

физических недостатков, что позволит вывести инклюзивный дизайн на новый технологический уровень в рамках цифровизации модной индустрии.

Список литературы

1. Гусева М. А., Петросова И. А., Андреева Е.Г. Проектирование адаптивной одежды для людей с инвалидностью: учеб. пособие. М.: РГУ им. А. Н. Косыгина, 2021. 115 с.
2. Киреева Е. В. Зрительные иллюзии в дизайне костюма: монография. М.: ИНФРА-М, 2022. 156 с.
3. Петровская Ю. А., Кочнева Л. В. Инклюзивный дизайн как инструмент социальной интеграции лиц с ОВЗ // Сервис в России и за рубежом. 2023. Т. 17, № 2. С. 88–96.
4. Степучев Р. А. Костюмографика: учеб. пособие для вузов. М.: Академия, 2018. 288 с.
5. Соколова-Рахманова А. С. Дизайн одежды для людей с особыми потребностями: психофизиологический аспект // Вестник славянских культур. 2024. № 1. С. 112–120.

УДК 677.014.8:537.533.3

КОНСТРУИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ CONSTRUCTION OF MULTILAYER TEXTILE SCREENS FOR PROTECTION AGAINST ELECTROMAGNETIC RADIATION

Замостоцкий Е.Г.^{1,2}, Рыклин Д.Б.¹
Zamastotskiy E.G.^{1,2}, Ryklin D.B.¹

¹ УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск

¹ Vitebsk State Technological University, Vitebsk

² Витебский филиал Международного университета «МИТСО», Витебск

² Vitebsk branch of International University «MITSO», Vitebsk

(e-mail: evgen_zam@tut.by; ryklin-db@mail.ru)

Аннотация: В статье представлены результаты исследования экранирующих свойств текстильных материалов с проводящими компонентами (стальные волокна Bekinox, медная микропроволока) и их многослойных комбинаций в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц. Особое внимание уделено анализу роли диэлектрического разделителя. Экспериментально доказано, что введение синтепонового промежуточного слоя толщиной около 1 см между экранирующими текстильными слоями устраняет вредные резонансы, обеспечивая синергетический эффект и стабильную эффективность экранирования до 99,9% и выше. Сформулированы практические принципы проектирования многослойных текстильных экранов для средств индивидуальной защиты.

Abstract: The article presents the results of a study of the shielding properties of textile materials with conductive components (Bekinox steel fibers, copper microwire) and their multilayer combinations in the frequency range of 0.7–17.0 GHz. Particular attention is paid to the analysis of the role of a dielectric spacer. It has been experimentally proven that the introduction of an intermediate synthetic padding polyester layer about 1 cm thick between shielding textile layers eliminates harmful resonances, providing a synergistic effect and stable shielding effectiveness up to 99.9% and higher. Practical principles for designing multilayer textile screens for personal protective equipment are formulated.

Ключевые слова: электромагнитное экранирование; текстильные материалы; спецодежда; многослойные пакеты; диэлектрический разделитель; СИЗ.

Keywords: electromagnetic shielding; textile materials; special clothing; multilayer packages; dielectric spacer; PPE.

Интенсификация использования источников электромагнитного излучения (ЭМИ) СВЧ- и КВЧ-диапазонов повышает требования к безопасности персонала и актуализирует разработку эффективных средств индивидуальной защиты (СИЗ) [1]. Современные стандарты регламентируют, что защитные материалы должны обеспечивать коэффициент экранирования не менее 20 дБ (что соответствует ослаблению мощности поля на 95%) в широком диапазоне от 30 кГц до 60 ГГц [2]. Текстильные материалы с электропроводящими элементами являются перспективной основой для создания спецодежды, сочетая защитные и эргономические свойства. Однако эффективность однослойного текстильного экрана часто недостаточна или нестабильна. Одним из ключевых решений является создание многослойных экранирующих систем, однако их эффективность не является аддитивной из-за сложных процессов многократного переотражения волн между слоями [3]. Целью настоящей работы является экспериментальная оценка экранирующих свойств текстильных материалов и их комбинаций, а также определение влияния диэлектрического промежуточного слоя на достижение стабильного синергетического эффекта.

В качестве объектов исследования были использованы семь текстильных образцов, основные из которых описаны в таблице 1. Образцы 1 и 2 (с антистатической нитью Nega-Stat) не показали существенного экранирующего эффекта и далее не рассматривались.

