

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О.А. Дубровская^{1,2}, Д.Б. Рыклин¹, С.Э. Саванович³, В.В. Зайцев¹

¹Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

²Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, Республика Беларусь

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Потребность в защите людей и чувствительных электронных и электротехнических приборов от вредного влияния электромагнитных излучений (ЭМИ) является актуальной проблемой для различных секторов общества, включая медицинское оборудование, авиацию, телекоммуникации, электронику, электротехнику. Недостаточная защита от ЭМИ может иметь серьезные последствия для безопасности, надежности и эффективности работы различных отраслей и секторов экономики. Цель работы – оценка эффективности использования двухслойных тканей для экранирования ЭМИ в диапазоне от 2 до 17 ГГц. Экспериментально установлено, что применение двухслойных пакетов экранирующих тканей эффективно только при относительно небольшом содержании стальных волокон. При существенном увеличении массы стальных волокон в ткани за счет более плотного расположения содержащих их нитей сложение слоев существенно не влияет на способность отражать ЭМИ. Показано, что при увеличении массы стали до 18 г/м² ткани эффект от сложения слоев полностью исчезает. Вероятной причиной данного эффекта является существенное повышение влияния многократного переотражения электромагнитных волн в пакетах, сформированных из таких тканей. Полученные результаты будут использованы для разработки экранирующих тканей и пакетов на их основе для обеспечения наилучшей эффективной защиты в заданных частотных диапазонах с учетом конкретных требований их эксплуатации.

Ключевые слова: электромагнитное излучение; двухслойные ткани; антистатическая нить; стальное волокно; коэффициент отражения; коэффициент передачи; эффективность экранирования.

Информация о статье: поступила 14 ноября 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF TWO-LAYER FABRICS FOR ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Volha A. Dubrouskaya^{1,2}, Dzmitry B. Ryklin¹, Svyatlana E. Savanovich³, Uladzislau U. Zaitsau¹

¹Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

²Vitebsk State Medical University, Republic of Belarus

³Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

ABSTRACT

The need to protect people and sensitive electronic and electrical devices from the detrimental effects of electromagnetic radiation (EMR) is a pressing issue across various sectors, including medical equipment, aviation, telecommunications, electronics, and electrical engineering. Insufficient EMI protection can pose serious risks to the safety, reliability and operational efficiency of various industries and economic sectors. The study aims to assess the efficacy of applying two-layer fabrics for EMR shielding with the frequency range from 2 to 17 GHz. The findings suggest that the use of two-layer packages of shielding fabrics is effective only when the steel fiber content is relatively low. As the mass of steel fibers in the fabric significantly increases, due to a denser arrangement of the yarns containing them, the addition of layers does not considerably affect the ability to reflect EMR. Experimental results indicate that as the steel mass increases to 18 g/m² of fabric, the effect of adding layers

entirely diminishes. The most plausible explanation for this effect is a substantial increase in the influence of multiple re-reflection of electromagnetic waves in packages formed from such fabrics.

The obtained results will contribute to the development of shielding fabrics and packages based on them, aiming to provide optimal protection within specified frequency ranges, taking while considering the specific operational requirements.

Keywords: *electromagnetic radiation; double-layer fabrics; anti-static yarn; steel fiber; reflection coefficient; transmission coefficient; shielding efficiency.*

Article info: *received November 14, 2023.*

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

Расширение электронной промышленности и широкое использование электронного оборудования в мобильной связи, автоматизации, биомедицине, космосе и других отраслях выдвигают в число приоритетных проблемы, как электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронного оборудования (РЭА), так и защиты биологических объектов от повышенных уровней электромагнитного излучения (ЭМИ), генерируемого аппаратурой.

Электромагнитное излучение, формируемое РЭА, имеет две составляющие – электрическую и магнитную, в связи с этим практически невозможно подобрать материал с высокой магнитной проницаемостью и удельной проводимостью [1].

Металлы являются лучшими материалами для экранирования ЭМИ из-за их проводимости и проницаемости, но существует ряд недостатков, таких как значительная масса изделия, высокая стоимость, возможность теплового расширения и окисления металла или проблемы с коррозией, связанные с его использованием. Альтернативой металлическим защитным экранам являются ткани, в структуру которых введены электропроводящие компоненты. Основными преимуществами использования экранирующих тканей в сравнении с металлическими листами являются меньший расход металлов, гибкость текстильных полотен, воздухопроницаемость, лёгкость экрана, простота монтажа.

