



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-113-117>
УДК 539.2

Поступила 10.08.2020
Received 10.08.2020

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИСТАТИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТКАНИ 05С8-КВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЛАСТЕРАМИ МЕТАЛЛОВ

А. Г. АНИСОВИЧ, И. П. АКУЛА, А. П. ЛАСКОВНЕВ, М. И. МАРКЕВИЧ, Н. М. ЧЕКАН, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

Разработаны режимы нанесения и созданы углеродные покрытия, модифицированные кластерами металлов, на ткани 05С8-КВ (производитель – ОАО «Моготекс»). Исследована морфология поверхности данной ткани с покрытиями. Показано, что при нанесении покрытий с мишени из стали 12Х18Н10Т на покрытиях присутствует капельная фаза (максимальный размер капель достигает 3,5 мкм). Исследовано парамагнитное поглощение системы углеродное покрытие – кластеры из мишени 12Х18Н10Т. Установлено, что на ЭПР спектре присутствует спектральная линия шириной 94,4 мТл (милитесла), что свидетельствует о высокой концентрации магниторезонансных центров; эффективное значение g -фактора составляет $2,26 \pm 0,01$. Кроме того, на спектре фиксируется узкая спектральная линия с эффективным значением g -фактора $2,04 \pm 0,01$. Ширина линии составляет 4,3 мТл, что связано с высокой локальной концентрацией неспаренных электронов в углеродных кластерах при слабом нерезонансном поглощении СВЧ-поля. Результат измерения удельного поверхностного сопротивления на ткани с данным покрытием (сторона 1/сторона 2) составляет $2,3 \cdot 10^9$ и $4,8 \cdot 10^9$ Ом соответственно, что несколько ниже, чем у чисто углеродного покрытия.

Ключевые слова. Лавсан, ткань, антистатическое покрытие, микроскопия, резонансное поглощение энергии СВЧ, поверхностное сопротивление.

Для цитирования. Анисович, А. Г. Создание и исследование антистатических углеродных покрытий на ткани 05С8-КВ, модифицированных кластерами металлов / А. Г. Анисович, И. П. Акула, А. П. Ласковнев, М. И. Маркевич, Н. М. Чекан // Литье и металлургия. 2020. № 4. С. 113–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-113-117>.

CREATION AND RESEARCH OF ANTISTATIC CARBON COATINGS ON FABRIC 05С8-KB, MODIFIED BY METAL CLUSTERS

A. G. ANISOVICH, I. P. AKULA, A. P. LASKOVNEV, M. I. MARKEVICH, N. M. CHEKAN, State Scientific Institution “Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Belarus, 10, Kuprevich Str. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

Application modes have been developed and carbon coatings modified with metal clusters on 05S8-KV fabric (manufacturer OJSC Mogotex) were created. The surface morphology of this coated fabric was investigated. It was shown that during the deposition of coatings from 12X18H10T steel targets a droplet phase is present on the coatings (the maximum droplet size reaches 3.5 μm). The paramagnetic absorption of the system carbon coating – clusters from the 12X18H10T steel target is investigated. It was found that the EPR spectrum contains a spectral line 94.4 mT wide, which indicates a high concentration of magnetic resonance centers, the effective value of the g -factor is 2.26 ± 0.01 . In addition, a narrow spectral line with an effective g -factor of 2.04 ± 0.01 is recorded in the spectrum, the linewidth is 4.3 mT, which is associated with a high local concentration of unpaired electrons in carbon clusters with a weak nonresonant absorption at UHF (ultra-high frequency). The result of measuring the specific surface resistance on fabrics with this coating (side 1 / side 2) is $2.3 \cdot 10^9$ and $4.8 \cdot 10^9$ ohms, respectively, which is slightly lower than for a pure carbon coating.

Keywords. Lavsan, fabric, antistatic coating, microscopy, resonant absorption of UHF energy, surface resistance.

For citation. Anisovich A. G., Akula I. P., Laskovnev A. P., Markevich M. I., Chekan N. M. Creation and research of antistatic carbon coatings on fabric 05С8-KB, modified by metal clusters. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 4, pp. 113–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-113-117>.

