

## ОЦЕНКА ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ, ЗАЩИЩАЮЩИХ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

## EVALUATION OF THE SHIELDING PROPERTIES OF FABRICS PROTECTING AGAINST ELECTROMAGNETIC RADIATION

УДК 677.024 : 537.874.7

**Д.Б. Рыклин<sup>1\*</sup>, О.А. Дубровская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Витебский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-53-63>

**D. Ryklin<sup>1\*</sup>, V. Dubrouskaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Vitebsk State Technological University

<sup>2</sup>Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University

### РЕФЕРАТ

*ЭКРАНИРУЮЩАЯ ТКАНЬ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, СТАЛЬНОЕ ВОЛОКНО BEKINOX, ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ*

*Объект исследований – антистатические ткани, содержащие в своем составе стальные волокна Bekinox. Цель работы – оценка эффективности экранирования электромагнитного излучения при использовании тканей, содержащих в своем составе стальные волокна Bekinox. Определено влияние содержания волокна Bekinox в ткани на коэффициенты отражения и передачи электромагнитного излучения в частотном диапазоне 0,7 до 17 ГГц. Оценено влияние использования двухслойных пакетов тканей на эффективность экранирования. Доказана целесообразность использования многослойных пакетов тканей, содержащих антистатические нити, для повышения эффективности экранирования в диапазоне от 0,8 до 1,5 ГГц. Полученные результаты будут использованы для разработки экранирующих тканей и пакетов на их основе для экранирования электромагнитного излучения в заданных частотных диапазонах с учетом конкретных требований их эксплуатации.*

### ABSTRACT

*SHIELDING FABRIC, ELECTROMAGNETIC RADIATION, BEKINOX STEEL FIBER, STUDY OF SHIELDING PROPERTIES OF FABRICS*

*The object of research is shielding antistatic fabrics containing Bekinox steel fibers. The objective of the work is to determine the shielding efficiency of fabrics containing Bekinox steel fibers, providing a given level of shielding properties, for subsequent consideration of the information obtained when developing a technique for designing fabrics for special purposes. The optimal distance between electrically conductive threads was selected for the production of fabric with shielding properties, which allows creating the best reflective effect of electromagnetic radiation (EMR) on the fabric. As a result of statistical processing of experimental data, a mathematical model was developed that describes the dependence of the fabrics shielding efficiency coefficient on the distance between electrically conductive threads of Bekinox steel fibers in the warp and weft of 5 mm and 10 mm. When analyzing the test results of shielding fabrics, it was found that under UHF radiation only 4-layered fabrics can be used with the distance between electrically conductive yarns of 5 mm, they have sufficient shielding ability. With an increase in the radiation frequency to 18 GHz, the shielding ability of fabrics decreases to 25 dB. Consequently, these investigated fabrics can be used as a radio absorbing material with protective properties in the microwave range.*

\* E-mail: [ryklin-db@mail.ru](mailto:ryklin-db@mail.ru) (D. Ryklin)

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 результате в настоящее время практически всё население земного шара 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 электромагнитных полей, увеличилось число источников помех самой разнообразной природы. Спектр электромагнитных полей включает низкие частоты до  $3 \text{ Гц}$ , промышленные частоты  $3\text{--}300 \text{ Гц}$ , радиочастоты  $30 \text{ Гц--}300 \text{ МГц}$ , а также относящиеся к радиочастотам ультравысокие частоты (УВЧ)  $300 \text{ МГц--}3 \text{ ГГц}$  и сверхвысокие частоты (СВЧ)  $3\text{--}30 \text{ ГГц}$ .

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  $+28 \text{ }^\circ\text{C}$ , наличие рентгеновского излучения, шум и др.). Поэтому увеличение параметров ЭМП, значительно отличающихся от предельно-допустимых норм, могут 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].

Энергия высоких и ультравысоких радиочастот (ВЧ, УВЧ) широко применяется в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в промышленных установках и технологических процессах для нагрева, закалки иковки металлов, термической обработки диэлектриков и полупроводников. Электромагнитная энергия сверхвысоких частот получила широкое применение в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, ядерной физике, медицине, промышленности и быту. Кроме того, дальнейшее совершенствование новых типов СВЧ-генераторов позволит в ближайшем будущем применять энергию СВЧ-диапазона в радарных системах транспортных средств для предупреждения столкновений, в дорожных системах сигнализации, в мощных системах наземной и спутниковой связи и др. [1].

Для ослабления электрических, магнитных и 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. Традиционно для создания электромагнитных экранов чаще применяются материалы 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.

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, способной 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. Не менее важными областями применения можно назвать экранирование геопатогенных зон и физиотерапевтических кабин, оборудование «чистых» комнат и «безэховых» камер, снятие статического электричества. В настоящее время металлические нити в сетеполотнах нашли применение при создании космических антенн.

