

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТКАНЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РАБОЧЕЙ ОДЕЖДЫ

*Л.И. ЖМАКИН, И.В. КОЗЫРЕВ, К.А. КИРОКОСЯН, М.В. ЧЕРНЫХ*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)

Важная роль в обеспечении комфортных и безопасных условий труда принадлежит рабочей одежде, теплозащитные характеристики которой во многом определяются теплопроводностью текстильных материалов, используемых при ее изготовлении. Рассчитать коэффициенты теплопроводности тканей (исходя из модельных представлений) невозможно, поэтому основным источником информации был и остается эксперимент.

В настоящей работе проведены измерения теплопроводности некоторых материалов, используемых отечественными предприятиями для пошива спецодежды для различных групп профессий. Были исследованы ткани для защитной одежды пожарных: – парусина полульняная мокрого прядения (460 г/м<sup>2</sup>), силотекс-97 – из синтетических высокомолекулярных нитей с полимерным покрытием (210 г/м<sup>2</sup>), номекс – из арамидных волокон (200 г/м<sup>2</sup>); смесовые полиэфирно-хлопковые ткани с водоотталкивающей пропиткой, предназначенные для пошива форменной, специальной, медицинской и корпоративной одежды: – грета (220 г/м<sup>2</sup>), сису (150 г/м<sup>2</sup>), феникс-комфорт, феникс-огнезащита (220 г/м<sup>2</sup>), а также полиэфирные ткани – полиэфир сжатый и оксфорд 210D для утепленной одежды осеннего и зимнего сезонов.

При этом коэффициент теплопроводности рассматривался как некоторая усредненная или эффективная величина, учитывающая и структурную неоднородность волокнистого слоя, и совместный радиационно-кондуктивный теплоперенос в нем [1]. Использовались два метода измерения теплопроводности: стационарный метод плоского слоя и нестационарный метод регулярного режима [2], [3].

Измерения стационарным методом проводились при температурах до 100°С. Методика основана на определении теплового потока Q, проходящего через плоский образец известной площади F и толщины δ, а также перепада температур Δt на его границах. Тогда коэффициент теплопроводности равен:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F\Delta t} \quad (1)$$

и относится к средней температуре образца.

Рабочий участок для измерений теплопроводности представлял собой многослойную конструкцию, в центре которой расположен электрический нагреватель, изготовленный из углеродной ткани Урал Т-18 и электроизолированный с двух сторон полиимидной пленкой толщиной 0,08 мм. С двух сторон этого нагревателя симметрично размещены два исследуемых образца ткани размером 130x180 мм (в чехлах из фторопластовой пленки, на которой закреплены терморезистивные датчики). Снаружи эта система закреплена в пакет стеклами толщиной 2 мм и стянута упругими зажимами, обеспечивающими в ходе опытов постоянное усилие прижима образцов ~ 20 г/см<sup>2</sup>. Для измерения температуры использовались две абсолютные медьконстантановые терморезистивные пары и одна дифференциальная 10-спайная термобатарея (для измерения температурного перепада на образце); диаметр термоэлектродов составлял 0,07 мм. Вторичными приборами служили цифровые милливольтметры.

При проведении экспериментов с помощью стабилизированного выпрямителя ВСА-4 устанавливался рабочий ток, и по-

сле регистрации стационарного режима измерялась мощность нагревателя (ввиду симметрии тепловой поток через каждый образец составлял половину этой величины). Затем по уравнению (1) находились коэффициент теплопроводности. Вводилась поправка на поток тепла, рассеиваемый на торцах рабочего участка (он не превышал 1%).

Заметные температурные зависимости коэффициентов теплопроводности были зафиксированы только у тканей силатекс-97 и оксфорд 210D; для других тканей теплопроводность изменялась с температурой в пределах экспериментальных погрешностей (рис. 1 – температурная зависимость теплопроводности тканей: ○ – силатекс; ◻ – оксфорд; ● – феникс-комфорт; ▽ – феникс-огнезащита; ⊙ – полиэфир сжатый; ■ – грета; ⊕ – сису; □ – парусина; △ – номекс).

