



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-7-48-55>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 537.531:621.039.537

## ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ АЛЮМООКСИДОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Д. И. ПЕНЬЯЛОСА ОВАЛЬЕС, О. В. БОЙПРАВ, М. В. ТУМИЛОВИЧ, А. В. ГУСИНСКИЙ,  
П. И. БАЛТРУКОВИЧ

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

*Поступила в редакцию 20.10.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментального обоснования возможности использования электромагнитных экранов на основе порошкообразных алюмооксидов для снижения энергии электромагнитного излучения приборов электронной техники. Для реализации указанной цели разработана методика оценки влияния материалов на уровень электромагнитного излучения приборов электронной техники, а также систематизирована методика оценки радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения средств вычислительной техники. В соответствии с обозначенными методиками проведено исследование, по результатам которого определено, что электромагнитные экраны, содержащие композиционное покрытие на основе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа, обеспечивают подавление энергии электромагнитного излучения приборов электронной техники, а также уменьшение до двух раз радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения средств вычислительной техники. Разработаны рекомендации по практическому применению композиционных покрытий на основе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа. В соответствии с этими рекомендациями такие покрытия могут быть использованы в процессе изготовления или усовершенствования технических и эксплуатационных свойств электромагнитных экранов, предназначенных для обеспечения электромагнитной совместимости приборов электронной техники, а также для решения задач, связанных с обеспечением информационной безопасности.

**Ключевые слова:** композиционное покрытие, оксид железа, порошкообразный алюмооксид, прибор электронной техники, электромагнитное излучение, экранирование.

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

**Для цитирования.** Пеньялоса Овальес Д. И., Бойправ О. В., Тумилович М. В., Гусинский А. В., Балтрукович П. И. Обоснование возможности использования электромагнитных экранов на основе порошкообразных алюмооксидов для снижения энергии электромагнитного излучения приборов электронной техники. Доклады БГУИР. 2022. 20 (7). С. 48–55.

## SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY TO USE THE ELECTROMAGNETIC SHIELDS BASED ON POWDERED ALUMINUM OXIDES TO REDUCE THE ELECTROMAGNETIC RADIATION ENERGY OF ELECTRONIC DEVICES

DEIVIS ISAIAS PENIALOSA OVALIES, OLGA V. BOIPRAV,  
MIRASLAU V. TUMILOVICH, ALEKSANDER V. GUSINSKY,  
PIOTR I. BALTRUKOVICH

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

*Submitted 20.10.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** The article introduces the results of the experimental substantiation of the possibility to use the electromagnetic shields based on powdered aluminum oxides to reduce the electromagnetic radiation energy introduced by electronic devices. To achieve this goal, a methodology has been developed for assessing the effect of materials on the electromagnetic radiation level of electronic devices, and a methodology for estimating the radius of the controlled zone of the secondary electromagnetic radiation of computer equipment has been systematized. In accordance with the indicated methods, the study has been carried out, based on the results of which it was determined that electromagnetic shields containing the composite coating based on powdered aluminum oxides and iron oxide provide suppression of the electromagnetic radiation energy of electronic devices, as well as a reduction of up to 2 times the radius of the controlled zone of the secondary electromagnetic radiation of computer equipment. Recommendations for the practical application of the composite coatings based on the powdered alumina and iron oxide have been developed. In accordance with these recommendations, such coatings can be used in the process of manufacturing or improving the technical and functional properties of electromagnetic shields designed to ensure the electromagnetic compatibility of electronic devices, as well as to solve problems related to the information security.

**Keywords:** composite coating, iron oxide, powdered aluminum oxide, electronic device, electromagnetic radiation, shielding.

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

**For citation.** Penialosa Ovalies D. I., Boiprav O. V., Tumilovich M. V., Gusinsky A. V., Baltrukovich P. I. Substantiation of the Possibility to Use the Electromagnetic Shields Based on Powdered Aluminum Oxides to Reduce the Electromagnetic Radiation Energy of Electronic Devices. Doklady BGUIR. 2022. 20 (7), 48–55.