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей пряжи с вложением волокон Bekinox компании Bekaert [3]. Данное волокно представляет собой отрезки проволоки из нержавеющей стали. Выпуск смешанной пряжи с вложением волокон Bekinox в сочетании с другими волокнами освоен на ОАО «Гронитекс» [4].

Целью данной работы является оценка эффективности экранирования тканей, содержащих в своем составе стальные волокна Bekinox.

Многочисленные исследования по разработке текстильных материалов с экранирующими и антистатическими свойствами являются одними из наиболее перспективных направлений развития ассортимента материалов технического назначения. В настоящее время работы по созданию текстильных материалов для экранирования электромагнитного излучения и анализу эффективности их применения ведутся рядом исследовательских центров.

Исследования Xiao H, Tang Z.H и Wang Q. [5] показали, что общие факторы, влияющие на эффективность экранирования ткани, включают частоту электромагнитной волны и направление поляризации, параметры нитей из металлических волокон, а также расположение нитей из металлических волокон. Также авторами было выдвинуто предположение, что эффективной экранирующей структурой ткани, содержащей металлическую нить, является проводящая решетчатая структура. Это связано с тем, что хлопок и другие традиционные текстильные волокна почти прозрачны для электромагнитных волн

[6]. Таким образом, в основном проводящие компоненты обладают эффектом экранирования электромагнитного излучения. Среди них основным фактором, влияющим на эффективность экранирования, выделены также структурные параметры металлической сетки, такие как расстояние между электропроводящими нитями (ЭН), их диаметр и т.д.

Китайскими учёными Ching-luan Su и Jin-Tsair Chern [7] были проведены испытания тканей из смешанной пряжи, содержащих в своем составе волокна из нержавеющей стали. Они пришли к выводу, что ткани более плотной структуры характеризуются более высоким эффектом экранирования. Кроме того, образцы защитных тканей, изготовленных из нержавеющей стали разных марок, имеют экранирующий эффект на разных измеренных частотах. При анализе типов переплетения, был сделан вывод, что плотное переплетение позволяет достичь более высоких показателей защиты от ЭМИ, чем другие типы переплетения.

Ученые Huseyin Gazi Ortlek, Omer Galip Saracoglu, Ozgur Saritas, Sinem Bilgin (Университет Эрджиес, Турция) [8] изучали свойство электромагнитного экранирования тканых материалов, состоящих из гибридных нитей. В качестве токопроводящей части гибридной пряжи была выбрана проволока из нержавеющей стали диаметром  $0,035 \text{ мм}$ , имеющая  $8,0 \text{ кг/дм}^3$ . Поверхностная плотность образцов тканей составляла от  $93$  до  $120 \text{ г/м}^2$ . В результате эксперимента все образцы показали значения эффективности экранирования ЭМИ  $25-65 \text{ дБ}$  для диапазона частот  $30 \text{ МГц}-9,93 \text{ ГГц}$ . При этом значения эффективности экранирования уменьшались с увеличением частоты ЭМИ для всех образцов тканей. Результаты испытаний показывают, что плотность основы и утка также имеет важную роль для выполнения защитных функций тканей в зависимости от поляризации электромагнитных волн. Повышение плотности ткани по утку приводит к достижению более высоких показателей эффективности экранирования ЭМИ полотна при вертикальной поляризации электромагнитных волн. Также в ходе экспериментов было выявлено, что ориентация и плотность расположения в ткани антистатических нитей, а также вид переплетения ткани являются важными

ми факторами, оказывающими влияние на эффективность электромагнитного экранирования тканых материалов.

Учеными из Чжунчжоуаньский технологического университета [9] проанализировано влияние содержания металлических волокон на эффективность экранирования ткани и обсуждено влияние переплетения ткани, частоты излучения, а также плотности по основе и по утку. Для исследования были изготовлены образцы ткани с различным видом переплетения из пряжи, содержащей 25 % волокон из нержавеющей стали, 35 % хлопка и 40 % полиэфирного волокна. Диаметр волокна из нержавеющей стали составляет 8 *мкм*, содержание стальных волокон в опытных образцах от 39 до 56 *г/м<sup>2</sup>*. Исследования были проведены при частоте ЭМИ от 2200 *МГц* до 2650 *МГц*. В ходе эксперимента значение эффективности экранирования для ткани полотняного переплетения является наибольшим и составляет примерно 35 *дБ* при содержании стальных волокон 56 *г/м<sup>2</sup>*, эффективность экранирования ткани переплетения саржа 2/1 ниже в среднем на 1 *дБ*, а для ткани переплетения сатин 5/3 эффективность экранирования ниже еще на 0,8 *дБ*. Согласно полученным авторами экспериментальным результатам, эффективность экранирования в незначительной степени зависит от вида переплетения и повышается с увеличением процентного содержания металлического компонента и уменьшением частоты электромагнитного излучения.

