



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2023.4.2>

УДК 621.396.67

ББК 32.845

## ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНИРУЮЩЕГО РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТРИЦ СО СТАБИЛИЗИРОВАННЫМИ В НЕЙ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ<sup>1</sup>

**Олеся Александровна Какорина**

Кандидат физико-математических наук, доцент,  
заведующий кафедрой информационной безопасности,  
Волгоградский государственный университет  
davletova.olesya@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Игорь Александрович Какорин**

Студент, кафедра информационной безопасности,  
Волгоградский государственный университет  
IVm-231\_886788@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Александра Николаевна Панченко**

Студент, кафедра судебной экспертизы и физического материаловедения,  
Волгоградский государственный университет  
NMTb-201\_444654@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** Электромагнитные сигналы и волны сопровождают нас в повседневной жизни, передаваемая ими информационная составляющая позволяет нам использовать мобильные телефоны, радио и телевизоры. Однако электромагнитные волны могут быть использованы и для нежелательных целей, например, для подслушивания или несанкционированного доступа к информации. Для защиты от таких угроз используются радиопоглощающие материалы (РПМ). Материалы и покрытия, которые используются для экранирования, сильно различаются по своим свойствам, экранирующей способности и цене. В статье рассматривается класс РПМ на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами, который обладает высокой эффективностью в поглощении электромагнитных волн различных диапазонов частот, стойкостью к коррозии и механическим повреждениям, а также широким диапазоном рабочих температур. Определение тактико-технических характеристик защитного экранирующего радиопоглощающего

покрытия на основе полимерных углеродосодержащих матриц с ферромагнитными наночастицами было основано на разработке модели угроз информации выделенного помещения и физико-химических свойствах материала.

**Ключевые слова:** экранирующее покрытие, модель угроз, полимерная матрица, радиопоглощающее покрытие, ферромагнитные наночастицы, радиочастотные сигналы, тактико-технические характеристики, углеродосодержащие матрицы.

Применение электромагнитной защиты и безопасности связано с широким применением радиотехнических устройств, в связи с этим развивается целое направление по разработке радиопоглощающих материалов (РПМ), которые используются в военно-оборонном комплексе, в гражданской промышленности, при решении типичных задач при разработке радиоэлектронных устройств, в компьютерных системах, обрабатывающих информацию с подключением средств защиты от несанкционированного доступа, защиты объектов биологического происхождения от электромагнитных воздействий, снижение уязвимости для радаров. Свойства РПМ в каждом конкретном случае могут заметно отличаться.

Для производства радиопоглощающих материалов используют частицы ферромагнетиков, обладая широким спектром поглощения, они способны образовать защитный слой по отношению к электромагнитным волнам. Обязательным компонентом для основы изолятора должно быть присутствие немагнитного диэлектрика. На этом принципе разрабатываются различные модификации РПМ. Так, к структурной составляющей ферромагнетиков добавляют основу из сажи или графита.

Современные РПМ довольно разнообразны по своему составу и структуре, но к основным характеристикам, отражающим производительность материалов можно отнести: длину рабочих волн – от 0,3 до 25 см; диапазон рабочих частот – от 300 до 37 500 МГц; магнитную проницаемость – от 1,26 до 10–6 Н/м; диапазон рабочих температур – от -40 до 60 °С; вес – около 200–300 г на 1 кв. м [1; 2; 5].

Развитие современных технологий требует определенный подход к применению РПМ. Последнее время разрабатывается новый класс РПМ на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами.

Данные покрытия успешно сочетают в себе свойства полимеров и ферромагнетиков. Определение тактико-технических характеристик защитного экранирующего радиопоглощающего покрытия является важной задачей. Это позволит определить эффективность защиты от электромагнитных помех и подслушивания, а также выбрать наиболее подходящий материал для конкретного применения. Определение тактико-технических характеристик защитного экранирующего радиопоглощающего покрытия на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами было основано на двух составляющих (см. рисунок):

а) разработка модели угроз информации выделенного помещения. Для этого был проведен анализ возможных угроз, которые могут возникнуть в выделенном помещении, определен уровень защиты, необходимый для предотвращения этих угроз [3; 6];

б) физико-химические свойства полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами на примере пиролизованного полиакрилонитрила с наночастицами никеля и кобальта: плотность материала, коэффициент теплопроводности, магнитные свойства, устойчивость к радиации, устойчивость к коррозии и др. [4; 7].

Следуя представленной схеме, были выделены следующие основные тактико-технические характеристики, изучаемого РПМ:

1. Частотный диапазон – защитное экранирующее радиопоглощающее покрытие обеспечивает высокую эффективность в поглощении электромагнитных волн различных диапазонов частот, что позволяет защитить электронные устройства от помех и внешних воздействий и позволяет использовать его для защиты от различных источников электромагнитных помех.

