УДК 691.175.2-022.532

БЕЛОУСОВА Елена Сергеевна, аспирант каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, 220040, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Беды 2б, общ. № 3, комн. 135 б, e-mail: elena1belousova@gmail.com;
НАСОНОВА Наталья Викторовна, канд. техн. наук, доцент каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, 220113, Республика Беларусь, г. Минск, ул. 2-ая Поселковая, 24-1, e-mail: nasonovan@bsuir.by;
ЛЫНЬКОВ Леонид Михайлович, д-р технических наук, проф., зав. каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, 220114, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости д. 157, кв. 197, e-mail: leonid@bsuir.by;
БОРБОТЬКО Тимофей Валентинович, д-р техн. наук, доцент каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, 220082, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Д. Сердича, д. 17, кв. 61, e-mail: kafzi@bsuir.by;
ЛИСОВСКИЙ Дмитрий Николаевич, аспирант каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Чернышевского, д. 14, кв. 7, e-mail: lisovsky@gmail.com

BELOUSOVA Elena Sergeevna, Post-graduate student of the Department «Information Security», Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, 220040, Belarus, Minsk, L.Bedy 2b, hostel № 3, room 135b, e-mail: elena1belousova@gmail.com;
NASONOVA Natalia Viktorovna, Ph.D. in Engineering, Associate Professor of the Department «Information Security», Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, 220113, Belarus, Minsk, 2nd Poselkovaya, 24-1, E-mail: nasonovan@bsuir.by;
LYNKOV Leonid Mihailovich, Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department «Information Security», Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, 220114, Belarus, Minsk, Independence Avenue, 157-197, e-mail: leonid@bsuir.by;
BORBOTKO Timofei Valentinovich, Doctor of Engineering, Associate Professor of the Department «Information Security» Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, 220082, Belarus, Minsk, D.Serdicha, 17-61, e-mail: kafzi@bsuir.by;
LISOVSKIY Dmitriy Nikolaevich, Post-graduate student of the Department «Information Security», Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, 220113, Belarus, Minsk, Chernyshevsky str., 14-7, e-mail: lisovsky@gmail.com

ОГНЕСТОЙКОЕ ЭКРАНИРУЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ШУНГИТСОДЕРЖАЩЕЙ КРАСКИ

FIRE-RESISTANT SHIELDING COATING BASED ON SHUNGITE-CONTAINING PAINT

На сегодняшний день при проектировании помещений специального назначения для экранирования электромагнитного излучения предъявляется ряд требований по пожарной безопасности используемых строительных материалов и экранов электромагнитного излучения. Предлагаемое композиционное покрытие на основе водоэмульсионной огнестойкой краски с наполнителем из нанопорошка шунгита может использоваться для обработки стен, пола, потолка и других поверхностей в экранируемых помещениях для снижения уровня электромагнитного излучения и обеспечения норм пожарной безопасности. Шунгит представляет собой минерал с многослойными фуллереноподобными глобулами

углерода диаметром 10–30 нм, вследствие своей высокой электропроводности способный ослаблять электромагнитное излучение.

Покрытие из шунгитсодержащей краски на целлюлозном основании подвергалось воздействию открытого пламени температурой 1700°С в течение 3 минут 40 секунд, в результате наблюдалось возникновение пенообразного термоизолирующего слоя без механического повреждения подложки. Рентгенодифракционный анализ порошка, образованного в результате воздействия пламени на покрытие из шунгитсодержащей краски, показал образование таких веществ, как ортоклаз, барит, рутил и др. Углерода, входящего в состав шунгита, используемого в качестве наполнителя для огнестойкой краски, обнаружено не было, что говорит об его окислении в ходе горения.

Исследования электромагнитных характеристик в диапазоне частот 8...12 ГГц композиционного покрытия после воздействия открытого пламени проводились на панорамном измерителе ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводным трактом, после чего были рассчитаны коэффициенты отражения и передачи. Результаты измерений и расчеты показали снижение коэффициентов передачи и отражения ЭМИ за счет уменьшения проводимости и изменения диэлектрических потерь композиционного покрытия из-за повышения содержания диоксида кремния и уменьшения процентного содержания углерода.