Таблица 1 – Характеристики экспериментальных текстильных образцов

Номер образца	Описание материала
3	Трикотаж. Интерлок из пряжи 20 текс×2 (90% полиэстер, 10% стальных волокон Bekinox).
4	Ткань с медной микропроволокой (полотняное переплетение).
5	Ткань с медной микропроволокой (саржевое переплетение).
6	Ткань PROtect P270. Саржевое переплетение. Антистатическая нить (10% стальных волокон) по основе и утку через 1 см.
7	Ткань арт. 17с20-КВ-ТО (хлопок 100% + антистатическая нить по основе и утку через 1 см).

На основе образцов были сформированы многослойные пакеты. В статье приняты обозначения: пакет «X+Y» – два слоя в непосредственном контакте; пакет «X+синт+Y» – трёхслойная структура с промежуточным диэлектрическим слоем (полиэфирный синтепон плотностью 100 г/м², толщиной ~1 см). Измерения экранирующих характеристик проводились на панорамном измерителе коэффициентов передачи и отражения в диапазоне

0,7–17,0 ГГц. Результаты испытаний (таблица 2) показывают сильную зависимость эффективности от типа проводящего компонента. Образцы с непрерывной сеткой из медной микропроволоки (4, 5) демонстрируют высочайшую и стабильную эффективность (>99% в диапазоне 2–17 ГГц) благодаря низкому удельному сопротивлению [4]. Трикотаж со стальными волокнами (3) эффективен на низких частотах, но его эффективность падает до ~87% на 17 ГГц, что характерно для сетчатых структур [5]. Ткань с редкой сеткой стальных волокон (6) работает только на низких частотах (~81%), становясь практически прозрачной выше 5 ГГц. Образец 7 подтверждает низкую экранирующую способность материалов с антистатическими нитями.

Таблица 2 – Экранирующие свойства исследованных образцов тканей

№ образца	Диапазон ЭМИ, ГГц	Средняя эффективность экранирования, %
3	0,7 – 3,0	~95,8% (в диапазоне 1,0–2,5 ГГц)
	2,0 – 17,0	>99% (2–4 ГГц) → ~87% (к 17 ГГц)
4	0,7 – 3,0	~91% (в диапазоне 1,0–3,0 ГГц)
	2,0 – 17,0	>99,9% (2–6 ГГц); ~99,5% (10–17 ГГц)
5	0,7 – 3,0	~94,2% (в диапазоне 1,0–3,0 ГГц)
	2,0 – 17,0	~99,44% (в диапазоне 2–17 ГГц)
6	0,7 – 3,0	~81% (в диапазоне 1,0–2,5 ГГц)
	2,0 – 17,0	<10% (выше 5 ГГц)
7	0,7 – 3,0	~40% (в диапазоне 1,0–3,0 ГГц)
	2,0 – 17,0	~52% (в диапазоне 2–17 ГГц)

Анализ данных по многослойным комбинациям (таблица 3) выявил принципиальное различие между пакетами. Конструкции без разделителя (X+Y, например, 6+4) имеют резко неравномерные, резонансные характеристики, что делает их ненадёжными для практического применения [6]. Введение синтепона (X+синт+Y) стабилизирует и значительно усиливает экранирование. Пакеты 6+синт+4 и 7+синт+5 показывают гладкие частотные зависимости и достигают эффективности >99,95% и ~99,72% соответственно. Диэлектрик устраняет вредные переотражения, позволяя слоям работать независимо и создавая синергетический эффект [7].

Таблица 3 – Экранирующие свойства исследованных многослойных пакетов

Обозначение пакета	Диапазон ЭМИ, ГГц	Средняя эффективность экранирования, %
6+3	0,7 – 3,0	~95% (в диапазоне 1,0–1,5 ГГц)
	2,0 – 17,0	~98,2% (неравномерно, резонансные колебания)

Обозначение пакета	Диапазон ЭМИ, ГГц	Средняя эффективность экранирования, %
6+синт+3	0,7 – 3,0	~99,2% (в диапазоне 1,1–1,5 ГГц)
	2,0 – 17,0	~98,9%
6+4	0,7 – 3,0	~91,3% (в диапазоне 1,0–2,5 ГГц)
	2,0 – 17,0	~99,8% (неравномерно, с провалами)
6+синт+4	0,7 – 3,0	~98,4% (в диапазоне 1,0–2,5 ГГц)
	2,0 – 17,0	>99,95% (в диапазоне 2–6 ГГц)
7+синт+5	0,7 – 3,0	~97,6% (в диапазоне 1,0–3,0 ГГц)
	2,0 – 17,0	~99,72%

Заключение

1. Тип и геометрия проводящего компонента являются определяющими факторами эффективности и частотной стабильности экранирования. Материалы с непрерывной металлической сеткой из медной микропроволоки (образцы 4, 5) обеспечивают эффективность экранирования более 99% в диапазоне 2–17 ГГц. Дискретное распределение стальных волокон (образцы 6, 7) обуславливает резкое снижение эффективности при частотах выше 5 ГГц (до менее 10%), что связано с ростом волнового сопротивления разрывной проводящей структуры.