В статье [10] рассмотрены ткани с расположением нитей, содержащих сталь по основе и по утку, образуя проводящую решетчатую структуру. Было использовано 14 тканей с одинаковой структурой переплетения (полотняное переплетение). Опытные образцы тканей испытывали в диапазоне частот ЭМИ 4–14 *ГГц*. Содержание стальных волокон в тканях составляло от 19 % до 45 %. Масса стали в 1 квадратном метре ткани изменялась в значительном диапазоне и составляла не менее 15 *г/м<sup>2</sup>*. В ходе экспериментов установлено, что в опытных образцах тканей при одной и той же частоте ЭМИ с увеличением диаметра стальных волокон до 35 *мкм* эффективность экранирования будет постепенно увеличиваться до 35 *дБ*, но при том же диаметре эффективность экранирования уменьшается до

25 *дБ* с увеличением частоты ЭМИ. Также в ходе эксперимента было отмечено, что с увеличением расстояния между нитями с решетчатой структурой, содержащих нити из нержавеющей стали, эффективность экранирования уменьшалась.

Таким образом, многочисленные исследования по разработке текстильных материалов с экранирующими и антистатическими свойствами являются одними из наиболее перспективных направлений развития ассортимента материалов технического назначения в мире и в Республике Беларусь. При этом важно отметить, что существенный экранирующий эффект достигался при чрезвычайно высоком содержании металлических волокон, следствием чего являлось повышение стоимости тканей и изменение их основных потребительских свойств.

Проведенный анализ источников показал актуальность решения поставленной задачи.

Теория экранирования основана на двух фундаментальных принципах – на отражении и поглощении электромагнитных волн при переходе их из одной материальной среды в другую. Оба эти эффекта снижают энергию электромагнитного поля, прошедшую за экран.

Считается, что материалы отвечают минимальным требованиям по экранированию, если эффективность экранирования находится в диапазоне от 10 до 30 *дБ*, а достаточным экранированием считается достижение значений от 30 до 60 *дБ*.

В таблице 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.

В условиях лаборатории кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск) наработанные ткани исследовались на способность экранировать (отражать) электромагнитные волны.

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 непосред-

Таблица 1 – Характеристика опытных образцов тканей

Наименование показателя	Образец 1		Образец 2	
	основа	уток	основа	уток
Переплетение ткани	Саржа 2/2		Саржа 2/2	
Вид нити	хлопчатобумажная пряжа 25 текс × 2, пряжа 20 текс × 2 (90 % ПЭ и 10 % Bekinox)		хлопчатобумажная пряжа 25 текс × 2, пряжа 20 текс × 2 (90 % ПЭ и 10 % Bekinox)	
Плотность нитей в ткани, <i>нит./1 см</i>	17,4	18	17,4	18
Расстояние между антистатическими нитями, <i>см</i>	1,0	1,0	0,5	0,5

ственного детектирования уровней падающей и отражающей волн [11]. Излучение и прием электромагнитных волн 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. В результате объединения результатов испытаний образцов в частотных диапазонах 0,7–3 ГГц и 2–17 ГГц получены зависимости в диапазоне частот от 0,7 до 17 ГГц, представленные на рисунках 1 и 2.

Анализ экспериментальных результатов позволяет утверждать, что по коэффициенту передачи, характеризующему ослабление ЭМИ, образец 2 имеет явное преимущество практически во всем исследуемом частотном диапазоне ЭМИ (за исключением участка от 0,7 до 1 ГГц) по сравнению с образцом. Можно отметить, что коэффициент передачи обоих образцов с увеличением частоты ЭМИ снижается. Наиболее стабильное значение коэффициента передачи образца 2 наблюдается в диапазоне от 1 до 2,5 ГГц, в котором среднее значение исследуе-

