

УДК 620:004.932
DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_39

**РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**DEVELOPMENT OF A LABORATORY COMPLEX
FOR OPERATIONAL CONTROL
OF THERMAL INSULATION PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS**

Е.В. ГРИБОВА, А.Н. НОВИКОВ, А.В. ФИРСОВ, В.В. ИВАНОВ

E. V. GRIBOVA, A. N. NOVIKOV, A. V. FIRSOV, V. V. IVANOV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: ev_gribova@mail.ru

Цель работы – разработка переносного лабораторного комплекса для оперативного контроля теплоизоляционных свойств текстильных материалов. Принцип работы комплекса основан на использовании инфракрасной термографии. Исследовались различные источники инфракрасного излучения и приборы, позволяющие фиксировать инфракрасное изображение после прохождения теплового потока через исследуемые образцы. Для обработки изображений разработаны уникальные алгоритмы, работоспособность которых была подтверждена при исследовании различных вариантов утеплителей. В результате работы подобраны оптимальные сочетания "источник-приемник инфракрасного излучения" для решения различных производственных задач.

The purpose of the work is to develop a portable laboratory complex for the operational control of the thermal insulation properties of textile materials. The principle of complex operation is based on the use of infrared thermography. Various sources of infrared radiation and devices that allow recording an infrared image after heat flow passing through the examined samples were studied. The unique algorithms of image processing have been developed, the efficiency of which was confirmed during the study of various insulation options. As a result of the work, optimal combinations of "source-receiver of infrared radiation" were selected for solving various production tasks.

Ключевые слова: мобильная лабораторная установка, текстильные материалы, теплоизоляционные свойства.

Keywords: mobile laboratory installation, textile materials, thermal insulation properties.

Рынок текстильных материалов на сегодняшний день является одним из динамично развивающихся в секторе легкой промышленности. Особое внимание уделяется нетканым материалам, которые прочно вошли в нашу жизнь и с каждым годом расширяются сферы их применения. В связи с этим расширению ассортимента текстильных материалов уделяется все большее внимание. Требуется оперативная разработка и внедрение новых модификаций материалов с определенным набором параметров и характеристик. Для современных предприятий текстильной и легкой промышленности очень актуальной является задача качественного исследования теплофизических свойств материалов и пакетов одежды. Важно проводить исследования в кратчайшие сроки, в том числе и с помощью методов неразрушающего контроля.

Аналізу качества текстильных материалов уделяется большое внимание [1]. Существуют различные методы исследования теплофизических свойств и суммарного теплового сопротивления материалов, например [2...6]. В материаловедческой практике обычно используются экспериментальные методы. Однако из-за их многообразия единой классификации экспериментальных методов исследования материалов до сих пор не выработано. Выбор метода исследования на конкретном производственном предприятии зависит от многих параметров и условий проведения экс-

перимента. Многие устройства, используемые для реализации методов, очень громоздки, требуют длительного времени на подготовительные работы, неэкономичны, лишены автоматизированного аппарата обработки полученных данных.

Предлагаемая работа посвящена разработке мобильного лабораторного аппаратно-программного комплекса, позволяющего оперативно, на качественном уровне сравнивать теплоизоляционные свойства различных образцов исследуемых материалов. Комплекс может быть полезен на производственных предприятиях при решении различных задач материаловедения, например, при изменении технологических параметров производства.

Теплопроводность оценивается коэффициентом, который характеризует степень интенсивности прохождения тепла через массу вещества. Чем больше коэффициент теплопроводности, тем хуже теплоизоляционные свойства материала. Поэтому при проектировании лабораторной установки был выбран самый простой способ: исследуемый образец необходимо поместить между источником тепла и устройством, способным фиксировать тепловой поток. Принципиальная схема установки описана в работе [7].

Корпус лабораторной установки является двухкамерным. Камеры разделены перегородкой с вырезанным окном, в которое помещается исследуемый образец. В пер-

вой камере устанавливается источник излучения, во второй – приемник излучения. Таким образом они находятся на одной линии с образцом. Лабораторная установка не требует вращения либо перемещения исследуемого объекта для проведения исследований. Внешний вид лабораторной установки представлен на рис. 1 (изображение лабораторной установки для изучения теплоизоляционных свойств материалов). Имеется крышка, предотвращающая влияние внешней среды во время проведения исследований, и откидная передняя панель – для удобства замены и использования приемника излучения. Перед лабораторной установкой устанавливается штатив для возможного крепления измерительной аппаратуры.



Рис. 1

При изготовлении корпуса исследовались различные материалы. Основное требование – малый коэффициент теплопроводности и удобство работы с ними. Рассматривались несколько вариантов: популярная группа материала Холлофайбер® – ХАРД, толщиной 6 см, выработанная на предприятии "Термопол-Москва", строительный пенопласт и экструдированный пенополистирол Пеноплекс. Холлофайбер обладает уникальными теплозащитными свойствами, удобен в производстве, склеиваться может с помощью аэрозольного клея для волокнистых материалов. Однако при контакте с мощным источником тепла, например, инфракрасной лампой направленного действия, может плавиться. Пенопласт – один из самых дешевых утеплителей, легок в работе. Но листы пенопласта очень хрупкие, поэтому в данной работе не

использовались. Более всего в нашем случае подошел пенополистирол, довольно легкий, обладает замкнутой структурой ячеек и высокой механической прочностью. Коэффициент теплопроводности составляет около 0,03 Вт/(м·К).

