Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science https://kostumologiya.ru

2022, №3, Том 7 / 2022, No 3, Vol 7 https://kostumologiya.ru/issue-3-2022.html

URL статьи: https://kostumologiya.ru/PDF/19TLKL322.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:
Карноухов, А. Е. Исследование экранирующих и эксплуатационных свойств ламинированных текстильных материалов с металлическими покрытиями / А. Е. Карноухов, Э. Ф. Вознесенский, Ю. А. Тимошина, В. А. Сысоев, М. Ф. Шаехов // Костюмология. — 2022. — Т. 7. — № 3. — URL: https://kostumologiya.ru/PDF/19TLKL322.pdf

For citation:
Karnoukhov A.E., Voznesensky E.F., Timoshina Yu.A., Sysoev V.A., Shaekhov M.F. Study of shielding and performance properties of laminated textile materials with metal coatings. *Journal of Clothing Science*, 3(7): 19TLKL322. Available at: https://kostumologiya.ru/PDF/19TLKL322.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

Исследование было проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта № 075-15-2021-699

УДК 677

ГРНТИ 61.67.31

Карноухов Александр Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Аспирант кафедры «Плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов»
E-mail: a.carnouhov@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=910984

Вознесенский Эмиль Фаатович
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Заведующий кафедрой «Плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов»
Доктор технических наук, доцент
E-mail: howrip@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177545

Тимошина Юлия Александровна
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Доцент кафедры «Плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ybuki@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=745370

Сысоев Владислав Александрович
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Профессор кафедры «Плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов»
Доктор технических наук, доцент
E-mail: vlad.sisoev2012@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=688839

Шаехов Марс Фаритович
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Профессор кафедры «Плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов»
Доктор технических наук
E-mail: mars_schaeh@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=130250

Исследование экранирующих и эксплуатационных свойств ламинированных текстильных материалов с металлическими покрытиями

Аннотация. Производство текстильных материалов, экранирующих электромагнитные излучения, актуально в связи с потребностью в данных материалах при изготовлении защитных индивидуальных комплектов одежды для работников специальностей, которые в ходе своей деятельности находятся вблизи источников мощного электромагнитного излучения. Экранирующие материалы должны обеспечивать требуемый коэффициент экранирования электромагнитного излучения во всем диапазоне требуемых частот, иметь низкое электрическое сопротивление, выдерживать высокую разрывную, раздирающую и истирающую нагрузки, иметь требуемые показатели воздухо- и паропроницаемости для достижения высоких гигиенических свойств изготавливаемых средств индивидуальной защиты, а также быть устойчивыми к воздействиям стирки и чистки. Для получения текстильных материалов, обладающих экранирующими свойствами, могут использоваться различные подходы, среди которых одним из перспективных направлений является нанесение на текстильные материалы металлических покрытий методом магнетронного распыления. Данный метод обеспечивает нанесение на текстильные материалы различной структуры и волокнистого состава металлических и металлсодержащих покрытий высокой равномерности, позволяет получать металлические покрытия с высокой адгезией к подложке, особенно при использовании методов предварительной активации поверхности текстильного материала. В статье представлены результаты исследования экранирующих и эксплуатационных свойств ламинированных текстильных материалов с медными покрытиями, нанесенными методом магнетронного распыления. Проведенные исследования показали, что для получения текстильных материалов, обладающих экранирующими свойствами с сохранением воздухо- и паропроницаемости, целесообразно использование металлизированных тканей, ламинированных перфорированными полимерными пленками. Для получения текстильных материалов, обладающих коэффициентом экранирования свыше 70 дБ, толщина медного покрытия должна составлять не менее 0,3 мкм, при степени перфорации полимерной пленки, используемой для ламинации ткани, не более 50 %. Представленные результаты являются частью диссертационного исследования автора.

Ключевые слова: экранирующий текстильный материал; перфорированная пленка; металлическое покрытие; магнетронное распыление; коэффициент экранирования; удельное поверхностное электрическое сопротивление; паропроницаемость; воздухопроницаемость

Введение

Актуальность разработки функциональных текстильных материалов с защитными экранирующими свойствами возрастает с каждым годом. Особую значимость экранирующие ткани имеют при изготовлении защитных индивидуальных комплектов одежды для работников, которые в ходе своей деятельности находятся вблизи источников мощного электромагнитного излучения. Для изготовления качественных защитных костюмов необходима защитная ткань, имеющая высокие показатели экранирования и эксплуатационных свойств[1].