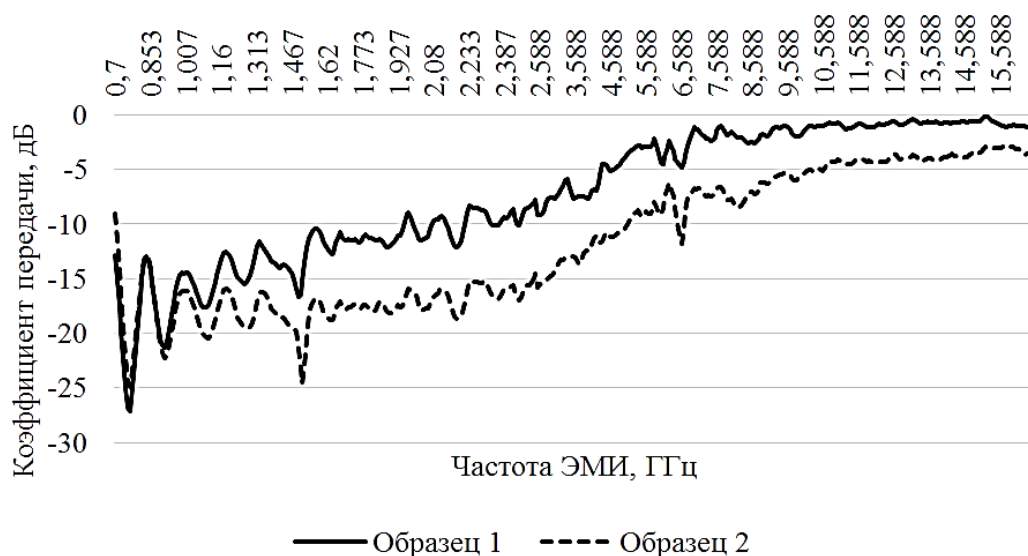


Рисунок 1 – Частотные зависимости коэффициентов передачи образцов тканей

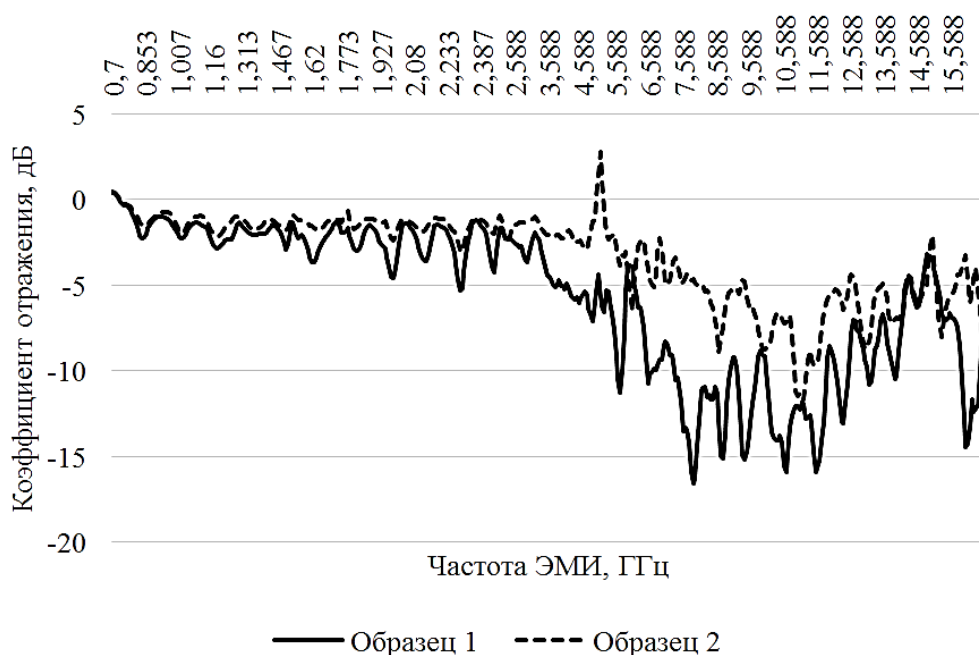


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов отражения образцов тканей

мого показателя составляет 17,5 **дБ**. В более широком диапазоне 0,7–5 **ГГц** значение коэффициента передачи образца 2 остается на уровне не ниже 10 **дБ**.

Анализ экспериментальных результатов, приведенных на рисунке 2, показывает, что коэффициенты отражения существенно не различаются и не превышают 5 **дБ** в диапазоне 0,7–3 **ГГц**. Последующее повышение частоты ЭМИ приводит к увеличению коэффициента отражения обоих образцов. При этом, несмотря на меньшее процентное содержание в образце 1 стального волокна, значение исследуемого показателя для него в диапазоне от 5 до 12 **ГГц** превосходит значение коэффициента отражения для образца 2 в среднем на 5 **дБ**. Данная закономерность не является результатом влияния случайных факторов, так как была выявлена при проведении повторных испытаний. В среднем коэффициент отражения образца 1 в диапазоне частот ЭМИ от 3 до 12 **ГГц** составил 9,5 **дБ**.

Согласно источникам [12, 13], в общем случае степень ослабления ЭМИ, обеспечиваемая экраном, зависит от трех механизмов: это отражение

электромагнитной волны от экранирующего барьера, поглощение волны по мере ее прохождения через барьер (экран) и многократные отражения электромагнитной волны внутри экрана от границ раздела сред «металл–воздух» и «воздух–металл». Следовательно, эффективность экранирования определяется как сумма трех составляющих, определяющих эффективность перечисленных явлений:

$$S = R + A + B, \quad (1)$$

где **R** – составляющая, определяющая отражение от границы раздела при входе волны в экран, **дБ**; **A** – определяет эффективность экранирования за счет поглощения электромагнитной волны в толще экрана, **дБ**; **B** – характеризует потери за счет многократных отражений в толще экрана, **дБ**.

