

УДК 677.02 : 621.315.4
DOI 10.47367/0021-3497_2022_5_49

**ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА СЛОЕВ ТКАНИ
НА ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭКРАНОВ**

**EFFECT OF THE NUMBER OF FABRIC LAYERS
ON THE SHIELDING PROPERTIES
OF ELECTROMAGNETIC TEXTILE SCREENS**

Д.Б.РЫКЛИН, О.А.ДУБРОВСКАЯ, Д.И.КВЕТКОВСКИЙ, С.Э.САВАНОВИЧ

D.B. RYKLIN, O.A. DUBROUSKAYA, D.I. KVETKOVSKY, S.E. SAVANOVICH

**(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь)**

**(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus,
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus)**

E-mail: ryklin-db@mail.ru; olgadubrovskaya0279@gmail.com; 2950107@gmail.com; svetav@bsuir.by

Разработка тканей с экранирующими и антистатическими свойствами является одним из наиболее перспективных направлений развития ассортимента текстильных материалов технического назначения. Целью данной

работы является оценка влияния количества слоев тканей, содержащих в своем составе стальные волокна Bekinox и углеродно-полиэфирные нити Nega-Stat, на их экранирующие свойства. В качестве объекта исследований использовались образцы опытных тканей, содержащих антистатические нити разного вида, двухслойные и четырехслойные пакеты, сформированные из опытных тканей. Для экспериментальных образцов тканей и пакетов определены значения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения в частотном диапазоне от 0,7 до 17 ГГц. Оценены возможности использования разработанных материалов при создании экранирующих текстильных экранов. Установлено, что в диапазоне до 3 ГГц может быть рекомендован пакет из 4 слоев ткани, содержащий стальные волокна Bekinox, который характеризуется эффективностью снижения мощности электромагнитного излучения 99,9%. Для работы в диапазоне сверхвысоких частот может быть рекомендован четырехслойный пакет ткани с содержанием 10% стальных волокон Bekinox в сочетании с углеродно-полиэфирными нитями Nega-Stat с эффективностью снижения мощности электромагнитного излучения 97,5%.

The development of fabrics with shielding and antistatic properties is one of the most promising areas for the development of a textiles assortment for technical application. The aim of this work is to evaluate the effect of the number of fabrics layers containing steel fibers Bekinox and yarns Nega-Stat on their shielding properties. We used samples of experimental fabrics containing antistatic threads of various types, two-layer and four-layer assemblies of experimental fabrics as an object of research. For experimental samples of fabrics and assemblies, the values of the coefficients of reflection and transmission of electromagnetic radiation in the frequency range from 0.7 to 17 GHz were determined. The possibilities of using the developed materials in the creation of shielding textile screens are evaluated. It has been established that the assembly of 4 layers of fabric containing steel fibers Bekinox can be recommended for use in the range of electromagnetic radiation up to 3 GHz. Its efficiency of reducing the power of radiation is 99.9%. For use in the microwave range a four-layer fabric assembly containing Bekinox steel fibers in combination with Nega-Stat yarns with the efficiency of reducing the power of electromagnetic radiation of 97.5% can be recommended.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, экранирующая ткань, Bekinox, Nega-Stat, антистатическая нить, коэффициенты отражения и передачи.

Keywords: electromagnetic radiation, shielding fabric, Bekinox, Nega-Stat, antistatic thread, reflection and transmission coefficients.

Экранирование электромагнитных полей (ЭМП) является актуальной задачей защиты здоровья, информационной безопасности, электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии жилых помещений, защиты помещений для серверов и электронного оборудования.

В настоящее время практически все население Земли в большей или меньшей

степени подвергается воздействию надфоновых уровней ЭМП [1]. Всемирная организация здравоохранения включила проблему электромагнитного загрязнения окружающей среды в перечень приоритетных проблем человечества.

За последние десятилетия существенно расширился рабочий диапазон частот, и возросли уровни мощности электромагнит-

ных полей, увеличилось число источников помех самой разнообразной природы. Спектр электромагнитных полей включает низкие частоты до 3 Гц, промышленные частоты в диапазоне 3...300 Гц, радиочастоты 30 Гц...300 МГц, а также относящиеся к радиочастотам ультравысокие частоты (УВЧ) 300 МГц...3 ГГц и сверхвысокие частоты (СВЧ) 3...30 ГГц.

