

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЯ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS
WOVEN MATERIALS USING A THERMAL CONDUCTIVITY METER**

*А.А. КРАСНОВ¹, С.А. СЫРБУ¹, О.Г. ЦИРКИНА¹, Н.Н. КОЛЕСНИКОВА^{1,2},
А.Х. САЛИХОВА¹, А.М. БАУСОВ¹*

*A.A. KRASNOV¹, S.A. SYRBU¹, O.G. TSIRKINA¹, N.N. KOLESNIKOVA^{1,2},
A.H. SALIKHOVA¹, A.M. BAUSOV¹*

*(¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
²МИРЭА – Российский технологический университет)*

*(¹Ivanovo Fire and Rescue Academy
of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,
²MIREA – Russian Technological University)*

*E-mail: krasnov.a.a@mail.ru; syrbye@yandex.ru; ogt sirkina@mail.ru;
salina_77@mail.ru; nina.kuzmina.1992@mail.ru*

Эксплуатационные характеристики текстильных материалов для специальной одежды не только определяют комфортные условия для работы человека, но и обеспечивают безопасность. Особенно это важно для одежды работников цехов, где возможно выделение тепла, разбрызгивание высоконагретых частиц и контакт с раскаленными продуктами сгорания. Нормативными документами устанавливаются требования к материалам для изготовления специальной одежды. Одним из нормируемых показателей является теплоизолирующая способность материалов, зависящая от значений их теплофизических характеристик, одной из которых является теплопроводность. Существуют стационарные и нестационарные методы для определения теплопроводности. Но отсутствует стандартный метод измерения теплопроводности тканей.

В работе рассматривается вопрос об оценке возможности применения измерителя теплопроводности ИПТ-МГ4-250 для определения теплофизических параметров текстильных тканей. Обоснована способность прибора к измерению теплофизических параметров тканей. Показано, что прибор в состоянии обеспечить результаты измерений, сравнимые с результатами, опубликованными в известных источниках информации.

The performance characteristics of textile materials for special clothing determine not only comfortable working conditions for a person, but also ensure safety. This is especially important for the clothes of workers in workshops where heat generation, splashing of highly heated particles and contact with hot combustion products are possible. Regulatory documents establish requirements for materials for the manufacture of special clothing. One of the standardized indicators is the heat-insulating capacity of materials, depending on the values of their thermophysical characteristics, one of which is thermal conductivity. There are stationary and non-stationary methods for determining thermal conductivity. But there is no standard method for measuring the thermal conductivity of fabrics.

The paper considers the issue of evaluating the possibility of using the IPT-MG4-250 thermal conductivity meter to determine the thermophysical parameters of textile fabrics. The ability of the device to measure the thermophysical parameters of fabrics is substantiated. It is shown that the device is able to provide measurement results comparable with the results published in known sources of information.

Ключевые слова: текстильные материалы, ткани, теплопроводность, измерение, тепловое сопротивление.

Keywords: textile materials, fabrics, thermal conductivity, measurement, thermal resistance.

Введение

Известно [1, 2, 3], что проектирование любого вида одежды как гражданского, так и специального назначения, например, одежды для работы в зонах пожаров, обладающей всеми необходимыми теплозащитными свойствами, не может производиться при отсутствии данных о теплофизических характеристиках исходных текстильных материалов, в частности тканей. Поэтому нет ничего удивительного в том, что изучение теплофизических свойств текстильных тканей началось достаточно давно. Известен исторический факт о том, что в 1877 г. Дж. Шухмайстер (Schuhmeister J.), используя те же методы, что и Йозеф Стефан (Jo. Stefan) для газов, вслед за Ж. Пекле (J. Péclet) измеряет теплопроводность тканей и показывает, что теплопроводность текстильных материалов больше теплопроводности воздуха. Дальнейшие исследования С. Бакстера (S. Baxter), а также и других более современных исследователей подтверждают этот результат. В работах [4, 5, 6] авторы обосновывают экспериментально важность теплопроводности тканей для специальной одежды. От правильно выбранного метода определения теплопроводности, воздухопроницаемости, пористости, гигроскопичности материалов зависит точность расчета и проектирования теплофизических свойств специальной одежды и обуви для различных силовых структур и отраслей промышленности.

В процессе многочисленных исследований теплофизики текстильных материалов разработан ряд методов определения термических характеристик тканей, основ-

ными из которых являются методы стационарного и регулярного режимов, которые реализовывались в самых различных устройствах [6...12]. При этом были выработаны требования к отборам образцов тканей, предназначенных для испытаний, которые стали основой нормативной документации.

Каждый из методов и каждое из устройств определения теплофизических параметров текстильных материалов обладает своими достоинствами и преимуществами. Общим недостатком большинства устройств, описанных в вышеупомянутых источниках информации, является достаточно длительная процедура определения измеряемого параметра, связанная в том числе и с необходимостью последующих вычислений. Поэтому поиск устройств, позволяющих хоть как-то увеличить быстроту действия процесса измерения теплофизических характеристик текстильных тканей, является актуальной задачей.



