

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2021, №4, Том 6 / 2021, No 4, Vol 6 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2021.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL421.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Грибова, Е. В. Алгоритмы обработки инфракрасных изображений для оперативного контроля теплофизических свойств нетканых материалов / Е. В. Грибова, В. В. Иванов, А. Н. Новиков // Костюмология. — 2021. — Т. 6. — № 4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL421.pdf>

For citation:

Gribova E.V., Ivanov V.V., Novikov A.N. Algorithms for processing infrared images for operational control of thermophysical properties of nonwovens. *Journal of Clothing Science*, 4(6): 21TLKL421. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL421.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Грибова Евгения Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия

Преподаватель

E-mail: ev_gribova@mail.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1105645

Иванов Владислав Викторович

ООО «Термопол», Москва, Россия

Директор по развитию проектов

Кандидат филологических наук

E-mail: i-vlad@inbox.ru

Новиков Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия

Доцент

Доктор технических наук, профессор

E-mail: a_n_novikov@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=745051

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7201700098>

Алгоритмы обработки инфракрасных изображений для оперативного контроля теплофизических свойств нетканых материалов

Аннотация. В условия жесткой конкуренции на рынке продукции необходимо оперативно менять ассортимент не теряя качества. Это достигается использованием методов оперативного контроля основных показателей качества. Для нетканых полотен важными характеристиками являются теплоизоляционные свойства материала. В ходе работы была разработана лабораторная установка для оперативного анализа этих свойств. С помощью установки исследовались инфракрасные изображения образцов нетканых материалов, полученные тепловизором. Традиционные испытания полотен занимают много времени и дорогостоящи. В работе предлагается несколько безразмерных показателей, которые вычисляются в результате обработки инфракрасных изображений по уникальным алгоритмам, по которым можно судить о теплоизоляционных свойствах различных образцов и проводить из сравнительный анализ в условиях производства. Предлагаемые авторами показатели представляют собой усредненные характеристики изображения в разных цветовых моделях и хорошо коррелируют с классическими показателями качества, такими как суммарное тепловое

сопротивление. Были выбраны оптимальные для решения поставленной задачи режимы тепловизора при получении изображений. В качестве основных цветовых моделей при исследовании изображений использовались традиционные модели RGB, HSB и Grayscale. Подобный подход позволяет автоматизировать процесс обработки изображений и помочь в выработке рекомендаций по оперативной корректировке сырьевого состава или технологических параметров производства. Также аппаратно-программный комплекс может быть полезен при использовании его в производственных условиях при смене рецептуры. Работа проводилась совместно с ведущим европейским предприятием по выпуску нетканых материалов «Термопол-Москва» и результаты исследования апробированы в условиях действующего предприятия.

Ключевые слова: тепловизор; инфракрасное изображение; цветовая модель; нетканые материалы; теплоизоляционные свойства; обработка изображений

Введение, актуальность, проблематика исследования

В последнее время наблюдается устойчивый спрос у производителей и потребителей изделий, полученных с применением нетканых материалов. Ведущим европейским лидером в инновациях производства нетканых материалов является компания «Термопол», разрабатывающая и выпускающая импортозамещающую и экспортоориентированную полимерную продукцию. По мнению отраслевых экспертов и специалистов этой компании, широкое применение универсальной нетканой продукции создает предпосылки для роста текстильной и легкой промышленности [1]. Этим объясняются бурные темпы развития рынка нетканых материалов и рост производства швейных изделий из них¹.

В условиях конкуренции и быстрой смены спроса покупателей на рынке, предприятиям, производящим нетканую продукцию, приходится оперативно менять ассортимент, качество при этом страдать не должно. Поэтому к качеству предъявляются все более высокие требования [2]. Совершенствуются производственные технологии, используются новые сырьевые составы. Одно из важнейших направлений, обеспечивающих качество изделий, является разработка и использование методов исследования и оценки теплоизоляционных свойств материалов при эксплуатации изделий, поскольку теплозащитные показатели продукции в первую очередь определяют спрос у конечного потребителя одежды. В связи с этим повышается актуальность оперативного контроля качества нетканых полотен.