Степень воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) на организм человека зависит от диапазона частот, интенсивности воздействия соответствующего фактора, продолжительности облучения, характера излучения, режима облучения, размеров облучаемой поверхности тела, индивидуальных особенностей организма, комбинированного действия совместно с другими факторами производственной среды (температура воздуха более +28°C, наличие рентгеновского излучения, шум и др.). Поэтому увеличение параметров ЭМП, значительно отличающихся от предельно-допустимых норм, может вызвать поражение сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной и пищеварительной систем, изменения показателей крови, обмена веществ и некоторых функций эндокринных желез. Среди последствий электромагнитного загрязнения специалисты называют также нарушения поведения, потерю памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, синдром внезапной смерти у грудных детей, расстройства половой функции и другие серьезные патологические заболевания. По некоторым данным, значительная часть случаев инфаркта миокарда в крупных городах вызвана "скачками" мощных техногенных низкочастотных электромагнитных полей [2].

Для ослабления электромагнитных полей, а именно для того, чтобы исключить проникновение и воздействие таких полей на элементы, блоки, приборы, кабели, помещения, здания, а также для того, чтобы подавить исходящие из электрических и электронных промышленных средств и устройств помехи, обусловленные полями, применяются различные средства экранирования [3]. Традиционно для создания электромагнитного экрана или экранированного объема чаще применяются матери-

алы в виде стальных, медных, алюминиевых листов или фольги, а также современные гибкие композитные материалы в виде сетки, ткани или пленки. Чем выше удельная проводимость материала экрана, тем эффективнее экранирование.

Область применения электромагнитных экранов определяет предъявляемые к ним требования. Например, если электромагнитные экраны предполагаются для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования, то они должны характеризоваться низкими значениями коэффициента отражения ЭМИ для того, чтобы в ходе своей эксплуатации они не являлись источниками пассивных электромагнитных помех для оборудования [4], при этом абсолютное значение коэффициента передачи должно быть высоким.

Одним из перспективных вариантов замены металлических экранов являются антистатические ткани, в структуру которых введены электропроводящие компоненты. Основными преимуществами использования тканей являются меньший расход металлов, гибкость текстильных полотен, воздухопроницаемость и легкость экрана в сравнении с металлическими листами. Ткани с высокой электропроводностью все чаще используются для защиты от электромагнитных помех и электростатической защиты в различных областях, таких как экраны для корпусов оборудования, защитная одежда для персонала, работающего в магнитных полях высокого напряжения или в радиочастотных, микроволновых средах, способные надежно защищать человека от вредного СВЧ- и УВЧ- воздействия; одежда с подогревом, экранирующие и заземляющие шторы, гибкие экранированные кофухи, халаты, чулки, ботинки и т. д.

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей антистатических нитей следующих видов:

- пряжа с вложением стальных волокон Bekinox[®] компании Beakaert [5], [6];
- углеродно-полиэфирная нить Nega-Stat[®] P210.

Nega-Stat P210 представляет собой комплексную нить, каждый из филаментов ко-

торой содержит трехлепестковый углеродный сердечник, защищенный от внешних воздействий полиэфирным покрытием. Причем для повышения антистатических свойств нитей и полотен с их содержанием углеродный сердечник выходит на поверхность в трех точках сечения филамента. Благодаря уникальной структуре нити Nega-Stat происходит рассеивание статического электричества, что предотвращает взрыв по причине скопления статического электричества [7].

Исследования, проводимые учеными разных стран, показали, что существенный эффект экранирования, превышающий 30 дБ, достигается при значительном содержании в составе тканей стальных волокон [8...10]. Так в статье [10] отмечается, что указанным значением характеризуется ткань, состоящая полностью из пряжи, содержащей 20 % стальных волокон. При формировании в структуре сетки из пряжи, содержащей 45 % стальных волокон, эффективность экранирования существенно снижается при увеличении размеров ячеек, создаваемых антистатическими нитями. В связи с высокой стоимостью инновацион-

ных видов текстильного сырья необходимо проведение комплекса исследований, направленных на определение путей снижения их содержания в ткани при достижении высоких значений требуемых показателей.

В качестве возможных направлений решения данной задачи является оценка возможности комбинирования в структуре тканей антистатических нитей разного вида, а также определение эффективности формирования из таких тканей пакетов материалов.

Целью данной работы является оценка влияния количества слоев тканей, содержащей в своем составе стальные волокна Bekinox, а также их сочетание с углеродно-полиэфирными нитями Nega-Stat, на их экранирующие свойства.

В табл. 1 представлены характеристики опытных образцов тканей, в структуре которых в виде сетки с прямоугольной ячейкой располагались антистатические нити, то есть пряжа с содержанием 10 % стальных волокон Bekinox и их сочетание с углеродно-полиэфирными нитями Nega-Stat.

