

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
RADIOELECTRONICS, INSTRUMENT-MAKING

УДК 621.3.085.345-026.66:004.056.5
<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2022-67-2-214-221>

Поступила в редакцию 14.02.2022
Received 14.02.2022

С. Э. Саванович, Т. В. Борботько

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

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

Аннотация. Рассмотрены результаты исследования значений коэффициентов отражения и эффективной поверхности рассеяния разработанной конструкции экрана электромагнитного излучения в диапазоне частот 2...12 ГГц. Конструкция состоит из слоя влагосодержащих псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 1...4, 1...2 и 10...20 мм, который размещен между двумя слоями полиуретановой герметизирующей мастики. Применение в разработанной конструкции экрана электромагнитного излучения псевдоовальных элементов с линейными размерами 1...4 мм, содержащих растворы, выполненные на основе 20%-ного раствора, позволяет снизить значения коэффициентов отражения электромагнитного излучения на частотах 4,2...6,5 и 1,0...4,1, 8,0...12,0 ГГц. Формирование конструкции экрана электромагнитного излучения на основе элементов с линейными размерами 1...2 и 10...20 мм, пропитанных 20%-ным раствором хлорида натрия, приводит к снижению значений коэффициентов отражения в диапазоне частот 2...12 ГГц. Установлено, что значения эффективной поверхности рассеяния наземных объектов в случае размещения или закрепления на их поверхности указанного варианта конструкции экрана электромагнитного излучения составляют 0,6...24,0 м² в диапазоне частот 2...12 ГГц, что обуславливает существенное затруднение получение достоверной информации о местоположении и характеристиках наземных объектов в рассматриваемом диапазоне частот.

Ключевые слова: конструкция экрана, электромагнитный канал, защита информации, псевдоовальный рассеивающий элемент, хлорид натрия, метод вакуума, коэффициент отражения, эффективная поверхность рассеяния

Для цитирования: Саванович, С. Э. Конструкция экрана электромагнитного излучения на основе псевдоовальных рассеивающих элементов для защиты информации от утечки по электромагнитному каналу / С. Э. Саванович, Т. В. Борботько // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2022. – Т. 67, №2. – С. 214–221. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2022-67-2-214-221>

Sviatlana E. Savanovich, Timafey V. Borbotko

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

**ELECTROMAGNETIC SHIELD DESIGN BASED ON PSEUDO-OVAL SCATTERING ELEMENTS
FOR INFORMATION PROTECTION FROM LEAKAGE VIA THE ELECTROMAGNETIC CHANNEL**

Abstract. The results of the study of the values of the reflection coefficients and the effective scattering surface of the developed design of the electromagnetic radiation screen in the frequency range of 2...12 GHz are considered. The structure consists of a layer of moisture-containing pseudo-oval scattering elements with linear dimensions of 1...4, 1...2 and 10...20 mm, which is placed between two layers of polyurethane sealing mastic. The use of pseudo-oval elements with

linear dimensions of 1...4 mm containing solutions made on the basis of a 20 % solution in the developed electromagnetic radiation screen design allows reducing the values of the reflection coefficients of electromagnetic radiation at frequencies 4.2...6.5 and 1.0...4.1, 8.0...12.0 GHz. The formation of a screen design based on elements with linear dimensions of 1...2 and 10...20 mm, impregnated with a 20 % sodium chloride solution, leads to a decrease in the values of reflection coefficients in the frequency range of 2...12 GHz. It is established that the values of the effective scattering surface of ground objects in case of placing or fixing of the specified design variant of the electromagnetic radiation screen on their surface are 0.6...24.0 m² in the frequency range of 2...12 GHz. This makes it significantly difficult to obtain reliable information about the location and characteristics of ground objects in the frequency range under consideration.

Keywords: shield design, electromagnetic channel, information protection, pseudooval scattering element, sodium chloride, vacuum method, reflection coefficient, effective scattering surface

For citation: Savanovich S. E., Borbotko T. V. Electromagnetic shield design based on pseudooval scattering elements for information protection from leakage via the electromagnetic channel. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2022, vol. 67, no. 2, pp. 214–221 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2022-67-2-214-221>

Введение. Известно [1], что получение информации о наземных объектах осуществляется в результате сопоставления интенсивностей электромагнитных излучений (ЭМИ), образованных при отражении поверхностью этих объектов и окружающей средой излучений, формируемых техническими средствами (ТС), которые функционируют в диапазоне частот 2...12 ГГц [2, 3]. Защита таких сведений является одной из актуальных задач [4], а ее решение состоит из комплекса мер, включающих снижение отражающих свойств наземных объектов [5]. Реализация этого способа осуществляется закреплением или нанесением на их поверхность конструкций экранов ЭМИ [6], обеспечивающих снижение интенсивности отраженных излучений до требуемого уровня. В численном выражении эффективность применения конструкции экрана в целях защиты информации о наземных объектах оценивается их значениями эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) в диапазоне частот функционирования ТС [7].