[1] Карнаухов А.Е. Разработка ламинированных текстильных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами для защиты от электромагнитных излучений // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=427416.

Для получения текстильных материалов, обладающих экранирующими свойствами, могут использоваться различные подходы, среди которых одним из перспективных направлений является нанесение на текстильные материалы металлических покрытий. Использование метода магнетронного распыления позволяет наносить на текстильные материалы различной структуры и волокнистого состава металлические и металлсодержащие покрытия высокой равномерности, а метод характеризуется высокой производительностью и отсутствием деструктирующего воздействия на поверхность полимерных материалов [1–5].

Анализ ранее проведенных исследований показал, что для получения экранирующих текстильных материалов может проводиться металлизация как непосредственно поверхности текстильного полотна, так и нанесенных на текстильную основу пленочных покрытий.[2,3] При этом используемая технология получения ламинированных текстильных материалов, а также свойства текстильной основы, полимерной пленки и металлического покрытия определяют функциональные и эксплуатационные характеристики материалов с экранирующими свойствами.

Целью данной работы является исследование экранирующих и эксплуатационных свойств текстильных материалов, полученных путем ламинирования ткани перфорированной полимерной пленкой, и нанесения медных покрытий методом магнетронного распыления. Представленные результаты являются частью диссертационного исследования автора.

Методы

В качестве объектов исследования выбраны ПЭФ ткань полотняного переплетения арт. 05С8-КВ производства ОАО «Моготекс», г. Могилев, респ. Беларусь; ПЭ пленка производства ООО «Данафлекс-Нано», г. Казань и термопластичная ПУ пленка PLATILON® H2 производства ООО «ЭЛАСТОИМПЭКС», г. Зеленоград.

Металлизация объектов исследования проводилась в многофункциональной опытной модульной вакуумно-плазменной установке PlasmaModular, производства ООО «ПИ ВИ ЭС» (PVS — Plasma & Vacuum System), г. Казань, при варьировании удельной мощности магнетрона W_m = 10–50 Вт/см^2, продолжительности напыления τ_m = 1–15 мин., плазмообразующий газ — аргон, давление в рабочей камере P_m = 0,3–0,7 Па, расстояние от мишени до поверхности материала h_m = 15 см. Для получения экранирующих текстильных материалов в качестве материала распыляемой мишени использована медь (99,9 %), что обусловлено низким удельным сопротивлением ~0,017–0,018 Ом·мм^2/м и относительно высокой скоростью распыления меди ~330 Å/с при W_m = 40 Вт/см^2.[4,5]

Для нанесения металлического покрытия использовали образцы ПЭФ ткани, а также образцы, полученные путем ламинирования ПЭФ ткани сплошными и перфорированными ПЭ и ПУ пленками. Использование перфорированных полимерных пленок обеспечивает

[2] Пат. № 2505256 C2 РФ, МПК A41D 13/00, D03D 15/00, C23C 14/35. Способ получения электропроводящего текстильного материала / Б.Л. Горберг, А.А. Иванов, В.А. Стегнин [и др.]. 2011145585/02. Заявл. 09.11.2011; опубл. 27.01.2014.

[3] Пат. № 2398045 C1 РФ, МПК C23C 14/02, C23C 14/35. Способ модификации поверхности текстильного материала / Б.Л. Горберг, А.А. Иванов, О.В. Мамонтов, В.А. Стегнин. 2008151794/02. Заявл. 25.12.2008; опубл. 27.08.2010.

[4] Sputtering Yields // Angsromsciences [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.angstromsciences.com/sputtering-yields (дата обращения: 13.04.2022).

[5] Magnetron Performance Optimization Guide // Kurt J. Lesker Company [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.lesker.com/newweb/ped/rateuniformity.cfm (дата обращения: 13.04.2022).

возможность получения ламинированных текстильных материалов, обладающих высокими показателями воздухо- и паропроницаемости.

