

УДК 04.353.2–026.66:543.272.6

РАДИОЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА

О.В. БОЙПРАВ, Н.В. БОГУШ, Л.М. ЛЫНЬКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 27 ноября 2017

Аннотация. Выполнено исследование закономерностей взаимодействия электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (0,7...17 ГГц) с композитами на основе диоксида титана в зависимости от типа связующего последних. На основе полученных результатов для исследованных композитов определен оптимальный состав, при котором они могут быть использованы в целях уменьшения энергии электромагнитных волн, отражаемых от металлических материалов.

Ключевые слова: диоксид титана, композит, электромагнитное излучение.

Abstract. The study of regularities of interaction of electromagnetic radiation of the radiofrequency range (0.7...17 GHz) with composites based on titanium dioxide, depending on the type of binder of the latter was realized. The consist of the investigated composites, which is optimal for reduction of the energy of electromagnetic waves reflected from metallic materials was determined on the basis of obtained results.

Keywords: titanium dioxide, composite, electromagnetic radiation.

Doklady BGUIR. 2017, Vol. 110, No. 8, pp. 67-72

Radioshielding properties of composites based on titanium dioxide

O.V. Boiprav, N.V. Bogush, L.M. Lynkou

Введение

Одной из задач, решаемых в процессе создания экранированных помещений, является снижение энергии отражаемого от их внутренних перегородок побочного электромагнитного излучения (ЭМИ), которое формируется располагаемой внутри этих помещений радиоэлектронной аппаратурой. Актуальность решения данной задачи связана с тем, что в настоящее время для создания экранированных помещений используются преимущественно металлические материалы, которые характеризуются низкими значениями коэффициента передачи ЭМИ ввиду того, что большая часть энергии этого излучения отражается от их поверхности, что обусловлено высокими значениями их удельной электропроводности. Снижение энергии излучения, отражаемого от поверхности металлов, может обеспечиваться путем закрепления на их поверхности материалов, характеризующихся диэлектрическими свойствами, так как такие материалы выступают согласующим слоем между воздухом и металлом как средами распространения электромагнитных волн. В [1] обоснована перспективность использования порошкообразного диоксида титана для синтеза таких материалов. При этом в ходе реализации данного процесса могут применяться технологии спекания частиц порошкообразного диоксида титана или их закрепления в связующем веществе, что приводит к формированию композита. Вторая технология является более преимущественной ввиду того, что в результате ее реализации могут быть синтезированы структуры, характеризующиеся определенным набором физических и эксплуатационных свойств (гибкость, механическая прочность, низкая истираемость, широкий рабочий диапазон температур и т.п.). Эти свойства будут определяться разновидностью связующего вещества, использованного для закрепления частиц порошкообразного материала.

Цель работы заключалась в экспериментальном обосновании оптимального состава композитов на основе порошкообразного диоксида титана, которые могут применяться для снижения энергии ЭМИ, отражаемого от поверхности металлов.

Методика проведения исследований

Предложена методика получения композитов определенной толщины, а также методика изготовления необходимой для этого оснастки (форм) (рис. 1).

