

УДК 621.37, 535.016

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ МИКРОПРОВОДОМ

А.А.А. АХМЕД, Я.Т.А. АЛЬ-АДЕМИ, Н.В. НАСОНОВА, Т.А. ПУЛКО, Л.М. ЛЫНЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, Беларусь**Поступила в редакцию 5 февраля 2016*

Получены характеристики коэффициента спектральной яркости тканых хлопкополиэфирных материалов, содержащих наноструктурированный ферромагнитный микропровод, и пропитанных водой, в диапазоне длин волн 440...2400 нм. Проведен анализ зависимости полученных результатов от состава элементов, цвета и структуры поверхности образцов, а также присутствия воды.

Ключевые слова: коэффициент спектральной яркости, тканые материалы, влажность.

Введение

Взаимодействие материалов с оптическим излучением описывается процессами отражения и рассеяния от поверхности материала, а также поглощения энергии излучения. Доли энергии, участвующие в этих процессах, составляют в сумме полную энергию падающего излучения, зависят от оптических свойств материала и характеризуются коэффициентами: r – отражения, a – поглощения и g – пропускания:

$$r + a + g = 1. \quad (1)$$

Оптические спектральные характеристики материалов позволяют получить достоверную информацию о свойствах исследуемых объектов, например, в дистанционном зондировании земной поверхности [1]. В видимом диапазоне длин волн (400...750 нм) выделяют семь поддиапазонов: красный (770–625 нм); оранжевый (625–585 нм); желтый (585–565 нм); зеленый (565–510 нм); голубой (510–480 нм); синий (480–440 нм); фиолетовый (440–390 нм).

Природные или искусственные объекты при наблюдении в оптическом диапазоне длин волн могут быть различимы благодаря их яркостным контрастам. Яркость объекта зависит от освещенности, отражательной способности материала, а также поглощения оптического излучения средой, в котором оно распространяется. Яркость объекта часто описывается коэффициентом спектральной яркости (КСЯ), который характеризует пространственное распределение спектральной яркости отражающей поверхности [2]:

$$КСЯ = B / B_0, \quad (2)$$

где B – спектральная яркость объекта; B_0 – спектральная яркость идеально рассеивающей поверхности в одинаковых условиях освещения и наблюдения.

Характер отражения светового потока материалом в разных участках диапазона длин волн зависит от физико-химического состава материала, структуры поверхности, характера освещения, его спектрального состава и мощности. Структура поверхности связана во многом с рассеянием оптического излучения, так, например, большое количество малоразмерных элементов поверхности приводит к увеличению КСЯ, обусловленному увеличением

многократного внутреннего рассеяния света. Структура поверхности объекта влияет на изменение яркости также в зависимости от изменения угла наблюдения.

Полосы поглощения оптического излучения видимого диапазона веществом зависят от состава его молекул. Присутствие в материале пигментов определяет вид кривой спектральной яркости: возрастает яркость в участке спектра, который не поглощается пигментами, и определяет цвет материала. Например, для объектов красного цвета характерно смещение максимума яркости в длинноволновую часть спектра. На распределение яркости по спектру влияет концентрация, состав частиц, их цвет и размер.

В данной работе исследовались спектральные характеристики тканых хлопкополиэфирных материалов, содержащих наноструктурированный ферромагнитный микропровод, и пропитанных водой, в оптическом диапазоне длин волн (400...2400 нм). Наноструктурный ферромагнитный микропровод (НФМП) в стеклянной изоляции представляет собой композиционный материал с внутренней жилой из аморфных металлических сплавов на основе переходных металлов [3]. Состав аморфного наноструктурированного микропровода в стеклянной изоляции представляет собой ферромагнитный сплав Fe, Co, Ni и металлоидов (B, Si, C). Его содержание изменялось путем чередования нитей утка с ферромагнитным микропроводом [4].

Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты в диапазоне СВЧ носит нелинейный характер. При этом наибольшее влияние оказывает частота на действительную составляющую ϵ' . Это подтверждается экспериментальными и расчетными данными.