Введение. В настоящее время технологическая антистатическая одежда необходима для различных отраслей производства: микроэлектроники, оптоэлектроники, а также фармацевтической, медицинской, ядерной, аэрокосмической, химической, пищевой и автомобильной промышленности. Ассортимент одежды из материалов с антистатическими свойствами весьма

разнообразен. Это комбинезоны, костюмы, бахилы и т. д. Специфика такой технологической одежды состоит в том, что она не служит средством защиты персонала, а является важной составляющей чистого помещения, которая защищает технологический процесс и производимую продукцию от загрязнений. Поэтому к материалам для изготовления одежды предъявляются особые требования [1–5]. Применяемые материалы должны обладать рядом свойств: минимальным пылеотделением, высокими барьерными свойствами (ткани, задерживающие частицы размером от 0,1 мкм), антистатичностью, определенными показателями удельного поверхностного сопротивления.

Лучшие прочностные показатели пылеотделения возможны только у тканей, имеющих в составе 100% синтетического волокна, но они не обладают антистатическим эффектом. Поэтому получение новых антистатических покрытий на полимерных тканях и исследование их свойств является актуальной задачей.

Цель работы – создание покрытий на ткани 05С8-КВ, снижающих статическое электричество, а также исследование свойств тканей с покрытием.

Материалы и методики эксперимента

Состав ткани 05С8-КВ – 100%-ный полиэфир (производитель – ОАО «Моготекс»). Она используется для пошива униформы, специальной одежды работников различных отраслей народнохозяйственного комплекса, а также для повседневной и спортивной одежды.

Предварительно перед формированием покрытий поверхность тканей обрабатывали высокоэнергетическими ионами аргона для удаления органических загрязнений в течение 15 мин при следующих параметрах: давление аргона в вакуумной камере – порядка $3,2 \cdot 10^{-2}$ Па, ускоряющее напряжение – 2000 В, ионный ток – 40 мА.

На поверхность ткани наносили металлическое покрытие; использовали мишени из стали 12Х18Н10Т и алюминия. Покрытия осаждали в вакууме с использованием источника стационарной металлической плазмы, работающего в режиме сепарации. Поскольку температура покрытия при его формировании на поверхности основы может достигать нескольких сотен градусов Цельсия, то процесс проводили путем чередования периодов работы источника плазмы (1 мин) и паузы для охлаждения ткани (1 мин). Формирование покрытий проходило при следующих параметрах: ток горения дуги – 55 А, 15 циклов «осаждение-охлаждение». Затем осаждали углеродное покрытие. Формирование углеродного покрытия проходило при следующих параметрах: давление углеводородного газа (ацетилен) – порядка 1,0 Па, ускоряющее напряжение на катоде – 300 В, емкость разрядной батареи – 2150 мкФ, частота следования импульсов – 2,5 Гц. Всего было сделано 10 000 разрядных импульсов.

Результирующее покрытие сформировано углеродом и кластерами металлов, входящих в состав стали 12Х18Н10Т.

Исследование поверхности волокна в исходном состоянии проводили с использованием металлографического комплекса на основе инвертированного микроскопа МИ-1 в отраженном свете при увеличениях от 2 до 1000 крат с освещением по методу светлого и темного поля [6]. Выбор оптического микроскопа для изучения волокна связан с тем, что в растровом электронном микроскопе образец за 2–3 с накапливает статический электрический заряд, что делает невозможным визуализацию поверхности.

Исследование морфологии поверхности ткани после нанесения покрытия было выполнено также на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMN, оснащенный катодом Шоттки высокой яркости в качестве источника электронов. Элементный состав определяли с помощью системы энергодисперсионного микроанализа AZtec для сканирующей электронной микроскопии и представляет собой программно-аппаратный комплекс с модульным программным обеспечением.

Исследования магнитного резонанса проводили на специализированном малогабаритном анализаторе ЭМР «Минск 22» при комнатной температуре. Рабочая длина волны – 3 см. Максимальное значение индукции магнитного поля – 450 мТл, частота модуляции – 30 кГц. Для калибровки интенсивности сигналов объектов исследования использовали образец из монокристалла рубина ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$). В процессе измерений дополнительный контроль стабильности работы спектрометра осуществляли путем измерения калибровочного материала двухвалентного марганца ($\text{MgO}:\text{Mn}^{2+}$) [7, 8].