Для изготовления опытных образцов ламинированных текстильных материалов перфорирование полимерных пленок осуществляли отверстиями круглой формы с диаметром 5 мм, расстояние между центрами отверстий — 8 мм, отверстия располагали в гексагональном или квадратном порядке, степень перфорации, рассчитываемая как отношение суммарной площади отверстий к полной площади полимерной пленки, составляла 35 %.

Ламинирование текстильных материалов в целях упрощения технологии и минимизации поверхностной плотности получаемых материалов проводили методом термопрессования. Перфорацию полимерных пленок осуществляли методом лазерной резки, который при использовании минимальной мощности излучения и высокой интенсивности обдува не приводит к оплавлению срезов пленки.

Коэффициент экранирования текстильных материалов определяли по ГОСТ 12.4.306-2016; удельное поверхностное сопротивление — по ГОСТ Р 50499-93. Паропроницаемость текстильных материалов определяли по ГОСТ Р 12.4.287-2013, воздухопроницаемость образцов оценивали по значениям газопроницаемости по воздуху методом газожидкостной порометрии на приборе POROLUX 100 (IB-FT GmbH, Германия) при перепаде давления 100 Па. Для исследования структуры поверхности образцов текстильных материалов применяли метод конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ).

Результаты

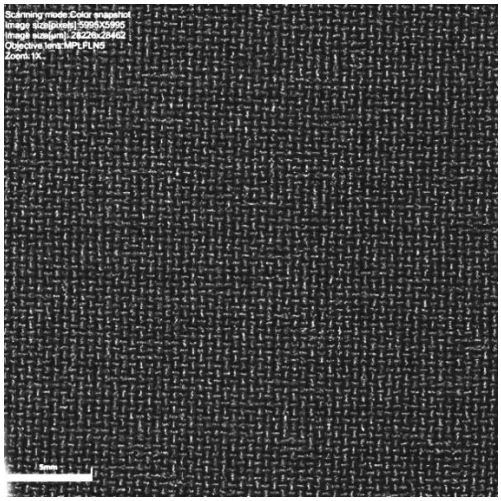
Перечень экспериментальных образцов текстильных материалов с металлическими покрытиями представлен в таблице 1. Результаты КЛСМ поверхности полученных образцов представлены на рисунке 1.

Для экспериментальных образцов металлизированных текстильных материалов определены значения коэффициента экранирования, поверхностной плотности, воздухопроницаемости и паропроницаемости. Полученные значения показателей экранирующих и физических свойств образцов металлизированных текстильных материалов представлены в таблице 2.

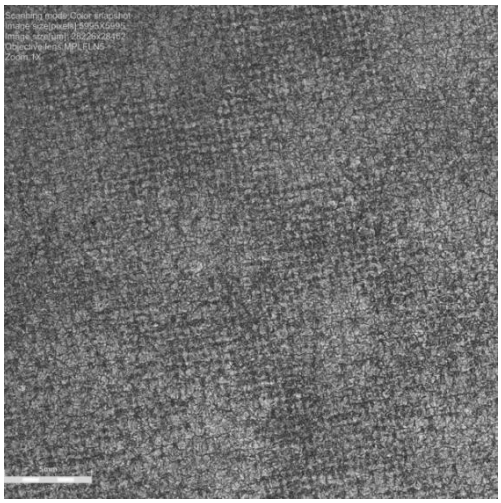
Таблица 1

Перечень экспериментальных образцов текстильных материалов с металлическими покрытиями