Поиск несущей основы или матрицы для жидкого наполнителя является актуальной задачей при разработке влагосодержащих композиционных экранирующих материалов. Для этих целей используются различные капиллярно-пористые порошковые и волокнистые материалы. Известны конструкции на основе силикагеля, бентонита, тканого и нетканого полотна, шунгита и др. с различными способами герметизации для стабилизации влагосодержания композита. Подобные материалы способны обеспечивать коэффициент передачи ЭМИ не менее -10 дБ при минимальном коэффициенте отражения $-10...-15$ дБ в СВЧ-диапазоне. В настоящей работе рассматривается возможность применения пористой волокнистой основы, в качестве которой используется древесная стружка хвойных пород. Дерево широко известно как волокнистый электроизоляционный материал. Из всех составных частей древесины волокнистым строением обладает только целлюлоза, содержащаяся в количестве до 50 % от веса абсолютно сухой древесины. Целлюлоза – один из самых основных видов полимерных материалов, имеет волокнистое строение и является главной составной частью стенок растительных клеток и вместе с сопровождающими ее веществами составляет твердый остов всех растений, придавая им механическую прочность и эластичность. Волокнистая структура, гигроскопичность, а также доступность, экологичность и малый вес исходного сырья обуславливают выбор данного материала как несущей основы для жидкого наполнителя. В качестве жидкого наполнителя предлагается использовать гидрофильный водный раствор хлорида кальция, который обеспечит стабилизацию уровня влагосодержания.

Водный раствор хлорида кальция обладает повышенной электропроводностью по сравнению с водой за счет появления свободных ионов, являющихся носителями заряда. Также из-за присутствия ионов происходит существенная модификация структуры воды, сопровождающаяся снижением диэлектрической проницаемости воды с одновременным уменьшением времени диэлектрической релаксации. При этом увеличение отражения, обусловленное возрастанием удельной электропроводности раствора, с избытком компенсируется уменьшением доли отраженной энергии ЭМИ, связанным с уменьшением диэлектрической проницаемости воды и согласованием волновых сопротивлений материала и свободного пространства.

Методика проведения эксперимента

Изготовленные образцы представляли собой прямоугольные отрезки ткани размером 60×70 мм, образец 1 – без микропровода; образец 2 – чередование нитей утка с ферромагнитным микропроводом 1:4, образцы, обозначенные «*», были пропитаны водой до максимального содержания (таблица).

Описание исследуемых образцов

Обозначение образцов	Вид матрицы, материал и характерные размеры	Влагосодержание, % масс.
1	Хлопкополиэфирная ткань без микропровода	0
1*	Хлопкополиэфирная ткань без микропровода	58,0
2	Хлопкополиэфирная ткань, чередование нитей утка с ферромагнитным микропроводом 1:4	0
2*	Хлопкополиэфирная ткань, чередование нитей утка с ферромагнитным микропроводом 1:4	58,0

Экранирующая ткань с наноструктурным ферромагнитным микропроводом может применяться в изготовлении спецодежды для биологической защиты технического персонала, работающего в условиях воздействия электромагнитных полей, для пошива штор и изготовления изделий в целях обеспечения информационной безопасности зон повышенной конфиденциальности и их скрытия при эксплуатации в условиях повышенной влажности [5].

Исследования оптических характеристик проводились в видимом диапазоне (400...2400 нм) с помощью гониометрической установки и спектрорадиометра ПСР-02, имеющего разрешение не хуже 2 нм с поляризационной насадкой, позволяющей регистрировать спектральную плотность энергетической яркости (СПЭЯ) образцов при различных положениях оси поляроида.

Спектрорадиометр ПСР-02 предназначен для проведения измерения в лабораторных и полевых условиях спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), а также поляризационных характеристик отраженного растительными элементами или другими объектами излучения в диапазоне длин волн от 0,35 до 2,5 мкм [6]. В результате обработки зарегистрированных на гониометрической установке спектров отражения в диапазоне 440–2400 нм были получены оптические характеристики исследуемых образцов при угле падения света 0° и углах наблюдения 0°, 25°, 45° и 65°.

Для обработки спектров отражения и вычисления КСЯ исследуемых объектов были получены спектры отражения для материала с равномерной индикатрисой рассеяния, в качестве которой использовался диффузный отражатель. В качестве отражателя использовалась пластина молочного стекла МС-20 толщиной 10 мм. Для анализа спектров отражения и вычисления КСЯ исследуемых материалов были получены спектры отражения для эталонного образца, выполненного на основе молочного стекла МС-20 с равномерной индикатрисой рассеяния при условиях измерений, аналогичных условиям для исследуемых образцов.