В [8, 9] показана целесообразность применения в твердотельных конструкциях экранов ЭМИ псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 1...4, 1...2 и 10...20 мм, содержащих растворы, сформированные на основе хлорида натрия (NaCl). Учитывая значительный вес таких конструкций и нестабильность их значений коэффициентов отражения электромагнитного излучения вследствие испарения растворного наполнителя, перспективным представляется формирование конструкции экрана путем закрепления влагосодержащих псевдоовальных элементов в полимерных материалах, что позволит получить гибкие конструкции экрана при низких затратах на их изготовление. Таким образом, актуальным представляется выполнение исследований влияния линейных размеров псевдоовальных элементов на значения коэффициентов отражения и эффективной поверхности рассеяния гибкой конструкции экрана электромагнитного излучения, выполненной на их основе, в диапазоне частот 2...12 ГГц.

Методика проведения исследований. Разработана конструкция экрана ЭМИ в виде монослоя, полученного в результате объединения двух слоев связующего материала 2, между которыми равномерно распределен слой влагосодержащих псевдоовальных рассеивающих элементов 1 с линейными размерами 1...4 мм, 1...2 и 10...20 мм (рис. 1). Придание конструкции экрана ЭМИ прочностных свойств обеспечивалось применением армирующих элементов 3.

Учитывая, что снижение значений коэффициентов отражения ЭМИ конструкций экранов обусловлено согласованием волновых сопротивлений на границе сред «свободное пространство – поверхность экрана», «поверхность экрана – поверхность наземного объекта», в качестве связующего материала применялась двухкомпонентная герметизирующая полиуретановая мастика марки ПолиСил (ТУ РБ 191766081.0002–2013), которая является диэлектрическим материалом неорганического происхождения, характеризуется стойкостью к воздействию агрессивных сред, в том числе растворов с высокой концентрацией NaCl, и эксплуатационных факторов в диапазоне температур от –60 до +70 °С, а также обладает высокой адгезией к бетону, металлу и полимерным покрытиям.

Согласование волновых сопротивлений на границе сред «поверхность экрана – поверхность наземного объекта» осуществлялось выбором формы рассеивающих элементов, которые

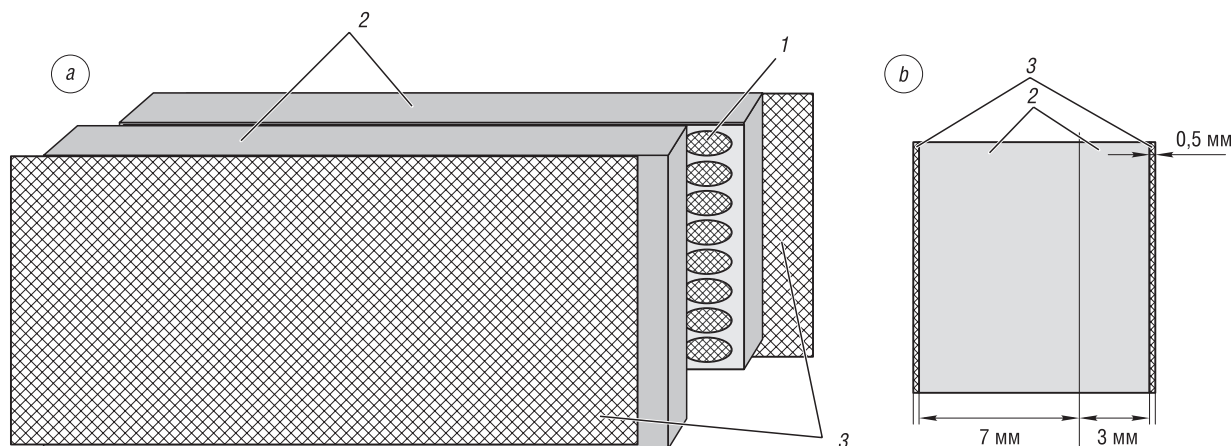


Рис. 1. Эскиз конструкции экрана электромагнитного излучения: *a* – составные элементы конструкции (*1* – псевдоовальные рассеивающие элементы, *2* – слои мастики, *3* – армирующие элементы); *b* – вид сбоку

Fig. 1. Sketch of electromagnetic shield design: *a* – composite design elements (*1* – pseudooval scattering elements, *2* – mastic layers, *3* – fiberglass); *b* – side view

пропитывались 20%-ным раствором NaCl и растворами, выполненными на основе 2%- и 4%-ного растворов карбоксиметилцеллюлозы (Na–КМЦ), в сочетании с раствором NaCl указанной концентрации. Толщина конструкции экрана ЭМИ определялась в результате экспериментальных исследований и составляла 10 мм при линейном ее размере 400×320 мм.