Рис. 1

В рамках решения этой задачи проведены работы, направленные на оценку воз-

возможности использования измерителя теплопроводности ИПТ-МГ4-250 для определения теплофизических характеристик текстильных тканей. Общий вид измерителя представлен на рис. 1.

Данное устройство представляет собой стационарный прибор, состоящий из нагревателя-преобразователя и электронного устройства, обеспечивающего определение теплопроводности и теплового сопротивления материалов с относительной погрешностью 5%.

В приборе реализован метод стационарного режима, при котором нагревательными элементами создается стационарный тепловой поток, проходящий нормально к лицевым граням образца материала и воспринимаемый датчиками теплового потока, сигналы с которых обрабатываются «защитным» в устройство программным обеспечением, а готовые результаты измерения выдаются на дисплей электронного блока.

Согласно паспорту измеритель ИПТ-МГ4-250 предназначен для определения теплофизических параметров строительных материалов толщиной от 5 мм. Однако, если принимать во внимание результаты Пекле и Бессоновой [3], которые показали, что теплопроводность ткани на 97 % определяется воздухом, расположенным в «теле» текстильной ткани, а также то, что согласно [4] торцевые потери тепла для образцов тканей при стационарном методе измерения не превышают одного процента, и если учесть конструкцию прибора, при которой образец ткани может быть уложен так, что зазоры между ним и боковыми теплоизоляторами могут быть сведены к минимуму, то искажениями теплового потока в образце по его краям можно пренебречь. Такие соображения позволяют предположить, что измеритель ИПТ-МГ4-250 может быть использован для определения теплофизических характеристик текстильных

тканей. А так как определение этих параметров происходит в автоматическом режиме, практически без участия человека, то возможность использования этого устройства оказывается весьма привлекательной.

Методы исследования

Для проверки этого предположения выбраны пять образцов тканей, толщина δ которых определялась методом, заимствованным в [6], под нагрузкой 2,5 кПа микрометром с точностью 0,01 мм. Выбор величины нагрузки, как и в [6], диктовался параметрами прибора-измерителя. Эксперимент проводился в условиях, определенных в Руководстве по эксплуатации Э 12.102.010 РЭ «Измеритель теплопроводности ИПТ-МГ4».

Образцы изготавливались в виде прямоугольного параллелепипеда, лицевые грани которого имели форму квадрата со стороной 250×250 мм; толщина образцов составляла 0,5; 0,6; 0,8; 0,9 и 1,1 мм в зависимости от вида ткани. Температура холодильника (T_x) устанавливалась равной 10 °С, а температура нагревателя (T_n) – 25 °С.

После укладки образца в прибор дальнейшее определение теплофизических параметров осуществлялось автоматически: таймер в нижней строке дисплея отсчитывал время наблюдения, по истечении которого в зоне расположения образца устанавливался стационарный тепловой поток, параметры которого измерялись автоматически прибором-измерителем, производилось автоматическое вычисление значений теплопроводности (λ) и теплового сопротивления (R), полученные данные выводились на дисплей прибора (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

Результаты измерений представлены в табл. 1, в которой обобщены параметры исследуемых текстильных материалов и полученные значения коэффициентов теплопроводности и теплового сопротивления.

Таблица 1

№ п/п	Наименование материала	Состав материала	δ , мм	λ , Вт/(м·К)	R , м ² ·К/Вт
1	Авизент	100 % ХВ	0,80	0,016	0,062
2	Льняная ткань	100 % ЛНВ	1,00	0,032	0,051
3	Брезент	45 % ХВ+55 % ЛНВ	0,70	0,033	0,030
4	Саржа	80 % ХВ+20 % ПЭФ	0,50	0,031	0,028
5	Гобелен	95 % ХВ+5 % МетН	1,10	0,063	0,033

Анализ полученных результатов показывает, что величины коэффициентов теплопроводности и теплового сопротивления образцов тканей сопоставимы с теплофизическими параметрами, приведенными в известной литературе и полученными с помощью других устройств [3...6], что свидетельствует о возможности применения измерителя ИПТ-МГ4-250 для определения теплофизических характеристик – коэффициента теплопроводности и теплового сопротивления текстильных материалов.