Современные информационные технологии позволяют сделать вывод о некоторых качественных параметрах нетканых полотен на основании анализа изображений этих полотен. В работах [3–7] описан опыт использования специально разработанного аппаратно-программного комплекса при оперативном контроле качества нетканых материалов и алгоритмах обработки растровых изображений. Данная работа как раз и посвящена разработке методов обработки инфракрасных изображений для экспресс-анализа теплоизоляционных свойств нетканых материалов.

Методы исследования и используемые материалы

Для исследования теплоизоляционных свойств нетканых полотен была разработана и смонтирована специальная лабораторная установка [8]. Принцип действия установки основан

¹ Тенденции рынка нетканых материалов 2020 [сайт]. URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/710/> (дата обращения 20.12.2021).

на регистрации тепловых потоков, проходящих через исследуемый образец. С одной стороны образца располагается источник тепла, с другой — приемник тепла. В качестве приемника предлагается использовать тепловизор.

В работе применялся тепловизор Testo 882². Данный прибор позволяет фиксировать инфракрасное изображение в разных цветовых моделях и обладает большим количеством ручных настроек. В качестве опытных образцов использовались различные группы материала Холлофайбер[®], произведенных на заводе «Термопол-Москва». Диапазон по линейной плотности исследуемых материалов составил от 70 до 300 г/м².

Пример инфракрасных изображений, полученных с помощью Testo 882 для образцов плотностью 100, 125 и 150 г/м² приведен на рисунке 1:

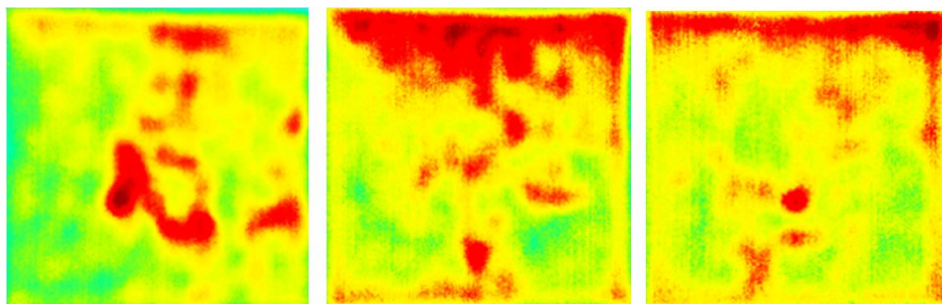


Рисунок 1. Инфракрасные изображения образцов плотностью 100, 125 и 150 г/м² (составлено автором)

Участки с более высокой температурой окрашены на изображениях в красные оттенки, участки с меньшей температурой — в зеленые и синие. Для получения представленных изображений использовался динамический режим, при котором минимальные и максимальные значения температуры на поверхности образца определяются автоматически, и именно они определяют предельные значения цветовой шкалы при визуализации. Именно этим объясняется то, что изображения практически неразличимы по цветовому восприятию. Понять, какие образцы больше пропускают тепло, довольно сложно при последующем анализе изображений. Исключить подобную проблему можно двумя способами: использовать статический режим при съемке, задав вручную диапазон изменения температур одинаковым для всех образцов, или с помощью специального программного обеспечения Testo, задав нужный диапазон программно уже при анализе изображений. На рисунке 2 представлены инфракрасные изображения тех же образцов, но со средним и фиксированным для них температурным диапазоном:

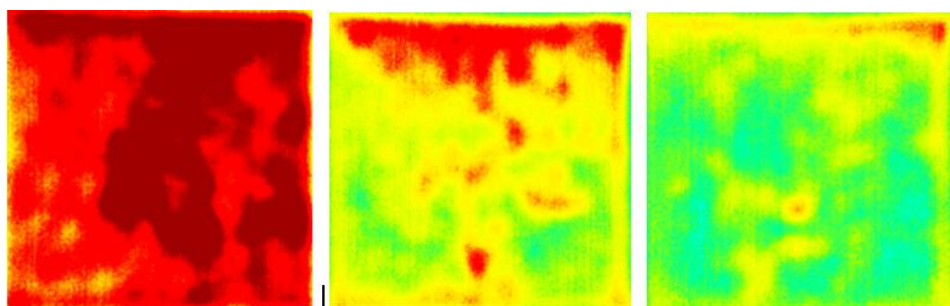


Рисунок 2. Инфракрасные изображения образцов плотностью 100, 125 и 150 г/м² после приведения к общему температурному диапазону (составлено автором)

² Testo 882: [сайт]. URL: <http://www.testo.com.ru/catalog/parameter/teplovizory/822/> (дата обращения 20.12.2021).

