

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА

*А.В.ТРЕЩАЛИНА, Ю.Я.ТЮМЕНЕВ, М.Ю.ТРЕЩАЛИН*

(Московский государственный университет сервиса,  
Международная академия предпринимательства)

Для проектирования теплозащитных нетканых материалов, которые широко используются в швейных изделиях, в строительных объектах, в коммунальном хозяйстве, на предприятиях сферы сервиса, для тепловой защиты различных трубопроводов и др. и прогнозирования их надежности и работоспособности необходимо знать характеристики их теплозащитных свойств.

В настоящее время для экспериментального определения эффективного коэффициента теплопроводности нетканых материалов часто применяется модифицированный измеритель теплопроводности ИТ-1-400 (температурный интервал от  $-45$  до  $200^{\circ}\text{C}$ , относительная погрешность измерений не более  $10\%$ ), функционирование которого основано на методе динамического калориметра.

Величина коэффициента теплопроводности образца [1] рассчитывается по формуле

$$\lambda = \delta/R_o,$$

где  $\delta$  – толщина исследуемого материала, м;  $R_o$  – тепловое сопротивление образца.

$$R_o = [\nu_o S(1 + \sigma_c) / (\nu_T K_T)] - \Delta R_k,$$

где  $\nu_o$  – перепад температур на образце, соответствующий значению  $n_o$ ;  $\nu_T$  – перепад температур на пластине, соответствующий значению  $n_T$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ ;  $K_T(t)$  – коэффициент, характеризующий тепловую проводимость пластины,  $\text{Вт/К}$ ;  $\Delta R_k(t)$  – поправка, учитывающая

сопротивление контакта и тепловое сопротивление заделки термодатчика,  $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ;  $\sigma_c$  – поправка на теплоемкость исследуемого образца.

Следует отметить, что значения  $K_T(t)$  и  $\Delta R_k(t)$  даны в паспортных данных установки.

Для проверки надежности полученных результатов, в диапазоне температур  $(-30) \div (+30)^{\circ}\text{C}$ , эффективный коэффициент теплопроводности образцов определяется стационарным методом аксиального теплового потока с активной тепловой защитой истока, разработанным на кафедре теоретических основ теплотехники Московского энергетического института (Технического университета) под руководством Н.Я.Филатова. Перепад температур в образцах составляет  $10^{\circ}\text{C}$ . Относительная погрешность измерений эффективного коэффициента теплопроводности не превышает  $2,9\%$ .

В процессе исследований использовались образцы следующих материалов:

– холст стекловолокнистый марки ХСБТ-90 (технические условия изготовления ТУ 6-48-00204949-92) объемной плотности  $\rho_s = 51,4 \text{ кг/м}^3$ ;

– полотно нитепрошивное стекловолокнистое НПП-750 (технические условия изготовления ТУ 6-48-0209777-18-90) объемной плотности  $\rho_s = 37 \text{ кг/м}^3$ .

В работе использовали толщиномер типа БВ 7214 для измерения толщины образцов и лабораторные весы ВЛР-200 для определения их массы.

Результаты измерений эффективного коэффициента теплопроводности материалов представлены в табл. 1.

Экспериментальные данные по измерению $\lambda = f(t)$ для следующих материалов при $P = 1,01 \cdot 10^5$ Па			
холст стекловолокнистый ХСБТ-90		полотно стекловолокнистое НПП-750	
$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
- 44,49	0,036	- 46,56	0,025
- 19,96	0,038	- 21,65	0,028
4,65	0,039	3,25	0,030
29,69	0,042	28,25	0,032
54,59	0,044	53,25	0,032
79,59	0,044	78,28	0,033
104,45	0,045	103,19	0,033
129,84	0,048	128,20	0,034
155,23	0,051	153,12	0,039
180,38	0,055	178,16	0,040
205,50	0,058	203,19	0,041

Специфические особенности структуры нетканых полотен предполагают разработку экспериментальной установки и метода проведения измерений коэффициента теплопроводности с использованием цифровых методов сбора, обработки информации и управления работой установки на базе компьютерной платформы IBM, что позволит получить более точные данные измерений. В основу создания такой установки положен метод регулярного теплового режима [1].