### Введение

В [1] представлено экспериментальное обоснование способа улучшения экранирующих свойств композиционных покрытий на основе порошкообразных алюмооксидов (электрокорунд, глинозем). Способ основан на модификации состава таких покрытий путем добавления в него порошкообразного оксида железа. В результате исследований разработана методика получения композиционных покрытий на базе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа, изготовлены экспериментальные образцы, определены значения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц изготовленных образцов. Проведен сравнительный анализ полученных значений с аналогичными значениями, характерными для композиционных покрытий, наполнителями которых являются порошкообразные алюмооксиды (электрокорунд, глинозем), а также композиционных покрытий, где наполнитель – порошкообразный оксид железа.

Путем добавления порошкообразного оксида железа в состав композиционных покрытий на основе порошкообразных алюмооксидов (электрокорунд, глинозем) можно уменьшить на 1,0–8,0 дБ значения их коэффициента передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц. Кроме того, в результате реализации предложенного способа можно обеспечить:

1) снижение на 2,0–20,0 дБ значений коэффициента отражения электромагнитного излучения в указанном диапазоне частот рассматриваемых композиционных покрытий при условии, если такие покрытия нанесены на металлические подложки;

2) радиопоглощающие свойства для рассматриваемых композиционных покрытий в диапазоне частот 2,5–5,0 ГГц.

Исследование, результаты которого представлены в рамках статьи, является развитием исследования, представленного в [1]. Его цель заключалась в экспериментальном обосновании возможности использования электромагнитных экранов, содержащих композиционное покрытие на основе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа, для снижения энергии электромагнитного излучения (ЭМИ) средств вычислительной техники. При достижении поставленной цели решали следующие задачи:

- разрабатывали методику оценки влияния материалов на уровень электромагнитного излучения приборов электронной техники (ПЭТ);
- систематизировали методику оценки радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения (ПЭМИ) средств вычислительной техники;
- разрабатывали партию образцов электромагнитных экранов, содержащих композиционное покрытие на основе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа;
- исследовали влияние разработанных образцов на эффективность снижения энергии ЭМИ ПЭТ, а также на эффективность уменьшения радиуса контролируемой зоны побочного ЭМИ средств вычислительной техники;
- составляли рекомендации по практическому применению композиционных покрытий на основе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа.

### Методика проведения эксперимента

Разработанная методика оценки влияния материалов на уровень ЭМИ ПЭТ включает в себя следующие этапы.

1. Запуск ПЭТ, который является источником ЭМИ. В качестве такого прибора использовалось устройство — источник зондирующего радиосигнала. Особенность этого прибора состоит в том, что в него входят светодиоды, предназначенные для индикации генерирования и распространения зондирующего радиосигнала.

2. Фиксирование факта генерирования ЭМИ ПЭТ путем визуального контроля состояния светодиода, входящего в состав прибора электронной техники.

3. Расположение ПЭТ внутри корпуса экспериментального образца конструкции электромагнитного экрана, изготовленного из радиопрозрачного материала и экранированного разработанным покрытием.