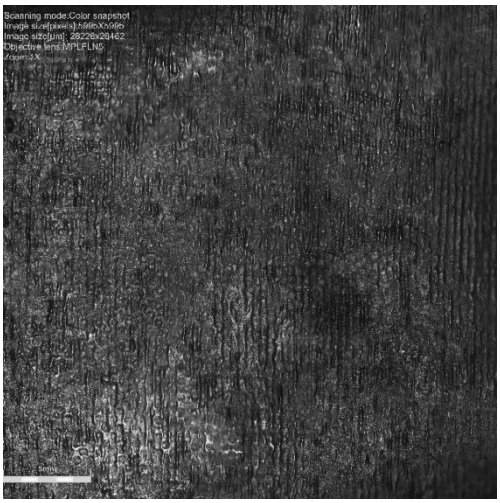
№ п/п	Образец	Способ соединения ткани и полимерной пленки	Режим нанесения металлического покрытия
1	ПЭФ ткань	–	W_m = 0,25 Вт/см^2, τ_m = 30 с, P_m = 0,5 Па, плазмообразующий газ — аргон, мишень — медь (99,9 %)
2	ПЭФ ткань, ламинированная сплошной ПЭ пленкой	Перенос пленки на ткань термопрессованием при давлении 300 Па, при температуре 80^{0}С в течение 20 сек.	
3	ПЭФ ткань, ламинированная перфорированной ПЭ пленкой		
4	ПЭФ ткань, ламинированная сплошной ПУ пленкой	Перенос пленки на ткань термопрессованием при давлении 300 Па, при температуре 120^{0}С в течение 40 сек.	
5	ПЭФ ткань, ламинированная перфорированной ПУ пленкой		



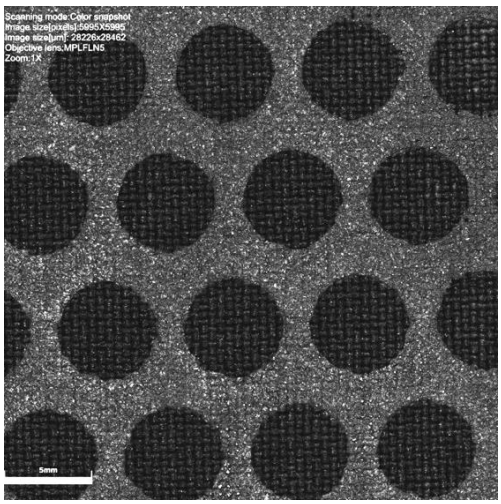
а



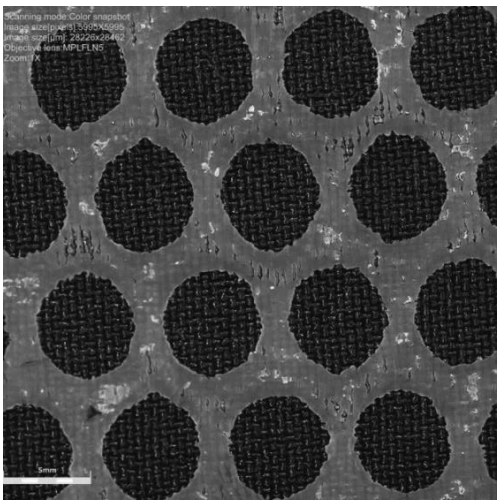
б



в



г



д

Рисунок 1. *КЛСМ-изображения металлизированных образцов: а — ПЭФ ткань; б — ПЭФ ткань, ламинированная ПУ сплошной пленкой; в — ПЭФ ткань, ламинированная ПЭ сплошной пленкой; г — ПЭФ ткань, ламинированная ПУ перфорированной пленкой; д — ПЭФ ткань, ламинированная ПЭ перфорированной пленкой*

Таблица 2

Значения показателей экранирующих и физических свойств образцов металлизированных текстильных материалов

Образец	Коэффициент экранирования, дБ*	Поверхностная плотность, г/м^2	Воздухопроницаемость, дм^3/ (м^2×с)	Паропроницаемость, мг/(см^2×ч)
ПЭФ ткань	10	150	49	27
ПЭФ ткань, ламинированная сплошной ПЭ пленкой	51	190	0,03	0,08
ПЭФ ткань, ламинированная перфорированной ПЭ пленкой	45	170	42	18
ПЭФ ткань, ламинированная сплошной ПУ пленкой	53	185	0,02	0,9
ПЭФ ткань, ламинированная перфорированной ПУ пленкой	43	173	43	19

** для электромагнитных излучений частотой 800 МГц*

Результаты проведенных испытаний показали, что нанесение металлического покрытия непосредственно на ткань не позволяет получать материалы с экранирующими свойствами из-за отсутствия стабильной электрической проводимости в местах пересечения волокон и нитей. Использование текстильных материалов, ламинированных полимерными пленками, позволяет увеличить коэффициент экранирования, в среднем, на 42 дБ для сплошной пленки и на 34 дБ — для перфорированной, что соответствует ослаблению мощности сигнала в 15800 и 2500 раз, соответственно относительно металлизированной ткани при одинаковой толщине металлического покрытия. Текстильные материалы, ламинированные сплошными полимерными пленками, характеризуются блокированием паро- и воздухопроницаемости.

