

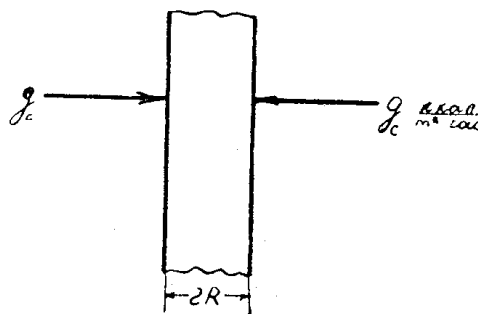
## КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ПРОГРЕВ ПЛАСТИНЫ ПРИ НАЛИЧИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СТЕНОК

Г. П. БОЙКОВ, Н. Н. НЕГОДЯЕВА, Г. В. НИКОЛАЕВА

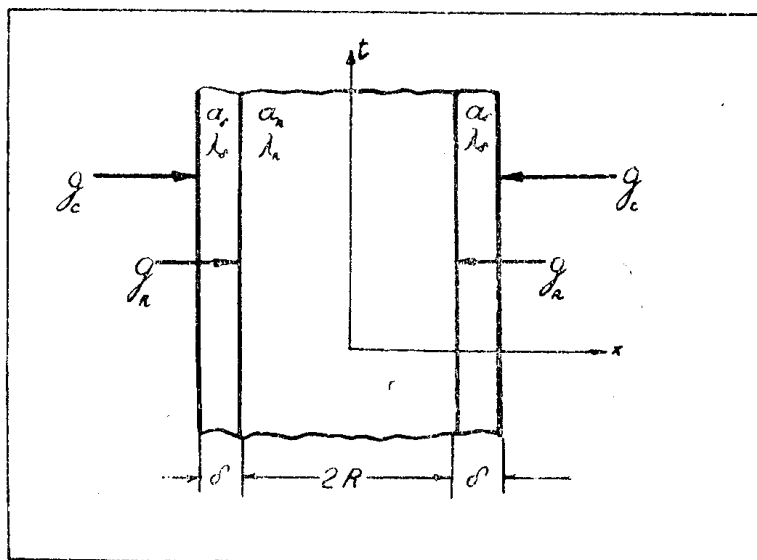
Представлено профессором ФУКС Г. И.

В настоящее время находит все более широкое применение экспериментальный способ определения теплофизических характеристик вещества, основанный на квазистационарном режиме прогрева тел. Опытная установка базируется на идее прогрева неограниченной пластины из исследуемого материала под действием неизменного во времени потока тепла (фиг. 1).

Передача постоянного во времени потока тепла внутрь пластины практически осуществляется за счет электрических нагревателей постоянной мощности, прижатых к боковым плоскостям пластины. Если к пластине из изолятора электрический нагреватель прикладывается непосредственно, то к металлической пластине он может быть приложен только через посредство токонепроводящей дополнительной тонкой стенки (фиг. 2). В указанной схеме распространение тепла описывается системой уравнений (1) — (6).



Фиг. 1



Фиг. 2

$$\frac{\partial t'(x, \tau)}{\partial \tau} = a_R \frac{\partial^2 t'(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (1) \quad \frac{\partial t''(x, \tau)}{\partial \tau} = a_\delta \frac{\partial^2 t''(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (2)$$

$$a \leq x \leq R \quad R \leq x \leq R + \delta$$

$$t'(x, 0) = t''(x, 0) = t_0 \quad (3)$$

$$t'(R, \tau) = t''(R, \tau) \quad (4)$$

$$\frac{\partial t'(0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (5) \quad \lambda \cdot \frac{\partial t''(R + \delta; \tau)}{\partial x} = g_c \quad (6)$$