Коэффициент спектральной яркости КСЯ вычислялся как отношение СПЭЯ исследуемого материала к СПЭЯ молочного стекла МС-20. Величины СПЭЯ-спектров отражения образцов L_{ob} нормировались на величину СПЭЯ-спектра, отраженного от МС-20 излучения L_{MS} для каждой длины волны, получая КСЯ исследуемых образцов Rob :

$$Rob = \frac{L_{ob}}{L_{MS}}. \quad (3)$$

Результаты и их обсуждение

На основе экспериментально полученных данных построены характеристики КСЯ в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн для тканых материалов из синтетических волокон, содержащих ввязанный в структуру ткани микропровод и включения воды (рис. 1).

Как следует из анализа данных экспериментов, приведенных на рис.1, исследуемые образцы обладают относительно большим поглощением света в коротковолновой области видимого диапазона длин волн, с ростом длины волны интенсивность отраженного света растет с 0,22...0,25 отн.ед. до 0,84 отн.ед. для образцов без пропитки. Анализ базы данных спектров отражения природных объектов [7] показал, что полученные спектральные характеристики яркости наиболее приближены по виду к характеристикам природных растительных объектов – таких как слой стеблей созревшей пшеницы, обертка початка

кукурузы. В длинноволновой области КСЯ повышается до достаточно высокого значения 0,84 отн.ед., что означает отражение большей доли падающего светового потока. Небольшая разница в величине КСЯ между образцами 1 и 2 наблюдается в области длин волн 400...600 нм. Величина КСЯ для образцов, содержащих ферромагнитный микропровод, незначительно ниже, чем для исходного полотна. Это может быть связано с присутствием на поверхности стеклнной изоляции микропровода элементов, обладающих меньшим отражением для оптического излучения, чем полиэфирные волокна. Пропитка тканого материала водой приводит к равномерному снижению его величины КСЯ в среднем на 0,134 отн.ед. во всем исследованном диапазоне длин волн вследствие дополнительного рассеяния света включениями воды на поверхности волокон. Полученная в результате кривая зависимости КСЯ близка к характеристикам желтых листьев березы, бука, осины [7]. В области длин волн 700...1000 нм величина КСЯ исследованных образцов практически не изменяется с длиной волны и составляет 0,8...0,84 отн.ед. для сухих образцов и 0,645...0,683 отн.ед. для образцов, пропитанных водой.

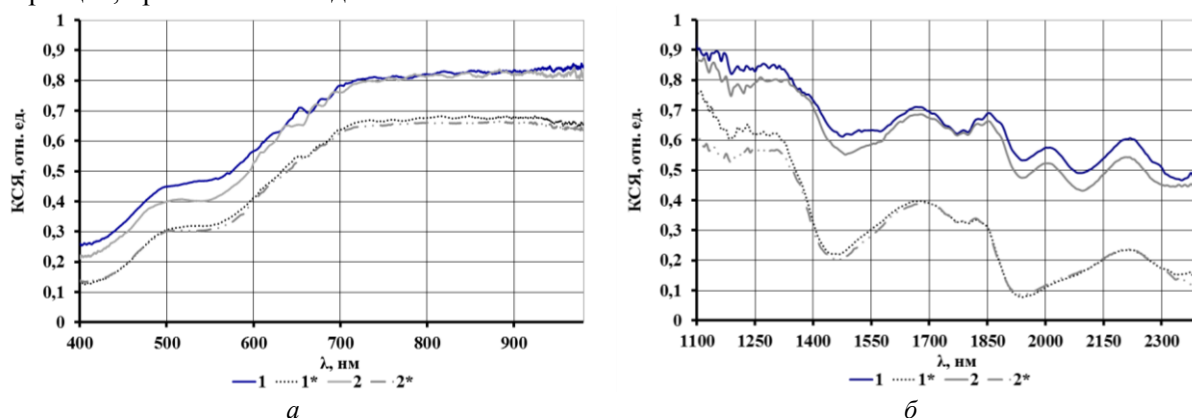


Рис. 1. Характеристики коэффициента спектральной яркости в видимом (а) и ближнем инфракрасном (б) диапазонах длин волн при угле наблюдения 0° : 1 – образец тканого хлопкополиэфирного полотна; 1* – образец тканого хлопкополиэфирного полотна, пропитанного водой; 2 – образец тканого хлопкополиэфирного полотна с ферромагнитным микропроводом; 2* – образец тканого хлопкополиэфирного полотна с ферромагнитным микропроводом, пропитанного водой