2. Коррозионная стойкость – полимерные углеродосодержащие матрицы обладают высокой стойкостью к различным агрессивным средам, что обеспечивает долговечность и надежность экранирующего покрытия.

3. Механическая прочность – защитное экранирующее радиопоглощающее покрытие на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами обладает высокой механической прочностью и устойчивостью к механическим повреждениям.

4. Температурный диапазон – экранирующее покрытие на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами обладает высокой устойчивостью к высоким температурам, что позволяет использовать его в различных условиях эксплуатации. Для обеспечения более широкого диапазона рабочих температур, как правило, применяют наполнители немагнитного типа, представляющие собой различные электропроводящие функциональные частицы: технический углерод, графит, углеродсодержащие волокна и полимерные матрицы, порошки диамагнитных

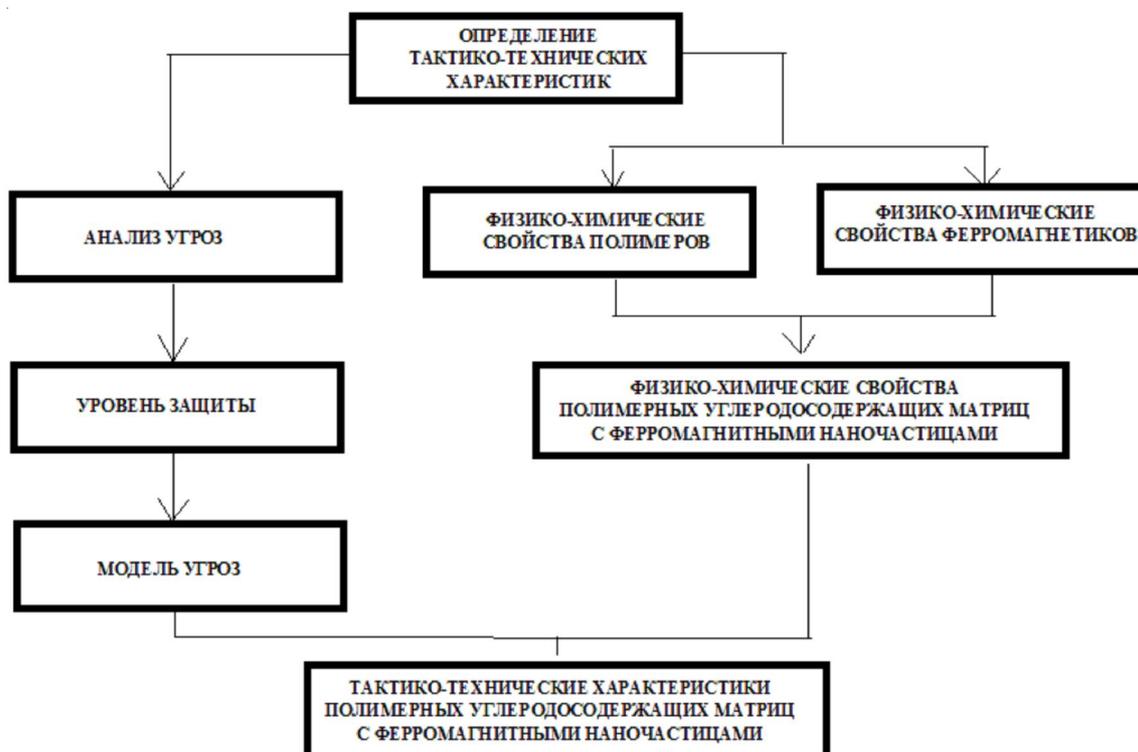
металлов и их соединений, углеродные нанотрубки, графен.

5. Удобство и простота монтажа – защитное экранирующее радиопоглощающее покрытие легко монтируется и демонтируется, что обеспечивает удобство при его использовании.

6. Экологическая безопасность – полимерные углеродосодержащие матрицы являются экологически безопасными материалами, что обеспечивает безопасность при использовании экранирующего покрытия.

7. Эффективность поглощения – благодаря использованию ферромагнитных наночастиц в составе материала, экранирующее покрытие обладает высокой эффективностью поглощения радиоволн, что обеспечивает надежную защиту от помех и высокое экранирование объектов.

8. Малый вес и толщина – экранирующее покрытие на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами имеет малый вес и толщину, что позволяет использовать его в различных приборах или конструкциях, где требуется минимальный вес и объем.