Теперь явно стало видно, что изображение более тонкого первого образца приобрело, в основном, красные оттенки, а последний образец — зеленые и синие тона. Именно такой результат вполне ожидаемый, поскольку тонкие образцы пропускают тепло более интенсивно. Полученный результат можно использовать для автоматизации анализа теплоизоляционных свойств исследуемых образцов холлофайбера.

Результаты и их обсуждение

Известно много алгоритмов обработки инфракрасных изображений. Наиболее популярные решения описаны, например, в работе [9].

Для решения нашей задачи — оперативного сравнения теплоизоляционных свойств различных образцов нетканого материала — удобно полученные изображения «усреднить» по цвету. Цвет является одним из основных показателей, характеризующих любое изображение.

Наиболее популярной и простой для математического описания является цветовая модель *RGB*, в которой каждый цвет кодируется значениями базовых цветов: *Red* (красный), *Green* (зелёный) и *Blue* (голубой). Все цвета в данной модели получаются путем сложения этих трех основных составляющих. Насыщенность каждой составляющей может меняться в пределах от 0 до 255. Чем меньше насыщенность, тем цвет получается более бледным. Модель *RGB* используется устройствами ввода изображения. В их числе тепловизор, цифровой фотоаппарат, цифровая камера. Все эти устройства объединяет принцип воспроизведения цвета, который основан на излучении (активный свет) или пропускании светового потока.

Усреднение цвета можно получить вычислением средних значений по всем пикселям изображения каждой составляющей *RGB*. На рисунке 3 представлены изображения тех же образцов, по полученные после усреднения цвета по каждому изображению:

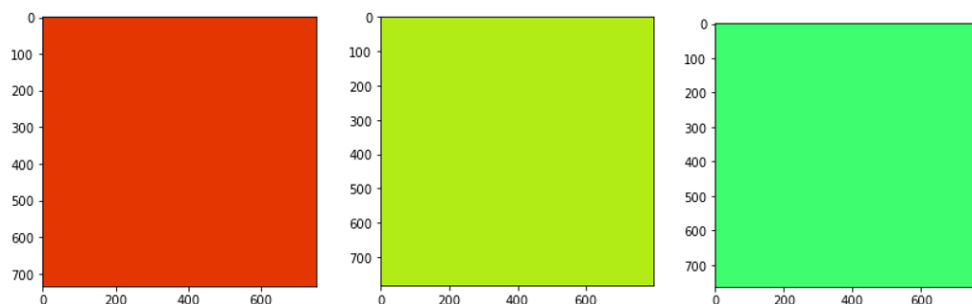


Рисунок 3. Изображения образцов плотностью 100, 125 и 150 г/м² после усреднения цвета по всем пикселям изображения (составлено автором)

Дальнейшая простейшая обработка изображений для последующего анализа свойств материала заключается в вычислении именно составляющей цвета. Удобно это сделать, переведя полученное усредненное изображение в другую цветовую модель *HSB*. *HSB* (*hue-saturation-brightness*) — это цветовой тон (составляющая *H*), насыщенность (составляющая *S*) и яркость (составляющая *B*). Модель представляет собой цветовой круг³, где цветовой тон изменяется в диапазоне от 0 (красный цвет) до 360 (фиолетовый цвет) и основана на принципах восприятия цвета человеческим зрением (рис. 4):

³ Основные сведения о цвете: [сайт]. URL: <https://helpx.adobe.com/ru/photoshop-elements/using/color.html> (дата обращения 20.12.2021).

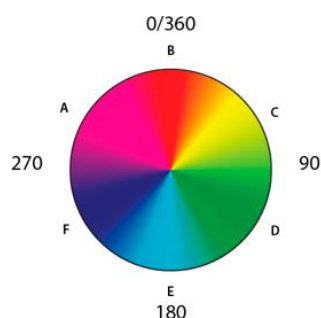


Рисунок 4. Цветовой круг

Тон — это собственно цвет. Конкретный цвет задается в градусах, что определяет расположение этого цвета на цветовом круге. Значения в точках 0° и 360° совпадают. Насыщенность — процент добавленной к цвету белой краски. Параметр цвета определяет активность данного оттенка. Изменяется в пределах от 0 до 100 %. При нулевом значении параметра любой оттенок представляет из себя просто серый нейтральный цвет. При 100 % — максимальная насыщенность какого-либо в данной точке. Яркость — процент добавленной чёрной краски, параметр, определяющий степень освещенности или затемненности цвета. Изменяется в процентах от 0 до 100. При 0 % цвет точки будет черным, при 100 % — белым.