КСЯ образцов тканых полотен в ближней инфракрасной области длин волн изменяется от 0,9 отн.ед. до 0,435 отн.ед. для непропитанных образцов и незначительно различается для образцов с микропроводом из-за поглощения части светового потока стеклнной оболочкой. Для пропитанных образцов эта разница сглаживается и КСЯ тканых полотен снижается на 0,242 отн.ед. во всем исследованном диапазоне длин волн из-за более интенсивного поглощения ИК-излучения водой в составе полотна. Общий характер зависимости КСЯ сохраняется и величина КСЯ снижается с 0,6 до 0,1 отн.ед. из-за увеличения поглощения ИК-излучения тканым материалом.

Исследовалась зависимость отражательной способности тканого хлопкополиэфирного полотна, содержащего ферромагнитный наноструктурированный микропровод, для различных углов наблюдения (0° ... 65°) (рис. 2). Исследования установили, что для сухого образца величина и характер зависимости КСЯ от длины волны слабо зависят от угла наблюдения, как в видимом, так и в ближнем ИК-диапазонах, что свидетельствует о диффузном рассеянии света поверхностью тканого материала с регулярной структурой. При пропитке тканого полотна водой характер рассеяния оптического излучения исследованными образцами становится смешанным и КСЯ возрастает для больших углов наблюдения (65°) на 0,204...0,207 отн.ед. по сравнению с 0° . Это связано с неоднородной структурой поверхности полотна и неравномерным рассеиванием светового потока внутри пор и на неоднородностях, сформированными волокнами в различных направлениях, а также поглощением света водой, заполняющей межволоконные пространства.