Обсуждение результатов. В исходном состоянии ткань имеет полотняное плетение, размер ячейки составляет порядка 300 мкм (рис. 1, а). Толщина волокна – до 20 мкм (рис. 1, б).

Морфология поверхности ткани после нанесения покрытия углерод-сталь показана на рис. 2. На рис. 2, а показан характер плетения ткани. Поверхность покрытия ровная, без видимых дефектов (рис. 2, б). При увеличении 1000 крат на поверхности появляется капельная фаза (рис. 2, в).

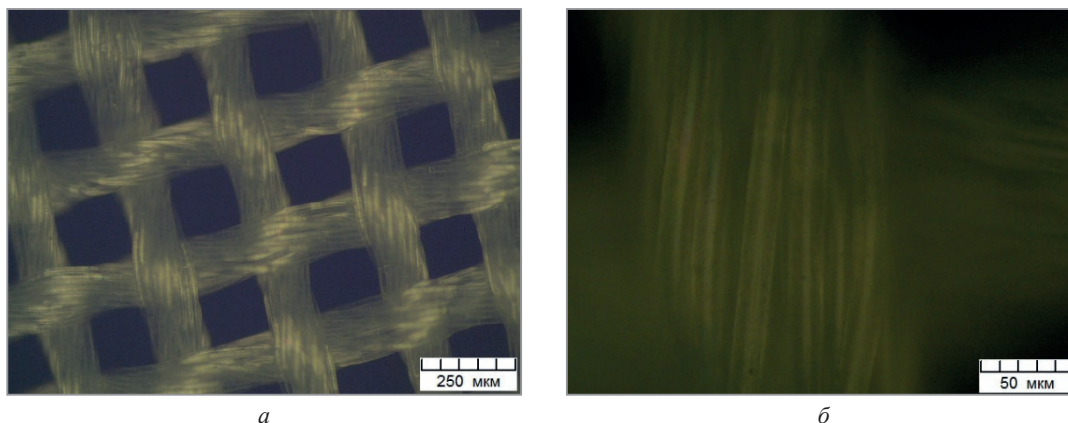


Рис. 1. Морфология поверхности ткани 05C8-KB в исходном состоянии; оптическая микроскопия, темнопольное освещение

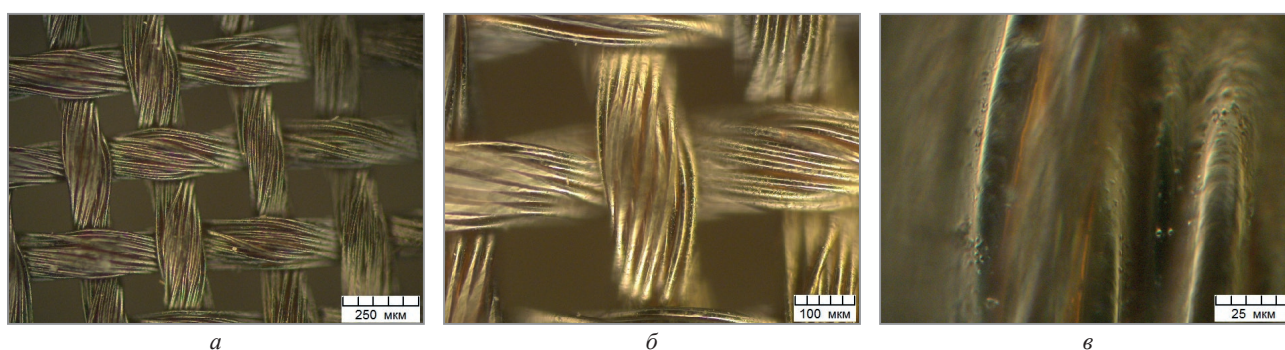


Рис. 2. Морфология поверхности ткани 05C8-KB с углеродным покрытием (мишень – сталь 12X18H10T) при различных увеличениях; оптическая микроскопия, темнопольное освещение

При исследовании поверхности волокна с покрытием в растровом микроскопе (рис. 3) в некоторых участках выявляются дефекты – разрушение волокна и участки без покрытия. Такие участки на растровом изображении выглядят светлыми в силу электризации непроводящей поверхности волокна.