Today when specific shielded facilities are designed the construction materials and shields should meet a range of fire safety requirements. A composite coating on the basis of a water-based fire-resistant paint filled with shungite nanopowder can be applied onto walls, floors, ceilings and other surfaces in the shielded areas to reduce electromagnetic radiation and simultaneously to ensure fire safety. Shungit is a mineral with multilayer carbon fullerene globules which diameter is 10–30 nm. Due to the high conductivity shungite is able to weaken electromagnetic radiation.

A coating made of schungite-containing paint on a cellulose substrate was subjected to the open flame under the temperature of 1700°C for 3 minutes and 40 seconds. That resulted in the formation of insulating foam layer without mechanical damage of the substrate. The XRD diffraction analysis of the powder obtained in the process of flame influence on the coating showed the formation of the such substances as orthoclase, barite, rutile, etc. Carbon contained in shungit and used as a filler for the fireproof paint wasn't detected. This fact indicates carbon oxidation as the result of its burning out.

The shielding efficiency of the composite coating after open flame exposure was measured for the frequency range 8...12 GHz with the use of the panoramic attenuation meter and voltage standing wave ratio meter YA2R-67-61 with a sweep generator and waveguides. After that the reflection and transmission coefficients were calculated. The results of measurements and calculations showed decrease of the reflection and transmission coefficients due to conductivity decrease and dielectric losses changes of the composite coating provided by silica content increase and carbon percentage decrease.

Ключевые слова: огнестойкое покрытие, шунгит, экранирующие характеристики.

Key words: fire-resistant coating, shungite, electromagnetic radiation shielding efficiency.

При проектировании и создании экранирующих электромагнитное излучение (ЭМИ) помещений должны использоваться строительные материалы, изделия и конструкции, обеспечивающие соблюдение требований безопасности, а именно: механической прочности и устойчивости, пожарной безопасности, гигиены, защиты здоровья человека, охраны окружающей среды и т. д. [1]. Для создания таких помещений могут использоваться отделочные материалы, представляющие собой связующее с электропроводящими наполнителями, в качестве которых чаще всего используют порошки металлов и углерода. Для связывания частиц порошков могут применяться краски, отделочные смеси и другие материалы. Связующие материалы предназначены для формирования однородной структуры, придания адгезии и задания механической прочности покрытия. Экранирующие характеристики композиционных материалов определяются концентрацией, размерностью и структурой используемого порошкового наполнителя, однако повышение содержания порошка сверх определенной пороговой величины приводит к резкому ухудшению механических характеристик и адгезии покрытия к основанию.

На сегодняшний день перспективным является создание экранирующих отделочных строительных материалов на основе нанопорошкообразных наполнителей, обладающих за счет своей размерности особыми свойствами, что обеспечивает возможность управления характеристиками экранирования электромагнитного излучения и обеспечивает высокие механические характеристики получаемых покрытий. Предпочтительно использование электропроводных углеродсодержащих минералов в порошкообразном виде, которые, в отличие от металлических порошков, не подвержены коррозии и обладают электропроводностью [2].

В работе [3] показана высокая эффективность композитных поглотителей ЭМИ на основе порошкообразного углеродсиликатного минерала шунгита. Уникальные свойства шунгита определяются структурой и составом образующих его элементов. Шунгитовый углерод образует в породе матрицу, в которой равномерно распределены высокодисперст-

ные силикаты со средним размером около 1 мкм [4]. Основу шунгитового углерода представляет многослойная фуллереноподобная глобула, диаметром 10–30 нм, поэтому порошкообразный шунгит можно отнести к нанопорошкам (рис. 1).

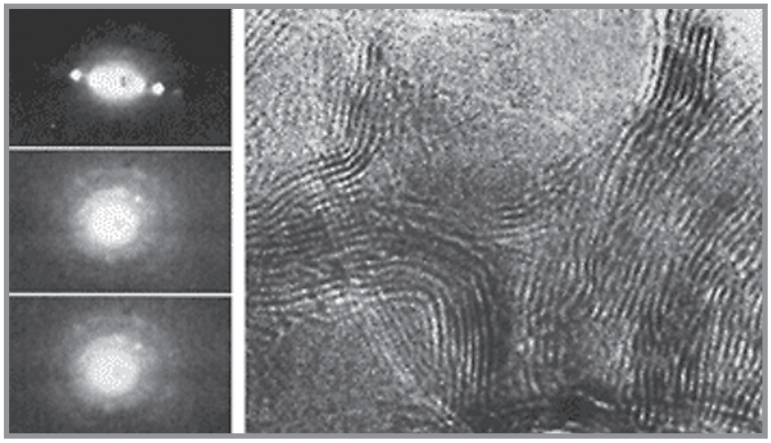

Рис. 1. **Нанодифракционная картина шунгитового углерода (зонд 0,3–0,7 нм) [4]**

Помещая внутри углеродных кластеров разные атомы и молекулы, можно создавать различные материалы и сорбенты с широким спектром физико-химических свойств, таких как: электропроводность, диэлектрические потери и механическая прочность.