Принимая допущение о том, что в исследуемом случае коэффициент передачи характеризует степень ослабления ЭМИ за счет поглощения

и многократных отражений электромагнитной волны в ткани (А+В), можно считать, что эффективность экранирования рассчитывается как сумма абсолютных значений коэффициентов передачи и экранирования.

На рисунке 3 представлена зависимость эффективности экранирования образцов 1 и 2 в диапазоне ЭМИ от 0,7 до 17 дБ.

По рисунку 3 можно сделать вывод, что в диапазоне частот от 1 ГГц до 4 ГГц очевидно более высокая эффективность экранирования образца 2. При этом в диапазоне до 3 ГГц данная характеристика находится на уровне не ниже 15 дБ, что в среднем на 4 дБ выше по сравнению с эффективностью экранирования, определенной для образца 1.

При превышении ЭМИ более 5 ГГц существенного различия в эффективности экранирования исследуемых образцов не выявлено.

При проведении исследований высказана гипотеза, что одним из вероятных способов повышения эффективности использования текстильных экранов является создание на основе

полученных тканей многослойных пакетов, в результате чего повышается толщина экранов и массовое содержание электропроводящего компонента в 1 квадратном метре пакета. Для проверки данной гипотезы проведены сравнительные испытания двухслойных тканей. Рассмотрим частотные характеристики эффективности экранирования двухслойных пакетов, представленные на рисунке 4.

По рисунку 4 можно сделать вывод, что в диапазоне частот от 0,7 ГГц до 1,5 ГГц образцы, сложенные в 2 слоя, характеризуются приблизительно одинаковой эффективностью экранирования, составляющей в среднем 25 дБ. С увеличением частоты ЭМИ различия в эффективности экранирования становятся заметны. В диапазоне от 1,5 до 5 ГГц эффективность экранирования двухслойного пакета из образца 2 составляет не менее 25 дБ, а в диапазоне от 5 до 13 ГГц в среднем составляет 18 дБ. Для пакета из образца 1 данный показатель экранирования ниже в среднем на 6 дБ а в диапазоне от 1,5 до 13 ГГц.