Элементный состав покрытия приведен в табл. 1. В составе покрытия присутствуют элементы, входящие в состав стали 12X18H10T.

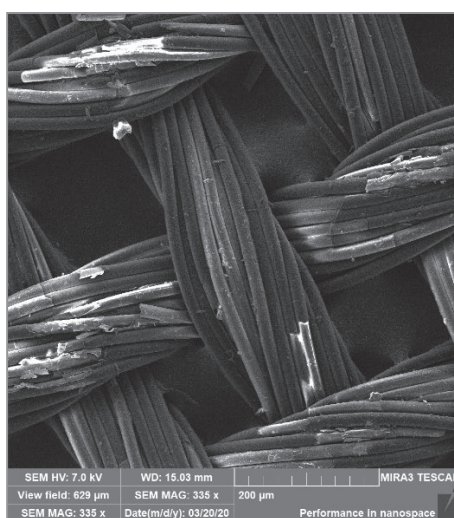


Рис. 3. Дефекты поверхности ткани 05C8-KB с покрытием сталь 12X18H10T-углерод; растровая микроскопия

Таблица 1. Элементный состав покрытия сталь 12X18H10T-углерод

Элемент	C	O	Cr	Fe	Ni
Содержание элементов, мас. %	78,83	3,85	0,08	12,88	1,83

На рис. 4 показан спектр магнитного резонанса ткани с комбинированным покрытием сталь 12X18H10T-углерод.

На спектре фиксируется широкая, спектральная линия шириной 94,4 мТл, что свидетельствует о высокой концентрации магниторезонансных центров; эффективное значение g -фактора составляет $2,26 \pm 0,01$. Значительное резонансное поглощение определяется кластерами железа, никеля, хрома при слабом нерезонансном поглощении. Кроме того, на спектре фиксируется узкая спектральная линия с эффективным значением g -фактора $2,04 \pm 0,01$, ширина линии составляет 4,3 мТл. Данное значение g -фактора соответствует графитоподобному углеродному покрытию. Результат измерения удельного поверхностного сопротивления на ткани с данным покрытием (сторона 1/сторона 2) составляет $2,3 \cdot 10^9$ и $4,8 \cdot 10^9$ Ом соответственно, что несколько ниже, чем у чисто углеродного покрытия.

На рис. 5, а–в приведена морфология поверхности покрытия алюминия и углерода. По цвету покрытие существенно не отличается от покрытия углерод-сталь, поскольку поверхность металлизирована углеродом.

В покрытии имеются протяженные дефекты длиной до 50 мкм и шириной 0,8 мкм. Ширина филаментов с покрытием составляет до 2 мкм (рис. 6).

Состав покрытия приведен в табл. 2. В составе присутствует железо, которое является естественной примесью алюминия. Также его присутствие может объясняться технологическим загрязнением.

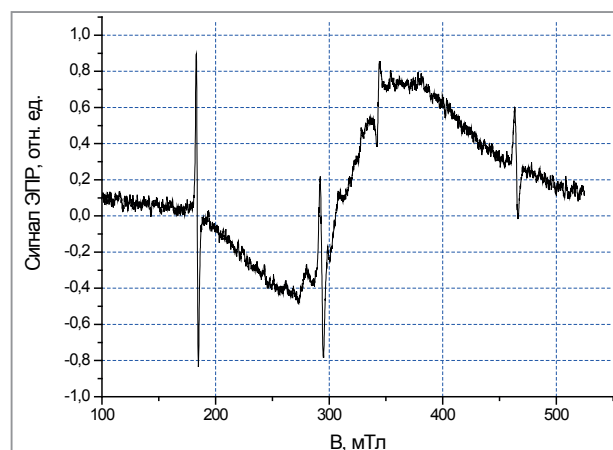


Рис. 4. Спектр магнитного резонанса ткани с комбинированным покрытием сталь 12X18H10T-углерод