Т а б л и ц а 1

Наименование показателя	Образец 1		Образец 2	
	основа	уток	основа	уток
Вид и состав антистатической нити	хлопчатобумажная пряжа 25 текс×2, пряжа 20 текс × 2 (полиэфирное волокно – 90 %, Bekinox –10 %)		хлопчатобумажная пряжа 25 текс×2, пряжа 20 текс × 2 (полиэфирное волокно – 90 %, Bekinox –10 %)	хлопчатобумажная пряжа 25 текс×2, комбинированная нить 25,6 текс (Nega-Stat 5,6 текс, хлопок – 20 текс)
Плотность нитей в ткани, нит./1 см	17,4	18	17,4	18
Расстояние между антистатическими нитями, см	1,0	1,0	0,5	0,5

В условиях лаборатории кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники наработанные ткани исследовались на их способность экранировать электромагнитное излучение.

Для исследования экранирующих характеристик данных тканей использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01...18, состоящий

из блока обработки измерительных сигналов и блока генератора качающейся частоты (ГКЧ), работающий по принципу отдельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей, отраженной и прошедшей через ткань электромагнитной волны (ЭМВ). Излучение и прием ЭМВ обеспечивался с помощью антенн П6-23М в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц.

В результате испытаний опытных образцов тканей получены зависимости коэффициентов передачи и отражения тканей от частоты ЭМИ. Результаты испытаний образцов, представлены на рис. 1 (частотные

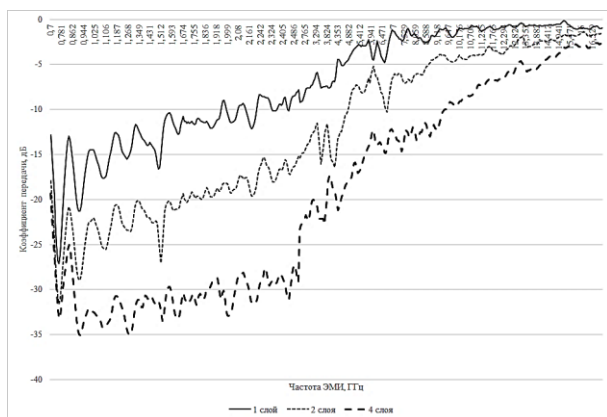


Рис. 1

зависимости (диапазон частот 0,7...17,0 Гц) значений коэффициента передачи электромагнитного излучения образцов 1 (рис. 1) и 2 (рис. 2) от количества слоев).

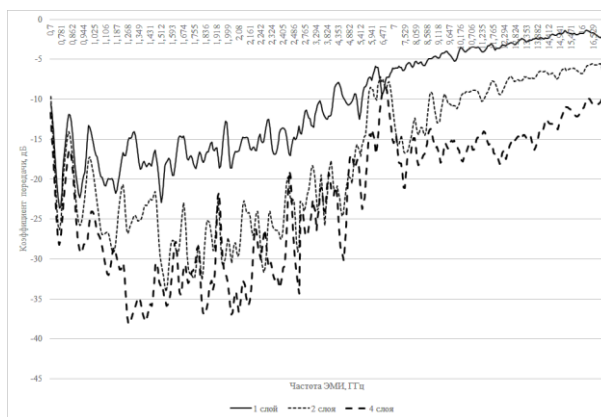


Рис. 2

Анализируя частотные зависимости значений коэффициентов передачи образца 1, испытанного в 1, 2 и 4 слоя, можно сделать следующие выводы.

1. Абсолютные значения коэффициента передачи повышаются с увеличением количества слоев тканей, содержащих в качестве электропроводящего компонента стальные волокна *VeKinox*, и снижаются при повышении частоты ЭМИ.

2. Значение коэффициента передачи исследуемой ткани по модулю превышает 10 дБ в диапазоне частот от 0,7 до 2,2 ГГц, в то время как для двухслойного пакета данный диапазон расширен до 4,5 ГГц, а для четырехслойного – до 9,5 ГГц.

3. Наибольшим ослабляющим излучение эффектом характеризуется четырехслойный пакет, сформированный из тканей образца 1 в диапазоне частот от 1 до 2,5 ГГц. В данном диапазоне абсолютное значение коэффициента передачи ЭМИ в среднем составляет 31 дБ и не превышает 35 дБ, что соответствует снижению мощности ЭМИ на 99,97 %.

Полученные зависимости для образца 2 позволяют сделать следующие выводы.