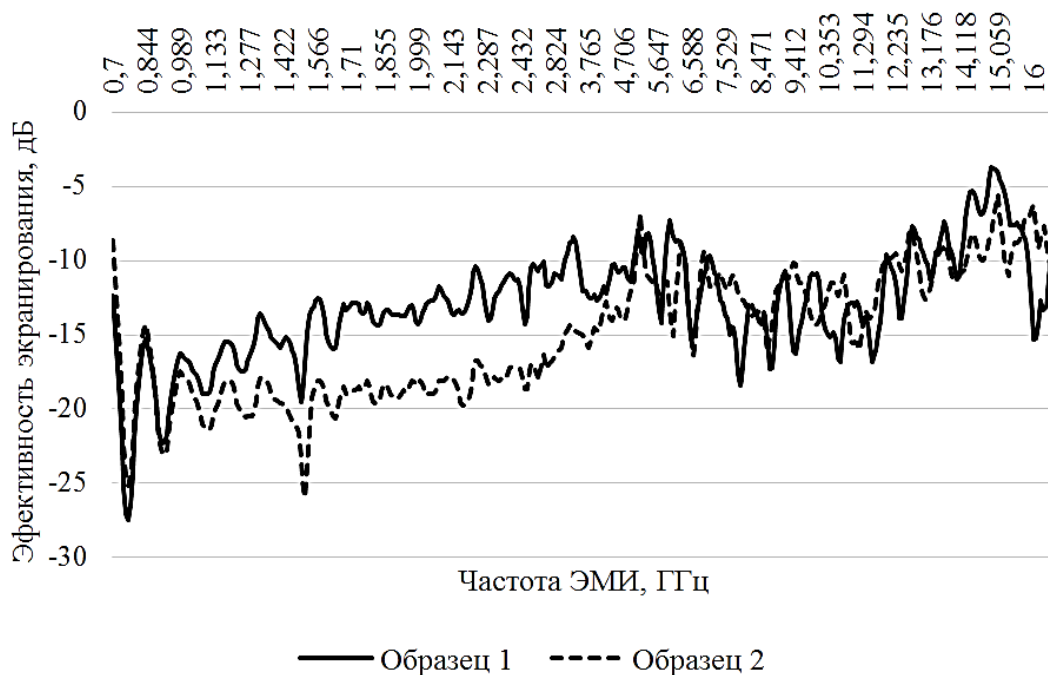


Рисунок 3 – Частотные зависимости эффективности экранирования образцов 1 и 2

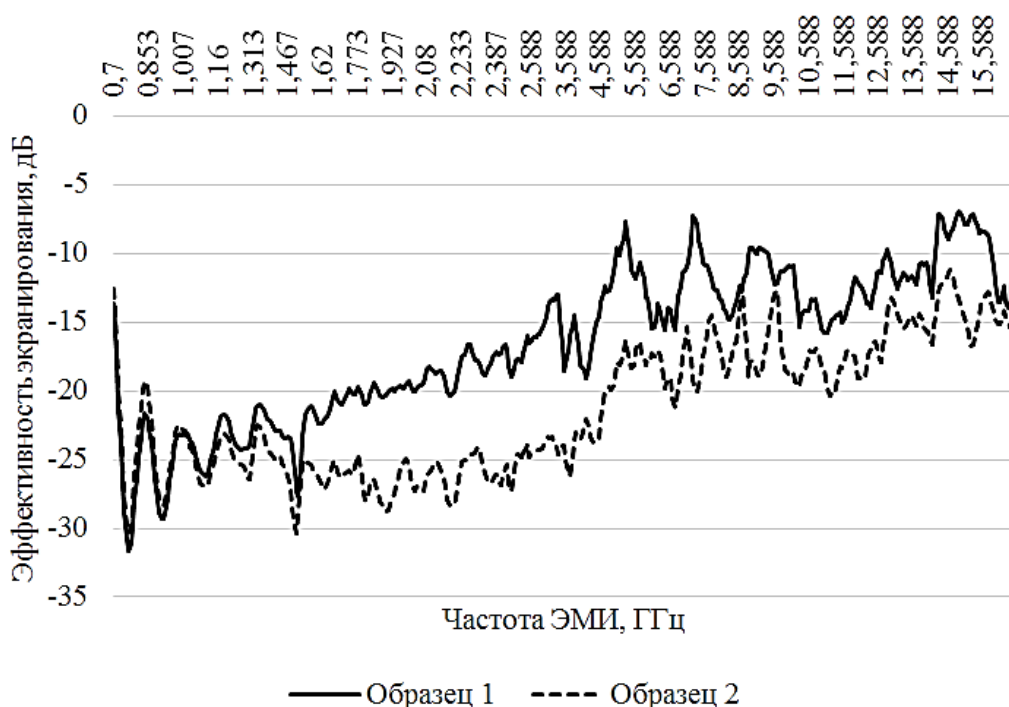


Рисунок 4 – Частотные зависимости эффективности экранирования двухслойных пакетов из образцов тканей 1 и 2

Сопоставляя частотные характеристики, представленные на рисунках 3 и 4, можно отметить, что сложение тканей в 2 слоя повысило эффективность экранирования пакета в диапазоне от 1 до 5 ГГц в среднем на 5–7 дБ. На более высоких частотах такой эффект достигнут только для образца 2, в то время как для образца 1 изменения произошли менее существенные.

Для того, чтобы оценить степень влияния толщины материала отдельно от содержания в его составе электропроводящего компонента, принято решение сравнить эффективность экранирования образца ткани 2 и двухслойного пакета, изготовленного из образца ткани 1. Согласно проведенным расчетам в обоих вариантах материалов содержание стального волокна составляет 850 мг/м<sup>2</sup>. На рисунке 5 представлены частотные характеристики эффективности экранирования исследуемых вариантов материалов.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 5, можно отметить, что толщина материала оказывает существенное влияние на эффективность экранирования только в диапазоне

до 1,5 ГГц, причем с увеличением частоты с 0,8 до 2 ГГц разница в полученных значениях снижается с 8 дБ до нуля. На более высоких частотах толщина материала не оказывает видимого влияния на эффективность экранирования. С другой стороны, создание пакета тканей существенно повышает материалоемкость изделия, его массу и время на его изготовление. Следовательно, создание таких пакетов для защиты от ЭМИ при частотах свыше 1,5 ГГц является технологически нецелесообразным.