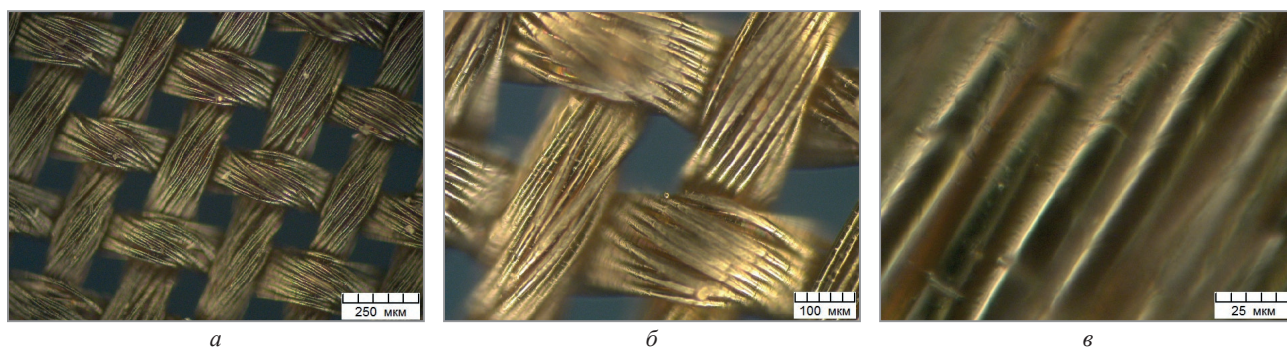


Рис. 5. Морфология поверхности ткани 05С8-КВ с покрытием алюминий-углерод; оптическая микроскопия, темнопольное освещение

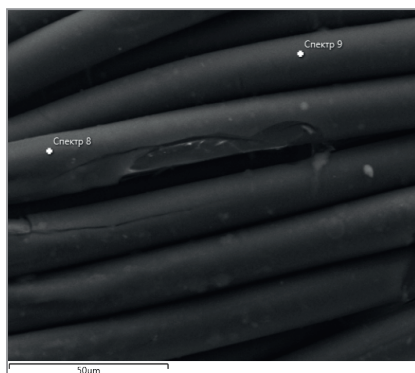


Рис. 6. Дефекты поверхности ткани 05С8-КВ с покрытием алюминий – углерод; растровая микроскопия

Таблица 2. Элементный состав покрытия углерод-алюминий

Элемент	C	O	Al	Fe
Содержание элементов, мас. %	84,96	7,51	11,14	0,15

Результат измерения удельного поверхностного сопротивления на ткани с данным покрытием (сторона 1/сторона 2) составляет $3,3 \cdot 10^{10}$ и $6,8 \cdot 10^{10}$ Ом соответственно, что свидетельствует о плохих антистатических свойствах возможно вследствие образования диэлектрических оксидов алюминия.

Выводы

Исследована морфология поверхности ткани 05С8-КВ с нанесенными комбинированными покрытиями из углерода, легированными кластерами металлов. Показано, что при нанесении покрытий на данный материал из углерода, легированного кластерами металлов из мишени нержавеющей стали, присутствует капельная фаза (размер капель составляет 2–3 мкм). Методом ЭМР установлено, что спектр ткани с покрытием из стали имеет широкую спектральную линию шириной 94,4 мТл, что свидетельствует о высокой концентрации магниторезонансных центров при ослабленном нерезонансном поглощении энергии СВЧ поля. Результат измерения удельного поверхностного сопротивления на ткани с данным покрытием (сторона 1/сторона 2) составляет $2,3 \cdot 10^9$ и $4,8 \cdot 10^9$ Ом соответственно, что несколько ниже, чем у чисто углеродного покрытия (сторона 1/сторона 2) ($3,7 \cdot 10^9$ и $8,8 \cdot 10^9$). Комбинированное покрытие из углерода и алюминия на ткани 05С8-КВ антистатическими свойствами не обладает.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Горлов, М.И.** Электростатические заряды в электронике / М.И. Горлов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович. Минск: Беларуская наука, 2006. 295 с.
2. **Борзунов, И.Г. и др.** Прядение хлопка и химических волокон: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. 376 с.
3. **Анисович, А.Г. и др.** Морфология поверхности, антистатические и магнитные свойства ткани 07С11-КВ // Электроника плюс. 2019. № 4. С. 51–52.
4. **Анисович, А.Г. и др.** Воздействие лазерного излучения на лавсановую ткань, покрытую углеродом // Полимерные материалы и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 72–77.
5. **Гришанова И.А., Мигачева О.С.** Состояние мирового и отечественного рынков синтетических волокон, нитей, нетканых материалов и его перспективы // Вестн. технол. ун-та. 2015. Т. 18. № 9. С. 10–15.
6. **Анисович, А.Г.** Искусство металлографии: использование методов оптического контрастирования // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2016. № 1. С. 36–42.
7. **Адашкевич, С.В. и др.** Магниторезонансная диагностика радиопоглощающих композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1. № 1. С. 71–75.
8. **Адашкевич С.В., Стельмах В.Ф., Маркевич М.И., Чапанов А.М.** Патент «Способ измерения поглощения излучения СВЧ». Заявитель Белорусский государственный университет (BY).-№ U 19325; заявл. 15.10.12; опубл. 8.04.15 // Афіцыйны бюл. / Нац. Центр уласнасці. 2015.-BY(11) 19325 C1 (13)- G 01N 24/10.