Лабораторная установка позволяет использовать в качестве источника излучения любое устройство, дающее инфракрасное излучение. Исследовались несколько источников тепла и холода: инфракрасная лампа, нагревательный кабель для теплого пола, тепловой вентилятор, аккумулятор холода (хладозаэлемент), светодиодная лампа.

Наиболее качественные, удобные для дальнейшей обработки, результаты показало использование инфракрасной (ИК) лампы и кабеля для теплого пола. Выбор остановился на керамической ИК-лампе мощностью 150 Вт, как наиболее эффективной и долговечной. Корпус лампы выполнен из керамики, она лучше защищена от механических повреждений и практически не излучает в видимом спектре, максимально используя энергию именно на обогрев. Дает хороший направленный тепловой поток. Для подключения достаточно вернуть лампу в патрон соответствующего типоразмера [8]. Кабель для теплого пола был выбран марки Equation, предназначенный для обеспечения комфортной температуры поверхности. Мощность двухжильного кабеля – 150 Вт, он обеспечивает равномерный нагрев поверхности до 65...70°C. Использование хладозаэлементов не совсем удобно, но они тоже дали ожидаемые результаты при охлаждении поверхности исследуемого материала. Изображение первой камеры с источниками излучения представлен на рис. 2. Возможно, при необходимости, совместное использование лампы и теплого пола. Камера изнутри оклеена плотным из вспененного полиэтилена НПЭ, дублированного с одной стороны металлизированной фольгой. Также в камере установлена дополнительная термостойкая розетка и выносные датчики температуры и влажности для контроля необходимых параметров.



Рис. 2

В зависимости от желаний, возможностей и требований пользователя в лабораторной установке можно использовать в качестве устройства-приемника проходящего сквозь объект инфракрасного излучения любое электронное устройство захвата инфракрасного изображения. Были исследованы несколько вариантов разной ценовой категории и качества получения изображения: цифровой фотоаппарат с инфракрасным светофильтром, web-камера с инфракрасной подсветкой и съемкой, несколько вариантов тепловизора.

Для исследований был выбран фотоаппарат Panasonic DMC-FZ50 и инфракрасный светофильтр B+W F-Pro 092 Infrared 695 62 мм, который пропускает волны длиной больше, чем 695 нм. Исследовали возможность применения для решения поставленной задачи камеры Mi 360 Home Security Camera 2k., имеющей 8 источников инфракрасной подсветки с длиной волны 940 нм, обеспечивающие высокую четкость изображения. Тепловизоры были выбраны фирмы Testo – модели 868 и 882.

Все приборы позволяют получить достаточно качественные изображения исследуемых образцов для применения методов инфракрасной термографии. Однако наиболее приемлемые результаты, конечно, дает

использование тепловизора. В качестве основного приемника теплового потока был выбран тепловизор Testo 882 с разрешением тепловой матрицы 320x240 пикселей.

Использование в качестве источника светодиодную лампу мощностью 100 Вт, а в качестве приемника цифровой фотоаппарат, можно получать изображения исследуемых текстильных материалов на просвет. Такой метод контроля можно применять при анализе качества нетканых материалов. "Яркость" изображения будет зависеть от толщины полотна. И соответственно более темное изображение будет обладать лучшими теплоизоляционными свойствами. Подобный подход описан в работах [9], [10].

Для обработки получаемых инфракрасных изображений было разработано специальное программное обеспечение [11]. В результате обработки рассчитывается некий безразмерный показатель, который изменяется пропорционально коэффициенту теплопроводности исследуемых образцов.

В Ы В О Д Ы

1. Разработан мобильный лабораторный аппаратно-программный комплекс для оперативного сравнительного анализа теплоизоляционных свойств текстильных материалов.

2. Были подобраны оптимальные сочетания "источник-приемник инфракрасного излучения" для решения различных производственных задач.

3. Лабораторная установка может использоваться как на производственных предприятиях, так и в учебном процессе, позволит понять основы исследования теплоизоляционных свойств текстильных материалов и научить пользователя находить оптимальные решения возникающих перед ним задач.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. L. Li, X. Huang. Fabric Defect Detection Using Adaptive Wavelet Transform // Journal of Dong Hua University. – Vol.19, 2002. P. 35...39.

2. Советников Д.А., Мишаков В.Ю., Курсанова Е.А., Трецалин Ю.М. Исследование теплозащитных

свойств нетканых утеплителей в пакетах одежды // *Дизайн и технологии*. – 2016, № 56(98).