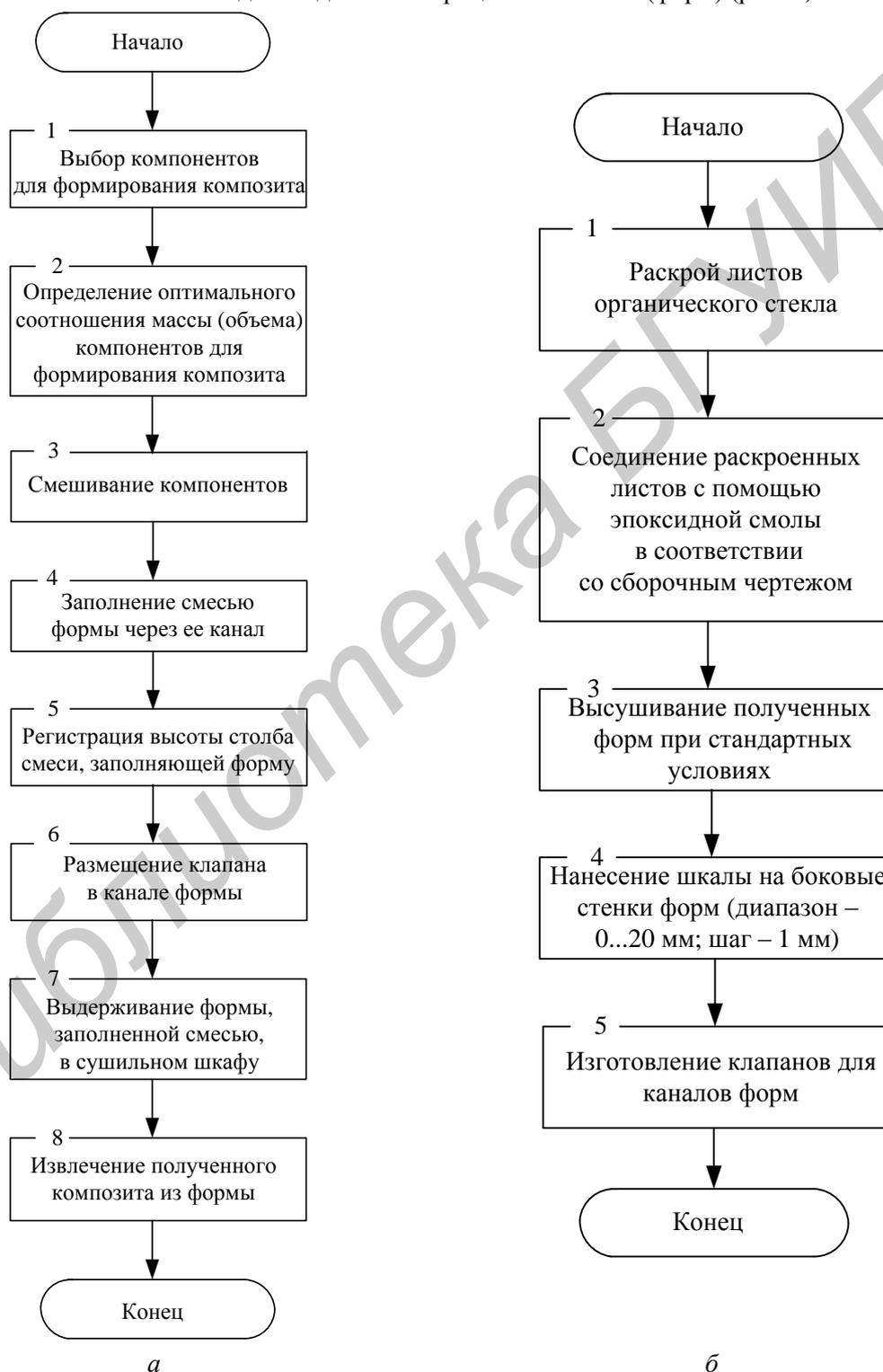


Рис. 1. Схемы реализации методик получения композитов определенной толщины (а) и необходимых для этого форм (б)

В соответствии с предложенной методикой необходимо реализовывать заполнение специальных форм находящейся в жидкой фазе смесью связующего вещества и наполнителя. Эти формы представляют собой полые параллелепипеды, изготовленные из оргстекла и оснащенные каналом, через который реализуется их заполнение смесью связующего вещества и наполнителя. Площадь поперечного сечения канала эквивалентна площади большей грани параллелепипеда. Из рис. 1, б следует, что изготовление форм должно выполняться на основании сборочного чертежа. На этом чертеже должны указываться габаритные размеры элементов форм, габаритные размеры и месторасположение канала, через который должно реализовываться их заполнение смесью связующего вещества и наполнителя, а также габаритные размеры клапана. Нанесение шкалы на боковые стенки форм может быть реализовано с помощью оборудования для лазерной гравировки либо путем наклеивания на эти стенки прозрачной ленты с напечатанной на ней шкалой. Выбор способа нанесения шкалы на стенки форм должен определяться химической агрессивностью компонентов композитов, для синтеза которых предполагается применять эти формы.

При реализации разработанной методики, помимо форм, необходимо использовать весы лабораторные класса точности 1 по ГОСТ 24104-2001 [2], посуду мерную по ГОСТ 1770-74 [3] (для определения массы или объема компонентов изготавливаемого композита), промышленный миксер (для равномерного смешивания компонентов), сушильный шкаф по ГОСТ 7365-55 [4] (для обеспечения необходимых условий для изменения фазы формируемого композиционного материала (с жидкой на твердую)).

С использованием предложенной методики в работе выполнен синтез образцов композитов четырех видов на основе порошкообразного диоксида титана. Образец каждого из видов характеризовался определенным типом связующего вещества, входящего в его состав. Были выбраны следующие связующие вещества: строительные цемент и гипс – для синтеза образцов вида 1 и 2 соответственно; полимеры (силикон и полиуретан – для синтеза образцов вида 3 и 4 соответственно). Преимущества композитов с цементным связующим – механическая прочность, гидрофобность, а композитов с гипсовым связующим – низкая масса и большее значение предельно допустимого объема вводимого наполнителя (по сравнению с материалами с цементным связующим). Композиты с полимерными связующими являются гибкими, что обуславливает возможность их использования для электромагнитного экранирования помещений сложной конфигурации. Кроме того, материалы на основе выбранных связующих веществ характеризуются хорошей адгезией к металлу [5].