Для установления влияния элементов конструкции на ее значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 2...12 ГГц, было выполнено шесть образцов конструкции экрана (далее – образцы экрана № 1–6).

При формировании образцов экрана № 1 и 2 применялись псевдоовальные рассеивающие элементы с линейными размерами 1...4 и 10...20 мм, содержащие 20%-ный раствор NaCl; образцов № 3 и 5 – элементы с линейными размерами 1...4 и 1...2 мм, пропитанные раствором, выполненным на основе 2%-ного раствора Na–КМЦ и 20%-ного раствора NaCl; образцов № 4 и 6 – элементы с линейным размером 10...20 мм, содержащие 4%-ный раствор Na–КМЦ в сочетании с 20%-ным раствором NaCl. Пропитка элементов, применяемых в образцах № 1–4, выполнялась методом иммерсионного смачивания, в образцах № 5 и 6 – под воздействием вакуума.

Влагосодержание псевдоовальных элементов с линейным размером 1...4 мм в образцах экрана ЭМИ № 1 и 3 составляло 22...24 и 36...39 % соответственно; с линейным размером 1...2 мм в образце экрана № 5 – 45...48 %. Влагосодержание элементов с линейным размером 10...20 мм в образцах экрана ЭМИ № 2, 4 и 6 варьировалось в пределах 19...21 %, 38...40 и 41...45 % соответственно.

Определение значений коэффициентов отражения ЭМИ образцов экрана 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 [10]. При измерении значений коэффициентов отражения ЭМИ образцы экрана № 1–6 размещались на металлической подложке, которая имитировала поверхность наземного объекта.

Измерение значений ЭПР образцов экрана ЭМИ выполнялось с помощью специализированного измерительного комплекса, состоящего из безэховой камеры, системы пространственной фиксации исследуемых образцов экрана, векторного анализатора электрических цепей Anritsu VectorStar MS4642B и комплекта антенн П6-23А, в соответствии с методикой, приведенной в [11].

Результаты и их обсуждение. На основании анализа полученных результатов установлено, что в диапазоне частот 1...17 ГГц значения коэффициентов отражения ЭМИ образцов экрана № 1 и 2 варьируются в пределах $-0,7...-9,9$ и $-0,1...-10,7$ дБ (рис. 2). Значения коэффициента отражения ЭМИ образцов экрана № 3 и 4 составляют от $-1,6$ до $-15,2$ и от $-2,8$ до $-14,1$ дБ (рис. 3), образцов № 5 и 6 – от $-0,3$ до $-15,6$ и от $-1,8$ до $-17,1$ дБ в рассматриваемом диапазоне частот (рис. 4).