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей пряжи с вложением штапельных волокон из нержавеющей стали. Специалисты компании Векаерт, производящей стальные волокна под торговой маркой Векинох, отмечают, что такие ткани используют для изготовления спецодежды и различных средств, защищающих от тер-

мических воздействий и агрессивных сред, они защищают от электромагнитных помех в диапазоне частот от 300 до 10 ГГц при коэффициенте экранирования до 60 дБ [2]. Стальные волокна почти не уступают высокоэффективным альтернативам, таким как серебро и медь. Эти металлы утрачивают практически все защитные свойства всего за несколько машинных стирок, а сталь выдерживает многократные машинные стирки.

В литературе описывается несколько основных конструктивных вариантов исполнения электромагнитных экранов: сетчатый, однослойный сплошной, многослойный [1].

Действие сетчатого и однослойного сплошного экрана основано на возбуждении вихревых токов на поверхности материала. В сетчатых экранах при попадании ЭМ волны на отверстия в металлической сетке, часть энергии отражается обратно в пространство, а остальная часть проникает сквозь сетку или поглощается материалом сетки.

Однослойные сплошные экраны, в отличие от сетчатых, представляют собой непрерывный слой металла. Эти экраны обеспечивают более эффективное поглощение электромагнитных волн. Металлический слой способен поглощать энергию излучения и преобразовывать ее в тепло. Поглощение происходит из-за потерь энергии в результате электромагнитных вихрей, возникающих в металле.

В многослойном электромагнитном текстильном экране, состоящем как минимум из двух слоёв, с добавлением второго слоя в структуру возникают три защитных механизма. В первом механизме волны, проходящие через первый слой, поглощаются вторым слоем. Во втором механизме часть волн, отраженных от второго слоя, поглощается первым слоем. В третьем механиз-

между первым и вторым слоями происходят повторяющиеся отражения, и эти волны в основном поглощаются и преобразуются в тепло. Эти три механизма поддерживают поглощение и играют важную роль на высоких частотах. Помимо упомянутых механизмов, когда волны, отражающиеся от первого и второго слоев, располагаются в противоположном друг другу направлении, возникает деструктивная интерференция, создающая волну, более слабую, чем любая из них [3].

В процессе создания защитных экранов от ЭМИ необходимо учитывать, что эффективность их работы связана с явлениями поглощения и отражения электромагнитной энергии, при этом часть энергии электромагнитной волны затухает в толще материала (рисунок 1).

Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных устройств важно, чтобы большая часть энергии ЭМИ поглощалась, а не переотражалась на соседние устройства или в окружающее пространство [4].

Одним из путей повышения эффективности экранирования является разработка многослойных экранов. В литературе отмечается, что эффективность двухстенного сплошного экрана не равна произведению эффективностей двух одностенных экранов. Поток электромагнитной энергии, проникший сквозь первую стенку, претерпевает бесконечный ряд отражений в пространстве между стенками. В результате сквозь вторую стенку проникает значительно большая часть этого потока, чем в том случае, когда после первого же отражения поток энергии более не возвращается к этой стенке [5].

Расчеты и практика показывают, что по конструктивным и экономическим соображениям не имеет смысла делать экраны из листового материала двухстенными; лучше добиться нужного увеличения эффективности путем соответствующего утолщения стенки.

В некоторых случаях по конструктивным соображениям удобно делать экран не из сплошно-

