

УДК 04.353.2–026.66:543.272.6

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТРАЖЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТРУДНОВОСПЛАМЕНЯЕМЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

О.В. БОЙПРАВ, Т.А. ПУЛКО, Л.М. ЛЫНЬКОВ, Х.А.Э. АЙАД,
А.М.А. МОХАМЕД, Л.Л. ГАНЬКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 17 июля 2017

Аннотация. Разработана методика синтеза многослойных трудновоспламеняемых электромагнитных экранов, характеризующихся по сравнению с аналогами пониженной стоимостью и массой. Обоснована перспективность использования в качестве основных их компонентов углеродосодержащих материалов (древесный и активированный уголь, технический углерод). Исследовано влияние термообработки открытым пламенем экранов, синтезированных в соответствии с разработанной методикой, на их характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Ключевые слова: активированный уголь, древесный уголь, трудновоспламеняемость, технический углерод, электромагнитное излучение.

Abstract. A technique for the synthesis of multi-layer incombustible electromagnetic shields, characterized in comparison with analogues with a reduced cost and mass, has been developed. The prospects of using of carbon-containing materials (charcoal, activated carbon, carbon black) as their main components have been substantiated. The influence of heat treatment by open flame of shields synthesized in accordance with the developed technique on their electromagnetic radiation reflection and transmission characteristics in the frequency range 0.7...17 GHz has been researched.

Keywords: activated carbon, charcoal, incombustibility, carbon black, electromagnetic radiation.

Doklady BGUIR. 2017, Vol. 108, No. 6, pp. 63-68

**Electromagnetic radiation reflection and transmission characteristics
of incombustible shields based on carbon-containing materials**

O.V. Boiprav, T.A. Pulko, L.M. Lynkou, H.A.E. Ayad, A.M.A. Mohamed, L.L. Gan'kov

Введение

Одной из разновидностей мероприятий, реализуемых в целях обеспечения стабильной работы радиоэлектронного оборудования, является электромагнитное экранирование помещений, в которых располагается это оборудование. Применяемые для этого устройства (электромагнитные экраны) должны характеризоваться низким значением массы на единицу площади и малой величиной коэффициента отражения электромагнитного излучения (ЭМИ). Кроме того, при разработке устройств, предназначенных для электромагнитного экранирования помещений, необходимо учитывать условия, при которых для таких помещений будет обеспечен требуемый уровень пожарной безопасности [1]. Это выполняется в случае, когда элементы строительных конструкций экранированных помещений характеризуются свойством трудновоспламеняемости или огнестойкости [2, 3].

В работе [4] представлены результаты создания огнестойких электромагнитных экранов на основе порошкообразного шунгита, обеспечивающего потери энергии взаимодействующего с ним

ЭМИ за счет того, что является углеродосодержащим материалом и характеризуется высокими значениями электропроводности (0,2...1,5 См/см в зависимости от объема содержащихся в нем примесей) [5]. Основным недостатком таких экранов заключается в их значительной стоимости, обусловленной неширокой распространенностью месторождений шунгитовой породы, а также трудоемкостью процессов, связанных с ее добычей и переработкой [6]. В связи с этим актуальным представляется поиск углеродосодержащих материалов, характеризующихся пониженной стоимостью по сравнению с порошкообразным шунгитом. К таким материалам могут быть отнесены древесный и активированный уголь, представляющие собой продукт горения древесины, а также технический углерод (сажа), который является отходом термического разложения углеводородов. В настоящей работе представлена методика синтеза электромагнитных экранов на основе указанных материалов, приведены результаты исследования закономерностей взаимодействия ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц с такими экранами, а также выполнено экспериментальное обоснование их трудновоспламеняемости.