1. Образец 2, испытанный в один слой, показал более существенную эффективность ослабления ЭМИ в диапазоне до 5,5

ГГц по сравнению с образцом 1, что в значительной степени объясняется существенно большим долевым содержанием в его составе электропроводящих компонентов. Наиболее существенное ослабление ЭМИ достигается в частотном диапазоне от 0,7 до 2,5 ГГц, в котором значения коэффициента передачи в среднем по модулю составляют до 17 дБ, что соответствует ослаблению мощности излучения на 98 %.

2. В диапазоне от 1,0 до 2,5 ГГц существенное повышение степени ослабления ЭМИ наблюдается с увеличением количества слоев тканей в 2 раза, а дальнейшее увеличение количества слоев оказывает существенно меньший эффект.

3. Наибольший существенный результат от сложения ткани в четыре слоя заметен в диапазоне частот от 7 до 13,5 ГГц, в котором среднее значение коэффициента передачи по модулю составляет 16 дБ, что соответствует эффективности ослабления ЭМИ до 97,5 %. Для сравнения, в указанном диапазоне частот, пакет из двух слоев тканей образца 2 характеризуется абсолютными значениями коэффициента передачи в среднем 11 дБ (ослабление ЭМИ – 92 %), для одного слоя в пределах 2,4...6,4 дБ.

На рис. 3 и 4 показаны частотные зависимости (диапазон частот 0,7...17,0 Гц) зна-

чений коэффициента отражения образцов 1 (рис. 3) и 2 (рис. 4) от количества слоев. Вторым фактором, определяющим эф-

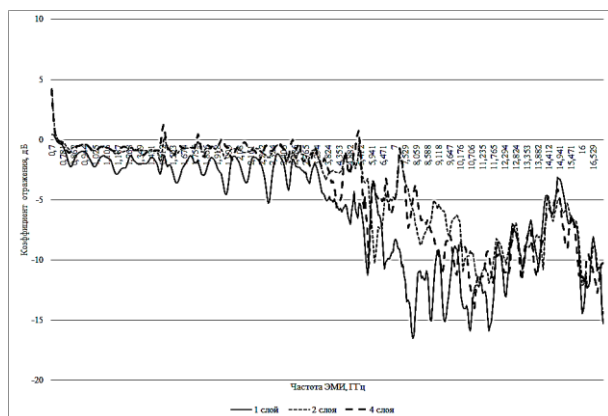


Рис. 3

фективность экранирования ЭМИ, является значение коэффициента отражения излучений в рабочем диапазоне частот экрана.

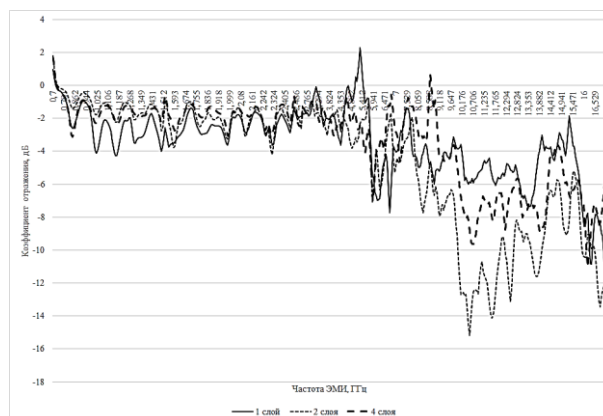


Рис. 4

Испытания тканей 1 и 2 и пакетов из них показали следующее.

1. В диапазоне 0,7...5,0 ГГц существенного отражения ЭМИ не наблюдается, независимо от состава исследуемых тканей и количества их слоев.

2. Для образца ткани 1 установлено, что увеличение количества слоев приводит к некоторому снижению абсолютного значения коэффициента отражения ЭМИ, что может быть объяснено многократным отражением излучений внутри многослойного пакета материала. Коэффициент отражения ЭМИ ткани по модулю превышает 10 дБ в диапазоне 7,5...12,0 ГГц, в то время как для двухслойного и четырехслойного пакета соответствующий диапазон частот значительно уже. В среднем значения коэффициента отражения ЭМИ по модулю для образца ткани 1, исследованного в 1 слой, в данном диапазоне частот составляет до 12,5 дБ.

3. Для образца ткани 2, в отличие от образца 1, сложение в два слоя приводит к значительному повышению абсолютного значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 10...14 ГГц и по модулю составляет до 11,3 дБ. Дальнейшее увеличение количества слоев сопровождается снижением степени отражения в данном диапазоне.