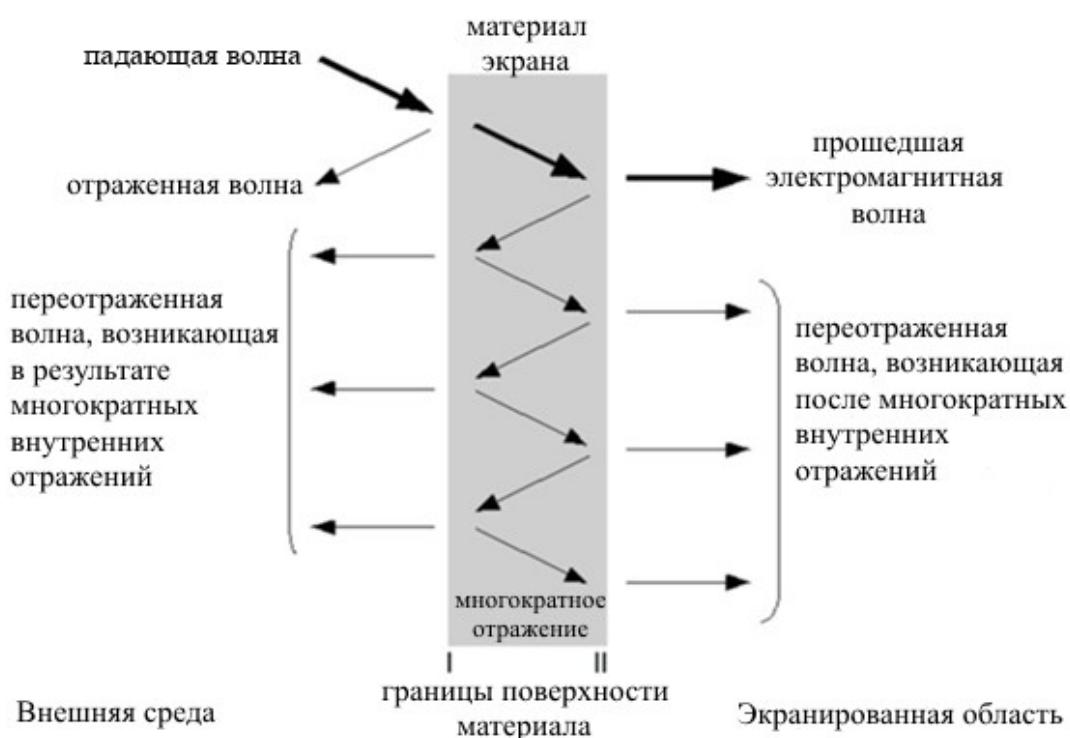


Рисунок 1 – Принципиальная схема прохождения электромагнитных волн в многослойном экране

го листового материала, а из металлической сетки [5]. Защитные экраны из металлической сетки могут быть достаточно эффективными в защите от электромагнитных излучений. Однако эффективность таких экранов может зависеть от различных факторов, таких как размер ячейки сетки, толщина и материал металлической нити, а также соотношение размеров ячеек в сетке к длине волны ЭМИ, от которого требуется защита. Металлическая сетка является проводником и может отражать или поглощать электромагнитные волны, предотвращая их проникновение через экран. Однако, если размер ячейки сетки слишком большой или длина волны излучения слишком мала, это может привести к проникновению некоторой части энергии через экран и экранирование будет менее эффективным.

Для достижения максимальной эффективности защиты от электромагнитных излучений рекомендуется использовать сетки с маленькими размерами ячейки, металлическими нитями большего диаметра с хорошей проводимостью.

Важно отметить, что защитные экраны из металлической сетки не являются идеальными экранирующими материалами, и не могут полностью устранить электромагнитные излучения. Кроме того, излучение может проходить через отверстия в экране или отражаться от других поверхностей, поэтому возможно потребуется сочетание нескольких экранирующих материалов и методов, чтобы достичь оптимальной эффективности защиты.

Общая эффективность защитных экранов из металлической сетки может быть высокой, особенно при правильном выборе материала и конструкции экрана, а также оптимальной геометрии ячеек сетки относительно длины волны излучения. Однако, перед выбором защитного экрана, следует провести анализ требуемых параметров и учесть различные факторы, такие как тип излучения, его частота, мощность и конкретные требования защиты.

В связи с этим был проведен ряд исследований опытных образцов тканей с переплетением саржа 2/2, изготовленных из хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 25 текс × 2 и пряжи 20 текс × 2, содержащей 90 % полиэфирных волокон и 10 % стальных волокон Bekinox, отличающихся размером решетки из антистатических

нитей, а также многослойных пакетов из этих тканей. Опытные образцы имели разный размер решетки, следовательно, они отличались и разным содержанием металла – 0,8 г/м² и 1,6 г/м² соответственно.

При анализе результатов испытаний экранирующих тканей установлено, 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 по модулю 25 дБ. С увеличением частоты ЭМИ различия в эффективности экранирования становятся заметны. При сравнении двухслойных пакетов выявлено, что для двухслойного пакета образца с содержанием стальных волокон 1,6 г/м² эффективность экранирования выше в среднем на 6 дБ в диапазоне от 1,5 до 16 ГГц по сравнению с пакетом из тканей с содержанием стальных волокон 0,8 г/м². Сопоставляя частотные зависимости эффективности экранирования опытных образцов и их двухслойных пакетов, можно отметить, что сложение тканей в 2 слоя повысило эффективность пакетов в диапазоне от 1 до 17 ГГц в среднем на 5–7 дБ [6].

Однако при использовании двухслойных пакетов тканей возникает ряд трудностей: повышается масса экрана, материалоемкость, и в процессе производства возникают затраты, связанные с соединением слоёв. В связи с этим было принято решение о проведении исследований, направленных на оценку эффективности использования двухслойных тканей для экранирования электромагнитного излучения.

Для решения поставленной задачи были разработаны опытные двухслойные экранирующие ткани на базе переплетения саржа 2/3. Для выработки экранирующих образцов использована хлопчатобумажная пряжа линейной плотности 50 текс и в качестве антистатической нити – пряжа линейной плотности 20 текс × 2, содержащая 90 % полиэфирных волокон и 10 % стальных волокон Bekinox.