Исследовались экранирующие характеристики покрытия на основе водоэмульсионной огнестойкой краски с добавлением порошка шунгита в соотношении 1:2. Такая концентрация обеспечивает вязкую консистенцию смеси, удобную для нанесения на любые поверхности. После помола размер частиц, отделенных с помощью сита, составлял менее 20 нм. В качестве огнестойкой краски был выбран огнезащитный состав марки «АгниТерм М», который представляет собой суспензию пигментов, реактивных и инертных наполнителей в стабилизированной водной дисперсии синтетических полимеров с модифицирующими добавками. Огнезащитное покрытие «АгниТерм М» обеспечивает пассивную противопожарную защиту путем образования под воздействием высокой температуры трудногорючего пенообразного термоизолирующего слоя (кокса). При сильном нагревании краска вспенивается и образует изолирующий слой в несколько сантиметров. Огнезащитный состав имеет хорошую адгезию, легко наносится, не имеет запаха [5]. Полученная смесь наносилась

равномерным слоем толщиной 1,5 мм на прессованное целлюлозное основание размером 220x170 мм и толщиной 3 мм.

Испытания огнестойкости полученного покрытия проводились в соответствии с Нормами пожарной безопасности Республики Беларусь [6] и санитарно-гигиеническими требованиями. Высоту пламени температурой +1700°С регулировали вентилем, и в вертикальном положении горелки оно составляло (40±2) мм. Время испытания составило 3 минуты 40 секунд, после чего эксперимент был прекращен. Образец не прогорел и сохранил свои механические свойства, в результате воздействия пламени наблюдалось возникновение пенообразного термоизолирующего слоя – кокса (рис. 2).

Рис. 2. **Испытание образца покрытия из краски с добавлением нанопорошка шунгита открытым пламенем температурой 1700°С**

Было проведено рентгенодифракционное исследование коксоподобного порошка пенообразного термоизолирующего слоя, полученного в результате воздействия открытого пламени на покрытие из огнезащитной краски с добавлением шунгита, на установке ДРОН-3М с использованием CuK_{α}-излучения (длина волны $\lambda = 1{,}5417737$ Å) и графитового фильтра в диапазоне углов от 15° до 100° (рис. 3).

Определение химического состава полученного вещества производилось в программе для идентификации рентгенодифракционных максимумов веществ – «MATCH!». Данная программа позволяет определять фазы в образце путем сравнения его порошковой дифракции

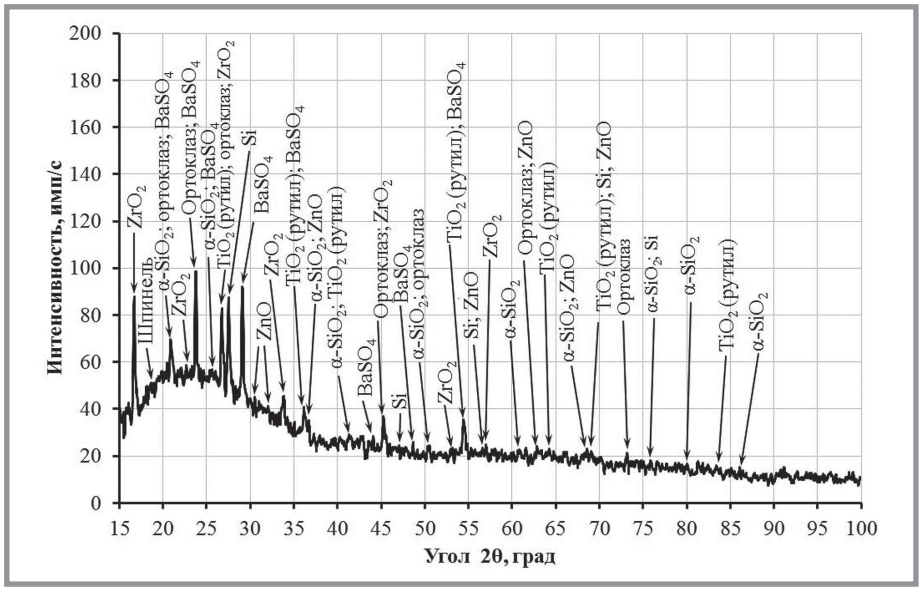

Рис. 3. **Дифрактограмма коксоподобного порошка пенообразного термоизолирующего слоя огнезащитной краски с добавлением шунгита после воздействия открытого пламени**