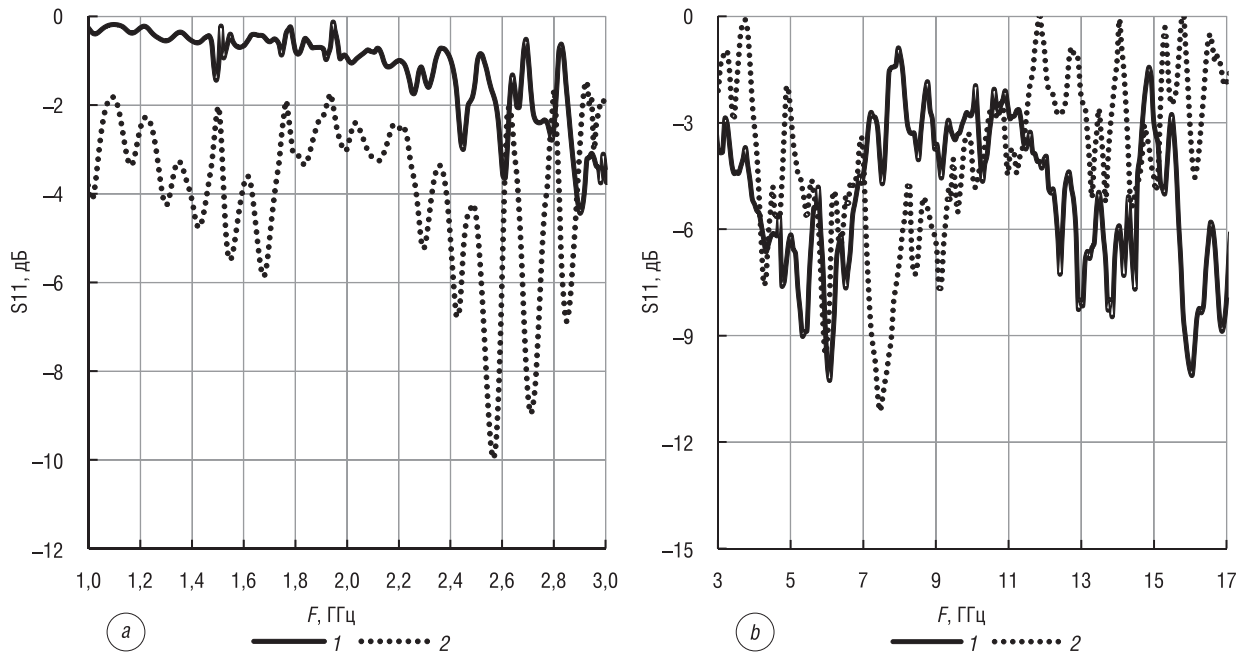


Рис. 2. Частотные зависимости (диапазон частот 1...17 ГГц) значений коэффициентов отражения электромагнитного излучения образцов экрана № 1 и 2, размещенных на металлической подложке; линейный размер псевдоэллиптических элементов: 1 – 1...4 мм, 2 – 10...20 мм

Fig. 2. Frequency dependencies (frequency range 1...17 GHz) of electromagnetic radiation reflection coefficients of shields samples no. 1 and 2 placed on a metal plate; linear size of pseudooval elements: 1 – 1...4 mm, 2 – 10...20 mm

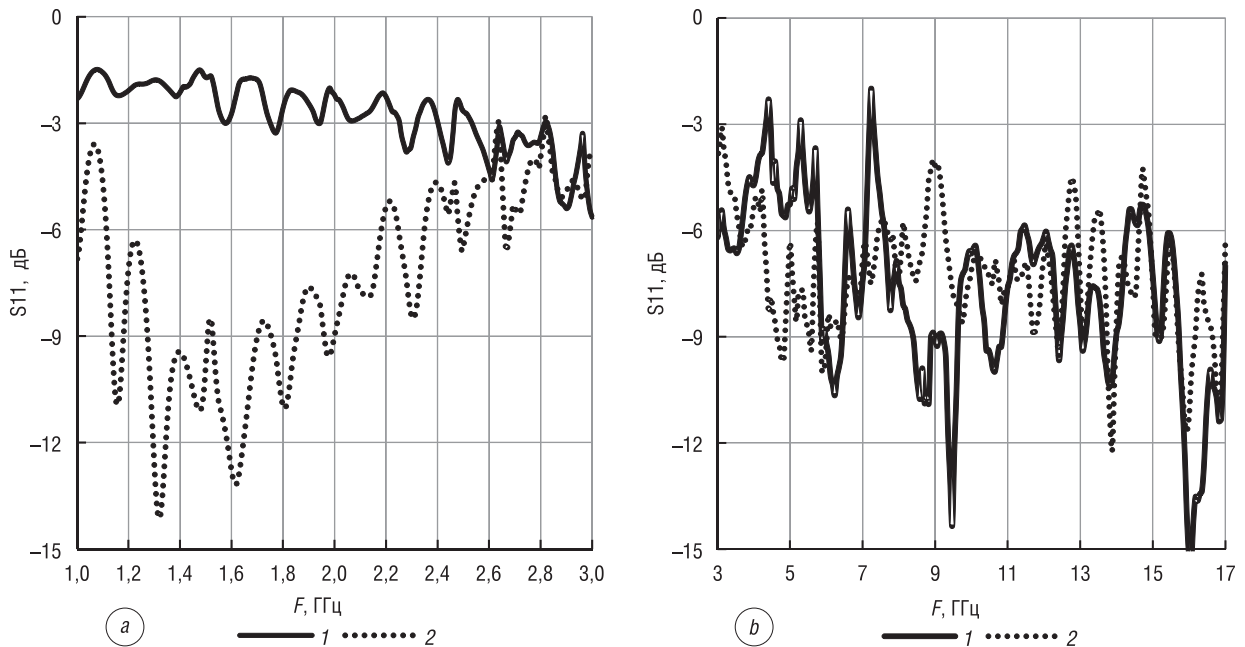


Рис. 3. Частотные зависимости (диапазон частот 1...17 ГГц) значений коэффициентов отражения электромагнитного излучения образцов экрана № 3 и 4, размещенных на металлической подложке; линейный размер псевдоэллиптических элементов: 1 – 1...4 мм, 2 – 10...20 мм

