

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ СПЕЦПРАКТИКУМ

Работа №

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В РЕЖИМЕ МОНОТОННОГО РАЗОГРЕВА

1. Цель работы: Закрепление лекционного материала по физическим основам теплопередачи; измерение температурной зависимости коэффициента λ исследуемых образцов в широком интервале температур на установке “Измеритель теплопроводности ИТ- λ -400”; освоение методики работы с жидким азотом, используемым для охлаждения измерительной ячейки.

2. Теория метода

Методы определения коэффициента теплопроводности можно разделить на две группы. Во-первых, это методы, основанные на закономерностях стационарного теплового режима. Они были разработаны еще в прошлом веке и базируются на теории Фурье о пропорциональности теплового потока градиенту температур. Ко второй группе относятся методы, основанные на закономерностях нестационарного теплового режима, при котором температура тела зависит от координат и времени. Метод монотонного режима относится к 1 группе и является обобщением квазистационарного режима (регулярного режима 2 рода). В основу метода тонкой пластины заложены закономерности монотонного разогрева, когда ее температурное поле остается близким к стационарному и не зависит от особенностей начального теплового состояния тела.

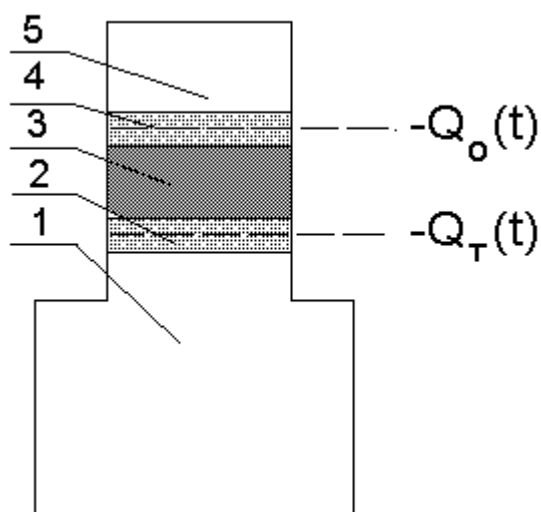


Рис.1. Тепловая схема метода.

Для измерения теплопроводности образца используется метод динамического λ – калориметра.

При эксперименте контактная пластина 3, образец 4 и стержень 5 разогреваются тепловым потоком $Q(t)$, поступающим от основания 1 через пластину 2. Между всеми деталями предусматривается хороший тепловой контакт. Боковые поверхности системы адиабатически теплоизолированы, благодаря чему весь поток $Q(t)$ полностью расходуется на увеличение внутренней энергии системы.

После того, как режим опыта становится регулярным, все детали системы начинают разогреваться с близкими между собой скоростями, в каждой детали устанавливается слабо меняющееся одномерное температурное поле.

Стержень и контактная пластина изготовлены из меди с большой теплопроводностью, поэтому перепады температур на них незначительны. Размеры системы выбраны так, чтобы потоки, аккумулированные образцом и пластиной, были в 5-10 раз меньше потока, поглощаемого стержнем, т.е. теплоемкости образца C_0 и пластины C_n пренебрежимо малы по сравнению с теплоемкостью стержня C_c . Поэтому

можно считать, что между потоком Q_0 , проходящим через образец и поглощаемым стержнем, и перепадом температуры в образце V_0 наблюдается линейная зависимость:

$$Q_0(t) = \frac{V_0 \cdot S}{P} \quad (1)$$

Где S -площадь поперечного сечения образца, P -термическое сопротивление между стержнем 5 и контактной пластиной 3.

С другой стороны, т.к. тепловой поток, проходящий через образец, увеличивает внутреннюю энергию стержня и части образца, прилегающего к стержню, то

$$Q_0(t) = \left(\frac{1}{2} C_0 + C_C \right) \cdot b \quad (2)$$

Где C_0 , C_C - полные теплоемкости образца и стержня, b -скорость разогрева измерительной ячейки.