Для выработки данного образца экранирующей ткани применялись следующие виды нитей:

– для основы: каждая пятая нить основы верхнего и нижнего слоёв – пряжа (10 % стальное волокно Bekinox, 90 % полиэфирное волокно) линейной плотности 20×2 текс; остальные

нити основы – одиночная пряжа (100 % хлопковое волокно), линейной плотности 50 текс;

– для утка: в обоих слоях пряжа (10 % стальное волокно Bekinox, 90 % полиэфирное волокно) линейной плотности 20 × 2 текс.

Антистатические нити основы в слоях располагались со смещением, равным половине расстояния между ними в каждом из слоев.

Так как образец 2 отличался от образца 1 тем, что был полностью произведен из пряжи, содержащей 10 % волокон Bekinox, содержание стальных волокон в нем больше на 55 %, чем в образце 1.

В таблице 1 представлены основные характеристики текстильного опытного образца 1.

Оценка характеристик отражения и передачи ЭМИ изготовленных опытных образцов электромагнитных экранов выполнялась с использованием панорамного измерителя SNA 0,01–18 в соответствии с ГОСТ 20271.1-91 «Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров» в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники (г. Минск). SNA 0,01–18 работает по принципу отдельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отражающей волн. Излучение и прием электромагнитных волн обеспечивался с помощью антенн П6 23М в диапазоне частот 2–17,0 ГГц.

С учетом полученных ранее результатов представляет интерес сравнительный анализ представленных образцов тканей и ткани, которая была исследована в статье [6]. Опытный образец 3 изготовлен по основе и по утку из хлопчатобумажной пряжи 25 текс × 2 и пряжи 20 текс × 2 (90 % ПЭ и 10 % Bekinox), переплетение сар-

жа 2/2, расстояние между электропроводящими нитями по основе и по утку – 5 мм, содержание стального волокна в ткани – 1,6 г/м².

Частотные зависимости коэффициентов отражения от частоты ЭМИ в диапазоне 2–17 ГГц представлены на рисунке 2. Отметить, что значения коэффициентов отражения тканей с различным содержанием стальных волокон не отличаются существенно друг от друга.

Зависимости коэффициентов передачи опытных образцов с различным содержанием стальных волокон в структуре ткани при частоте 2–17 ГГц представлены на рисунке 3.

Анализ экспериментальных результатов, приведенных на рисунке 3, показывает, что образец 3 с меньшим содержанием стальных волокон имеет максимальные значения коэффициентов передачи. Образец 2 в частотном диапазоне 2–5 ГГц характеризуется минимальными значениями коэффициентов передачи, далее с увеличением частоты ЭМИ происходит увеличение показателей с достижением максимальных значений (около –19 дБ) на частотах 6–8 ГГц, после чего с увеличением частоты излучения рост показателей коэффициентов передачи замедляется и с 14 ГГц снова увеличивается.

Сравнивая образец 1 и 2 в частотном диапазоне 2–17 ГГц, можно наблюдать, что характер зависимостей коэффициентов передачи совпадает, а разница в показателях составляет примерно 14 дБ. Минимальными значениями коэффициента передачи во всем частотном диапазоне характеризуется образец 2. Данный результат являлся ожидаемым, так как образец 2 содержит максимальное количество стальных волокон, что позволяло прогнозировать более

Таблица 1 – Характеристики текстильного опытного образца 1

Наименование показателя	Образец 1		Образец 2	
	основа	уток	основа	уток
Поверхностная плотность, г/м ²	230		180	
Плотность нитей в ткани, нит./10 см	200	250	200	250
Расстояние между антистатическими нитями:				
в ткани, мм	2,5	0,4	0,5	0,4
в каждом слое, мм	5,0	0,8	1,0	0,8
Содержание стального волокна в составе ткани, г/м ²	11,6		18,0	