ВЫВОДЫ

Если для конкретных условий эксплуатации разрабатываемых экранов требуется обеспечение низкого значения коэффициента отражения ЭМИ и достаточно высокой эффективности их ослабления, то в диапазоне частот до 3 ГГц может быть рекомендован пакет из 4 слоев ткани, содержащий в качестве электропроводящего компонента стальные волокна Bekinox, который характеризуется значениями коэффициента отражения по модулю до 0,78 дБ, коэффициента передачи по модулю до 30,5 дБ (эффективность снижения мощности ЭМИ составляет до 99,9 %).

Для работы в диапазоне частот 3...16 ГГц может быть рекомендован четырехслойный пакет ткани с содержанием 10% стальных волокон Bekinox в сочетании с углеродно-полиэфирными нитями Nega-Stat. Этот пакет характеризуется значениями коэффициента отражения по модулю до 5 дБ, коэффициента передачи по модулю до 16 дБ (эффективность снижения мощности ЭМИ составляет до 97,5 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михнюк Т.Ф. Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. – Минск: БГУИР, 2003.

2. *Задоя Н.И.* Электромагнитная безопасность. – Рубцовск, 2014.

3. *Харлов Н.Н.* Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007.

4. *Абдулхадиди Х.Д.А. и др.* Электромагнитные экраны на основе алюминия, его оксидов и углеродных волокон, технологии, конструкции и свойства / Под ред. Л.М. Лынькова. – Минск: Бестпринт, 2021. ISBN 978-985-7267-16-3.

5. Anti-static fibers and yarns for textiles – Bekaert.com [Электронный ресурс]; 2022. – Режим доступа: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles>.

6. *Рыклин Д.Б., Кветковский Д.И.* Определение влияния волокон Векінох на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей // Вестник Витебского гос. технолог. ун-та. – 2021, № 2 (41). С.73...80.

7. Ткань "Статэл" с антистатической нитью Nega-Stat [Электронный ресурс]; 2022 – Режим доступа: https://www.technoavia.ru/polezno/technology/materials/negastat_souz.

8. *Li Q.J., Liu, C.L., Zhou M. et al.* Study on principle of the shielding effectiveness of woven fabrics containing stainless steel fibers and simulation // Fund Mater. – 2013, №14. P. 2041...2046.

9. *Liu Z., Rong X., Yang Y., Wang X.* Influence of Metal Fiber Content and Arrangement on Shielding Effectiveness for Blended Electromagnetic Shielding Fabric // Materials science (Medziagotyra). – 2015. Vol. 21, № 2. P.265...270.

10. *Liang R., Cheng W., Xiao H., Sh, M., Tang Z., Wang N.* A calculating method for the electromagnetic shielding effectiveness of metal fiber blended fabric // Textile Research Journal. – 2018. Vol. 88 (9). P.973...986.

REFERENCES

1. *Mikhnyuk T.F.* Protection from electromagnetic fields of the radio frequency range. – Minsk, BSUIR, 2003.

2. *Zadoya N.I.* Electromagnetic safety. – Rubtsovsk, 2014.

3. *Kharlov, N.N.* Electromagnetic compatibility in the electric power industry. – Tomsk: TPU Publishing House, 2007.

4. *Abdulhadi H.D.A. et al.* Electromagnetic screens based on aluminum, its oxides and carbon fibers, technologies, designs and properties / ed. L.M. Lynkov. – Minsk: Bestprint, 2021. ISBN 978-985-7267-16-3.

5. Anti-static fibers and yarns for textiles - Bekaert.com [Electronic resource]; 2022. Access mode: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles>.

6. *Ryklin D.B., Kvetkovsky D.I.* Determining the effect of Bekinox fibers on the specific surface electrical resistance of tissues // Vestnik of Vitebsk State Technological University. – 2021, № 2 (41). P. 73...80.

7. Fabric "Statel" with antistatic thread Nega-Stat [Electronic resource]; 2022 – Access mode: https://www.technoavia.ru/polezno/technology/materials/negastat_souz.

8. *Li Q.J., Liu C.L., Zhou M. et al.* Study on principle of the shielding effectiveness of woven fabrics containing stainless steel fibers and simulation // Fund Mater. – 2013. №14, P. 2041...2046.

9. *Liu Z., Rong X., Yang Y., Wang X.* Influence of Metal Fiber Content and Arrangement on Shielding Effectiveness for Blended Electromagnetic Shielding Fabric // Materials science (Medziagotyra). – 2015. Vol. 21, № 2. P. 265...270.

10. *Liang R., Cheng W., Xiao H., Shi M., Tang Z., Wang N.* A calculating method for the electromagnetic shielding effectiveness of metal fiber blended fabric // Textile Research Journal. – 2018. Vol. 88(9). P.973...986.

Рекомендована кафедрой технологии текстильных материалов Витебского государственного технологического университета. Поступила 26.09.22.