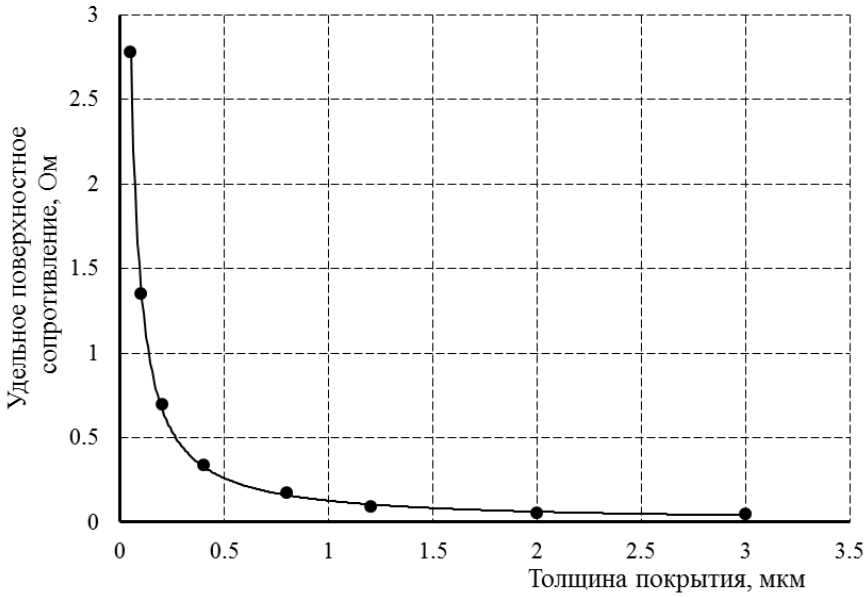


Рисунок 2. *Зависимость удельного поверхностного электрического сопротивления от толщины медного покрытия на образцах текстильных материалов, ламинированных сплошными полимерными пленками*

Для образцов, ламинированных перфорированными полимерными пленками с коэффициентом перфорации 35 %, паропроницаемость снижается на 30–33 %, значения воздухопроницаемости — на 35–38 % по сравнению с металлизированным образцом ткани без ламинации[6].

Для прогнозирования экранирующих и эксплуатационных свойств металлизированных текстильных материалов исследовали зависимость поверхностного электрического сопротивления, коэффициента экранирования, газо- и паропроницаемости от толщины металлического покрытия и степени перфорации полимерной пленки, используемой для ламинации. Полученные результаты для образцов ламинированных текстильных материалов с медным покрытием представлены на рисунках 2–8.