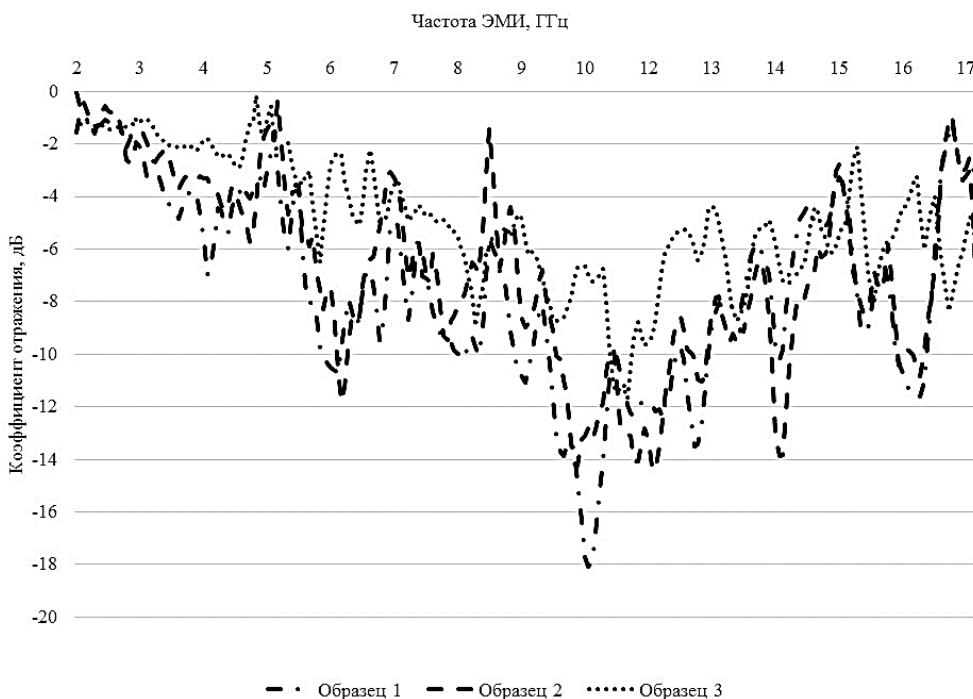


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов отражения опытных образцов с различным содержанием стальных волокон в структуре ткани при частоте 2–17 ГГц

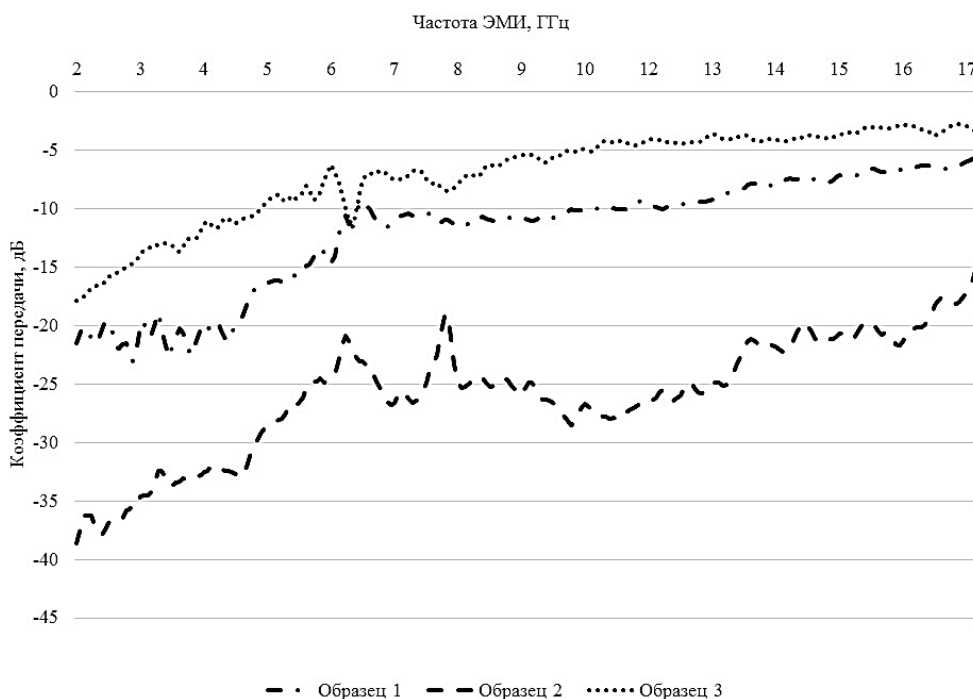


Рисунок 3 – Частотные зависимости коэффициентов передачи опытных образцов с различным содержанием стальных волокон в структуре ткани при частоте 2–17 ГГц

высокие показатели эффективности экранирования.

На следующем этапе исследований в качестве объекта исследований использовались двухслойные пакеты, сформированные из полученных опытных тканей, с целью оценки возможности управления экранирующим эффектом и определения перспективных возможностей создания многослойных текстильных экранов. В результате испытаний получены зависимости коэффициентов отражения и передачи ткани от частоты ЭМИ.

Анализировались частотные характеристики опытных образцов материалов в зависимости от количества слоев. Результаты измерения зависимости коэффициентов отражения от частоты ЭМИ в диапазоне 2–17 ГГц представлены на рисунке 4.

В целях обеспечения электромагнитной совместимости оборудования выбирают опытные

образцы с минимальными значениями коэффициентов отражения и минимальными значениями коэффициентов передачи ЭМИ, что соответствует максимальной степени экранирования [7, 8].

Сопоставляя частотные значения коэффициентов отражения всех опытных образцов, представленных на рисунке 4, в частотном диапазоне 2–17 ГГц можно отметить, что значения показателей существенно не различаются независимо от состава исследуемых тканей и количества их слоев.