Методики изготовления экранов и проведения исследований

Предложенные в рамках настоящей работы электромагнитные экраны представляют собой трехслойные конструкции. Первый (поверхностный) слой таких конструкций – композит на основе порошкообразного углеродосодержащего наполнителя. Второй слой – полотно углеродосодержащей ткани, изготовленной в соответствии с технологией, описанной в работе [7]. Преимущества такой ткани заключаются в ее низком значении массы на единицу площади (0,25 кг/м²), а также в том, что она обеспечивает потери энергии взаимодействующего с ней ЭМИ (величина ее коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц варьируется в пределах от –5 до –10 дБ). Третий слой предлагаемых экранов – фольгированный полиэтилен. Реализация электромагнитных экранов в виде многослойных конструкций способствует снижению значений их коэффициента отражения ЭМИ (по сравнению с однослойными экранами).

Методика синтеза экранов включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Раскрой полотна углеродосодержащей ткани и фольгированного полиэтилена на фрагменты требуемых размеров и форм, которые определяются габаритными параметрами строительных конструкций экранируемых помещений.

Этап 2. Закрепление фрагментов углеродосодержащей ткани на поверхности фрагментов фольгированного полиэтилена способом клеевого либо ниточного соединения. При использовании способа ниточного соединения применяется шов, кодовое обозначение которого в соответствии с ГОСТ 12807-2003 – 1.01.01.

Этап 3. Подготовка наполнителя для композита, предназначенного для формирования поверхностного слоя синтезируемого экрана. Она заключается в измельчении до порошкообразного состояния брикетов древесного или гранул активированного угля с использованием барабанно-шаровой мельницы. Степень измельчения – ~ 10 мкм.

Этап 4. Получение композита, предназначенного для формирования поверхностного слоя синтезируемого экрана. Оно выполняется путем равномерного распределения порошкообразного углеродосодержащего наполнителя (древесный и активированный уголь, технический углерод) по объему связующего вещества, находящегося в жидкой фазе. Это необходимо реализовывать с помощью промышленного миксера. В качестве связующего вещества предлагается применять огнезащитный состав «АгниТерм-М». Объемное соотношение наполнителя и связующего вещества в композите – 1:3. Экспериментальным путем установлено, что увеличение (по сравнению с указанными значениями) объемного содержания наполнителя в связующем приводит к разрушению синтезируемого композита в процессе его высыхания, а уменьшение – к увеличению значения его коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Этап 5. Нанесение полученного композита на поверхность фрагментов углеродосодержащей ткани, соединенной в рамках этапа 2 с фрагментами фольгированного полиэтилена. Этот процесс необходимо реализовывать с помощью шпателя.

Этап 6. Высушивание полученных электромагнитных экранов при нормальных условиях [8].

В соответствии с предложенной методикой в работе выполнен синтез образцов экранов. Количество видов синтезированных образцов – 3. Образцы каждого из видов отличались типом

входящего в состав их поверхностного слоя порошкообразного углеродосодержащего наполнителя (древесный уголь – в образце № 1, активированный уголь и технический углерод – в образцах № 2 и № 3 соответственно). Измерения значений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ образцов выполнялись в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. При этом использованы панорамный измеритель SNA 0.01–18 и методика, представленная в работе [7]. Оценка образцов на воспламеняемость выполнялась согласно ГОСТ 30247.0-94 [3]. Для измерения температуры их поверхности применялся тепловизор Guide MobIR M4, характеризующийся значением абсолютной погрешности $\pm 0,1$ °C [9].

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ исследованных образцов экранов в диапазоне 0,7...17 ГГц.