Введя новую переменную  $g(x, \tau)$  по формуле

$$g(x, \tau) = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x},$$

систему уравнений (1) — (6) можно переписать так:

$$\frac{\partial g'(x, \tau)}{\partial \tau} = a_R \cdot \frac{\partial^2 g'(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (1a) \quad \frac{\partial g''(x, \tau)}{\partial \tau} = a_\delta \frac{\partial^2 g''(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (2a)$$

$$g'(x, 0) = g''(x, 0) = 0 \quad (3a)$$

$$g'(R, \tau) = g''(R, \tau) = g_R \quad (4a)$$

$$g'(0, \tau) = 0 \quad (5a) \quad g''(R + \delta; \tau) = g_c \quad (6a)$$

Анализ системы (1a) — (6a) дает возможность утверждать, что величина потока  $g$  в общем виде определяется соотношением:

$$g_R = N - M e^{-a_\delta \cdot \kappa_\delta^2 \cdot \tau} \quad (7)$$

где  $N$ ;  $M$ ;  $k$  — постоянные величины.

При некотором  $\tau > \tau_*$ , величина потока  $g_R$  станет неизменной величиной.

Если допустить, что дополнительная стенка, толщиной  $\delta$  состоит из того же вещества, что и однородная стенка, то выражение (7) примет вид:

$$g_R = A - B \cdot e^{-a_R \cdot \kappa_R^2 \cdot \tau}, \quad (8)$$

что по своей форме совпадает с соотношением для определения потока тепла, данным в аналитической теории теплопроводности [1].

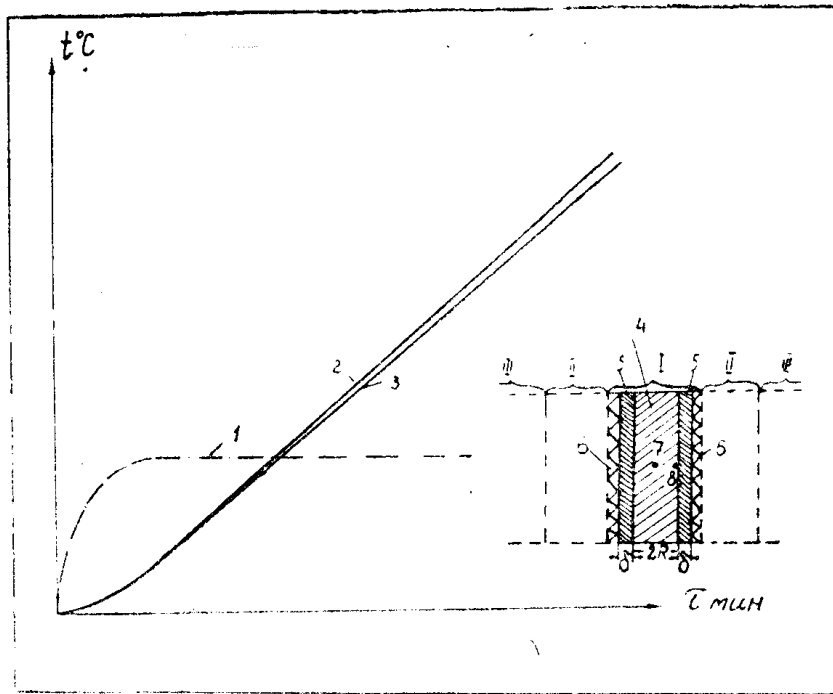
Таким образом, в системе, описанной условиями (1) — (6), по истечении некоторого момента времени  $\tau_*$  от начала прогрева наступает квазистационарный режим нагрева. Разность температур в двух точках системы будет оставаться одной и той же, а температура каждой точки будет изменяться по прямолинейному закону. Последние подтверждается и данными опыта (фиг. 3).

Для того, чтобы прогреваемая пластина ближе подходила под понятие неограниченной, толщина ее  $2R$  берется достаточно малой по размеру. Это способствует тому обстоятельству, что квазистационарный режим прогрева наступает сразу же с первых моментов времени.