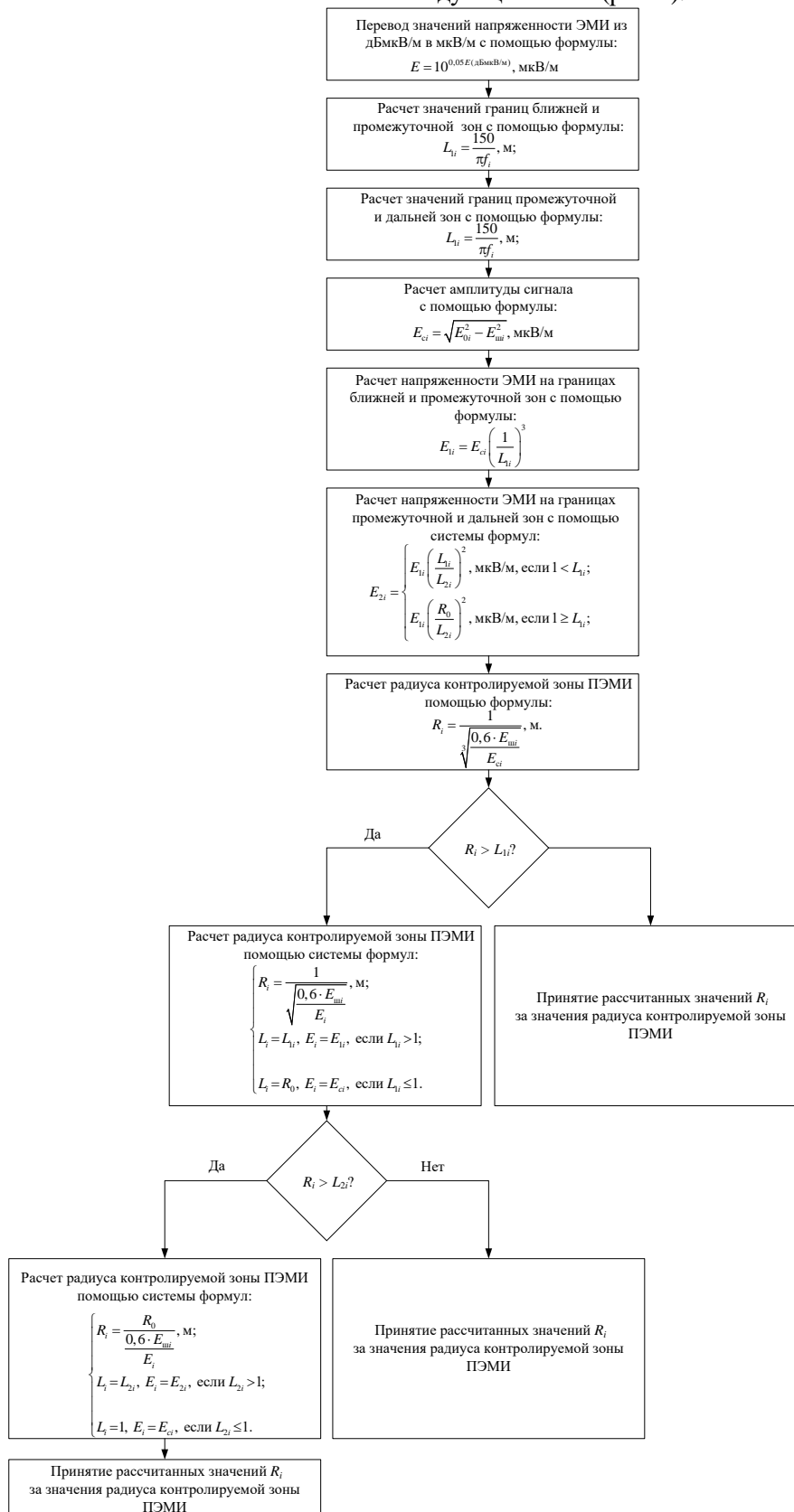
4. Фиксирование факта нераспространения ЭМИ, исходящего от ПЭТ за пределы области пространства, экранированной с помощью экспериментальных образцов конструкций электромагнитных экранов путем визуального контроля состояния светодиода, входящего в состав ПЭТ.

Внешний вид ПЭТ, являющегося источником ЭМИ и использованного в рамках реализации представленной методики, приведен на рис. 1. Представленный ПЭТ является по своей сути источником зондирующего радиосигнала. В схеме этого ПЭТ содержатся светодиоды, которые используются для индикации генерирования и распространения зондирующего радиосигнала (на рисунке область расположения светодиодов на плате ПЭТ выделена с помощью окружности).



**Рис. 1.** Внешний вид использованного прибора электронной техники  
**Fig. 1.** Appearance of used electronic device

Систематизированная методика оценки радиуса контролируемой зоны побочного ЭМИ средств вычислительной техники включает в себя следующие этапы (рис. 2).



**Рис. 2.** Алгоритм расчета значений радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения средства вычислительной техники  
**Fig. 2.** Algorithm for calculating the values of the radius of the controlled area of side electromagnetic radiation of computer equipment

1. Измерение с помощью анализатора спектра уровней напряженности электромагнитного шума в диапазоне частот побочного ЭМИ ( $E_{ши}$ ) в помещении, в котором размещен ПЭТ.

2. Измерение с помощью анализатора спектра уровней напряженности побочного ЭМИ средства вычислительной техники ( $E_{oi}$ ).