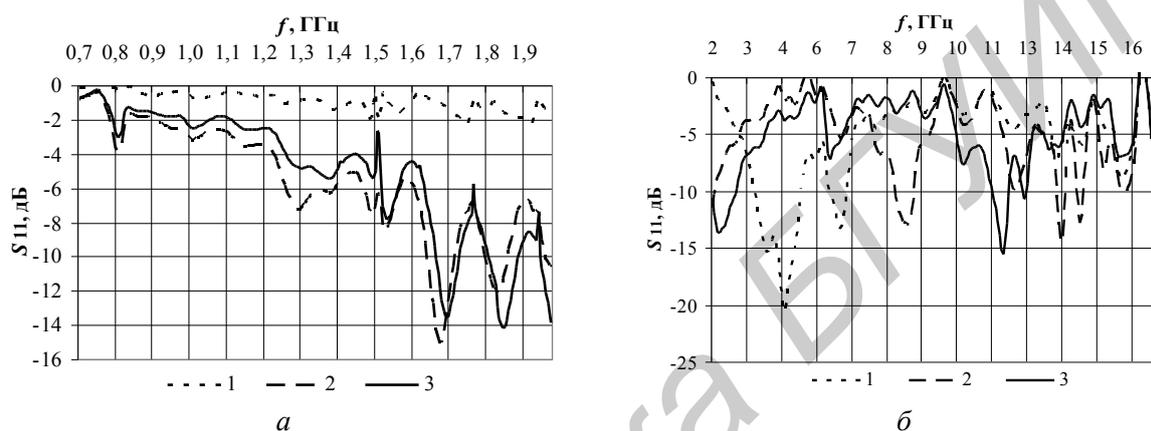


Рис. 1. Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц (а) и 2...17 ГГц (б) исследованных образцов экранов: 1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3

Из рис. 1 следует, что наименьшим средним значением коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц характеризуется электромагнитный экран на основе активированного угля (образец № 2), наибольшим – экран на основе древесного угля (образец № 1). Величина рассматриваемого параметра для первого из указанных экранов составляет -8 дБ, для второго – -5 дБ. Это связано с тем, что порошкообразный наполнитель композита, использованного для формирования поверхностного слоя образца № 1, характеризуется большим содержанием углеродных соединений по сравнению с наполнителями материалов поверхностных слоев образцов № 2 и 3. Это подтверждается результатами их рентгенодифракционного анализа (рис. 2).

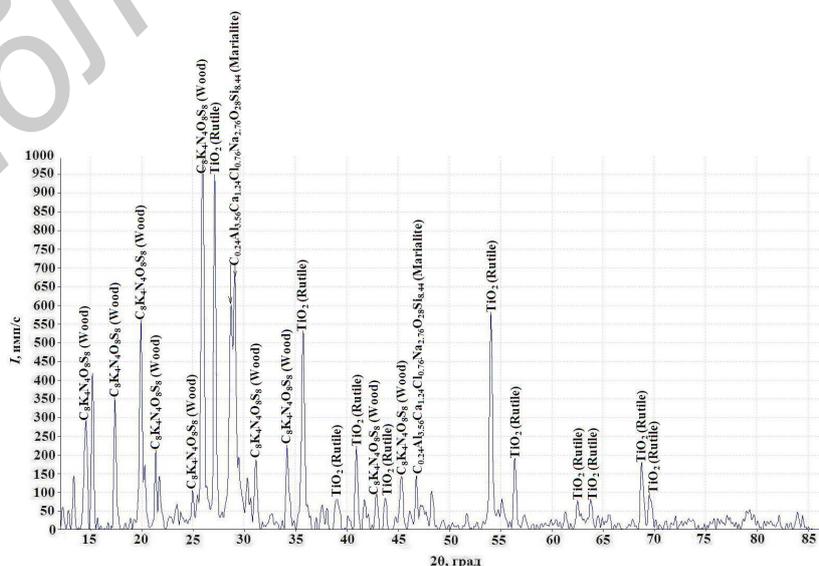


Рис. 2. Дифрактограмма композита, использованного для формирования поверхностного слоя образца № 1

Установлено, что в состав композита, использованного для формирования поверхностного слоя образца № 1 входят 50,9 масс. % древесины ($C_8K_4N_4O_8S_8$), 34,7 масс. % мариалита ($C_{0,24}Al_{3,56}Ca_{1,24}Cl_{0,76}Na_{2,76}O_{28}Si_{8,44}$) и 14,4 масс. % рутила (TiO_2). Установлено, что композит, использованный для формирования поверхностного слоя образца № 2, включает в себя 38,1 масс. % углеродного соединения $C_4ClN_4S_4$, 29,7 масс. % рутила (TiO_2), 28,0 масс. % мегакальсилита ($AlKO_4Si$) и 4,2 масс. % соединения CO_5Pb_3 . В состав материала поверхностного слоя образца № 3 входят 72,3 масс. % пентахлорфенила дисульфида ($C_{12}Cl_{10}S_2$), 24,1 масс. % рутила (TiO_2) и 2,5 масс. % дихлорбис платины ($C_4H_{12}Cl_2PtS_2$).

