. 4. Частотные зависимости (диапазон частот 1–17 ГГц) значений эффективной поверхности рассеяния образцов экрана № 1–3, размещенных на металлической подложке
Fig. 4. Frequency dependences (frequency range 1–17 GHz) of the effective scattering surface values of the shield samples No. 1–3, placed on a metal substrate

Заключение

Таким образом, показана возможность управляемого изменения значений ЭПР наземных объектов за счет варьирования линейных размеров и взаимного расположения влагосодержащих псевдоэллиптических рассеивающих элементов в конструкциях экранов ЭМИ, наносимых или закрепляемых на их поверхности. Определено, что оптимальным вариантом выполнения конструкции экрана ЭМИ, обеспечивающим противодействие получению достоверной информации о местоположении и характеристиках наземных объектов в диапазоне частот функционирования СТР, являются конструкции, выполненные в виде трех- или двухслойных структур, сформированных на основе влагосодержащих псевдоэллиптических рассеивающих элементов с линейными размерами 2...4, 1...4 и 1...2 мм, размещенные между двумя монослоями, выполненными на основе элементов с размерами 10...20 мм. В диапазоне частот 2–12 ГГц указанные конструкции экранов ЭМИ характеризуются значениями коэффициентов отражения до –17,6 дБ, что соответствует, в случае нанесения или закрепления их на поверхности наземных объектов, значениям ЭПР в пределах 0,08...11,80 м², что свидетельствует о существенном затруднении перехвата информации о местоположении и характеристиках наземных объектов СТР [9].

Список литературы

1. Акиншин Р.Н., Анищенко А.В., Ашурбейли И.Р., Киселев В.Д., Есиков О.В., Кислицын А.С. *Модели технических разведок и угроз безопасности информации*. Москва: Радиотехника; 2003.
2. Legenkiy M., Khrychov V. Numerical modeling of electromagnetic scattering from complex shape object with coating. *Frequenz*. 2022;76(1-2):75-82. DOI: 10.1515/freq-2021-0062.
3. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Терех И.С., Хижняк А.В. *Поглотители электромагнитного излучения. Применение в вооруженных силах*. Минск: Бестпринт; 2006.
4. Федюнин П.А., Казьмин А.И. *Способы радиоволнового контроля параметров защитных покрытий авиационной техники*. Москва: Физматлит; 2012.
5. Саванович С.Э., Борботько Т.В. Влияние вязкости водного раствора хлорида натрия, введенного в поры керамзита, на его радиопоглощающие свойства. *Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук*. 2016;2:115-119.
6. Борботько Т.В., Саванович С.Э. Влияние влагосодержания керамзита на значения коэффициента отражения электромагнитного излучения конструкций экранов, выполненных на его основе. *Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук*. 2021;66(3):93-100. DOI 10.29235/1561-8358-2021-66-1-93-100.
7. Неймах М.Р., Бойправ О.В., Борботько Т.В., Лыков Л.М. *Радиоэкранирующие модульные конструкции на основе порошкообразных материалов*. Минск: Бестпринт; 2013.
8. Вождаев В.В., Теперин Л.Л. *Характеристики радиолокационной заметности летательных аппаратов*. Москва: ФИЗМАТЛИТ; 2018.
9. Maslovskiy A., Vasylets V., Nechitaylo S., Sukharevsky O. Method of radar masking of the ground based military equipment objects. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019;78(1):47-58. DOI 10.1615/TelecomRadEng.v78.i1.60.

References

1. Akinshin R.N., Anishchenko A.V., Ashurbeyli I.R., Kiselev V.D., Yesikov O.V., Kislitsyn A.S. [*Models of technical intelligence and information security threats*]. Moscow: Radiotekhnika; 2003. (in Russ.)
2. Legenkiy M., Khrychov V. Numerical modeling of electromagnetic scattering from complex shape object with coating. *Frequenz*. 2022;76(1-2):75-82. DOI: 10.1515/freq-2021-0062.
3. Borbotko T.V., Kolbun N.V., Lyn'kov L.M., Terekh I.S., Khizhnyak A.V. [*Electromagnetic radiation absorbers. Use in the armed forces*]. Minsk: Bestprint; 2006. (in Russ.)
4. Fedyunin P.A., Kazmin A.I. [*Methods of radio-wave control of parameters of protective coatings of aviation equipment*]. Moscow: Fizmatlit; 2012. (in Russ.)
5. Savanovich S.E., Borbotko T.V. [The effect of the viscosity of an aqueous solution of sodium chloride introduced into the pores of expanded clay on its radar absorbing properties]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*. 2016;2:115-119. (in Russ.)

6. Borbot'ko T.V., Savanovich S.E. [Water content of expanded clay influence on the reflection coefficient of electromagnetic shield]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*. 2021;66(3):93-100. DOI: 10.29235/1561-8358-2021-66-1-93-100. (in Russ.)
7. Neamach M.R., Boyprav O.V., Borbotko T.V., Lynkov L.M. [*Radio-Shielding Modular Structures Based on Powder Materials*]. Minsk: Bestprint Publ; 2013. (in Russ.)
8. Vozhdaev V.V., Teperin L.L. [*Characteristics of radar visibility of aircraft*]. Moscow: FIZMATLIT; 2018. (in Russ.)
9. Maslovskiy A., Vasylets V., Nechitaylo S., Sukharevsky O. Method of radar masking of the ground based military equipment objects. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019;78(1):47-58. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v78.i1.60.

Вклад авторов

Борботько Т.В. определил цель и задачи проведения исследования.

Саванович С.Э. разработала варианты конструктивного исполнения экранов электромагнитного излучения, изготовила их образцы и выполнила интерпретацию результатов измерений значений коэффициентов отражения и эффективной поверхности рассеяния широкодиапазонных конструкций экранов, выполненных на основе псевдоовальных рассеивающих элементов.

Authors' contribution

Borbotko T.V. defined the purpose and objectives of the study.

Savanovich S.E. developed variants of the design of electromagnetic radiation screens, produced their samples and interpreted the measurement results of the reflection coefficients and the effective scattering surface of wide-range screen designs made on the basis of pseudooval scattering elements.

Сведения об авторах

Борботько Т.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Саванович С.Э., ассистент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Information about the authors

Borbotko T.V., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Information Security of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Savanovich S.E., Assistant at the Department of Information Security of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники;
тел. +375 17 293-84-56;
e-mail: svet sav@bsuir.by
Саванович Светлана Эдуардовна

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka St., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics;
tel. +375 17 293-84-56;
e-mail: svet sav@bsuir.by
Sviatlana Savanovich