Результаты измерения зависимости коэффициентов передачи от частоты ЭМИ 2–17 ГГц представлены на рисунке 5.

Анализ экспериментальных результатов, приведенных на рисунке 5, показывает, что коэффициенты передачи всех опытных образцов, кроме опытного образца 1, в частотном диапазоне ЭМИ 2–17 ГГц не имеют существенной разницы

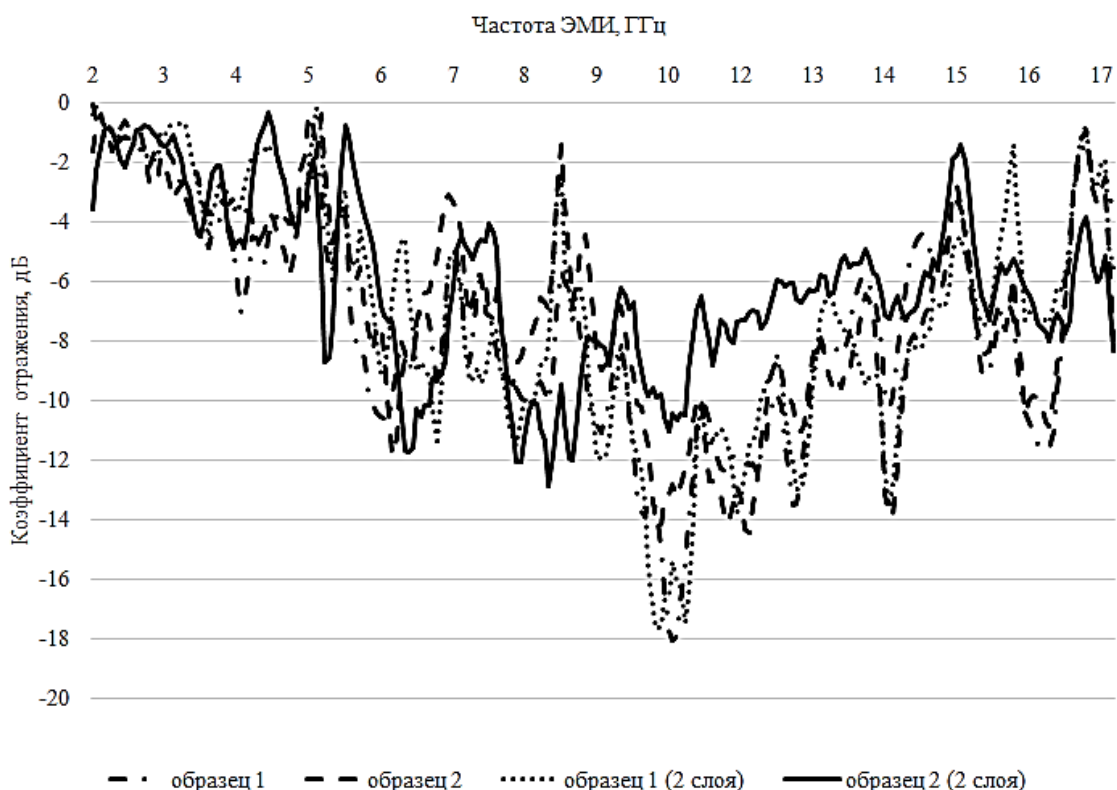


Рисунок 4 – Частотные зависимости коэффициентов отражения опытных образцов ткани от количества слоев при частоте 2–17 ГГц