Определение тактико-технических характеристик радиопоглощающего покрытия на основе полимерных углеродосодержащих матриц с ферромагнитными наночастицами

9. Гибкость и приспособляемость к форме – благодаря гибкости полимерных материалов, экранирующее покрытие на основе углеродосодержащих матриц может быть легко приспособлено к форме объекта, что обеспечивает эффективную защиту от помех.

10. Устойчивость к радиационному воздействию – экранирующее покрытие на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами обладает высокой устойчивостью к радиационному воздействию, что позволяет использовать его в условиях повышенной радиации.

11. Совместимость с другими материалами – благодаря своей структуре и химическим свойствам экранирующее покрытие на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами может применяться совместно с другими материалами и использоваться в различных помещениях и конструкциях.

### Заключение

Экранирующее радиопоглощающее покрытие на основе полимерных углеродосодержащих матриц со стабилизированными в ней ферромагнитными наночастицами обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными РПМ. На основе модели угроз и основных физико-химических свойствах полимерного материала с ферромагнитными наночастицами было определено одиннадцать тактико-технических характеристик радиопоглощающего покрытия на основе полимерных углеродосодержащих матриц с ферромагнитными наночастицами: частотный диапазон, коррозионная стойкость, механическая прочность, температурный диапазон, удобство и простота монтажа, экологическая безопасность, эффективность поглощения, малый вес и толщина, гибкость и приспособляемость к форме, устойчивость к радиационному воздействию, совместимость с другими материалами. Данные характеристики позволяют использовать данный РПМ в различных отраслях, где требуется защита от электромагнитных помех и предотвращения несанкционированного доступа, подслушивания.

### ПРИМЕЧАНИЕ

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (тема “FZUU-2023-0001”).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанцева, Н. Е. Перспективные материалы для поглотителей электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона / Н. Е. Казанцева, Н. Г. Рывкина, И. А. Чмутин // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48, № 2. – С. 196–209.
2. Какорина, О. А. Радиопоглощающие материалы на основе пиролизованного полиакрилонитрила с включением атомов ферромагнетика / О. А. Какорина, А. Н. Панченко // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2022. – № 3-3(66). – С. 40–42. – DOI: 10.24412/2500-1000-2022-3-3-40-42
3. Михайлова, У. В. Разработка модели угроз и модели нарушителя с целью создания системы технической защиты информации выделенного помещения на базе МГТУ / У. В. Михайлова, К. В. Фасхеев, В. А. Веденеев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тез. докл. 76-й Междунар. науч.-техн. конф., Магнитогорск, 16–20 апр. 2018 г. Т. 1. – Магнитогорск: Магнитогор. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2018. – С. 316.
4. Морозов, А. В. Магнитные свойства наночастиц и нанопленок антиферро- и ферромагнетиков : специальность 01.04.07 Физика конденсированного состояния : дис. ... канд. физ.-мат. наук / Морозов Алексей Владимирович. – Ярославль, 2013. – 174 с.
5. Разработка радиопоглощающего покрытия для решения задач информационной безопасности / О. А. Какорина, И. В. Запороцкова, И. А. Какорин, А. Н. Панченко // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сб. тр. Междунар. науч. конф., Воронеж, 7–9 дек. 2020 г. – Воронеж : Научно-исследовательские публикации, 2021. – С. 1521–1524.
6. Савельев, И. А. Совершенствование процесса оценки защищенности выделенного помещения от технических каналов утечки информации / И. А. Савельев, А. О. Антипенко // Вопросы кибербезопасности. – 2017. – № 3 (21). – С. 35–42. – DOI: 10.21581/2311-3456-2017-2-35-42
7. Metal-Polymer Nanocomposites Based on Pyrolyzed Polyacrylonitrile with Fe–Ni–Co Inclusions / I. V. Zaporotskova, O. A. Kakorina, N. P. Boroznina [et al.] // Russian Physics Journal. – 2021. – Vol. 63, no. 11. – P. 1909–1915. – DOI: 10.1007/s11182-021-02250-4

## REFERENCES

1. Kazantseva N.E., Ryvkina N.G., Chmutin I.A. Perspektivnye materialy dlya poglotitelej elektromagnitnykh voln sverhvysochastotnogo diapazona [Perspective Materials for Absorbers of Electromagnetic Waves of Ultrahigh Frequency Range]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radiotechnics and Electronics], 2003, vol. 48, no. 2, pp. 196-209.