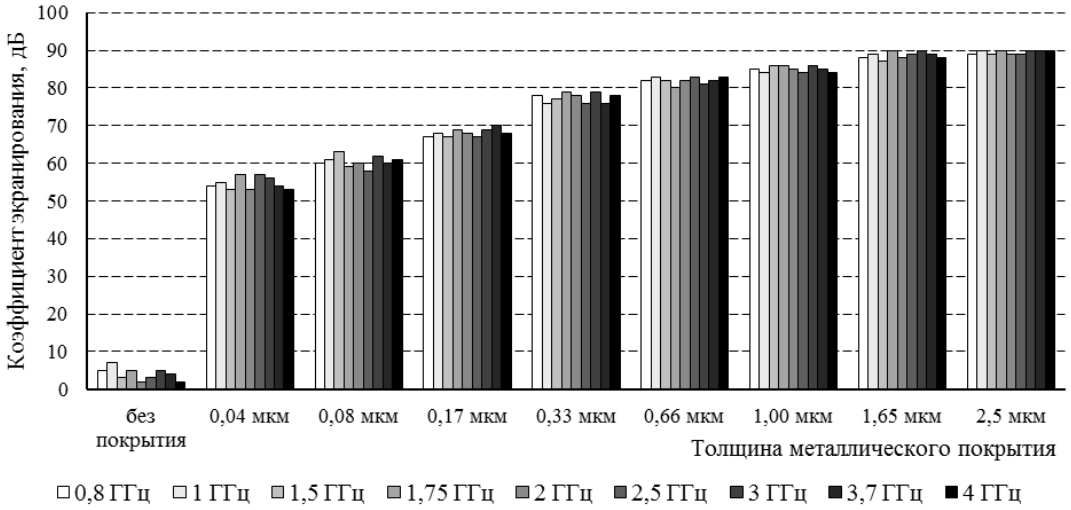


Рисунок 3. *Зависимость коэффициента экранирования электромагнитного излучения частотой 0,8–4,0 ГГц от толщины медного покрытия на образцах текстильных материалов, ламинированных сплошными полимерными пленками*

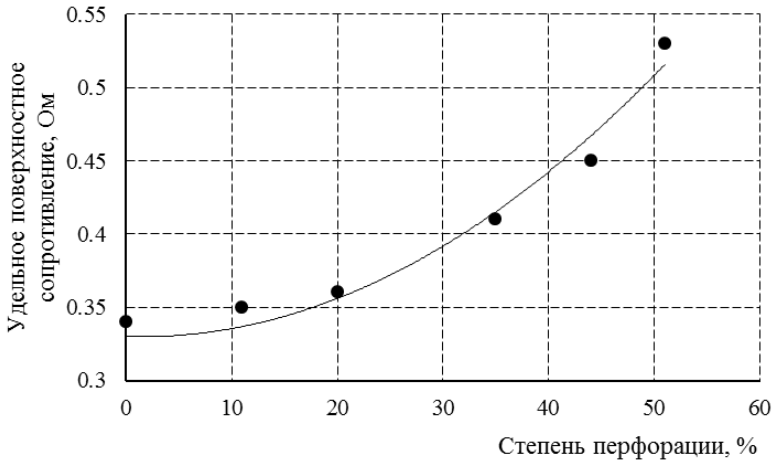


Рисунок 4. *Зависимость удельного поверхностного сопротивления металлизированных образцов ламинированных текстильных материалов от степени перфорации полимерной пленки (при толщине медного покрытия 0,33 мкм)*

[6] Пат. 2763379 РФ. Способ получения электропроводящего металлизированного текстильного материала / Э.Ф. Вознесенский, Ю.А. Тимошина, А.Е. Карноухов, Я.О. Желонкин. Заявл. 18.06.2021; опубл. 28.12.2021.

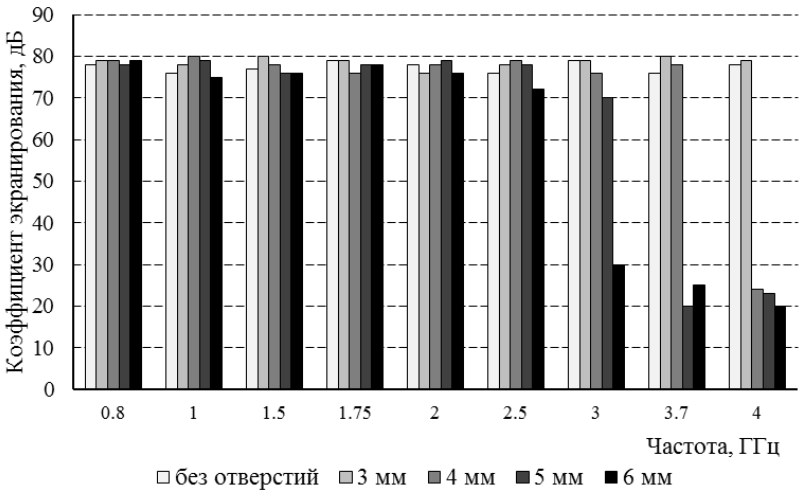


Рисунок 5. *Зависимость коэффициента экранирования металлизированных образцов ламинированных текстильных материалов от диаметра отверстий перфорированной полимерной пленки (при толщине медного покрытия 0,33 мкм и степени перфорации 35 %)*