Согласно данным А. В. Лыкова [1] при больших значениях критерия Фурье температурное поле в пластине, толщиной  $2R$ , описывается зависимостью:

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{g_R}{\lambda R} \left( \frac{a_R \cdot \tau}{R} - \frac{R^2 - 3x^2}{6R} \right), \quad (9)$$

где  $t_0$  — начальная температура тела,



Фиг. 3

1. Изменение разности температур центра и поверхности пластины при прогреве ее через дополнительные стенки.
2. Изменение температуры центра пластины при прогреве ее от нагревателя без дополнительных стенок.
3. То же при наличии дополнительных стенок.
4. Основная пластина из винипласта, толщиной  $2R=36$  мм.
5. Дополнительные пластины из картона, толщиной  $\delta=2$  мм.
6. Электрические нагреватели постоянной мощности.
- 7 и 8. Места установки спаев термопар.
- I. Главный комплект установки.
- II. Вспомогательные (охранные) комплекты установки, смонтированные по аналогии с главным.

$g_R$  — постоянный поток тепла у поверхности исследуемой пластины, определяемый соотношением:

$$g_R = g_c - \delta \cdot (c \cdot \gamma)_{\delta} \cdot \frac{dt_{cp}}{d\tau} \quad )$$

Здесь  $t_{cp}$  — средняя температура дополнительной стенки, толщиной  $\delta$ .

Одной из характеристик квазистационарного режима прогрева является одинаковое изменение температуры всех точек пространства во времени. Поэтому

$$\frac{dt_{cp}}{d\tau} = \frac{dt}{d\tau}$$

Согласно формулы (9):

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{g_R \cdot a_R}{\lambda_R \cdot R} = \frac{g_R}{R \cdot (C \cdot \gamma)_R}$$

Подставляя значение производной в соотношение (10), будем иметь:

$$g_R = g_c - g_R \cdot \frac{\delta}{R} \cdot \frac{(C \cdot \gamma)_{\delta}}{(C \cdot \gamma)_R}$$

откуда находим

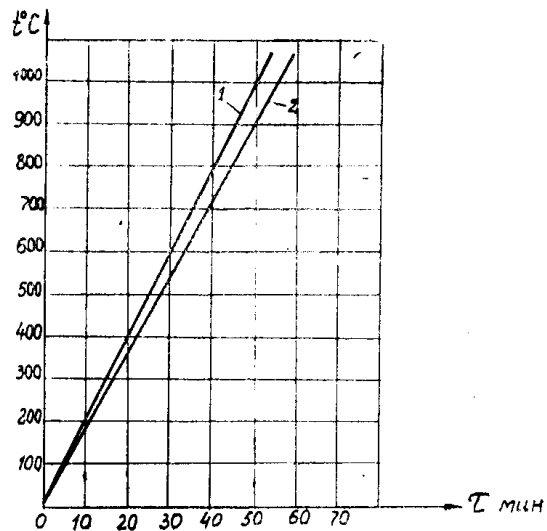
$$gR = \frac{g_c}{1 + \frac{\delta}{R} \cdot \frac{(C \cdot \gamma)_\delta}{(C \cdot \gamma)_R}} \quad (11)$$

Пользуясь выражением (11), можно определить значение постоянного потока тепла, действующего на поверхности пластины из исследуемого материала.

На фиг. 4 показан прогрев стальной пластины, толщиной  $2R = 20$  мм при потоке тепла от нагревателя  $g_c = 10000$  ккал/м<sup>2</sup>час.

Линия 1 показывает изменение температуры в центре стальной пластины, полученное расчетом при прогреве ее без дополнительных стенок.

Линия 2 показывает изменение температуры центра согласно формулы (9) при наличии изоляционных прокладок из асбеста, толщиной  $\delta = 3$  мм.



Фиг. 4

Расчет прогрева стальной пластины, толщиной  $2R = 20$  мм при потоке тепла от нагревателя  $g_c = 10000$  ккал/м<sup>2</sup>час.

- 1 — изменение температуры в центре стальной пластины при прогреве ее без дополнительных стенок.
- 2 — изменение температуры центра, согласно формуле (9), при наличии изоляционных прокладок из асбеста, толщиной  $\delta = 3$  мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенная методика может быть использована при экспериментальных работах по определению теплофизических величин материалов на основе квазистационарного прогрева тел. Приведенные рассуждения дают возможность до некоторой степени учесть также тепло, идущее на нагрев самого нагревателя и устройства, на котором нагреватель смонтирован.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. А. В. Лыков — Теория теплопроводности, ГИТТЛ, М., 1952.