Fig. 3. Frequency dependencies (frequency range 1...17 GHz) of electromagnetic radiation reflection coefficients of shields samples no. 3 and 4 placed on a metal plate; linear size of pseudooval elements: 1 – 1...4 mm, 2 – 10...20 mm

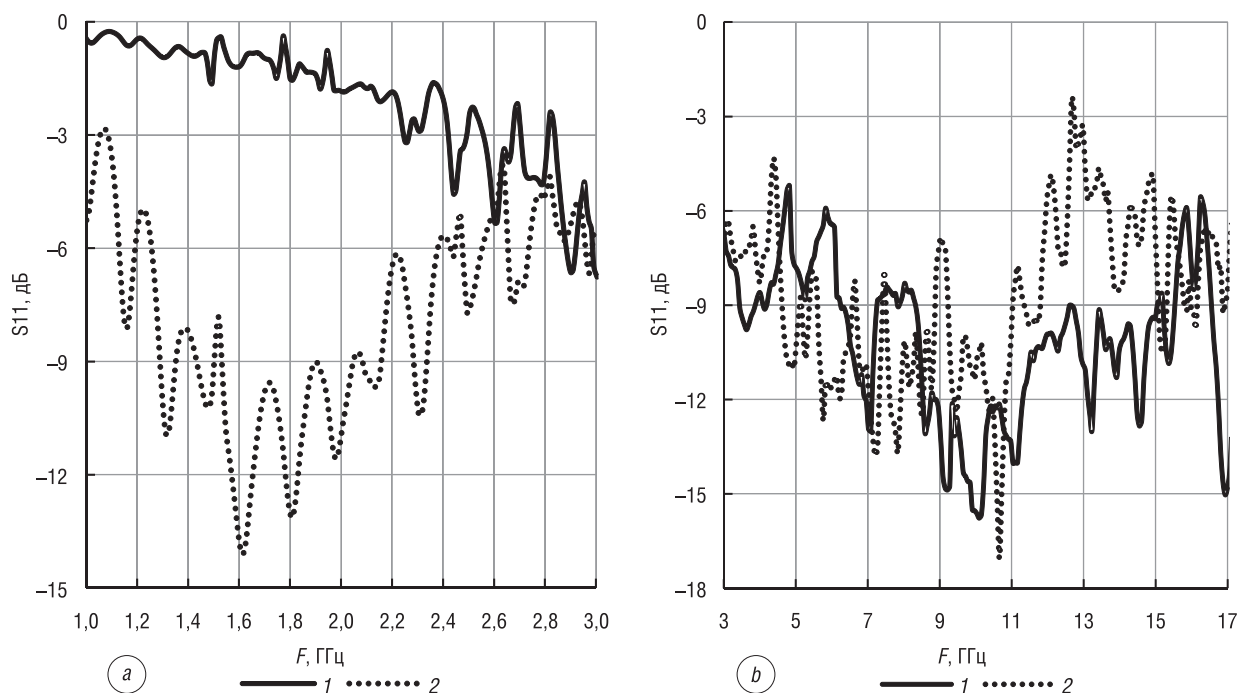


Рис. 4. Частотные зависимости (диапазон частот 1...17 ГГц) значений коэффициентов отражения электромагнитного излучения образцов экрана № 5 и 6, размещенных на металлической подложке; линейный размер псевдоовальных элементов: 1 – 1...2 мм, 2 – 10...20 мм

Fig. 4. Frequency dependencies (frequency range 1...17 GHz) of electromagnetic radiation reflection coefficients of shields samples no. 5 and 6 placed on a metal plate; linear size of pseudooval elements: 1 – 1...2 mm, 2 – 10...20 mm

Показано, что герметизация псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 1...4 и 10...20 мм, содержащих 20%-ный раствор NaCl, приводит к увеличению значений коэффициентов отражения ЭМИ образцов экрана № 1 и 2 на 9...14 дБ по сравнению с твердотельными конструкциями экранов, выполненными на основе аналогичных элементов [12, 13]. Это вызвано уменьшением в образцах экрана ЭМИ № 1 и 2 количества элементов с линейными размерами 1...4 и 10...20 мм в 3,3 и 1,3 раза соответственно, а также снижением на 5...10 % их влагосодержания, что обусловлено процессами полимеризации полиуретановой мастики под воздействием влаги.

Определено, что увеличение в 1,6...2 раза влагосодержания псевдоовальных рассеивающих элементов их пропиткой методом иммерсионного смачивания растворами, выполненными на основе 20%-ного раствора NaCl, приводит к снижению значений коэффициентов отражения образцов экрана ЭМИ № 3 и 4 в 4,3 раза в диапазонах частот 1,3...3,0 и 6...17 ГГц соответственно.