REFERENCES

1. **Gorlov M. I., Emel'janov A. V., Plebanovich V. I.** *Jelektrostaticheskie zarjady v jelektronike* [Electrostatic charges in electronics]. Minsk, Belarusskaja nauka Publ., 2006, 295 p.
2. **Borzunov I. G., Badalov K. I., Goncharov V. G., Duginova T. A., Chernikov A. N., Shilova N. I.** *Prjadenie hloпка i himicheskikh volokon* [Spinning of cotton and man-made fibers]. Moscow, Legkaja i pishhevaja promyshlennost' Publ., 1982, 376 p.
3. **Anisovich A. G., Akula I. P., Laskovnev A. P., Markevich M. I., Stel'mah V. F., Chekan N. M.** Morfologija poverhnosti, anti-staticheskie i magnitnye svojstva tkani 07C11-KV [Surface morphology, antistatic and magnetic properties of fabric 07C11-KB]. *Jelektronika plus = Electronics plus*, 2019, no. 4, pp.51–52.
4. **Anisovich A. G., Zalesskij V. G., Markevich M. I., Malyshko A. N., Zhuravleva V. I., Chekan N. M., Chao Chjen'.** Vozdejstvie lazernogo izluchenija na lavsanovuju tkan', pokrytuju uglerodom [Effect of laser radiation on carbon-coated lvsan fabric]. *Polimernye materialy i tehnologii = Polymer materials and technologies*, 2020, no. 1, vol. 6, pp. 72–77.
5. **Grishanova I. A., Migacheva O. S.** Sostojanie mirovogo i otechestvennogo rynkov sinteticheskikh volokon, nitej, netkanyh materialov i ego perspektivy [The state of the world and domestic markets for synthetic fibers, threads, nonwovens and its prospects]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta = Technological University Bulletin*, 2015, no. 9, vol. 18, pp. 10–15.
6. **Anisovich A. G.** Iskusstvo metallografii: ispol'zovanie metodov opticheskogo kontrastirovaniya [The Art of Metallography: Using Optical Contrasting Techniques]. *Vesci NAN Belarusi. Ser. fiz.-tjehn. nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technic al Series*, 2016, no. 1. pp. 36–42.
7. **Adashkevich S. V., Stel'mah V. F., Bakaev A. G., Gordienko A. I., Markevich M. I., Chaplanov A. M., Shherbakova E. N.** Magnitrezonansnaja diagnostika radiopogloshhajushhih kompozicionnyh materialov [Magnetic resonance diagnostics of radio-absorbing composite materials]. *Polimernye materialy i tehnologii = Polymer materials and technologies*, 2015, no.1, vol. 1, pp. 71–75.
8. **Adashkevich S. V., Stel'mah V. F., Markevich M. I., Chaplanov A. M.** *Sposob izmerenija pogloshhenija izluchenija SVCh* [Method for measuring absorption of microwave radiation]. Patent (BY), no.U 19325, 2012.