Цветовой круг удобен в понимании взаимосвязей между цветами. В нашем случае красные оттенки соответствуют более тонким образцам, пропускающим тепловые потоки наиболее интенсивно, по сравнению с толстыми образцами (зелеными и синими оттенками), имеющими большую линейную плотность.

Для образцов, исходные инфракрасные изображения которых представлены на рисунке 1, усредненные по всем пикселям составляющие H цветовой модели HSB равны, соответственно: 14° (плотность образца 100 г/м^2); 77° (плотность образца 125 г/м^2); 136° (плотность образца 150 г/м^2). Анализ динамики изменения этого параметра показывает, что составляющая H переходит из красных оттенков в сторону синих, т. е. увеличивается, как и ожидалось.

Цветовые модели RGB и HSB дают цветное изображение при визуализации. Цветное изображение очень информативно. Оно привычно для человеческого глаза и не вызывает дискомфорта при просмотре. Появляется возможность анализа высококонтрастных сцен, на же на кадрах с небольшим динамическим диапазоном можно различить важные мелкие детали. Неудобство состоит в том, что рассмотренные цветовые носят нелинейный характер, например, смешение цветов в RGB ⁴. Кроме того, при решении ряда практических задач появляется необходимость снижения размерности задач. Это необходимо с целью сокращения времени расчетов при обработке больших массивов информации.

Наиболее традиционный способ решения этой проблемы — преобразование цветного изображения в 8-битное, имеющее 256 градаций цвета, обычно серого. Конечно, теряется огромное количество информации, но это бывает оправдано. В нашем случае это как раз оптимальное решение.

При работе с черно-белыми изображениями используется цветовая модель *Grayscale*. В модели используется только один параметр — яркость изображения. Яркость изображения варьируется в пределах от 0 до 255. Минимальное значение соответствует белому цвету, а

⁴ Колориметрическая система RGB: [сайт]. URL: <https://www.whitemouse.ru/color/rgb.cfm> (дата обращения 23.11.2021).

максимальное — черному. Цветовая модель позволяет использовать для записи информации о цвете меньше информации, таким образом уменьшается общий объем файла изображения.

Тепловизор оценивает и отображает распределение тепловой энергии на поверхности исследуемого объекта. Некоторые участки объекта нагреты больше, некоторые меньше. Эти участки по-разному излучают тепловую энергию. Далее происходит преобразование этой тепловой энергии в видимое изображение. Наиболее холодному участку объекта ставится в соответствие черный цвет, наиболее теплому — белый. Затем весь динамический диапазон разбивается на 256 градаций и каждый участок приобретает на изображении оттенок от белого до черного.

Исследуя образцы нетканых полотен, нам необходимо оценить теплоизоляционные свойства всего образца, т. е. усреднить получаемый тепловой поток по всей исследуемой площади. Поэтому такое сокращение объема информации, как в цветном изображении вполне оправдано. Подобный подход не подойдет, если необходимо исследовать готовые изделия. Здесь как раз интересно определить так называемые мостики холода, участки, через которые теряется максимальное количества тепла. Например, застежки-молнии или швы на швейном изделии. Здесь интересен анализ цветного изображения по частям и усреднять его по цвету нерационально.

Тепловизор Testo 882 и его программное обеспечение позволяет получать изображение тепловых полей в оттенках серого цвета. На рисунке 5 представлены изображения в оттенках серого, полученные в статическом режиме тепловизора. Практически, это изображения рисунка 2, перекодированные в черно-белый вариант.