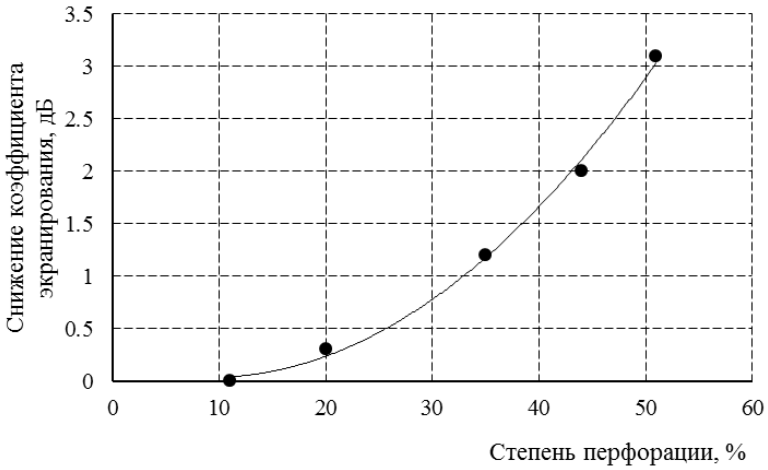


Рисунок 6. *Зависимость снижения коэффициента экранирования металлизированных образцов ламинированных текстильных материалов от степени перфорации полимерной пленки (при толщине медного покрытия 0,33 мкм) относительно сплошной пленки на частоте 2,5 ГГц*

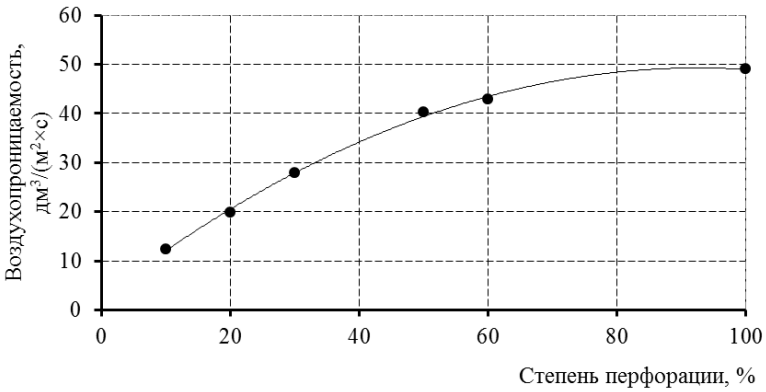


Рисунок 7. *Зависимость воздухопроницаемости металлизированных образцов ламинированных текстильных материалов от степени перфорации полимерной пленки (при толщине медного покрытия 0,33 мкм), 0 % — сплошная пленка, 100 % — без пленки*

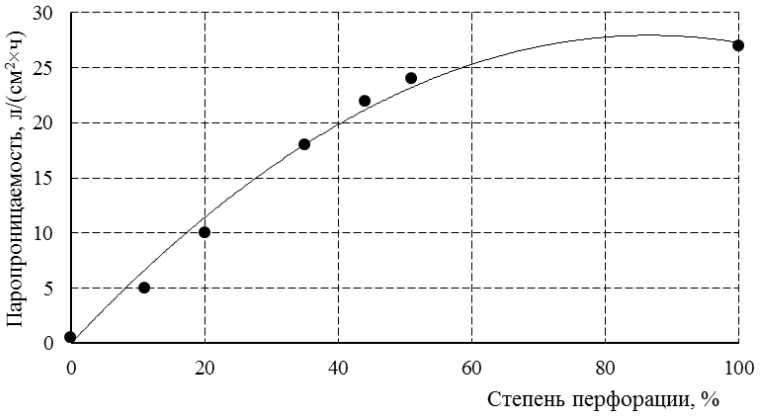


Рисунок 8. *Зависимость паропроницаемости металлизированных образцов ламинированных текстильных материалов от степени перфорации полимерной пленки (при толщине медного покрытия 0,33 мкм), 0 % — сплошная пленка, 100 % — без пленки*

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что использование текстильных материалов, ламинированных полимерными пленками, позволяет значительно повысить коэффициент экранирования даже при значительно меньших толщинах напыляемого металлического покрытия за счет создания проводящего слоя. Предварительная перфорация пленок позволит сохранить паро- и воздухопроницаемость материала, при этом отверстия диаметром до 5 мм практически не влияют на коэффициент экранирования в диапазоне частот от 0,8 до 2,5 ГГц, чего достаточно для классических сфер применения экранирующих материалов. Для экранирования ЭМИ с большей частотой необходимо использовать схему перфорации с меньшим диаметром отверстий. Влияние степени перфорации на коэффициент экранирования связано, в большей мере, с изменением площади сечения проводящего слоя, и практически не оказывает влияния при степени перфорации менее 50 % [6].