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных исследований показана возможность применения измерителя ИПТ-МГ4-250 для определения коэффициента теплопроводности и теплового сопротивления текстильных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шеромова И.А.* Текстильные материалы: получение, строение, свойства: учеб. пос. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2006. 220 с.
2. *Кирюхин С.М., Шустов Ю.С.* Текстильное материаловедение. М.: КолосС, 2011. 360 с.
3. *Бессонова Н.Г., Жихарев А.П.* Теплофизические свойства материалов для изделий легкой промышленности: моногр. М.: МГУДТ, 2007. 118 с.
4. *Жмакин Л.И., Козырев И.В., Кирокосян К.А., Черных М.В.* Экспериментальное исследование теплопроводности тканей, используемых для рабочей одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 2С (315). С. 16...18.
5. *Lizák P., Mojumdar S.C.* Thermal properties of textile fabrics // J. Therm Anal Calorim. 2013. №112. P. 1095...1100.
6. *Шарпар Н.М., Жмакин Л.И., Маркова К.А.* Экспериментальное исследование теплопроводности текстильных материалов, входящих в состав одежды силовых структур и специальных ведомств // Научный журнал «Костюмология». 2020. №4. – <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL420.pdf>
7. *Параманчук В.В., Ольшанский В.И.* Теплофизические свойства многослойных теплоизоляционных материалов // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2017. №27. С. 87...93.
8. *Bhattacharjee D., Kothari V.K.* Heat transfer through woven textiles // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2009. №52. P. 2155...2160.
9. *Вьюшин В.Д., Герасимов М.Н., Гусев В.А.* Теплофизические свойства тканей // Теплооб-

мен в промышленных установках. Иваново: ИГЭУ, 1972. Т. 1. С. 33...37.

10. *Бессапошникова В.И., Пулина К.И., Александрова Т.В., Загоруйко М.В.* Разработка методики определения теплофизических свойств текстильных материалов и пакетов одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. №6(342). С. 29...32.

11. *Жмакин Л.И., Козырев И.В., Кирокосян К.А.* Исследование теплопроводности текстильных материалов для формы пожарных // Химия волокон. 2006. Т. 38. № 2. С. 118...120.

12. *Жмакин Л.И., Шарпар Н.М.* Модифицированный нестационарный метод измерения теплопроводности // Повышение энергоресурсоэффективности, экологической и технологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности: сб-к науч. тр. междунар. науч.-техн. симпозиума, посвященного 120-летию со дня рождения П.Г. Романкова. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2024. Т. 2. С. 142...145.

REFERENCES

1. *Sheromova I.A.* Textile materials: preparation, structure, properties: A study guide. Vladivostok: Publishing house of VSUES, 2006. 220 p.
2. *Kiryuhin S.M., SHustov YU.S.* Tekstil'noe materialovedenie. M.: KolosS, 2011. 360 s.
3. *Bessonova N.G., ZHiharev A.P.* Teplofizicheskie svoystva materialov dlya izdelij lyogkoj promyshlennosti: monografiya. M.: MGUDT, 2007. 118 s.
4. *Zhmakin L.I., Kozыrev I.V., Kirokоsyan K.A., Chernyh M.V.* Eksperimental'noe issledovanie teploprovodnosti tkanej, ispol'zuemyh dlya rabochej odezhdy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2009. № 2 (315). P. 16...18.
5. *Lizák P., Mojumdar S.C.* Thermal properties of textile fabrics // J. Therm Anal Calorim. 2013. №112. P. 1095...1100.
6. *Sharpar N.M., Zhmakin L.I., Markova K.A.* Eksperimental'noe issledovanie teploprovodnosti tekstil'nyh materialov, vkhodyashchih v sostav odezhdy silovyh struktur i special'nyh vedomstv // Journal of Clothing Science. 2020. №4. – <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL420.pdf>
7. *Paramanchuk V.V., Ol'shanskij V.I.* Teplofizicheskie svoystva mnogo-slojnyh teploizolyacionnyh materialov // Bulletin of Vitebsk State Technological University. 2017. №27. P. 87...93.
8. *Bhattacharjee D., Kothari V.K.* Heat transfer through woven textiles // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2009. №52. P. 2155...2160.
9. *V'yushin V.D., Gerasimov M.N., Gusev V.A.* Teplofizicheskie svoystva tkanej // Teplomassoobmen v promyshlennyh ustanovkakh. Ivanovo: IGEU, 1972. Т. 1. P. 33...37.
10. *Besshaposhnikova V.I., Pulina K.I., Aleksandrova T.V., Zagorujko M.V.* Development and identifi-

cation of thermophysical properties of textile materials and packages of clothes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2012. №6(342). P. 29...32.

11. *Zhmakin L.I., Kozyrev I.V., Kirokosyan K.A* Исследование теплопроводности текстильных материалов для формы пожарных // *Himiya volokon*. 2006. Т. 38. № 2. P. 118...120.

12. *Zhmakin L.I., Sharpar N.M.* Modified non-stationary method of thermal conductivity measurement // Improving energy and resource efficiency, environmental and technological safety of processes and equipment

in the chemical and related industries: collection of scientific papers of the international scientific and technical symposium dedicated to the 120th anniversary of the birth of P. G. Romankov. Moscow: Russian State University named after A.N. Kosygin, 2024. Т. 2. P. 142...145.

Рекомендована кафедрой естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 18.09.24.