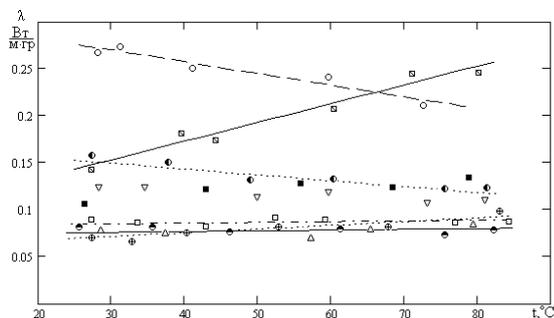


Рис. 1

Исследования теплопроводности методом регулярного режима проводились с помощью  $\lambda$ -калориметра (прибор ЛКТ-1) при температурах 20...25°C. Из экспериментальной зависимости избыточной температуры  $\vartheta$  от времени  $\tau$  находилась темп охлаждения образцов в измерительном устройстве ( $m = d(\ln \vartheta)/d\tau$ ) [3...5], по величине которого рассчитывалась их теплопроводность:

$$\frac{\lambda}{\delta} = \frac{1}{R_{\text{тá}}} = Am - k. \quad (2)$$

Постоянные прибора (A и k) определялись в ходе тарировочных опытов по веществу с известным коэффициентом теплопроводности (воздуху).

В методе регулярного режима источником больших систематических ошибок являются контактные термические сопротивления [6]. Они проявляются в зонах контакта образцов с гладкими металлическими поверхностями измерительного прибора и связаны с тем, что ткань касается поверхности металла лишь малыми участками – выступами или гребнями, образованными системой ее нитей. Влияние контактных сопротивлений на результаты измерений теплопроводности тканей особенно заметно, поскольку в опытах обычно используются относительно тонкие образцы, для которых эти сопротивления имеют тот же порядок величины, что и тепловое сопротивление самого исследуемого объекта.

Для исключения контактных явлений измерения теплопроводности проводились на образцах с различным числом слоев (от одного до трех). Поскольку термическое сопротивление линейно зависит от толщины исследуемого образца (при одинаковом усилии поджима), его можно представить в виде

$$R_{\text{об}} = R_k + (\delta/\lambda)_{\text{тк}}. \quad (3)$$

Величину сопротивления  $R_k$ , которое относится к контактам ткани с двумя гладкими поверхностями измерительного устройства, можно определить, экстраполируя опытную зависимость  $R_{\text{об}} = f(\delta)$  на нулевую толщину слоя. Такая зависимость, полученная для некоторых образцов тканей, приведена на рис. 2 (зависимость термического сопротивления от толщины пакета тканей). Исключив  $R_k$  из (3), можно найти термическое сопротивление и теплопроводность исследуемой ткани при разном числе ее слоев в приборе ЛКТ-1.

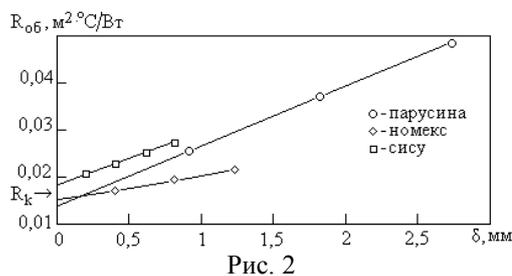


Рис. 2

В качестве примера можно привести следующие данные. Теплопроводность образцов тканей без учета влияния контактных явлений составила 0,054 Вт/м·°С для парусины, 0,047 Вт/м·°С – для номекса и 0,028 Вт/м·°С – для ткани сису. После исключения контактных термических сопротивлений она оказалась равной 0,075 Вт/м·°С; 0,072 Вт/м·°С и 0,084 Вт/м·°С соответственно, что в пределах погрешности совпадало с результатами измерения теплопроводности этих тканей стационарным методом.

Таким образом, учет контактных термических сопротивлений при использовании метода регулярного режима значительно повышает точность экспериментальных данных и является обязательным. Однако существуют и другие систематические ошибки измерения теплопроводности, которые исключить сложно. Так, например, этот метод исходит из предположения о постоянстве теплоемкости и теплопроводности исследуемого материала, линейном характере температурного поля в нем, а также независимости коэффициента теплоотдачи от температуры. На практике эти ограничения обычно игнорируются; в результате на температурной зависимости  $\ln \vartheta = f(\tau)$  в некоторых случаях

трудно выделить линейный участок и корректно определить темп охлаждения образца [3...5].

Анализ погрешностей измерений показал, что ошибка экспериментальных данных по коэффициентам эффективной теплопроводности текстильных материалов не превышала 8...10% для стационарного метода плоского слоя и 15% – для метода регулярного режима.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974.
2. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М.: Энергия, 1979.
3. Шашков А.Г., Волохов Г.М. и др. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. – М.: Энергия, 1973.
4. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. – М.: ГИТТЛ, 1954.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
6. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. – М.: Энергия, 1977.

Рекомендована кафедрой промышленной теплоэнергетики. Поступила 24.04.09.