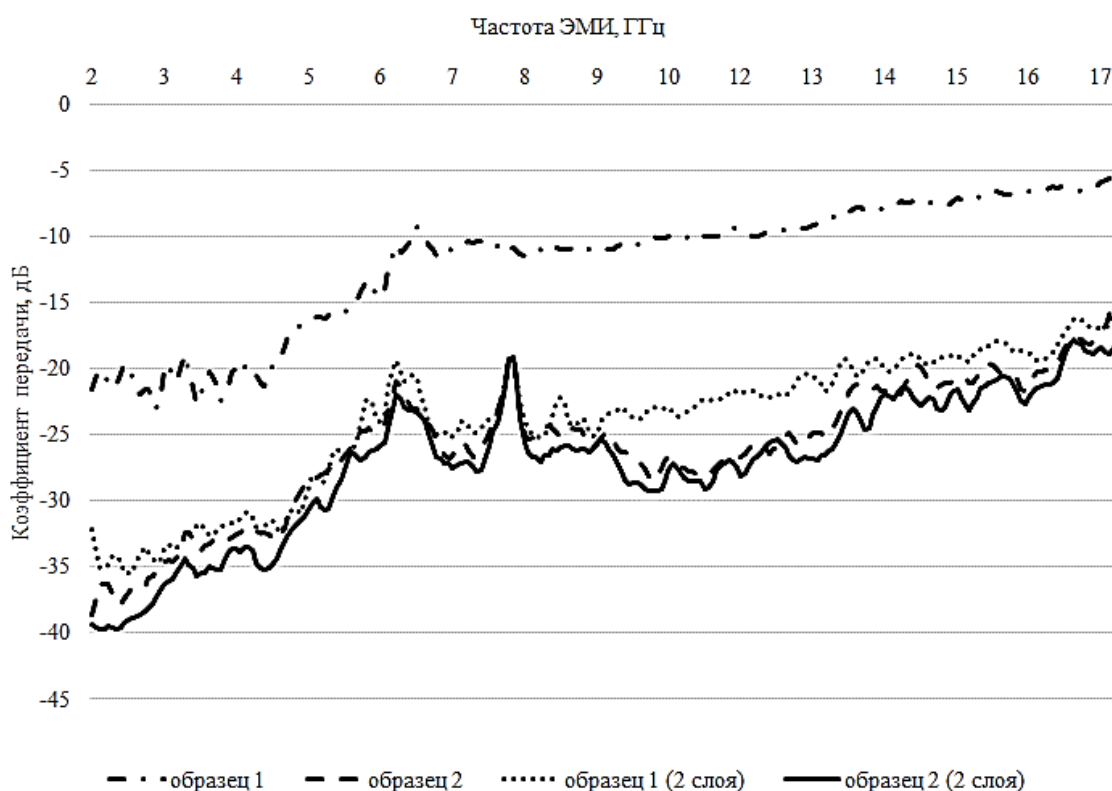


Рисунок 5 – Частотные зависимости коэффициентов передачи опытного образца ткани от количества слоев при частоте 2–17 ГГц

в значениях. Среднее значение коэффициентов передачи в частотном диапазоне 2–17 ГГц для опытных образцов составляет: образец 1 равно –11,9 дБ; образец 2 равно –25,9 дБ; образец 1 (2 слоя) равно –24 дБ, образец 2 (2 слоя) равно –27,2 дБ.

Образец 1 с меньшим содержанием стальных волокон характеризуется максимальными значениями коэффициента передачи. В частотном диапазоне 2–5 ГГц образец 2 имеет минимальные значения коэффициента передачи, которые в среднем составляют –34 дБ, в то время как для образца 1 среднее значение коэффициента передачи равно –20,5 дБ.

Можно обратить внимание на то, что сложение ткани 1 в два слоя привело к снижению коэффициента передачи в среднем на 12 дБ практически во всем исследованном частотном диапазоне ЭМИ, что является положительным результатом. Однако двухслойный пакет из тка-

ни образца 2 по коэффициенту передачи практически не отличался от образца исходной ткани, испытанной в один слой.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 5, можно отметить, что с учетом высокой стоимости стальных волокон и дополнительные затраты на формирование двухслойных экранов при выборе опытных образцов с минимальными значениями коэффициентов ослабления ЭМИ предпочтение можно отдать опытному образцу ткани 2. При этом формирование двухслойных пакетов из таких тканей нецелесообразно.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Применение двухслойных пакетов экранирующих тканей эффективно только при относительно небольшом содержании стальных волокон, как это было показано в статье [6], в которой в качестве оптимального варианта был выбран двухслойный пакет из тканей, содержание стальных волокон в которых составляло 1,6 г/м²

при размере решетки из антистатических нитей $0,5 \times 0,5$ см. При существенном увеличении массы стальных волокон в ткани за счет более плотного расположения содержащих их нитей сложение слоев перестает влиять на эффективность экранирования. Если при содержании стальных волокон $11,6 \text{ г/м}^2$ ткани коэффициент передачи двухслойного пакета снижается по сравнению с тканью, то при увеличении их массы до 18 г на 1 м^2 ткани эффект от сложения слоев полностью

исчезает. Наиболее вероятной причиной данного эффекта является существенное повышение влияния многократного переотражения электромагнитных волн в пакетах, сформированных из таких тканей.

