

УДК 536.2.001.57

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В МНОГОМЕРНЫХ ТЕПЛОИЗЛУЧАЮЩИХ ТЕЛАХ

А.В. Воробьев, А.С. Заворин, А.В. Кузьмин, Ю.Я. Раков
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: kuzmin@ped.tpu.ru

В работах [1,2] приводится обоснование стационарного метода определения коэффициента теплопроводности (КТ) тел конечных размеров.

В основу метода положено решение квазиобратной многомерной задачи теплопроводности, математическая постановка которой имеет вид:

$$\nabla^2 T(M) = 0, \quad (1)$$

$$-\lambda \cdot \nabla T(M_{ГР1}) = A \cdot q_F - \varepsilon \sigma_0 (T^4(M_{ГР1}) - T_{OC}^4), \quad (2)$$

$$\pm \lambda \cdot \nabla T(M_{ГР2}) = \varepsilon \sigma_0 (T^4(M_{ГР2}) - T_{OC}^4), \quad (3)$$

$$\left| Q_{ИЗМ} - \varepsilon \sigma_0 \int_F [T^4(M_{ГР2}, \lambda) - T_{OC}^4] dF \right| \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $T(M)$ – температуры во внутренних точках образца с координатами M ;
 $T(M_{ГР1})$, $T(M_{ГР2})$ – температуры на поверхности образца с координатами $M_{ГР1}$ и $M_{ГР2}$; T_{OC} – температура окружающей среды; λ – коэффициент теплопроводности; ε – интегральная степень черноты; A – коэффициент поглощения; σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана; q_F – плотность падающего теплового потока; $Q_{ИЗМ}$ – суммарный измеренный тепловой поток, уходящий с какой-либо поверхности F образца.

Решение уравнения теплопроводности (1) с граничными условиями (2)-(3) и с привлечением экстремального условия (4) позволяет однозначно определить КТ вещества, если заранее известны его геометрические размеры, радиационные характеристики A и ε , температура окружающей среды T_{OC} и экспериментально определены плотность падающего теплового потока q_F и суммарный поток $Q_{ИЗМ}$, теряемый с какой-либо поверхности образца.

В качестве образцов для измерения может использоваться прямоугольный параллелепипед или ограниченный цилиндр. При этом не требуется создания в образцах одномерного теплового потока, что существенно упрощает конструкцию установки.

В данной работе приводится оценка влияния систематической погрешности измерения тепловых потоков на погрешность определения КТ. С этой целью проводилось имитационное моделирование, суть которого состояла в следующем. На первом этапе решалась прямая задача теплопроводности (1)-(3) при известном КТ. В результате расчета определяли суммарный тепловой поток, уходящий с нижней грани. На втором этапе моделирования вносилась погрешность в используемые при решении обратной задачи (1)-(4) численные значения падающего на верхнюю грань и уходящего с нижней грани тепловые потоки.

В результате решения обратной задачи вычислялся КТ при наличии принятой погрешности вышеуказанных величин. Полученное значение сравнивалось с КТ, заданным при решении прямой задачи. Относительная разница их значений $\Delta\lambda/\lambda$ (в процентах) при различных относительных значениях погрешностей, используемых для расчета параметров, приведена в таблицах 1÷3. Результаты расчета получены для образца в форме ограниченного цилиндра, на верхний торец которого поступает тепловой поток плотностью $q_F = 1,5 \cdot 10^5$ Вт/м². Значение суммарного теплового потока $Q_{ИЗМ}$ рассчитывалось для нижней торцевой поверхности из решения прямой задачи при различных КТ. Радиус образца и его высота принимались равными 0,01 м. Степень черноты ε и коэффициент поглощения A были приняты равными 0,75.