2. Kakorina O.A., Panchenko A.N. Radiopogloshhayushchie materialy na osnove pirolizovannogo poliakrilonitrila s vklucheniem atomov ferromagnetika [Radio-Absorbing Materials Based on Pyrolysed Polyacrylonitrile with the Inclusion of Ferromagnetic]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], 2022, no. 3-3 (66), pp. 40-42. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-3-3-3-40-42

3. Mikhailova U.V., Faskheev K.V., Vedenev V.A. Razrabotka modeli ugroz i modeli narushitelya s tsel'yu sozdaniya sistemy tehniceskoy zashchity informatsii vydelennogo pomeshcheniya na baze MGTU [Development of Threat Model and Intruder Model for the Purpose of Creating a System of Technical Protection of Information of a Dedicated Room on the Basis of MSTU]. *Aktualnye problemy sovremennoj nauki, tehniki i obrazovaniya: tez. dokl. 76-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., Magnitogorsk, 16–20 apr. 2018 g.* [Actual Problems in Modern Science, Technology and Education. Abstracts of the 76<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference, Magnitogorsk, 16–20 April 2018]. Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University, 2018, p. 316.

4. Morozov A.V. *Magnitnye svojstva nanochastits i nanoplenok antiferro- i ferromagnetikov: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk* [Magnetic Properties of Nanoparticles and Nanofilms of Antiferro- and Ferromagnetics. Cand. phys. and math. sci. diss.]. Yaroslavl, 2013. 174 p.

5. Kakorina O.A., Zaporotskova I.V., Kakorin I.A., Panchenko A.N. Razrabotka radiopogloshchayushchego pokrytiya dlya resheniya zadach informatsionnoj bezopasnosti [Development of Radio-Absorbing Coating for Solving Information Security Problems]. *Aktualnye problemy prikladnoj matematiki, informatiki i mehaniki: sb. tr. Mezhdunar. nauch. konf., Voronezh, 7–9 dek. 2020 g.* [Actual Problems of Applied Mathematics, Computer Science and Mechanics. Proceedings of the International Scientific Conference, Voronezh, 7-9 December 2020]. Voronezh, Nauchno-issledovatel'skie publikatsii, 2021, pp. 1521-1524.

6. Savelyev I.A., Antipenko A.O. Sovershenstvovanie protsessa otsenki zashchishchjonnosti vydelennogo pomeshcheniya ot tehniceskikh kanalov utechki informatsii [Improvement of the Process of Assessing the Security of the Allocated Room from Technical Channels of Information Leakage]. *Voprosy kiberbezopasnosti* [Cybersecurity Issues], 2017, no. 3 (21), pp. 35-42. DOI: 10.21581/2311-3456-2017-2-35-42

7. Zaporotskova I.V., Kakorina O.A., Boroznina N.P. et al. Metal-Polymer Nanocomposites Based on Pyrolysed Polyacrylonitrile with Fe-Ni-Co Inclusions. *Russian Physics Journal*, 2021, vol. 63, no. 11, pp. 1909-1915. DOI: 10.1007/s11182-021-02250-4

## TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A PROTECTIVE SHIELDING RADIO-ABSORBING COATING BASED ON POLYMER CARBON-CONTAINING MATRICES WITH FERROMAGNETIC NANOPARTICLES STABILIZED IN IT

**Olesya A. Kakorina**

Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor,  
Head of the Department of Information Security,  
Volgograd State University  
davletova.olesya@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Igor A. Kakorin**

Student, Department of Information Security,  
Volgograd State University  
IBm-231\_886788@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Alexandra N. Panchenko**

Student, Department of Forensic Science and Physical Materials Science,  
Volgograd State University  
NMTb-201\_444654@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** Electromagnetic signals and waves accompany us in everyday life; the information transmitted by them allows us to use mobile phones, radios, and televisions. However, electromagnetic waves can also be used for undesirable purposes, such as eavesdropping or unauthorized access to information. Radio-absorbing materials (RPMs) are used to protect against such threats. The materials and coatings used for shielding vary greatly in their properties, shielding ability, and price. The determination of the tactical and technical characteristics of a protective shielding radio-absorbing coating based on polymer carbon-containing matrices with ferromagnetic nanoparticles was based on the development of a threat model for the information of a dedicated room and the physical-chemical properties of the material. In conclusion, shielding radio-absorbing coatings based on polymeric carbon-containing matrices with ferromagnetic nanoparticles have a number of advantages over traditional materials. They have a wide frequency range, high corrosion resistance, mechanical strength, resistance to radiation, and compatibility with other materials. The installation of such a coating is easy and environmentally friendly. Low weight and flexibility allow the coating to be adapted to any surface shape. The temperature range and absorption efficiency of this RPM make it versatile for use in a variety of industries. The thickness and lightness of the material simplify the installation process and do not weigh down the structure.

**Key words:** shielding coating, threat model, polymer matrix, radio-absorbing coating, ferromagnetic nanoparticles, radio frequency signals, tactical and technical characteristics, carbon-containing matrices.