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. Самоквасова, Ю. Н., Ромащенко, М. А. (2012), Методика выбора конструкционных материалов для задач экранирования электронных средств, *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2012, Т. 8, № 5, С. 48–50.
2. Anti-static fibers and yarns for textiles – Bekaert.com (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 20 August 2023).
3. Özkan, I., Telli, A. (2019), The effects of metal type, number of layers, and hybrid yarn placement on the absorption and reflection properties in electromagnetic shielding of woven fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019, Vol. 14: 1–13, pp. 1–13.
4. Молодечкин, М. О., Богуш, В. А. (2015), Методика формирования и характеристики композиционного поглотителя электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе диоксида титана, *Доклады БГУИР*, 2015, № 4 (90), С. 109–115.
5. Шапиро, Д. Н. (2010), *Электромагнитное экранирование*, Издательский Дом «Интеллект», 120 с.
6. Рыклин, Д. Б., Дубровская, О. А. (2022), Оценка экранирующих свойств тканей, защищающих от воздействия электромагнитного излучения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, № 2 (43), С. 53–63.
7. Абдулхади, Х. Д. А., Аль-Машатт, Е. А. А., Богуш, В. А., Бойправ, О. В., Лыньков, Л. М., Мухуров, Н. И., Прудник, А. М. (2021), *Электромагнитные экраны на основе алюминия, его оксидов и углеродных волокон, технологии, конструкции и свойства*, Минск, Бестпринт, 120 с.
8. Сафонов, П. Е., Левакова Н. М. (2023), Выбор рациональной структуры и изучение радиотехнических характеристик тканей для защиты от электромагнитного излучения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2023, № 1 (44), С. 36–48.

REFERENCES

1. Samokvasova, Yu. N., Romashchenko, M. A. (2012), Methodology for selecting structural materials for problems of shielding electronic devices [Metodika vybora konstruktsionnykh materialov dlya zadach ekраниrovaniya elektronnykh sredstv], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Vestnik of the Voronezh State Technical University*, 2012, Vol. 8, № 5, pp. 48–50.
2. Anti-static fibers and yarns for textiles – Bekaert.com (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 20 August 2023).
3. Özkan, I., Telli, A. (2019), The effects of metal type, number of layers, and hybrid yarn placement on the absorption and reflection properties in electromagnetic shielding of woven fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019, Vol. 14: 1–13, pp. 1–13.

4. Molodechkin, M. O, Bogush, V. A. (2015), Methodology for the formation and characteristics of a composite absorber of electromagnetic radiation in the VHF band based on titanium dioxide [Metodika formirovaniya i kharakteristiki kompozitsionnogo poglotitelya elektromagnitnogo izlucheniya SVCH-diapazona na osnove dioksida titana], *Doklady BGUIR – Reports of BSUIR*, 2015, № 4 (90), pp. 109–115.
5. Shapiro, D. N. (2010), *Electromagnetic shielding* [Elektromagnitnoye ekranirovaniye], Publishing House "Intellect", 120 p.
6. Ryklin, D. B., Dubrouskaya, V. A. (2022), Evaluation of the shielding properties of fabrics that protect against the effects of electromagnetic radiation [Otsenka ekraniruyushchikh svoystv tkaney, zashchishchayushchikh ot vozdeystviya elektromagnitnogo izlucheniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2022, № 2 (43), pp. 53–63.
7. Abdulhadi, Kh. D. A., Al-Mashatt, E. A. A., Bogush, V. A., Boyprav, O. V., Lynkov, L. M., Mukhurov, N. I., Prudnik, A. M. (2021), *Electromagnetic screens based on aluminum, its oxides and carbon fibers, technologies, designs and properties* [Elektromagnitnyye ekrany na osnove alyuminiya, yego oksidov i uglerodnykh volokon, tekhnologii, konstruksii i svoystva], Minsk, Bestprint, 120 pp.
8. Safonov, P. E., Levakova, N. M. (2023), Selection of a rational structure and study of radiotechnical characteristics of fabrics for protection against electromagnetic radiation [Vybor ratsional'noy struktury i izucheniye radiotekhnicheskikh kharakteristik tkaney dlya zashchity ot elektromagnitnogo izlucheniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2023, № 1 (44), pp. 36–48.

Информация об авторах

Information about the authors

Дубровская Ольга Александровна

Магистр технических наук, аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет; инженер-программист кафедры «Информационные технологии», Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, Республика Беларусь. E-mail: olgadubrovskaya0279@gmail.com

Рыклин Дмитрий Борисович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: ryklin-db@mail.ru

Саванович Светлана Эдуардовна

Ассистент кафедры «Защита информации», Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь. E-mail: svetasav@bsuir.by

Зайцев Владислав Владимирович

Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: Vlad_shark_by@mail.ru

Volha A. Dubrouskaya

Master of Technical Sciences, Postgraduate Student at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University; Software Engineer of the Department "Information Technology", Vitebsk State Medical University, Republic of Belarus. E-mail: olgadubrovskaya0279@gmail.com

Dzmitry B. Ryklin

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: ryklin-db@mail.ru

Svyatlana E. Savanovich

Assistant at the Department "Information Security", Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus. E-mail: svetasav@bsuir.by

Uladzislau U. Zaitsau

Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: Vlad_shark_by@mail.ru