3. Расположение между анализатором спектра и средством вычислительной техники экспериментального образца электромагнитного экрана.

4. Повтор этапа 2.

5. Расчет в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 2, значений радиуса контролируемой зоны побочного ЭМИ незэкранированного и экранированного с помощью экспериментального образца электромагнитного экрана средства вычислительной техники.

6. Вычисление частного от деления значений радиуса контролируемой зоны побочного ЭМИ незэкранированного средства вычислительной техники на значения радиуса контролируемой зоны побочного ЭМИ средства вычислительной техники, экранированного с помощью экспериментального образца электромагнитного экрана.

Партия экспериментальных образцов электромагнитных экранов изготавливалась в соответствии с методикой, включающей в себя следующие этапы [2, 3]:

– смешивание трех частей порошкообразного алюминия (электрокорунд, глинозем) с двумя частями порошкообразного оксида железа (по результатам исследований, представленных в [1], установлено, что смешивание обозначенных компонентов в указанных объемных долях является оптимальным);

– добавление пяти частей связующего вещества (водоэмульсионная краска, водный щелочной раствор силиката натрия или гипсовый раствор) в смесь порошкообразных алюминия и оксида железа;

– равномерное распределение частиц смеси порошкообразных алюминия и оксида железа по объему добавленного к ней связующего вещества с помощью лабораторного миксера;

– нанесение с помощью шпателя слоя полученной смеси на поверхность подложки;

– высушивание слоя смеси, нанесенной на поверхность подложки, при стандартных условиях;

– контроль толщины слоя смеси с помощью электронного микрометра;

– при необходимости наращивание толщины слоя смеси путем повторной реализации соответствующих этапов.

### Результаты исследований и их обсуждение

Внешний вид ПЭТ, расположенного в области пространства, экранированной с помощью изготовленного экспериментального образца электромагнитного экрана, представлен на рис. 3.

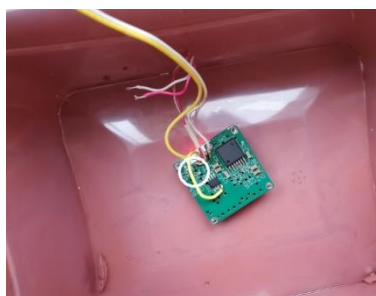


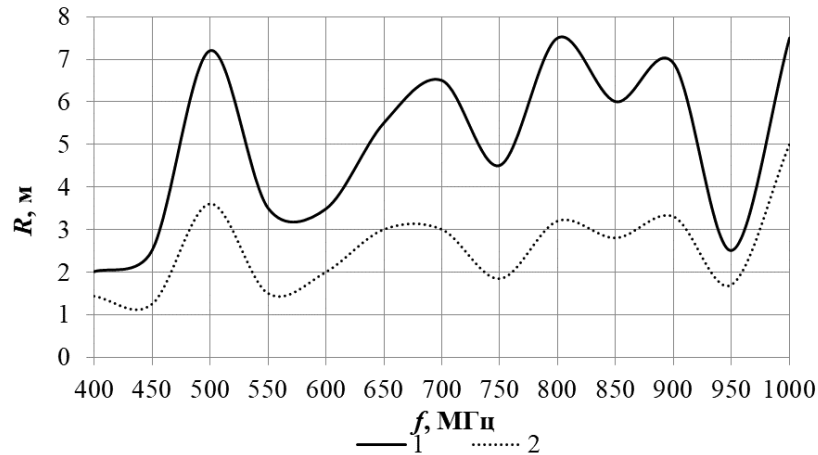
Рис. 3. Внешний вид прибора электронной техники, расположенного в области пространства, экранированной с помощью изготовленного экспериментального образца электромагнитного экрана

Fig. 3. Appearance of electronic device located in a space area shielded with developed electromagnetic shields sample

На рис. 3 область расположения используемых для индикации генерирования и распространения зондирующего радиосигнала светодиодов на плате ПЭТ выделена с помощью окружности. Из рисунка видно, что названные светодиоды не горят. Это свидетельствует о том,

что указанный прибор, будучи расположенный в области пространства, экранированной с помощью изготовленного экспериментального образца электромагнитного экрана, не генерирует и не распространяет зондирующий радиосигнал. Таким образом, электромагнитные экраны, содержащие композиционное покрытие на основе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа, обеспечивают подавление энергии ЭМИ ПЭТ.