Экспериментальное обоснование оптимального состава композитов, при котором они обеспечивают максимальное снижение энергии ЭМИ, отражаемого от поверхности металлов, выполнялось путем измерения значений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ их образцов в зависимости от объемного соотношения в них наполнителя и связующего, а также типа последнего. Такие измерения реализованы с применением комплекса на основе панорамного измерителя коэффициента отражения и передачи SNA 0,01–18 и двух рупорных антенн типа Пб-23М.

Определено, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц конструкций в виде исследованных композитов, зафиксированных на металлических подложках, уменьшаются при увеличении с 10 до 50 об.% содержания в этих материалах порошкообразного диоксида титана. Это может быть обусловлено увеличением поглощаемой ими энергии ЭМИ, что связано с возрастанием их влагосодержания. Композиты на основе цементного, гипсового и полимерных связующих, содержащие более 50 об.% порошкообразного диоксида титана, характеризуются низкой механической прочностью.

Таким образом, был сделан вывод о том, что оптимальному составу исследованных композитов соответствует объемное соотношение их наполнителя и связующих 1:1.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 изображены частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 0,7...2 ГГц закрепленных на металлических подложках образцов композитов на основе порошкообразного диоксида титана. Толщина образцов составляла 1 см.

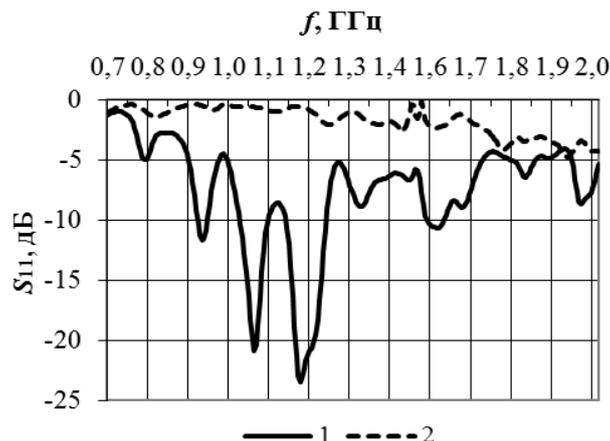


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 0,7...2 ГГц закрепленных на металлических подложках образцов композитов видов 1 и 2 (кривая 1), 3 и 4 (кривая 2)

Из рис. 2 следует, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц закрепленных на металлических подложках образцов композитов с гипсовым и цементным связующими изменяются в пределах от -2 до -23 дБ, а композитов с полимерными связующими – от -2 до -5 дБ. Идентичность характеристик отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц образцов композитов видов 1 и 2, а также образцов видов 3 и 4 может быть обусловлена схожими величинами их значений коэффициента передачи ЭМИ в указанном диапазоне частот. В соответствии с рис. 3 величина этого параметра у образцов видов 1 и 2 изменяется в пределах от -1 до -10 дБ, а у образцов видов 3 и 4 – от $-0,1$ до -4 дБ.

Минимумы характеристики отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...1,7 ГГц образцов композитов видов 1 и 2 составляют $-12 \pm 0,6$, -21 ± 1 и -23 ± 1 дБ. Соответствующие им точки минимума – $0,95 \pm 0,05$, $1,05 \pm 0,05$, $1,15 \pm 0,05$ ГГц.