Таблица 1. Максимальная относительная погрешность определения КТ $|\Delta\lambda/\lambda|, \%$ в зависимости от погрешности в измерении потока $Q_{ИЗМ}$

Значение КТ λ , принятое при решении прямой задачи, Вт/м·К	Значение $ \Delta\lambda/\lambda , \%$ при относительной погрешности в измерении потока $Q_{ИЗМ}, \%$				
	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5
2	3,21	6,41	9,83	13,25	17,10
3	3,99	8,52	13,07	18,18	23,86
5	6,12	13,51	21,58	30,58	40,81
7	9,85	19,06	31,24	46,47	63,23

Таблица 2. Максимальная относительная погрешность определения КТ $|\Delta\lambda/\lambda|, \%$ в зависимости от погрешности в измерении падающего теплового потока q_F

Значение КТ λ , принятое при решении прямой задачи, Вт/м·К	Значение $ \Delta\lambda/\lambda , \%$ при относительной систематической погрешности измерения потока $q_F, \%$				
	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5
2	2,57	5,13	7,69	10,69	13,68
3	3,41	7,10	11,37	15,91	20,46
5	5,44	12,24	19,73	27,89	38,77
7	7,77	18,45	30,10	44,95	63,22

Таблица 3. Максимальная относительная погрешность определения КТ $|\Delta\lambda/\lambda|, \%$ в зависимости от погрешности в измерении потоков $Q_{ИЗМ}$ и q_F

Значение КТ λ , принятое при решении прямой задачи, Вт/м·К	Значение $ \Delta\lambda/\lambda , \%$ при относительной систематической погрешности измерения потоков $Q_{ИЗМ}$ и $q_F, \%$				
	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5
2	0,95	1,62	2,83	2,95	3,75

3	0,82	1,71	2,38	3,05	3,94
5	0,88	,42	2,49	3,02	4,09
7	0,79	1,56	2,32	3,08	3,84

Из таблиц 1 и 2 видно, что на максимальную погрешность в определении КТ существенно влияет погрешность в определении тепловых потоков. Причем с увеличением КТ также увеличивается погрешность его определения. С другой стороны, из таблицы 3 видно, что если систематические погрешности определения тепловых потоков имеют одинаковый знак и величину, то погрешность определения КТ существенно меньше. Поэтому градуировку датчиков теплового потока, используемых при измерении КТ, необходимо проводить по одной методике и на одной установке или использовать один и тот же датчик теплового потока для измерения падающего на образец теплового потока и уходящего с одной из его поверхностей.

Из результатов имитационного моделирования можно заключить, что данный метод измерения наиболее приемлем для веществ с коэффициентами теплопроводности меньше 10 Вт/м·К, т.е. для плохих проводников тепла.

Литература:

1. Определение теплопроводности многомерных излучающих тел. / Ю.Я. Раков, Е.Г. Боберъ, А.С. Загорин и др.// Теплофизические свойства веществ: Труды VIII Всесоюзной конференции, Ч.1. - Новосибирск, 1989.
2. Раков Ю.Я., Боберъ Е.Г., Кузьмин А.В. Использование трехмерных задач для измерения коэффициента теплопроводности// Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Методы и средства теплофизических измерений». - М., 1987.

УДК 536.2.001.57

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОДА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ТЕПЛОИЗЛУЧАЮЩЕГО ДИСКА

А.М. Антонова, А.В. Воробьев, А.В. Кузьмин, Ю.Я. Раков
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: kuzmin@ped.tpu.ru

Рассмотрена задача по определению искажающего влияния на температурное поле диска электрода, прикрепленного к центру его нижней торцевой поверхности. Нагрев тела осуществляется лучистым потоком, падающим на верхний торец диска, и со всех его сторон происходит теплообмен излучением в среду с постоянной температурой. Тепловой контакт между поверхностью диска и электродом считается идеальным. С боковой поверхности электрода сброс тепла осуществляется излучением, а противоположный от места контакта конец электрода поддерживается при постоянной температуре среды.

Математическая постановка задачи для данной системы диск – электрод включает двухмерное линейное уравнение теплопроводности для диска (1) и одномерное