Установлено, что в диапазоне частот 1...17 ГГц введение в псевдоовальные элементы с линейными размерами 1...2 и 10...20 мм аналогичных растворов под воздействием вакуума приводит к увеличению влагосодержания этих элементов в 2,2...2,4 раза и обеспечивает для образцов экранов ЭМИ № 5 и 6 снижение значений коэффициентов отражения и ЭПР в 2,5...10 раз (рис. 5).

Показано, что применение псевдоовальных элементов с линейным размером 1...4 мм в образцах экрана ЭМИ № 1 и 3 в случае их размещения или закрепления на поверхности наземных объектов обеспечивает снижение значений коэффициентов отражения на частотах 4,2...6,5 ГГц, 12,9...14,4, 15,7...17,0 и 1,0...4,1, 8,0...17,0 ГГц. Применение псевдоовальных элементов с линейным размером 1...2 мм в образце экрана ЭМИ № 5 обуславливает снижение значений коэффициента отражения в диапазоне частот 3...17 ГГц.

Определено, что выполнение образцов экрана ЭМИ № 2 и 4 на основе псевдоовальных элементов с линейным размером 10...20 мм, пропитанных растворами NaCl методом иммерсионного смачивания, обеспечивает защиту информации о местоположении и характеристиках наземных объектов на частотах 7,1...9,3 ГГц и 1,1...12,6 ГГц соответственно. Пропитка применяемых

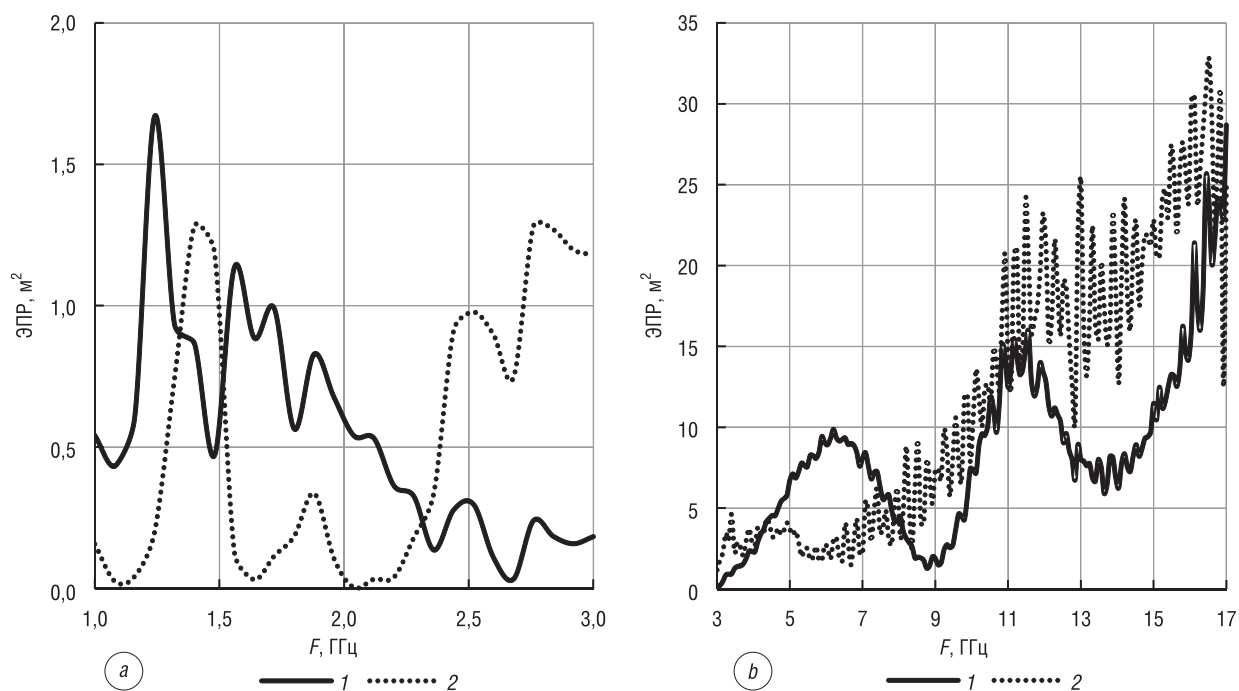


Рис. 5. Частотные зависимости (диапазон частот 1...17 ГГц) значений эффективной поверхности рассеяния образцов экрана № 5 и 6, размещенных на металлической подложке; линейный размер псевдоовальных элементов: 1 – 1...2 мм, 2 – 10...20 мм

Fig. 5. Frequency dependencies (frequency range 1...17 GHz) of the effective scattering surface values of shields samples no. 5 and 6 placed on a metal plate; linear size of pseudooval elements: 1 – 1...2 mm, 2 – 10...20 mm

в образце экрана ЭМИ №6 элементов раствором, выполненным на основе NaCl, под воздействием вакуума обеспечивает при размещении такого экрана на поверхности наземных объектов снижение значений коэффициента отражения в диапазонах частот 1,0...2,4 и 3...17 ГГц.