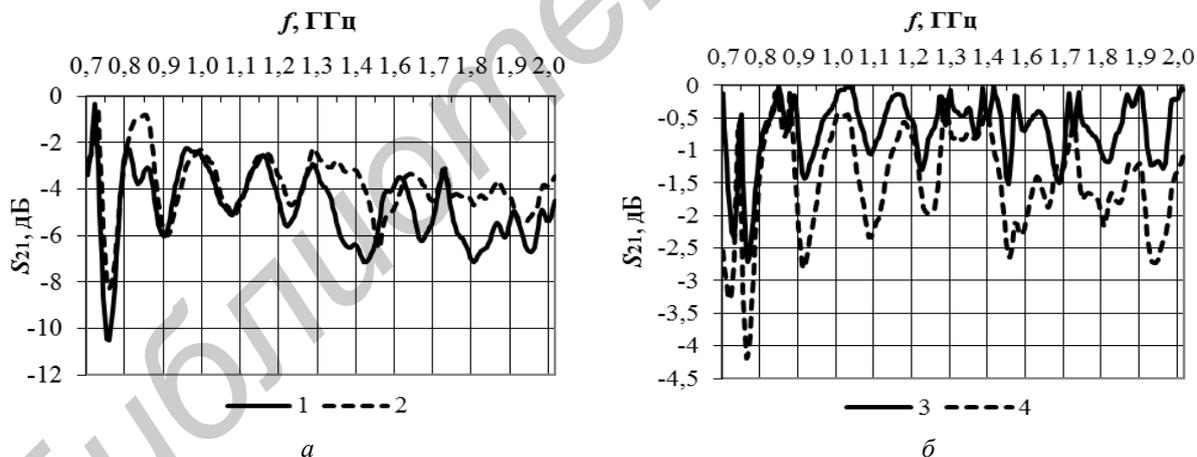


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне 0,7...2 ГГц образцов композитов: а – вида 1 (кривая 1), вида 2 (кривая 2); б – вида 3 (кривая 3) и вида 4 (кривая 4)

Значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 2...17 ГГц закрепленных на металлических подложках образцов композитов видов 1, 2, 3 и 4 изменяются соответственно в пределах от -6 до -16 дБ, от -6 до -12 дБ, от -1 до -10 дБ и от -1 до -15 дБ (см. рис. 4). Значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 2...8 ГГц и 11,5...13,5 ГГц образца композита вида 1 в среднем на 5 дБ ниже, чем у образца композита вида 2, что обусловлено более низкими значениями коэффициента передачи первого по сравнению со вторым (см. рис. 5). У образца композита вида 4 значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 8...17 ГГц на 1...12 дБ ниже, чем у образца вида 3, что связано с тем, что в этом диапазоне частот коэффициент передачи первого на 1...5 дБ ниже, чем второго.

Наибольшее количество минимумов было зарегистрировано на характеристике отражения ЭМИ закрепленного на металлической подложке композита на основе гипсового связующего и порошкообразного диоксида титана. Это обусловлено тем, что данный композит по сравнению с исследованными композитами других видов содержит больший объем воды, обеспечивающей поглощение энергии ЭМИ, отражаемого от металлической подложки. Наименьшее значение коэффициента отражения ЭМИ этого материала составляет $-16 \pm 0,8$ дБ и соответствует частоте $4 \pm 0,2$ ГГц. Значение его коэффициента передачи ЭМИ на данной частоте также является наименьшим и составляет -20 дБ.

Минимумы характеристик отражения ЭМИ в диапазоне частот 2...17 ГГц образцов композитов видов 2, 3 и 4 составляют $-12 \pm 0,6$, $-10 \pm 0,5$ и $-14 \pm 0,7$ дБ. Соответствующие им точки минимума – $10 \pm 0,5$, $7 \pm 0,3$ и $9 \pm 0,4$ ГГц.

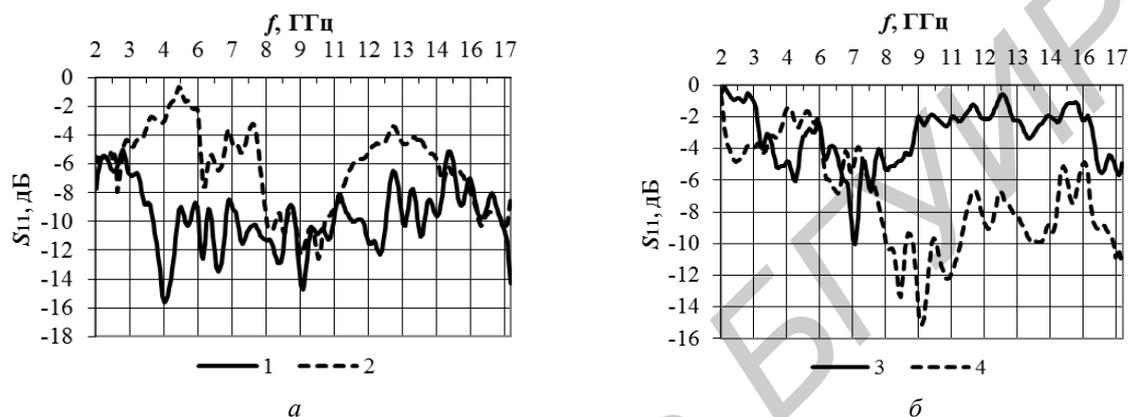


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 2...17 ГГц закрепленных на металлических подложках образцов композитов: *a* – вида 1 (кривая 1), вида 2 (кривая 2); *б* – вида 3 (кривая 3) и вида 4 (кривая 4)