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать заключение, что для получения текстильных материалов, обладающих экранирующими свойствами с сохранением воздухо- и паропроницаемости, целесообразно использование металлизированных тканей, ламинированных перфорированными полимерными пленками. Для получения текстильных материалов, обладающих коэффициентом экранирования свыше 70 дБ, толщина медного покрытия должна составлять не менее 0,3 мкм, при степени перфорации полимерной пленки, используемой для ламинации ткани, не более 50 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, Л.Е. Инновационные текстильные материалы и технологии: конспект лекций / Л.Е. Соколов — Витебск: УО «ВГТУ», 2020. — 83 с.
2. Иванов, А.Ю. Технология напыления тонких пленок / А.Ю. Иванов // Современная светотехника. — 2010. — Т. 1. — С. 45–48.
3. Панфилов, Ю.В. Нанесение тонких пленок в вакууме / Ю.В. Панфилов // Технологии в электронной промышленности. — 2007. — № 3(15). — С. 76–80.

4. Кисляков, П.П. Получение и применение полимерной пленки с прозрачным электропроводящим покрытием на основе оксида индия, легированного оловом / П.П. Кисляков, Ю.А. Хохлов, А.Г. Крынин, С.В. Кондратов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. — 2013. — № 11. — С. 6.

5. Харапудько, Ю.В. Полимерные пленочные и текстильные материалы на основе полипропилена и полиэфира с титановым покрытием / Ю.В. Харапудько, А.Е. Карноухов, Ю.А. Тимошина, Э.Ф. Вознесенский, Н.В. Тихонова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2021. — № 6(396). — С. 161–166.

6. Карноухов, А.Е. Получение электропроводящих текстильных материалов, ламинированных полимерными пленками / А.Е. Карноухов, Ю.А. Тимошина, Э.Ф. Вознесенский // Технологии и качество. — 2022. — № 2(56). — С. 29–33.

Karnoukhov Alexandr Evgenyevich
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: a.carnouhov@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=910984

Voznesensky Emil Faatovich
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: howrip@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177545

Timoshina Yuliya Alexandrovna
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: ybuki@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=745370

Sysoev Vladislav Alexandrovich
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: vlad.sisoev2012@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=688839

Shaekhov Mars Faritovich
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: mars_schaeh@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=130250

Study of shielding and performance properties of laminated textile materials with metal coatings

Abstract. The production of textile materials that shield electromagnetic radiation is relevant in connection with the need for these materials in the manufacture of protective individual sets of clothing for workers in specialties who, in the course of their activities, are near sources of powerful electromagnetic radiation. Shielding materials must provide the required shielding factor for electromagnetic radiation over the entire range of required frequencies, have low electrical resistance, withstand high breaking, tearing and abrasion loads, have the required air and vapor permeability to achieve high hygienic properties of manufactured personal protective equipment, and also be stable. to the effects of washing and cleaning. To obtain textile materials with shielding properties, various approaches can be used, among which one of the promising areas is the deposition of metal coatings on textile materials by magnetron sputtering. This method ensures the deposition of highly uniform metal and metal-containing coatings on textile materials of various structures and fibrous compositions, and makes it possible to obtain metal coatings with high adhesion to the substrate, especially when using methods of pre-activation of the surface of a textile material. The article presents the results of a study of the shielding and operational properties of laminated textile materials with copper coatings applied by magnetron sputtering. The conducted studies have shown that in order to obtain textile materials with screening properties while maintaining air and vapor permeability, it is advisable to use metallized fabrics laminated with perforated polymer films. To obtain textile materials with a shielding factor of more than 70 dB, the thickness of the copper coating should be at least 0.3 microns, with a degree of perforation of the polymer film used for fabric lamination, not more than 50 %. The presented results are part of the author's dissertation research.

Keywords: shielding textile material; perforated film; metal coating; magnetron sputtering; shielding coefficient; surface electrical resistivity; vapor permeability; air permeability