Анализ полученных данных позволил сформулировать следующие выводы и рекомендации:

- коэффициент передачи тканей, содержащих в своей структуре антистатические нити, снижается с увеличением частоты ЭМИ, а при частотах более 1 ГГц увеличивается с повышением процентного содержания стальных волокон;
- коэффициент отражения ткани, в структуре которого антистатические нити создают сетку с ячейкой 1×1 см, превышает значение 5 дБ при частоте ЭМИ более 5 ГГц, а образец с более



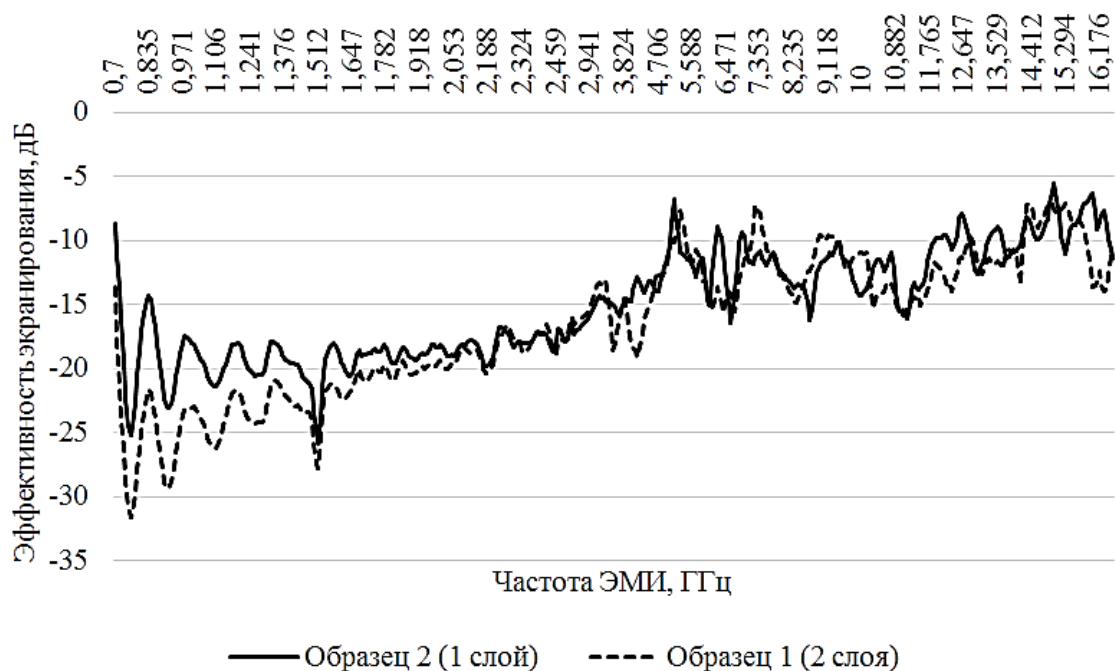


Рисунок 5 – Частотные зависимости эффективности экранирования опытных образцов тканей от количества слоев при одинаковом содержании стального волокна

плотной сеткой характеризуется меньшим значением данного показателя;

- эффективность экранирования образцов 1 и 2 уменьшается с увеличением частоты ЭМИ;
- для повышения эффективности экранирования ЭМИ в диапазоне от 0,8 до 1,5 **ГГц** целесообразно использовать многослойные пакеты тканей, содержащих антистатические нити, а на более высоких частотах повышение материалоемкости не является эффективным;

- при частотах ЭМИ более 1,5 **ГГц** повышение эффективности экранирования достигается за счет увеличения массового содержания электропроводящего компонента.

Полученные результаты будут использованы для разработки экранирующих тканей и пакетов на их основе для экранирования ЭМИ в заданных частотных диапазонах с учетом конкретных требований их эксплуатации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Михнюк, Т. Ф. (2003), Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Учебное пособие для студентов радиотехнических и приборостроительных специальностей дневной, вечерней и заочной форм обучения, Минск, БГУИР, 47 с.

#### REFERENCES

1. Mikhnyuk, T. F. (2003), Protection from electromagnetic fields of the radio frequency range [Zashchita ot elektromagnitnykh poley radiochastotnogo diapazona]. Textbook for students of radio engineering and instrument-making specialties of full-time, evening and