При этом предлагается использовать двухканальную схему измерения коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры. Преимуществом такого способа замера коэффициента теплопроводности является оптимизация процесса нагрева испытуемого образца за счет программно-аппаратных средств (регулятор мощности, управляемый программой IBM PC/IT).

Измерения коэффициента теплопроводности опытного образца нетканого текстильного материала, изготовленного из полиэфирных волокон, толщина, поверхностная и объемная плотность которого составляли соответственно: 12 мм;  $500 \pm 50$  г/м<sup>2</sup>; 46 кг/м<sup>3</sup>, проводились следующим образом.

Образец исследуемого материала диаметром 150 мм помещался между пластинами, одна из которых контактировала с нагревательным элементом (сердечником), а другая – с буферной жидкостью, находящейся в измерительной камере. Эта жидкость необходима для

уменьшения температурного градиента и увеличения инерционности хромель-копелевых термопар, расположенных на поверхностях пластин. Термопары подключались ко входу аналого-цифрового преобразователя (АЦП), управляемого платформой IBM, таким образом, чтобы ЭВМ регистрировала термоЭДС, соответствующую разности температур  $\Delta t$  на обеих пластинах.

Управление экспериментальной установкой осуществлялось программными и аппаратными средствами ЭВМ через коммуникационный порт, режимы работы которого заданы специально написанным драйвером. В результате этого обеспечивается полудуплексный канал связи между измерительной ячейкой и ЭВМ, обеспечивающий следующие сервисные функции:

- включение и выключение нагревательного элемента;
- измерение и контроль температуры в нагревательной камере;
- численное и графическое отражение результатов измерений во времени.

ТермоЭДС фиксировалась одним из каналов АЦП на протяжении всего периода измерений, адекватного участку, где соблюдается линейная зависимость темпа охлаждения образца  $m$  от времени.

С целью получения наиболее достоверных результатов измерения повторялись не менее четырех раз. Ниже приводятся формулы, заложенные в алгоритм программы работы измерительной части установки.

Темп охлаждения образца:

$$m = [\ln(v_1) - \ln(v_2)] / [\tau_2 - \tau_1],$$

где  $v_1, v_2$  – значения температур, соответствующие начальному  $\tau_1$  и конечному  $\tau_2$  моментам времени измерений;  $[\tau_2 - \tau_1]$  – интервал проведения измерений.

Коэффициент теплопроводности образца:

$$\lambda = \delta [(C_c - 2C_o/3)m - K] / 2S(1 + \Delta\sigma_p),$$

где  $C_c = 322,0$  – массовая теплоемкость сердечника, Дж/(кг·К);  $C_o$  – массовая теплоемкость образца, Дж/(кг·К);  $K = 5,4 \cdot 10^{-2}$  – тепловая проводимость сердечника, Вт/К;  $\delta$  – толщина образца материала, м;  $S = 1,13 \cdot 10^{-2}$  – контактная поверхность, м<sup>2</sup>;  $d_c = 0,120$  – диаметр сердечника, м;  $\Delta\sigma_p = 4\delta/3d_c = 0,1666$  – поправка на рассеивание теплового потока.

Результаты экспериментальных исследований для опытных образцов материалов приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