3. Соколова А.С., Кузнецов А.А., Надежная Н.Л. Метод оценки теплозащитных свойств материалов одежды и их пакетов // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2016, № 2 (31). С. 24...31.

4. Clulow. E.E., Rees W.H. The Transmission of Heat Through Textile Fabrics. Part 3: A New Thermal-Transmission Apparatus // *Journal of the Textile Institute*. – Vol. 59, № 6, 1968. P. 285...294.

5. Mishakov. V.Yu., Sovetnikov. D.A., Pavlov. M.A., Kirsanova. E.A. Theoretical method allowing calculating and analyze the effective coefficient of thermal conductivity, nonwoven heat-shielding materials // *Theoretical & Applied Science*. – №7, 2017. P.21...27.

6. Филиппов А.Д., Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Буланов Я.И. Исследование суммарного теплового сопротивления утепляющих материалов для обуви // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, №1. С.134...136.

7. Грибова Е.В., Новиков А.Н., Волкова П.Д. Лабораторная установка по исследованию теплоизоляционных свойств текстильных материалов // *Сб. мат. Всерос. научн. конф. молодых исследователей с международным участием: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности. Часть 4*. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021.

8. Лампа Эксперт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lampaexpert.ru/vidy-i-tipy-lamp/spetsializirovannye-lampy/infrakrasnaa-lampa> – Загл. с экрана. (Дата обращения: 10.09.2021).

9. 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.

10. Новиков А.Н., Фирсов А.В., Беляев В.А., Дубровская Е.Н. Контроль плотности нетканого полотна в процессе производства // *Сб. тез. докл. Междунар. научн.-техн. конф. аспирантов и студентов: Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2007)*. – Иваново: ИГТА, 2007. С. 189...190.

11. Грибова Е.В., Фирсов А.В., Иванов В.В., Новиков А.Н. Экспресс-анализ теплоизоляционных свойств текстильных материалов. Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ №2021660192 от 23 июня 2021 г.

2. Sovetnikov D.A., Mishakov V.Yu., Kirsanova E.A., Treshchalin Yu.M. Issledovanie teplozashchitnykh svoystv netkanykh utepliteley v paketakh odezhdyy // *Dizayn i tekhnologii*. – 2016, № 56(98).

3. Sokolova A.S., Kuznetsov A.A., Nadezhnaya N.L. Metod otsenki teplozashchitnykh svoystv materialov odezhdyy i ikh paketov // *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. – 2016, № 2 (31). S. 24...31.

4. Clulow. E.E., Rees W.H. The Transmission of Heat Through Textile Fabrics. Part 3: A New Thermal-Transmission Apparatus // *Journal of the Textile Institute*. – Vol. 59, № 6, 1968. P. 285...294.

5. Mishakov. V.Yu., Sovetnikov. D.A., Pavlov. M.A., Kirsanova. E.A. Theoretical method allowing calculating and analyze the effective coefficient of thermal conductivity, nonwoven heat-shielding materials // *Theoretical & Applied Science*. – №7, 2017. P.21...27.

6. Filippov A.D., Shustov Yu.S., Kurdenkova A.V., Bulanov Ya.I. Issledovanie summarnogo teplovogo soprotivleniya uteplyayushchikh materialov dlya obuvi // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2020, №1. S.134...136.

7. Gribova E.V., Novikov A.N., Volkova P.D. Laboratornaya ustanovka po issledovaniyu teploizolyatsionnykh svoystv tekstil'nykh materialov // *Sb. mat. Vseros. nauchn. konf. molodykh issledovateley s mezhdunarodnym uchastiem: Innovatsionnoe razvitiye tekhniki i tekhnologii v promyshlennosti. Chast' 4*. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021.

8. Lampa Ekspert. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://lampaexpert.ru/vidy-i-tipy-lamp/spetsializirovannye-lampy/infrakrasnaa-lampa> – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 10.09.2021).

9. Novikov A.N., Bonachev A.N., Makhov S.A., Borzunov G.I., Firsov A.V. Voprosy kontrolya kachestva netkanykh poloten v protsesse proizvodstva // *Shveynaya promyshlennost'*. – 2007, №6. S.42...44.

10. Novikov A.N., Firsov A.V., Belyaev V.A., Dubrovskaya E.N. Kontrol' plotnosti netkanogo polotna v protsesse proizvodstva // *Sb. tez. dokl. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. aspirantov i studentov: Molodye uchenye – razvitiyu tekstil'noy i legkooy promyshlennosti (Poisk-2007)*. – Ivanovo: IGTA, 2007. S.189...190.

11. Gribova E.V., Firsov A.V., Ivanov V.V., Novikov A.N. Ekspress-analiz teploizolyatsionnykh svoystv tekstil'nykh materialov. Svidetel'stvo o gos. registratsii programm dlya EVM №2021660192 ot 23 iyunya 2021 g.

REFERENCES

1. L. Li, X. Huang. Fabric Defect Detection Using Adaptive Wavelet Transform // *Journal of Dong Hua University*. – Vol.19, 2002. P. 35...39.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 29.09.21.