2. Задоя, Н. И. (2014), Электромагнитная безопасность. Учебное пособие для бакалавров направления «Электроэнергетика и электротехника», Рубцовский индустриальный институт, Рубцовск, 108 с.
3. Antistatic fibers and yarns for textiles (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 12 March 2022).
4. Рыклин, Д. Б., Кветковский, Д. И. (2021), Определение влияния волокон Bekinox на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2021, № 2 (41), С. 73–80.
5. Xiao, H., Tang, Z.H., Wang, Q. (2015), Research on conductive grid structure and general influence factors to shielding effectiveness of electromagnetic shielding fabrics, *Textile research journal*, 2015, Vol. 36, pp. 35–42.
6. Safarova, V., Militky, J. (2014), Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fibers, *Textile research journal*, 2014, Vol. 84 (12), pp. 1255–1267.
7. Su, C. I., Chern, J. T. (2004), Effect of stainless steel-containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness, *Textile research journal*, 2004, Vol. 74 (1), pp. 51–54.
8. Ortlek, H. G., Saracoglu, O. G., Saritas, O., Bilgin, S. (2012), Electromagnetic shielding characteristics of woven fabrics made of hybrid yarns containing metal wire, *Fibers and polymers*, 2012, Vol. 13 (1), pp. 63–67.
9. Liu, Z., Rong, X., Yang, Y., Wang, X.C. (2015), Influence of metal fiber content and arrangement on shielding effectiveness for blended electromagnetic shielding fabric, *Materials science (Medziagotyra)*, 2015, Vol. 21, № 2, pp. 265–270.
- correspondence forms of education, Minsk, BSUIR, 47 p.
2. Zadoya, N. I. (2014), Electromagnetic safety [Elektromagnitnaya bezopasnost']. Textbook for bachelors of the direction "Power Engineering and Electrical Engineering", Rubtsovsk Industrial Institute, Rubtsovsk, 108 p.
3. Antistatic fibers and yarns for textiles (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 12 March 2022).
4. Ryklin, D. B., Kvetkovsky, D. I. (2021), Determination of the effect of Bekinox fibers on the fabrics specific surface electrical resistance [Opredeleniye vliyaniya volokon Bekinox na udel'noye poverkhnostnoye elektricheskoye soprotivleniye tkaney], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2021, № 2 (41), pp. 73–80.
5. Xiao, H., Tang, Z.H., Wang, Q. (2015), Research on conductive grid structure and general influence factors to shielding effectiveness of electromagnetic shielding fabrics, *Textile research journal*, 2015, Vol. 36, pp. 35–42.
6. Safarova, V., Militky, J. (2014), Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fibers, *Textile research journal*, 2014, Vol. 84 (12), pp. 1255–1267.
7. Su, C. I., Chern, J. T. (2004), Effect of stainless steel-containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness, *Textile research journal*, 2004, Vol. 74 (1), pp. 51–54.
8. Ortlek, H. G., Saracoglu, O. G., Saritas, O., Bilgin, S. (2012), Electromagnetic shielding characteristics of woven fabrics made of hybrid yarns containing metal wire, *Fibers and polymers*, 2012, Vol. 13 (1), pp. 63–67.

10. Liang, R., Cheng, W., Xiao, H., Shi, M., Tang, ZH, Wang, N. (2018), A calculating method for the electromagnetic shielding effectiveness of metal fiber blended fabric, *Textile Research Journal*, 2018, Vol. 88 (9), pp. 973–986.
11. Бойправ, О. В., Лыньков, Л. М., Борботько, Т. В. (2013), Информационно-измерительная система оценки влияния уровней мощности электромагнитного излучения на характеристики его ослабления защитными экранами, *Приборы и методы измерений*, 2013, № 1, С. 19–22.
12. Li, Z., Wang, Z., Lu, W., Hou, B. (2018), Theoretical study of electromagnetic interference shielding of 2D MXenes films, *Metals*, Vol. 8 (8), 652, pp. 1–8.
13. Neruda, M., Vojtech, L. (2018), Electromagnetic shielding effectiveness of woven fabrics with high electrical conductivity: complete derivation and verification of analytical model, *Materials*, Vol. 11 (9), p. 1657.
9. Liu, Z., Rong, X., Yang, Y., Wang, X.C. (2015), Influence of metal fiber content and arrangement on shielding effectiveness for blended electromagnetic shielding fabric, *Materials science (Medziagotyra)*, 2015, Vol. 21, № 2, pp. 265–270.
10. Liang, R., Cheng, W., Xiao, H., Shi, M., Tang, ZH, Wang, N. (2018), A calculating method for the electromagnetic shielding effectiveness of metal fiber blended fabric, *Textile Research Journal*, 2018, Vol. 88 (9), pp. 973–986.
11. Boiprav, O. V., Lynkov, L. M., Borbotko, T. V. (2013), Information-measuring system for assessing the influence of electromagnetic radiation power levels on the characteristics of its attenuation by protective screens [Informatsionno-izmeritel'naya sistema otsenki vliyaniya urovney moshchnosti elektromagnitnogo izlucheniya na kharakteristiki yego oslableniya zashchitnymi ekranami], *Pribory i metody izmerenij – Devices and measurement methods*, 2013, № 1, pp. 19–22.
12. Li, Z., Wang, Z., Lu, W., Hou, B. (2018), Theoretical study of electromagnetic interference shielding of 2D MXenes films, *Metals*, Vol. 8 (8), 652, pp. 1–8.
13. Neruda, M., Vojtech, L. (2018), Electromagnetic shielding effectiveness of woven fabrics with high electrical conductivity: complete derivation and verification of analytical model, *Materials*, Vol. 11 (9), p. 1657.

Статья поступила в редакцию 13. 09. 2022 г.