с эталонными дифрактограммами веществ, которые находятся в базе данных «Crystallography Open Database» (COD). Также «MATCH!» позволяет провести качественный анализ содержания исходного и полученного вещества в образце (табл.).

В результате рентгенодифракционного анализа образцов было установлено, что в химический состав порошка шунгита входит шунгитовый углерод, который представлен некристаллической формой углерода (неграфитируемая, стойкая против кристаллизации, фуллереноподобная), содержащей фуллерен в форме C_{60} [7], и процентный состав углерода (C) составляет 11,3%, фуллерена (C_{60}) – 18,8%. В полученном коксоподобном порошке углерода не обнаружено, что говорит о переходе его в аморфную форму (состояние с неупорядоченной структурой, в основе которого лежит структура мелкокристаллического графита). При обычных условиях углерод химически инертен, при высоких температурах он соединяется со многими элементами, проявляя сильные восстановительные свойства. Химическая активность убывает при температурах выше 300–500°C с образованием двуокиси углерода (CO_2) и окиси углерода (CO) [8].

Температура плавления α-кварца (SiO_2) составляет 1610°C, при которой он распадается на Si и SiO_2, при взаимодействии с различными

Таблица

Анализ шунгитсодержащей огнестойкой краски с помощью программы «MATCH!»

Название фазы	Химическая формула	Номер записи в базе данных COD	Содержание, % масс.	Содержание в шунгите, % масс.
Ортоклаз	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	96–900–0312	62,8	–
Барит	$BaSO_4$	96–900–0651	12,8	–
Оксид циркония	ZrO_2	96–900–7449	5,9	1,1
Оксид цинка	ZnO	96–230–0114	2,5	–
Рутил	TiO_2 (пигмент краски)	96–900–7433	7,4	1,2
Диоксид кремния (α-кварц)	SiO_2	96–101–1173	1,9	50,1
Шпинель	Al_2MgO_4	96–900–2740	2,8	–
Кремний	Si	96–900–8567	4,0	–
Углерод (графит)	C	96–901–2231	–	11,3
Фуллерен	C_{60}	96–901–1581	–	18,8
Мусковит (слюда)	$KAl_3Si_3O_{11} \cdot H_2O$	96–101–1050	–	7,7
Пеллиит	$CaMg_{0,22}Ba_2Al_{0,2}Fe_{1,48}Mn_{0,18}Zn_{0,12}Si_{5.8}O_{17}$	96–900–0483	–	3,0
Карбонат железа	$FeCO_3$	96–500–0037	–	0,5
Магнетит	$Ca_{0,01}Mg_{0,06}Al_{0,05}Fe_{2,1}Mn_{0,02}V_{0,01}Ti_{0,7}4Si_{0,01}O_4$	96–900–4157	–	4,4
Кальсилит	$KAlSiO_4$	96–900–9435	–	0,2
Анатаз	TiO_2	96–900–8214	–	1,7

оксидами образуются силикаты. Как видно из таблицы, порошкообразный шунгит содержит 50,1% α-кварца (SiO_2), в результате воздействия открытого пламени температурой 1700°С он распался на кремний (Si) – 4% и α-кварца (SiO_2) – 1,9%, а также, взаимодействуя с различными оксидами, участвовал в образовании ортоклаза (62,8%), который также образуется в результате удаления воды в мусковите ($KAl_3Si_3O_{11} \cdot H_2O$) при температуре выше 850°С.

В состав огнестойкой краски марки «АгниТерм М» входит: оксид цинка (ZnO), барит ($BaSO_4$) и диоксид титана (TiO_2), которые являют-

ся основными пигментами краски. Оксид циркония (ZrO_2) и шпинель (Al_2MgO_4) добавляются в краску для огнестойкости. Остальные вещества, присутствующие в шунгите, в ходе рентгенодифракционного исследования коксоподобного порошка, образованного в результате термического воздействия, обнаружены не были, что говорит об их реакции с другими веществами.