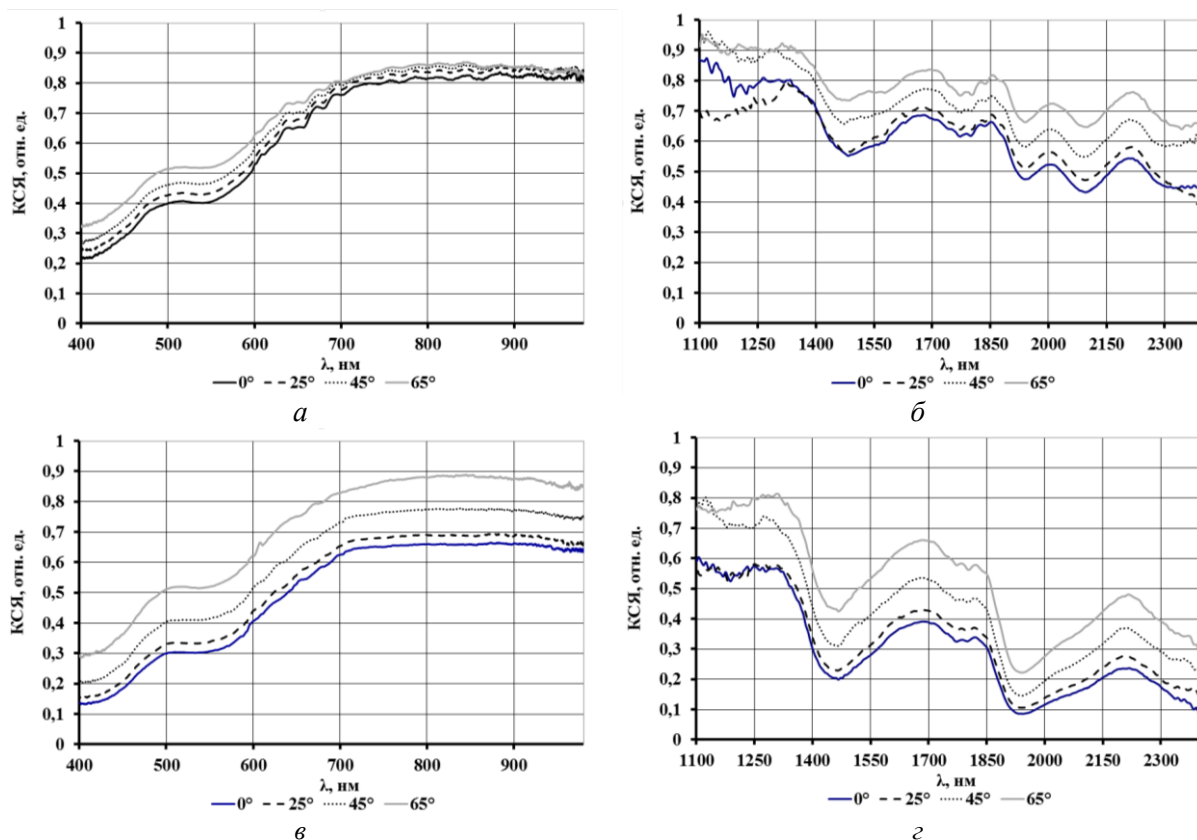


Рис. 2. Зависимость коэффициента спектральной яркости в видимом (а, в) и ближнем инфракрасном (б, г) диапазонах от угла наблюдения ($0^\circ \dots 65^\circ$) для тканого хлопкополиэфирного полотна, содержащего ферромагнитный наноструктурированный микропровод (а, б), и этого полотна, пропитанного водой (в, г)

Заключение

Анализ оптических характеристик КСЯ тканых хлопкополиэфирных полотен в диапазоне длин волн 440...2400 нм показал, что характеристика КСЯ в видимом диапазоне длин волн определяется природой, цветом материала волокон и наличием элементов стеклянной изоляции микропровода и изменяется от 0,22...0,25 отн.ед. до 0,84 отн. ед. Пропитка тканого материала водой приводит к равномерному снижению его величины КСЯ в среднем на 0,134...0,242 отн.ед. во всем исследованном диапазоне длин волн вследствие дополнительного рассеяния света включениями воды на поверхности волокон. При этом возникает зависимость КСЯ от углов наблюдения в связи с неоднородной структурой поверхности полотна и неравномерным рассеиванием светового потока в различных направлениях внутри пор и на неоднородностях, сформированных волокнами, а также поглощением света водой, заполняющей межволоконные пространства.

EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON OPTICAL CHARACTERISTICS OF FABRICS, CONTAINING NANOSTRUCTURED FERROMAGNETIC MICROWIRE

A.A.A. AHMED, Y.T.A. AL-ADEMI, N.V. NASONOVA, T.A. PULKO, L.M. LYNKOU

Abstract

Spectral reflectance characteristics in the wavelength range of 440...2400 nm were obtained for the mixed cotton-polyester fabrics, which contain knitted-in nanostructured ferromagnetic microwire. The obtained results were analyzed against the content of elements, color and structure of the surface of the samples. The moisture content effect was shown.

Keywords: spectral reflectance, fabrics, moisture effect.

Список литературы

1. *Вандербилт В.С., Грант Л., Дотри К.С.Т.* // ТИИЭР. 1985. № 6. С. 72–85.
2. *Шашлов А.Б., Уварова Р.М., Чуркин А.В.* Основы светотехники. М., 2002.
3. *Устименко Л.З., Хандогина Е.Н., Владимиров Д.Н.* // Компоненты и технологии. 2010. № 12. С. 144–146.
4. *Грищенко В.А., Владимиров Д.Н., Фукина В.А.* Ткань для защиты от электромагнитных излучений / Патент РФ № 2411315.
5. Хлопчатобумажная экранирующая ткань с наноструктурным ферромагнитным микропроводом // ОАО «Центральное конструкторское бюро» [Электронный ресурс]. 2014. Режим доступа: <http://portalnano.ru/read/prop/pro/part9/pb2>. Дата доступа : 17.03.2014.
6. *Беляев Б.И. Беляев Ю.В., Нестерович Э.И. и др.* // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 2 С. 127–132.
7. GIS-Lab: Spektry otrazhenija prirodnyh ob#ektov – baza dannyh. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://gis-lab.info/projects/spectra>. – accessed: 21.01.2015.