Определено, что тип порошкообразного наполнителя, использованного для формирования поверхностного слоя образцов, оказывает влияние на значение резонансных частот их характеристик отражения ЭМИ в диапазоне 2...17 ГГц. В частности, значение минимума характеристики отражения ЭМИ образца № 1 составило -20 дБ и было зарегистрировано на частоте 4 ГГц. Для аналогичных характеристик образцов № 2 и 3 значение минимума составило -15 дБ на частотах 14 и 12 ГГц соответственно. Данное явление обусловлено механизмами взаимодействия электромагнитного излучения с материалом поверхностных слоев исследованных образцов. Эти механизмы зависят от удельной электропроводности названных материалов, которая определяется процентным содержанием в них углерода.

Значение коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц исследованных экранов изменяется в пределах от -15 до -40 дБ независимо от типа порошкообразного наполнителя композита, использованного для формирования их поверхностного слоя. Это обусловлено наличием в составе экранов фольгированного материала (третий слой).

На основе результатов испытания образцов электромагнитных экранов на воспламеняемость установлено, что они относятся к классу В1 (трудновоспламеняемые), так как в процессе воздействия на них открытого пламени наблюдаются тление и обугливание материала их поверхности, которые прекращаются по завершении такого воздействия. При этом на поверхности экранов не образуются трещины, отслоения или иные разновидности разрушений.

Исследованы закономерности взаимодействия ЭМИ диапазона частот 0,7...17 ГГц с образцами синтезированных электромагнитных экранов после воздействия на них открытого пламени. Результаты такого исследования систематизированы в графические зависимости, представленные на рис. 3. Установлено, что в результате термообработки открытым пламенем исследованных экранов значения их коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц увеличиваются на 0,5...10 дБ. Кроме того, величина рассматриваемого параметра экранов, подвергнутых термообработке, несущественно зависит от типа порошкообразного углеродосодержащего наполнителя композитов, использованных для формирования их поверхностного слоя. Это связано со схожестью составов материалов, образующихся в результате воздействия на эти композиты открытого пламени, что подтверждается результатами их рентгендифракционного анализа (рис. 4).

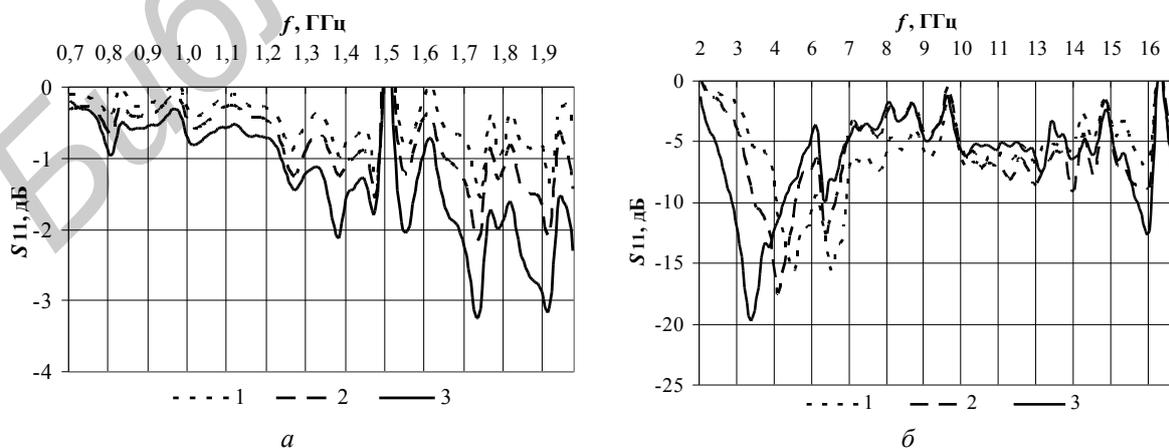


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц (а) и 2...17 ГГц (б) исследованных образцов экранов после их термообработки открытым пламенем: 1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3