$\tau, c$	Толщина образца $\delta = 12$ мм; $\rho = 46$ кг/м <sup>3</sup>							
	Опыт 1: $P = 99,5$ кПа; $t_{ж} = 23,2^\circ C$ ; $t_{о,к} = 25,3^\circ C$				Опыт 2: $P = 99,5$ кПа; $t_{ж} = 23,2^\circ C$ ; $t_{о,к} = 25,4^\circ C$			
	$m \cdot 10^4$	$\ln(v)$	$v$	$V, mV$	$m \cdot 10^4$	$\ln(v)$	$v$	$V, mV$
00	6,166	2,601	13,48	0,520	6,166	2,601	13,48	0,520
60		2,564	13,00	0,500		2,564	13,00	0,500
120	5,333	2,525	12,50	0,481	5,333	2,525	12,50	0,481
180		2,493	12,10	0,463		2,493	12,10	0,463
240	5,833	2,456	11,66	0,446	6,333	2,455	11,66	0,446
300		2,421	11,26	0,429		2,418	11,23	0,428
360	5,333	2,383	10,84	0,413	5,000	2,383	10,84	0,413
420		2,351	10,50	0,398		2,353	10,52	0,399
480	5,666	2,312	10,10	0,383	4,833	2,309	10,07	0,382
540		2,278	9,76	0,370		2,280	9,78	0,371
600	6,666	2,239	9,39	0,356	6,166	2,239	9,39	0,356
660		2,199	9,02	0,342		2,202	9,05	0,343
720	6,500	2,166	8,73	0,331	6,000	2,163	8,70	0,330
780		2,127	8,39	0,318		2,127	8,39	0,318

Таблица 3

$\tau, c$	Толщина образца $\delta = 12$ мм; $\rho = 46$ кг/м <sup>3</sup>							
	Опыт 3: $P = 99,5$ кПа; $t_{ж} = 24,6^\circ C$ ; $t_{о,к} = 23,0^\circ C$				Опыт 4: $P = 99,5$ кПа; $t_{ж} = 24,9^\circ C$ ; $t_{о,к} = 23,1^\circ C$			
	$m \cdot 10^4$	$\ln(v)$	$v$	$V, mV$	$m \cdot 10^4$	$\ln(v)$	$v$	$V, mV$
00	6,166	2,601	13,48	0,520	6,166	2,601	13,48	0,520
60		2,584	13,00	0,500		2,564	13,00	0,500
120	5,333	2,525	12,50	0,481	5,333	2,525	12,50	0,481
180		2,493	12,10	0,463		2,493	12,10	0,463
240	5,833	2,456	11,66	0,446	5,333	2,453	11,63	0,445
300		2,421	11,26	0,429		2,421	11,26	0,429
360	5,333	2,380	10,81	0,412	4,833	2,380	10,81	0,412
420		2,348	10,47	0,397		2,351	10,50	0,398
480	5,666	2,309	10,07	0,382	6,166	2,312	10,10	0,383
540		2,275	9,73	0,369		2,275	9,73	0,369
600	6,166	2,236	9,36	0,355	6,666	2,239	9,39	0,356
660		2,199	9,02	0,342		2,199	9,02	0,342
720	7,000	2,161	8,68	0,329	6,666	2,163	8,70	0,330
780		2,119	8,33	0,316		2,123	8,36	0,317

Значения коэффициента теплопроводности исследуемых образцов, полученные экспериментальным путем, и расчетные

значения  $\lambda_{эф}$  при соответствующих температурах и плотности полиэфирных

волокон  $\rho_v = 1380 \text{ кг/м}^3$  приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

№ опыта	Толщина образца $\delta = 12 \text{ мм}$ ; $\rho = 46 \text{ кг / м}^3$			
	$m_{\text{ср}} \cdot 10^4$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\lambda_{\text{эф}}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$
1	6,000	23,8	0,0235	0,0223
2	5,791	24,3	0,0224	0,0223
3	5,916	24,9	0,0231	0,0223
4	5,957	25,3	0,0233	0,0223
Среднее значение	5,916	24,6	0,0231	0,0223
Относительная погрешность: $[(\lambda - \lambda_{\text{эф}})/\lambda] = 3,46 \%$				

## ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований коэффициента теплопроводности разработанного нетканого материала показывает, что рассматриваемый материал может быть использован в качестве теплоизолятора.

2. Относительная погрешность значений коэффициента теплопроводности изготовленного нетканого материала по

отношению к рекомендуемым величинам  $\lambda_{\text{эф}}$  составляет 3,46 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кондратьев Г.М.* Тепловые измерения. – М.: Машгиз, 1977.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы МГУС. Поступила 30.05.07.