Исследования экранов ЭМИ связаны с измерением их эффективности экранирования, которая обычно характеризуется величиной коэффициентов передачи и отражения мощности энергии ЭМИ от образца в некотором диапазоне частот. Допущения, связанные с пренебрежением незначительным затуханием ЭМИ в свободном пространстве по сравнению с ослаблением излучения, обеспечиваемым исследуемым материалом, позволяют использовать упрощенную методику измерения эффективности экранирования.

Для исследования экранирующих характеристик созданных образцов элементов конструкций экранов ЭМИ в диапазоне 8...12 ГГц использовался панорамный измеритель ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводным трактом, который обеспечивает выделение и детектирование уровней падающей и отраженной (или прошедшей) волн электромагнитного излучения. Калибровка оборудования перед началом измерений экранирующих характеристик производилась по стандартной методике [9].

Коэффициент передачи ЭМИ S21 определяется отношением напряженностей падающей волны и волны, прошедшей через образец, и представляет собой величину, обратную ослаблению А:

$$S_{21} = 20\log\left(\frac{E_{прош}}{E_{пад}}\right) = -A, дБ. \quad (1)$$

Коэффициент отражения определяется через коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) измерительного тракта с образцом в режимах согласованной нагрузки и короткого замыкания (с установленным металлическим отражателем):

$$S_{11} = 20\log\left(\frac{E_{отр}}{E_{пад}}\right) = 20\log\left(\frac{КСВН - 1}{КСВН + 1}\right), дБ, \quad (2)$$

где $E_{отр}$, $E_{пад}$, $E_{прош}$ – напряженности отраженной, падающей волн и волны, прошедшей через образец, соответственно.

Проведенные измерения экранирующих характеристик покрытия из шунгитосодержащей краски до и после воздействия открытого пламени анализировались вместе с результатами рентгенодифракционного исследования полученного порошка.

Установлено, что после воздействия открытого пламени температурой 1700°С коэффициент передачи ЭМИ увеличивается на 2,5 дБ (рис. 4в), уменьшается коэффициент отражения на 4 дБ (рис. 4а) и на 2...6 дБ с использованием металлического отражателя (рис. 4б). Рентгенодифракционные исследования химического состава покрытия после сжигания показали образование в полученном материале ортоклаза ($K2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), содержащего до 64% диоксида кремния (SiO_2), который является диэлектриком, и уменьшение процентного содержания шунгитового углерода, что привело к снижению общей проводимости материала покрытия и изменению его диэлектрических характеристик. Это обусловило уменьшение эффективности экранирования ЭМИ за счет уменьшения доли электромагнитной энергии, отражаемой