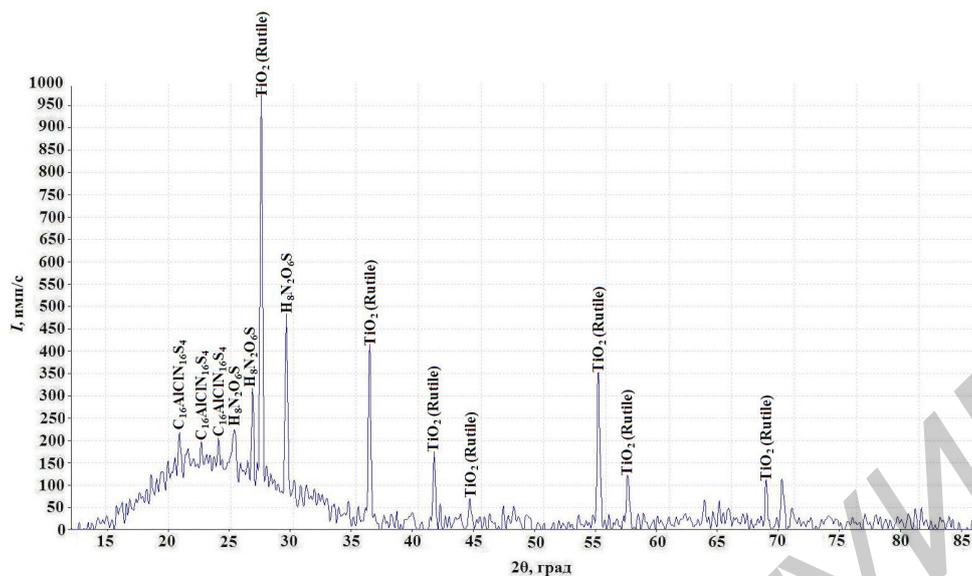


Рис. 4. Диффрактограмма материала поверхностного слоя образцов экранов после их термообработки открытым пламенем

Установлено, что после термообработки открытым пламенем исследованных экранов основным компонентом композитов, использованных для формирования их поверхностного слоя, становится рутил (TiO_2). Содержание углеродных соединений в таких материалах в результате реализации указанного процесса снижается, что обуславливает уменьшение потерь энергии взаимодействующего с ними излучения и, как следствие, увеличение коэффициента отражения ЭМИ электромагнитных экранов на основе этих материалов. Значения коэффициента передачи ЭМИ исследованных экранов после их термообработки открытым пламенем существенно не изменяются.

Заключение

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что предложенные в рамках настоящей работы электромагнитные экраны приемлемы для использования в качестве элементов несущих или ограждающих конструкций в помещениях, в которых располагается радиоэлектронное оборудование, подлежащее защите от воздействия электромагнитных помех. Это обусловлено тем, что такие конструкции обеспечивают уменьшение мощности ЭМИ как минимум в 10 раз, их поверхность не разрушается в процессе взаимодействия с открытым пламенем. Кроме того, реализация предложенных экранов в многослойном исполнении способствует предотвращению создания пассивных электромагнитных помех, обусловленных распространением в пределах экранируемых помещений электромагнитных волн, переотражаемых от металлических элементов их строительных конструкций. По сравнению с экранами на основе порошкообразного шунгита предложенные в рамках настоящей работы конструкции характеризуются пониженной массой ввиду того, что насыпная плотность у порошкообразных древесного и активированного угля, а также технического углерода как минимум на 20 % ниже, чем у порошкообразного шунгита (при сопоставимых размерах фракций указанных материалов) [10].