Установлено, что в диапазоне частот 2...12 ГГц значения ЭПР наземных объектов, на поверхности которых размещена или закреплена конструкция экрана ЭМИ, выполненная на основе псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 1...2 и 10...20 мм, пропитанных под воздействием вакуума растворами, выполненными на основе 20%-ного раствора NaCl составляют 0,6...24,0 м². Это свидетельствует о существенном затруднении получения достоверной информации о местоположении и характеристиках наземных объектов в рассматриваемом диапазоне частот [14].

Заключение. Таким образом, определено, что при размещении на поверхности наземных объектов предложенного варианта конструкции экрана ЭМИ, сформированной на основе псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 1...2 и 10...20 мм, пропитанных растворами на основе 20%-ного раствора NaCl, под воздействием вакуума, их значение ЭПР варьируются в пределах 0,6...24,0 м² в диапазоне частот 2...12 ГГц. При этом в диапазонах частот 2,4...4,2 и 7,6...12,0 ГГц предпочтительно использование в конструкции экрана ЭМИ псевдоовальных рассеивающих элементов с линейным размером 1...2 мм, в диапазонах частот 2,0...2,4 и 4,2...7,6 ГГц – элементов с линейным размером 10...20 мм. Расширение диапазона рабочих частот предложенной конструкции экрана ЭМИ возможно в результате совмещения в его конструкции псевдоовальных рассеивающих элементов с линейными размерами 1...2 и 10...20 мм.

Список использованных источников

1. Sukharevsky, O. I. Electromagnetic wave scattering by aerial and ground radar objects / O.I. Sukharevsky, V.A. Vasilets, G.S. Zalevsky // IEEE International Radar Conference (RadarCon) – 2015, Arlington, 10–15 May 2015: Papers / eds.: O.I. Sukharevsky [et al.]. – Arlington: Marriott Crystal Gateway Arlington, 2015. – P. 162–167. <https://doi.org/10.1109/RADAR.2015.7130989>

2. Zhang, Z. Experimental research on the localized electrochemical micromachining / Z. Zhang, D. Zhu // Rus. J. Electrochem. – 2008. – Vol. 44, № 8. – P. 926–930. <https://doi.org/10.1134/S1023193508080077>
3. Legenkiy, M. Numerical modeling of electromagnetic scattering from complex shape object with coating / M. Legenkiy, V. Khrychov // Frequenz. – 2022. – Vol. 76, № 1–2. – P. 2765–2771. <https://doi.org/10.1515/freq-2021-0062>
4. Лагарьков, А. Н. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий / А. Н. Лагарьков, М. А. Погосян // Вестн. Рос. акад. наук. – 2003. – Т. 73, № 9. – С. 779–787.
5. Taravati, S. A new three-dimensional conical ground-plane cloak with homogeneous materials / S. Taravati, A. Abdolali // Prog. Electromagn. Res. M. – 2011. – Vol. 19. – P. 91–104. <https://doi.org/10.2528/PIERM11051004>
6. Allebad, H. Electromagnetic shielding structure to reduce the free space reflectivity of objects / H. Allebad, V. Kizimenko, N. Kolbun (Nasonova) // Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review). – 2010. – R. 86, № 3. – P. 8–10.
7. Method of radar masking of the ground based military equipment objects / A. Maslovskiy [et al.] // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). – 2019. – Vol. 78, № 1. – P. 47–58. <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v78.i1.60>
8. Саванович, С. Э. Влияние вязкости водного раствора хлорида натрия, введенного в поры керамзита, на его радиопоглощающие свойства / С. Э. Саванович, Т. В. Борботько // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2016. – № 2. – С. 115–119.
9. Борботько, Т. В. Влияние влагосодержания керамзита на значения коэффициента отражения электромагнитного излучения конструкций экранов, выполненных на его основе / Т. В. Борботько, С. Э. Саванович // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2021. – Т. 66, № 3. – С. 93–100. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2021-66-1-93-100>
10. Радиозащитные модульные конструкции на основе порошкообразных материалов / М. Р. Немах [и др.]; под ред. Л. М. Лынькова. – Минск: Бестпринт, 2013. – 182 с.
11. Экспериментальное исследование эффективной поверхности рассеяния ФАР / Н. Н. Алешкевич [и др.] // Приборостроение-2017: материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф., 1–3 нояб. 2017 г., г. Минск / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 307–308.
12. Влияние размеров фракций влагосодержащего керамзита на экранирующие характеристики экранов ЭМИ / С. Э. Саванович [и др.] // Докл. БГУИР. – 2014. – № 8 (86). – С. 36–40.
13. Саванович, С. Э. Радиозащитные свойства электромагнитных экранов на основе влагосодержащего керамзита / С. Э. Саванович, В. Б. Соколов // Докл. БГУИР. – 2014. – № 4 (82). – С. 48–51.
14. Поглотители электромагнитного излучения. Применение в вооруженных силах / под ред. Л. М. Лынькова. – Минск: Бестпринт, 2006. – 228 с.