Результаты оценки радиуса контролируемой зоны побочного ЭМИ средства вычислительной техники приведены на рис. 4.



**Рис. 4.** Частотные зависимости: 1 – радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения средства вычислительной техники; 2 – радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения средства вычислительной техники, экранированного с помощью изготовленного экспериментального образца электромагнитного экрана

**Fig. 4.** Frequency dependences of: 1 – the radius of the controlled zone of the side electromagnetic radiation of computer equipment; 2 – the radius of the controlled zone of the side electromagnetic radiation of the computer equipment, shielded with manufactured experimental sample of the electromagnetic shield

Из рис. 4 видно, что электромагнитные экраны, содержащие покрытие на основе порошкообразных оксидов и оксидов железа, обеспечивают уменьшение до двух раз радиуса контролируемой зоны побочного ЭМИ ПЭТ. Ослабление энергии ЭМИ указанными экранами обусловлено явлениями рассеяния электромагнитного излучения на частицах, входящих в состав порошкообразных материалов, а также диэлектрическими и магнитными потерями [4–7].

### Заключение

Из полученных результатов испытаний следует, что электромагнитные экраны, содержащие покрытие на основе порошкообразных оксидов и оксидов железа, могут быть использованы как для обеспечения электромагнитной совместимости приборов электронной техники, так и для предотвращения утечки информации, обрабатываемой с помощью средств вычислительной техники. При этом названные экраны наиболее целесообразно применять в составе систем архитектурного (в виде облицовочных панелей для стен) и зонального (в виде перегородок) электромагнитного экранирования помещений, в которых располагаются указанные приборы [8–10]. Кроме того, композиционные покрытия на основе порошкообразных оксидов и оксидов железа могут быть использованы в процессе изготовления или усовершенствования технических и эксплуатационных свойств электромагнитных экранов, предназначенных для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования.

### Список литературы

1. Electromagnetic Radiation Shielding Composite Coatings Based on Powdered Alumina and Iron Oxides / D. I. Penialosa Ovalies [et al.] // Doklady BGUIR. 2021. Vol. 19, No 3. P. 104–109. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-104-109.
2. Способ модификации состава негорючих композиционных покрытий на основе порошковых алюмооксидов для электромагнитных экранов / О. В. Бойправ [и др.] // Приборы. 2021. № 1. С. 47–54.
3. Структура и магнитные свойства нанопорошков оксидов железа и гибридных нанопорошков типа «ядро – оболочка» на их основе / И. С. Гребенников [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2018. Т. 9, № 82. С. 1343–1354.
4. Шапиро, Д. Н. Электромагнитное экранирование / Д. Н. Шапиро. Долгопрудный: Интеллект, 2010.
5. Хиппель, А. Р. Диэлектрики и волны / А. Р. Хиппель. М.: ИЛ, 1960.
6. Шольц, Н. Н. Ферриты для радиочастот / Н. Н. Шольц, К. А. Пискарев. М.: Энергия, 1966.
7. Михайлин, Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. СПб.: Научные основы и технологии, 2008.
8. Аполлонский, С. М. Электромагнитные поля в технических устройствах / С. М. Аполлонский. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014.
9. Ефанов, Е. И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / Е. И. Ефанов, А. А. Тихомиров. Томск: Томский госуд. ун-т систем управл. и радиоэлектр., 2012.
10. Барсуков, С. В. Интегрированная защита специальных экранированных помещений / С. С. Барсуков // Специальная техника. 1999. № 6. С. 21–25.