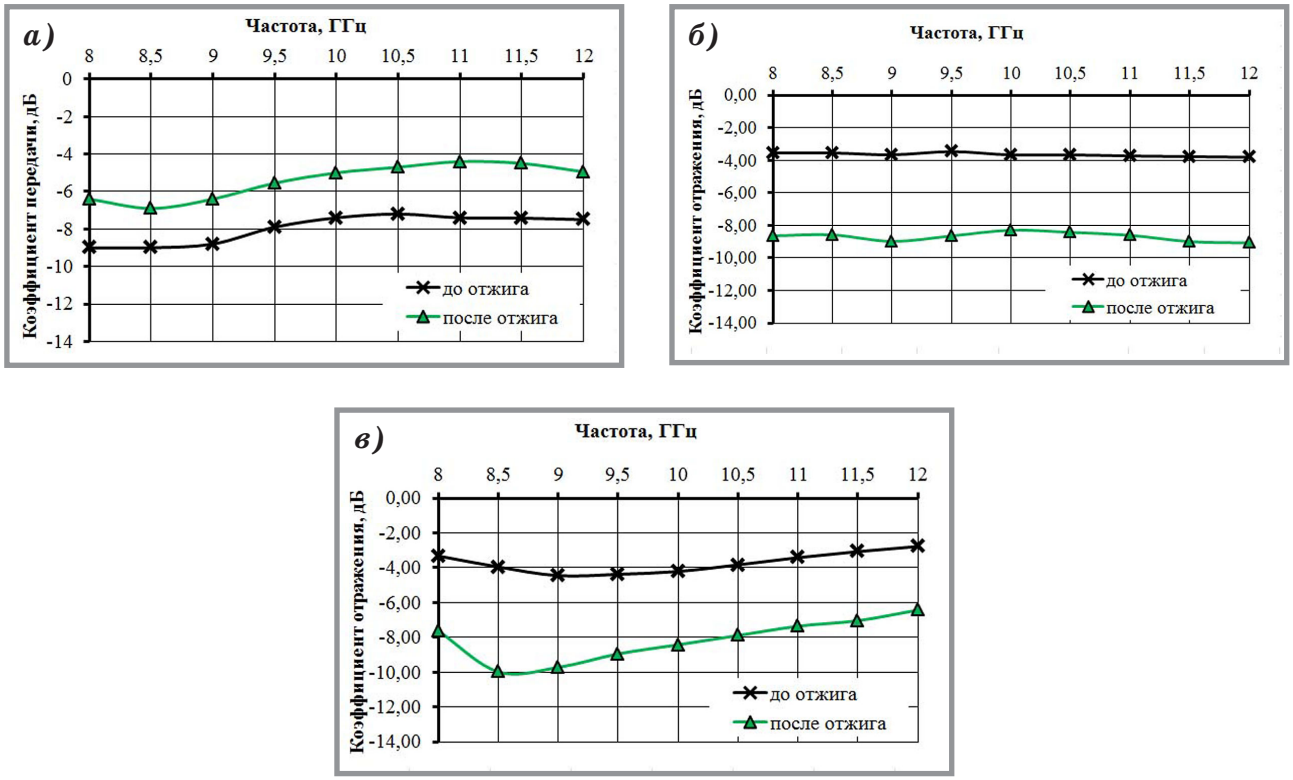

Рис. 4. **Графики частотной зависимости:**
а – коэффициента передачи; б – коэффициента отражения без металла;
в – коэффициента отражения с металлом в диапазоне частот 8–12 ГГц

от покрытия (рис. 4б). Нанесение покрытия на металлическую подложку приводит к увеличению ослабления ЭМИ (свыше 40 дБ) металлическим слоем с высокой проводимостью и позволяет снизить уровень отражаемой энергии вследствие приближения волновых характеристик композиционного покрытия к импедансу свободного пространства. Измерения характеристики отражения с металлическим отражателем, установленным за образцом покрытия, показывают, что изменение диэлектрических свойств покрытия привело к улучшению согласования волновых характеристик покрытия и свободного пространства, что позволяет получить коэффициент отражения порядка –8...–10 дБ при величине коэффициента передачи менее –40 дБ.

Предложенное огнестойкое покрытие на основе краски с добавлением нанопорошка шунгита может быть использовано для обработки стен, пола, потолка и других поверхностей в экранируемых помещениях для снижения уровня ЭМИ. Огнестойкость покрытия из шунгитсодержащей краски обусловлена сохранением механических свойств при воздействии открытого пламени при температуре 1700°С не менее трех минут с образованием пенообразного термоизолирующего слоя (кокса). Исследования рентгенофазового анализа коксоподобного порошка, образовавшегося в результате воздействия открытого пламени, и экранирующих характеристик покрытия из шунгитсодержащей краски в диапазоне частот 8...12 ГГц показали, что в результате горения образуется ортоклаз (62,8%) и снижается содержание углерода в силикатной матрице, что выражается в снижении доли ослабляемой энергии ЭМИ и уменьшении коэффициента отражения ЭМИ от покрытий.

Разработанная шунгитсодержащая краска предлагается для отделки экранированных помещений, в которых эксплуатируются технические средства обработки информации ограниченного доступа, или серверных помещений, защищенных от утечки данных через побочные электромагнитные излучения и наводки и от возможных внешних электромагнитных воздействий. В случае повреждения покрытия вследствие воздействия открытого пламени, участки можно механически очистить и снова покрыть шунгитсодержащей краской.

Контакты *Contact information*	**e-mail: elena1belousova@gmail.com**

Уважаемые коллеги!
При использовании материала данной статьи просим делать библиографическую ссылку на неё:

Белоусова Е.С, Насонова Н.В., Лыньков Л.М. и др. Огнестойкое экранирующее покрытие на основе шунгитсодержащей краски // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2013, Том 5, № 4. С. 97–109. URL: http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_4_2013.pdf (дата обращения: __ _____ _____).