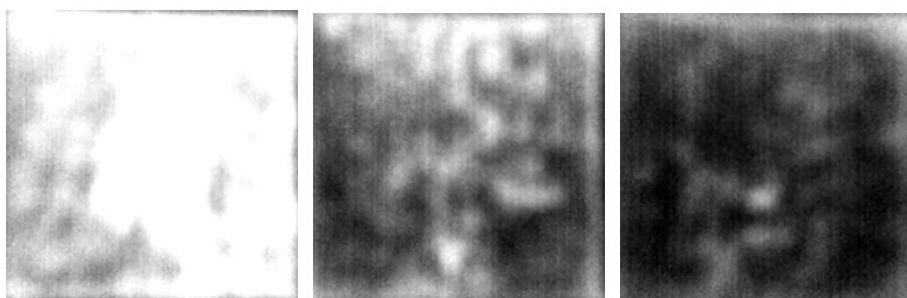


Рисунок 5. Инфракрасные изображения образцов плотностью 100, 125 и 150 г/м² в цветовой модели Grayscale (составлено автором)

Здесь также можно провести усреднение серого оттенка по всем пикселям изображения в цветовой модели Grayscale. На рисунке 6 представлены изображения тех же образцов, полученные после усреднения по каждому изображению (рисунок авторов):

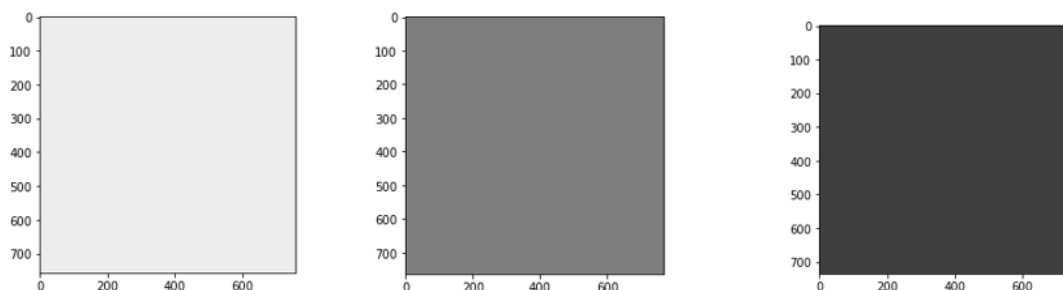


Рисунок 6. Изображения образцов плотностью 100, 125 и 150 г/м² после усреднения цвета по всем пикселям изображения в цветовой модели Grayscale (составлено автором)

Результат соответствует системе преобразования теплового потока тепловизором и вполне ожидаем. Светлое изображение относится к наиболее тонкому образцу нетканого материала.

При обработке художественных фотографий изображение в оттенках серого будет выглядеть иначе. Обычно получается инверсное изображение. Причина этого — в иных алгоритмах обработки при перекодировании из одной цветовой модели в другую, позволяющее усилить визуальное восприятие результата зрителем, сделать его более ярким и контрастным.

На практике используют три основных метода преобразования изображений в оттенках серого. Метод максимального значения: сделать значение R , G , B равным наибольшему из трех значений. При использовании данного метода получается очень яркое изображение в градациях серого.

Метод среднего значения: вычисляется среднее значение R , G , B , путем сложения значений и деления на три. При использовании метода получается мягкое изображение в градациях серого.

Метод средневзвешенного значения. Для значений R , G , B назначаются веса в соответствии с важностью или другими показателями.

В соответствии с рекомендациями стандарта Федеральной комиссии связи (FCC) яркость изображения вычисляется по формуле [10]:

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N (0,299 * R_p + 0,587 * G_p + 0,114 * B_p),$$

где N — количество пикселей изображения, p — порядковый номер пикселя.

Заключение

Все перечисленные методы обработки инфракрасных изображений нетканых полотен, полученных с помощью тепловизора, дают возможность автоматизировать анализ теплоизоляционных свойств нетканых полотен и на качественном уровне оперативно оценить данный параметр для разных образцов. Работа проводилась совместно с ведущим заводом по выпуску нетканых материалов «Термопол-Москва». Благодаря информации, полученной на заводе в результате лабораторных исследований теплоизоляционных свойств своей продукции, была установлена, например, корреляционная зависимость суммарного теплового сопротивления исследуемых образцов с такими показателями, как составляющей R цветовой модели RGB , составляющей H цветовой модели HSB и яркости изображения по FCC . Коэффициент корреляции в ряде случаев доходил до 0,88.