2. Введение диэлектрического разделителя (полиэфирный синтепон толщиной ~1 см) является ключевым конструктивным решением для создания широкополосных многослойных экранов. Трёхслойная конфигурация X+синт+Y обеспечивает выраженный синергетический эффект: пакет 6+синт+4 демонстрирует эффективность более 99,95% в диапазоне 2–6 ГГц, что соответствует ослаблению свыше 33 дБ и существенно превышает нормативное требование 20 дБ [2].

3. Контактные двухслойные пакеты (X+Y) характеризуются нестабильными резонансными характеристиками с провалами эффективности экранирования (например, до ~91,3% для пакета 6+4 в нижнем диапазоне), обусловленными интерференцией многократно переотражённых электромагнитных волн. Подобные конструкции не могут быть рекомендованы для применения в надёжных СИЗ.

4. На основании полученных экспериментальных данных сформулированы следующие принципы проектирования многослойных текстильных экранов для СИЗ: использование в качестве основного экранирующего слоя материалов с непрерывной металлической сеткой; включение диэлектрического промежуточного слоя оптимальной толщины (~1 см) для исключения резонансных явлений; учёт рабочего диапазона частот при выборе материалов. Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация толщины и структуры диэлектрического разделителя, а также изучение влияния угла падения электромагнитной волны

и условий эксплуатации (изгибы, многократные стирки) на характеристики экранирования.

Список литературы

1. Сафонов П.Е., Левакова Н.М. Выбор рациональной структуры и изучение радиотехнических характеристик тканей для защиты от электромагнитного излучения // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2023. № 1 (44). С. 36–48.
2. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 212 с.
3. Шатино Д.Н. Электромагнитное экранирование. М.: Интеллект, 2010. 120 с.
4. Беляев О.Ф., Заваруев В.А. Выбор материала микропровода для вязания отражающей поверхности крупногабаритных трансформируемых антенн // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014): сб. материалов конф. М., 2014. Ч. 1. С. 56–58.
5. Рыклин Д.Б., Дубровская О.А. Оценка экранирующих свойств тканей, защищающих от воздействия электромагнитного излучения // Вестник ВГТУ. 2022. № 2 (43). С. 53–63.
6. Рыклин Д.Б., Дубровская О.А., Кветковский Д.И., Саванович С.Э. Влияние количества слоёв ткани на экранирующие свойства электромагнитных текстильных экранов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 5 (401). С. 49–55.
7. Замостоцкий Е.Г., Костин П.А., Рассохина И.М. Защитные свойства трикотажных полотен из комбинированной электропроводящей пряжи // Химические волокна. 2022. № 1. С. 34–37.
8. Замостоцкий Е.Г., Бондарева Т.П. Разработка ткани с экранирующим эффектом и исследование её свойств // Вестник ВГТУ. 2013. № 2 (25). С. 13–18.
9. Дубровская О.А., Рыклин Д.Б., Саванович С.Э., Зайцев В.В. Оценка эффективности использования двухслойных тканей для экранирования электромагнитного излучения // Вестник ВГТУ. 2023. № 3 (46). С. 18–27.
10. Аполлонский С.М. Защита техносферы от воздействия физических полей и излучений. Т. 2. М.: РУСАЙНС, 2016. 342 с.

УДК 687.01:004.92

РОЛЬ ВЕКТОРНОЙ ГРАФИКИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОЙ ОДЕЖДЫ THE ROLE OF VECTOR GRAPHICS IN THE DESIGN OF MODERN CLOTHING

Калинина Л.Н.
Kalinina L.N.

*Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, Чебоксары
Chuvash State Pedagogical University named after I.Ya. Yakovlev, Cheboksary
(e-mail: KalininaLarisaN@yandex.ru)*

Аннотация: В статье анализируются возможности применения векторной графики и редактора CorelDRAW в индустрии моды. На примере разработки женского трикотажного