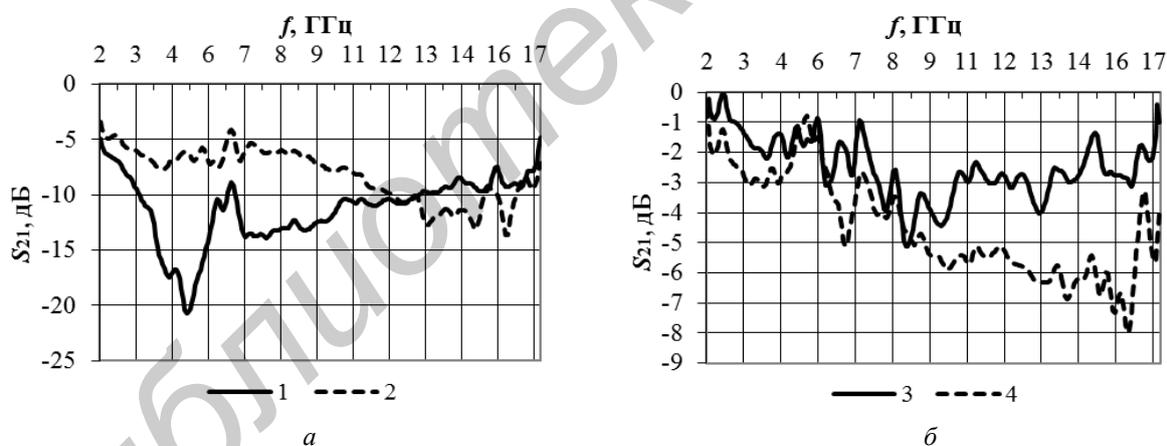


Рис. 5. Частотные зависимости коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне 2...17 ГГц образцов композитов: *a* – вида 1 (кривая 1), вида 2 (кривая 2); *б* – вида 3 (кривая 3) и вида 4 (кривая 4)

Заключение

На основе анализа результатов проведенного исследования можно сделать вывод о целесообразности использования композитов на основе порошкообразного диоксида титана и гипсового связующего в целях снижения энергии побочного ЭМИ, отражаемого от внутренних перегородок помещений, экранированных с помощью металлических листов. Это связано с тем, что такие материалы обеспечивают в большей степени поглощение энергии этого излучения, чем материалы на основе цемента и полимерных связующих, что обусловлено большим влагосодержанием первых по сравнению со вторыми. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение закономерностей взаимодействия композитов на основе указанного связующего с ЭМИ в зависимости от разновидности оксида переходного металла, содержащегося в составе их порошкообразного наполнителя.

Список литературы

1. Терех И.С. Формирование композитов на основе диоксида титана, устойчивых к воздействию высокоинтенсивных импульсных полей: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Минск, 2008.
2. ГОСТ 24104-2001 Весы лабораторные. Общие технические требования.
3. ГОСТ 1770-74. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия.
4. ГОСТ 7365-55. Шкаф сушильный лабораторный.
5. Еременко В.Н. Физическая химия конденсированных фаз, сверхтвердых материалов и их границ раздела. Киев: Наукова думка, 1975. 240 с.

References

1. Tereh I.S. Formirovanie kompozitov na osnove dioksida titana, ustojchivyh k vozdejstvuju vysokointensivnyh impul'snyh polej: avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk. Minsk, 2008. (in Russ.)
2. GOST 24104-2001. Vesy laboratornye. Obshhie tehicheskie trebovanija. (in Russ.)
3. GOST 1770-74. Posuda mernaja laboratornaja stekljannaja. Cilindry, menzurki, kolby, probirki. Obshhie tehicheskie uslovija. (in Russ.)
4. GOST 7365-55. Shkaf sushil'nyj laboratornyj. (in Russ.)
5. Eremenko V.N. Fizicheskaja himija kondensirovannyh faz, sverhtverdyh materialov i ih granic razdela. Kiev: Navukova dumka, 1975. 240 s. (in Russ.)

Сведения об авторах

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

Богуш Н.В., научный сотрудник НИЛ 5.3 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Лыньков Л.М., д.т.н., профессор, профессор кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

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

Bogush N.V., researcher of SRL 5.3 of R&D department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Lynkou L.M., D. Sci., professor, professor of 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: boiprav@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: boiprav@tut.by
Boiprav Olga Vladimirovna