В зависимости от решения конкретной задачи предлагаемые показатели можно использовать для оперативного сравнения образцов в производственных условиях вместо традиционных классических характеристик теплопроводности материала до проведения лабораторных исследований. Это может быть полезным, например, при изменении рецептуры сырья или изменении технологических параметров производства, и даст возможность вовремя скорректировать эти параметры. Основные предлагаемые алгоритмы реализованы программно⁵ и могут использоваться в аппаратно-программном лабораторном комплексе по оценке теплоизоляционных свойств нетканых материалов.

⁵ Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2021660192. Экспресс-анализ теплоизоляционных свойств текстильных материалов. Грибова Е.В., Фирсов А.В., Иванов В.В., Новиков А.Н. — Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ г. Москва, 23 июня 2021 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.В. Невозможное — возможно (примеры инновационного применения нетканых материалов) // Второй международный научно-практический симпозиум Наука — текстильному производству: новейшие отраслевые научные разработки в сфере технического текстиля и практический опыт их применения: матер. симп. — М., 2017. — С. 27–28.
2. Иванов В.В. 2020: нетканые материалы — прогнозы для легпрома / В.В. Иванов, Е.В. Мезенцева // Вестник Текстильлегпром. — 2020. С. 68–73.
3. Новиков А.Н., Боначев А.Н., Махов С.А., Борзунов Г.И., Фирсов А.В. Вопросы контроля качества нетканых полотен в процессе производства // Швейная промышленность. — 2007. № 6. С. 42–44.
4. Новиков А.Н., Фирсов А.В., Фокин Ю.М. Оперативный контроль качества на ватной фабрике // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2012. № 6. С. 160–162.
5. Новиков А.Н., Фирсов А.В., Шустов Ю.С., Колесникова С.В. Разработка информационной системы оценивания влияния искусственного света на цветовосприятие тканей // Дизайн и технологии. — 2013. № 35(77). С. 55–59.
6. Новиков А.Н., Фирсов А.В., Фирсов Д.А. Система машинного зрения в текстильной промышленности // Сборник тезисов докладов Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности». — М.: РОСЗИТЛП, 2009. С. 31–32.
7. Новиков А.Н., Фирсов А.В., Беляев В.А., Дубровская Е.Н. Контроль плотности нетканого полотна в процессе производства // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов «Молодые ученые — развитию текстильной и легкой промышленности» (Поиск — 2007). — Иваново: ИГТА, 2007. С. 189–190.
8. Грибова Е.В., Новиков А.Н., Волкова П.Д. Лабораторная установка по исследованию теплоизоляционных свойств текстильных материалов. // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Часть 3. — М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. — 38–40 с.
9. Грибова Е.В., Иванов В.В., Новикова П.А. Компьютерная обработка инфракрасных изображений в задачах исследования свойств текстильных материалов лабораторная установка по исследованию теплоизоляционных свойств текстильных материалов. Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Часть 3. — М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. — 100–102 с.
10. Быков, Р.Е. Основы телевидения и видеотехники [Текст]: учеб. для вузов / Р.Е. Быков. — М.: Горячая линия — телеком, 2006. — 399 с.

Gribova Evgeniya Vladimirovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: ev_gribova@mail.ru

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1105645

Ivanov Vladislav Viktorovich

Nonwovens Factory «Thermopol-Moscow», Moscow, Russia
E-mail: i-vlad@inbox.ru

Novikov Aleksandr Nikolaevich

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: a_n_novikov@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=745051

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7201700098>

Algorithms for processing infrared images for operational control of thermophysical properties of nonwovens

Abstract. In conditions of fierce competition in the product market, it is necessary to quickly change the assortment without losing quality. This is achieved by using methods of operational control of the main quality indicators. For non-woven fabrics, the thermal insulation properties of the material are important characteristics. In the course of the work, a laboratory installation was developed for the operational analysis of these properties. With the help of the installation, infrared images of nonwoven fabric samples obtained by a thermal imager were studied. Traditional tests of canvases take a lot of time and are expensive. The paper proposes several dimensionless indicators that are calculated as a result of processing infrared images using unique algorithms that can be used to judge the thermal insulation properties of various samples and conduct a comparative analysis of them in production conditions. Also, the hardware and software complex can be useful when using it in production conditions when changing the recipe. The work was carried out jointly with the leading European enterprise for the production of nonwovens "Thermopol-Moscow" and the results of the study were tested in the conditions of the existing enterprise.

Keywords: thermal imager; infrared image; color model; non-woven materials; thermal insulation properties; image processing