### References

1. Penialosa Ovalies D. I., Boiprav O. V., Tumilovich M. V., Lynkou L. M. (2021) Electromagnetic Radiation Shielding Composite Coatings Based on Powdered Alumina and Iron Oxides. *Doklady BGUIR*. 19 (3), 104–109. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-104-109.
2. Boiprav O. V., Penalosa Ovalles D. I., Tumilovich M. V., Lynkov L. M. (2021) A Method for Modifying the Composition of Non-Combustible Composite Coatings Based on Powdered Aluminum Oxides for Electromagnetic Screens. *Pribory = Devices*. (1), 47–54 (in Russian).
3. Grebennikov I. S., Savchenko A. G., Zaitseva M. P., Muradova A. G., Yurtov E. V. (2018) Structure and Magnetic Properties of Iron Oxide Nanopowders and Hybrid Core – Shell Nanopowders Based on Them. *Izvestija Rossijskoj Akademii Nauk. Serija Fizicheskaja*. 9 (82), 1343–1354 (in Russian).
4. Shapiro D. N. (2010) *Electromagnetic Shielding*. Dolgoprudny, Intellect Publ. (in Russian).
5. Hippel A. R. (1960) *Dielectrics and Waves*. Moscow, IL Publ. (in Russian).
6. Scholz N. N., Piskarev K. A. (1966) *Ferrites for Radio Frequencies*. Moscow, Energy Publ. (in Russian).
7. Mikhailin Yu. A. (2008) *Special Polymer Composite Materials*. St. Petersburg, Scientific Bases and Technologies (in Russian).
8. Apollonsky S. M. (2014) *Electromagnetic Fields in Technical Devices*. Saarbrücken, Palmarium Academic Pub. (in Russian).
9. Efanov E. I., Tikhomirov A. A. (2012) *Electromagnetic Compatibility of Radio Electronic Means and Systems*. Tomsk, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (in Russian).
10. Barsukov S. V. (1999) Integrated Protection for Special Shielded Rooms. *Special'naja Tehnika*. (6), 21–25 (in Russian).

### Вклад авторов

Пеньялоса Овальес Д. И. разработал метод получения композиционных покрытий на основе порошкообразных алюмооксидов и оксида железа.

Бойправ О. В. оказала помощь в систематизации методики оценки радиуса контролируемой зоны вторичного электромагнитного излучения вычислительной техники, в проведении измерений, а также в интерпретации результатов измерений и написании статьи.

Тумилович М. В. определил актуальность, цели и задачи исследования, результаты которого представлены в статье.

Гусинский А. В. оказал помощь в разработке методики оценки влияния материалов на уровень электромагнитного излучения электронных устройств, а также в проведении измерений по предложенному методу.

Балтрукович П. И. участвовал в обсуждении результатов экспериментов.

### Authors' contribution

Penialosa Ovalies D. I. has developed the method for manufacturing of composite coatings based on powdered alumina and iron oxides.

Boiprav O.V. has assisted in systematization of the method for evaluation the radius of the controlled zone of secondary electromagnetic radiation of computer equipment, in carrying out the measurements, interpreting the measurement results, as well as in writing the article.

Tumilovich M. V. has determined the relevance, aims and objectives of the research, the results of which are presented in the article.

Gusinsky A. V. has assisted in developing of the method for assessing the influence of materials on the level of electromagnetic radiation of electronic devices, as well as in carrying out the measurements according to the method.

Baltrukovich P. I. participated in the discussion of the results of the experiments.

### Сведения об авторах

**Пеньялоса Овальес Д. И.**, стажер кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

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

**Тумилович М. В.**, д.т.н., доцент, начальник управления подготовки научных кадров высшей квалификации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Гусинский А. В.**, к.т.н., доцент, начальник Центра 1.9 научно-исследовательской части Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Балтрукович П. И.**, к.т.н., доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

**Penialosa Ovalies D. I.**, Intern of Information Protection Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Boiprav O. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at Information Protection Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Tumilovich M. V.**, Dr. of Sci., Associate Professor, Head of the Department for Training Highly Qualified Personnel of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Gusinsky A. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Center 1.9 of R&D Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Baltrukovich P. I.**, Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
Минск, ул. П. Бровки, 6  
Белорусский государственный  
университет информатики и радиоэлектроники  
E-mail: deivis@bsuir.by  
Тел. +375 17 293-22-09  
Пеньялоса Овальес Дейвис Исаиас

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka St., 6  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
E-mail: deivis@bsuir.by  
Tel. +375 17 293-22-09  
Penialosa Ovalies Deivis Isaias