Список литературы

1. ТР 2009 /01. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность.
2. СТ СЭВ 383-87. Пожарная безопасность в строительстве. Термины и определения.
3. ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.
4. Белоусова Е.С., Бойправ О.В., Лыньков Л.М. Композиционные огнестойкие краски с углеродсодержащими компонентами для экранирования электромагнитного излучения // Вестник ПГУ. 2017. № 11. С. 47–51.
5. Электропроводность шунгитового углерода / Л.С. Парфеньева [и др.] // Физика твердого тела. 1994. № 1 (36). С. 234–236.

6. Мосин О.В., Игнатов И. Применение природного фуллеренсодержащего минерала шунгита в строительстве и строительных технологиях // Нанотехнологии в строительстве. 2012. № 6. С. 22–34.
7. Электромагнитные характеристики углеродсодержащего нетканого материала с геометрическими неоднородностями / Х.Д.А. Абдулхади [и др.] // Докл. БГУИР. 2017. № 1 (103). С. 87–90.
8. ГОСТ 28198-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Ч. 1. Общие положения и руководство.
9. MobIRM4 Thermal Camera. User manual. China: Wuhan Guide Infrared Technology Co., 2005. 54 p.
10. Берёзкин В.И. Углерод: замкнутые наночастицы, макроструктуры, материалы. СПб.: АРТЭГО, 2013. 450 с.

References

1. TR 2009 /01. Zdanija i sooruzhenija, stroitel'nye materialy i izdelija. Bezopasnost'. (in Russ.)
2. ST SJeV 383-87. Pozharnaja bezopasnost' v stroitel'stve. Terminy i opredelenija. (in Russ.)
3. GOST 30402-96. Materialy stroitel'nye. Metod ispytaniya na vosplamenjaemost'. (in Russ.)
4. Belousova E.S., Bojprav O.V., Lyn'kov L.M. Kompozicionnye ognestojkie kraski s uglerodosoderzhashimi komponentami dlja jekranirovaniya jelektromagnitnogo izlucheniya // Vestnik PGU. 2017. № 11. S. 47–51. (in Russ.)
5. Jelektroprovodnost' shungitovogo ugleroda / L.S. Parfen'eva [i dr.] // Fizika tverdogo tela. 1994. № 1 (36). S. 234–236. (in Russ.)
6. Mosin O.V., Ignatov I. Primenenie prirodnoho fullerensoderzhashhego minerala shungita v stroitel'stve i stroitel'nyh tehnologijah // Nanotehnologii v stroitel'stve. 2012. № 6. S. 22–34. (in Russ.)
7. Jelektromagnitnye harakteristiki uglerodsoderzhashhego netkanogo materiala s geometricheskimi neodnorodnostjami / H.D.A. Abdulhadi [i dr.] // Dokl. BGUIR. 2017. № 1 (103). S. 87–90. (in Russ.)
8. GOST 28198-89. Osnovnye metody ispytanij na vozdejstvie vneshnih faktorov. Ch. 1. Obshhie polozhenija i rukovodstvo. (in Russ.)
9. MobIRM4 Thermal Camera. User manual. China: Wuhan Guide Infrared Technology Co., 2005. 54 p.
10. Berjozkin V.I. Uglerod: zamknutyje nanochasticy, makrostruktury, materialy. SPb.: ARTJeGO, 2013. 450 s. (in Russ.)

Сведения об авторах

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

Пулко Т.А., к.т.н., доцент, доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Айад Х.А.Э., аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Мохамед А.М.А., аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Ганьков Л.Л., аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Bojprav O.V., PhD, associate professor of information security department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Pulko T.A., PhD, associate professor, associate professor of information security department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Ayad H.A.E., PG student of the information security department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Mohamed A.M.A., PG student of the information security department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Gan'kov L.L., PG student of the information security department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, д. 6,
Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-22-09;
e-mail: bojprav@tut.by
Бойправ Ольга Владимировна

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-17-293-22-09;
e-mail: bojprav@tut.by
Bojprav Olga Vladimirovna