Dear colleagues!
The reference to this paper has the following citation format:

Belousova E.S., Nasonova N.V., Lynkov L.M. Fire-resistant shieldingcoatingbasedonshungite-containingpaint.Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal, Moscow, CNT «NanoStroitelstvo». 2013, Vol. 5, no. 4, pp. 97–109. Available at: http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_4_2013.pdf (Accessed __ _____ _____). (In Russian).

Библиографический список:

1. ТР 2009/013/BY. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность. Введ. 01.08.2010. Минск: БелГИСС. 2012. 31 с.
2. *Махмуд М.Ш.* Поглотители электромагнитного излучения на основе минералов для защиты информации от утечки по электромагнитному каналу / М.Ш. Махмуд, Е.А. Криштопова, В.П. Примако // Милекс–2011: материалы 5-й Междунар. научн. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения. Минск. 2011. С. 306–308.
3. *Белоусова Е.С., Махмуд М.Ш., Лыньков Л.М., Насонова Н.В.* Радиоэкранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2013, Том 5, № 2. С. 56–67. Гос. регистр. № 0421200108. URL: http//www.nanobuild.ru (дата обращения: 10.06.2013).

4. *Юшкин Н.П.* Глобулярная надмолекулярная структура шунгитов: данные растровой туннельной микроскопии // ДАН России. Геология. 1994. Т. 337. № 6. С. 800–803.
5. АгниТерм М – пенящаяся защита для металла // ООО «ЛАБОРАТОРИЯ ЛИМЕН». Минск. 2013. URL: http://lablimen.com/Catalog/view_10. (дата обращения: 10.06.2013).
6. НПБ 80–2003. Материалы текстильные. Методы испытания на воспламеняемость. Классификация. Введ. 01.07.2004. Минск: Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. 2004. 13 с.
7. *Пиотровский Л.Б.* Фуллерены в биологии и медицине: проблемы и перспективы // Сб. статей. «Фундаментальные направления молекулярной медицины». 2005. С. 195–268.
8. *Кнунянц И.Л.* Химическая энциклопедия. М.: Сов. энцикл.. 1990. 671 с.
9. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / В.А. Богуш, Т.В. Борботько, А.В. Гусинский и др. Минск: Бестпринт. 2003. 406 с.

References:

1. TR 2009/013/BY. Buildings and structures, construction materials and products. Safety. Introduced 01.08.2010. Minsk: BelGISS. 2012. 31 pp.
2. *Mahmood M.Sh.* Mineral-based EMI absorbers to prevent information leakage via electromagnetic channel / M.Sh. Mahmood, E.A. Kryshtopova, V.P. Primako // Mileks-2011: proceedings of the 5th Int. Scientific Conf. on military-technical problems, problems of defense and security, the use of dual-use technology. Minsk. 2011. P. 306–308.
3. *Belousova E.S., Mahmood M.Sh., Lynkou L.M., Nasonova N.V.* Radio shielding properties of concrete based on shungit nanomaterials. Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal. Moscow. CNT «NanoStroitelstvo». 2013, Vol. 5, no. 4, pp. 56-57. Available at: http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf (Accessed 10.06.2013). (In Russian).
4. *Yushkin N.P.* Supramolecular structure of globular shungit: data of the scanning tunneling microscopy // Reports of the Russian Academy. Geology. 1994. T. 337. № 6. P. 800–803.
5. AgniTerm M – foaming protection for metal // JSC «Laboratoria Limen». Minsk. 2013. URL: http://lablimen.com/Catalog/view_10. (date of access: 10.06.2013).

6. SFS 80–2003. Textiles. Flammability test methods. Classification. Introduced. 01.07.2004. Minsk: Belarus Ministry of Emergency Situations. 2003.
7. *Piotrovskiy L.B.* Fullerenes in biology and medicine: problems and prospects // Fundamental Directions of Molecular Medicine: Collected articles. St. Petersburg.: Rostock. 2005. P. 195–268.
8. *Knunyants I.L.* Chemical encyclopedia. Moscow. Sov. encycl. 1990. P. 671.
9. Electromagnetic radiations. Methods and Protection / V.A. Bogush, T.V. Borbotko, A.V. Gusinsky et al. Minsk: Bestprint. 2003. P. 406.