References

1. Sukharevsky O. I., Vasilets V. A., Zalevsky G. S. Electromagnetic wave scattering by aerial and ground radar objects. *IEEE International Radar Conference (RadarCon) – 2015: Papers, Arlington, 10–15 May 2015*. Arlington, Marriott Crystal Gateway Arlington, 2015, pp. 162–167. <https://doi.org/10.1109/RADAR.2015.7130989>
2. Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. <https://doi.org/10.1134/S1023193508080077>
3. Legenkiy M., Khrychov V. Numerical modeling of electromagnetic scattering from complex shape object with coating. *Frequenz*, 2022, vol. 76, no. 8, pp. 2765–2771. <https://doi.org/10.1515/freq-2021-0062>
4. Lagar'kov A. N., Pogosyan M. A. Basic and applied problems of stealth technologies. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk = Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2003, vol. 73, no. 9, pp. 779–787 (in Russian).
5. Taravati S., Abdolali A. A new three-dimensional conical ground-plane cloak with homogeneous materials. *Progress in Electromagnetics Research M*, 2011, vol. 19, pp. 91–104. <https://doi.org/10.2528/PIERM110510046>
6. Allebad H., Kizimenko V., Kolbun (Nasonova) N. Electromagnetic shielding structure to reduce the free space reflectivity of objects. *Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review)*, 2010, r. 86, no. 3, pp. 8–10.
7. Maslovskiy A., Vasylets V., Nechitaylo S., Sukharevsky O. Method of radar masking of the ground based military equipment objects. *Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika)*, 2019, vol. 78, no. 1, pp. 47–58. <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v78.i1.60>
8. Savanovich S. E., Borbot'ko 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. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2016, no. 2, pp. 115–119 (in Russian).
9. Borbot'ko T. V., Savanovich S. E. Water content of expanded clay influence on the reflection coefficient of electromagnetic shield. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2021, vol. 66, no. 3, pp. 93–100 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2021-66-1-93-100>
10. Neamach M. R., Boyprav O. V., Borbotko T. V.; Lynkov L. M. (ed.). *Radio-Shielding Modular Structures Based on Powder Materials*. Minsk, Bestprint Publ., 2013. 210 p. (in Russian).
11. Aleshkevich N. N., Budai A. G., Knysh V. P., Maly S. V., Naumovich N. M., Yubko A. P. Experimental study of the effective scattering surface of the PAR. *Priborostroenie-2017: materialy 10-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, 1–3 noyabrya 2017 g., g. Minsk* [Instrumentation-2017: Materials of the 10th International Scientific and Technical Conference, November 1–3, 2017, Minsk]. Minsk, 2017, pp. 307–308 (in Russian).

12. Savanovich S. E., Borbot'ko T. V., Sokolov V. B., Rusakovich M. V. The influence of the sizes of fractions of moisture-containing expanded clay on the screening characteristics of screens EMR. *Doklady BGUIR*, 2014, no. 8, pp. 36–40 (in Russian).

13. Savanovich S. E., Sokolov V. B. Radioshielding properties of the electromagnetic shield based on moisture containing expanded clay. *Doklady BGUIR*, 2014, no. 4, pp. 48–51 (in Russian).

14. Borbot'ko T. V., Kolbun N. V., Lyn'kov L. M., Terekh I. S., Khizhnyak A. V.; Lyn'kov L. M. (ed.) *Absorbers of Electromagnetic Radiation. Application in the Armed Forces*. Minsk, Bestprint Publ., 2006. 228 p. (in Russian).

Информация об авторах

Борбот'ко Тимофей Валентинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты информации, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: secure@bsuir.by

Саванович Светлана Эдуардовна – ассистент кафедры защиты информации, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: svetasav@bsuir.by

Information about the authors

Timafey V. Borbotko – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Information Security, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Brovka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: secure@bsuir.by

Sviatlana E. Savanovich – Assistant of the Department of Information Security, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Brovka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svetasav@bsuir.by