Аналогично, для теплового потока $Q_T(t)$, проходящего через среднее сечение пластины 2, частично поглощаемого ею и далее идущего на разогрев пластины 3, образца 4 и пластины 5, можно записать:

$$Q(t) = k_T^* V_T = \left(\frac{1}{2} C_T + C_n + C_0 + C_C \right) \cdot b \quad (3)$$

где C_T , C_n -полные теплоемкости тепломера и пластины 3, V_T -перепад температур в тепломере, k_T^* -коэффициент пропорциональности, характеризующий эффективную тепловую проводимость пластины 2.

Тепловое сопротивление P между стержнем и контактной пластиной определяется по формуле:

$$P = P_0 + P_k \quad (4)$$

где P_0 -тепловое сопротивление образца $\left[\frac{m^2 k}{Bt} \right]$, P_k -поправка, учитывающая тепловое сопротивление контакта заделки термопар.

На основании формул (1-4), с учетом условия $C_0 \ll C_C$ можно получить рабочую формулу для теплового сопротивления образца:

$$P_0 = \frac{V_0}{V_N} \frac{S(1 + \sigma_0)}{k_T} - P_k \quad (5)$$

где σ_0 -поправка, учитывающая теплоемкость образца, k_N -тепловая проводимость тепломера.

$$\sigma_0 = \frac{C_0}{2C_C + C_0}; \quad k_T = \frac{C_C}{\frac{1}{2} C_T + C_n + C_C} \quad (6)$$

Полная теплоемкость образца C_0 вычисляется по ориентировочной удельной теплоемкости и массе образца:

$$C_0 = c_0 \cdot m_0 \quad (7)$$

В стационарных методах распределение температур в образце не зависит от времени. Поэтому решение уравнения теплопроводности для плоского слоя, в котором температурное поле одномерно, приводит к уравнению:

$$\lambda = \frac{h Q}{S V_0} = \frac{h}{P_0} \quad (8)$$

где V_0 - перепад температур в образце, Q - тепловой поток, проходящий через слой исследуемого вещества, h , S - высота и площадь образца, $P_0 = V_0 S / Q$ - тепловое сопротивление образца.

Вычисленные значения теплопроводности следует отнести к средней температуре образца:

$$\bar{t} = t_C + \frac{1}{2} A_Z n_0 \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

Где t_C - температура, при которой проводилось измерение [С],

A_Z - чувствительность термопары [$^{\circ}\text{C}/\text{мВ}$]

n_0 - перепад температуры на образце [мВ].

Таким образом, для определения λ испытуемого образца в эксперименте необходимо измерить перепады температур в тепломере и образце V_0 и V_C с помощью гальванометра непосредственно в делениях n_0 и n_C . Параметры k_T и P_k не зависят от свойств образца и являются постоянными измерителя. Определение k_T и P_k проводится в градуировочных экспериментах с образцовой мерой из кварцевого стекла и меди.

3. Описание установки

Экспериментальная установка для измерения теплопроводности твердых тел в режиме монотонного разогрева состоит из трех частей: измерительного блока, блока питания и регулирования и гальванометра М-195.

Внешний вид установки показан на рис. 2/

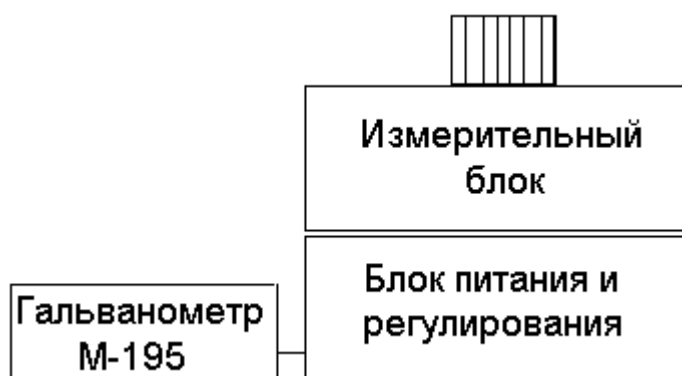


Рис. 2.

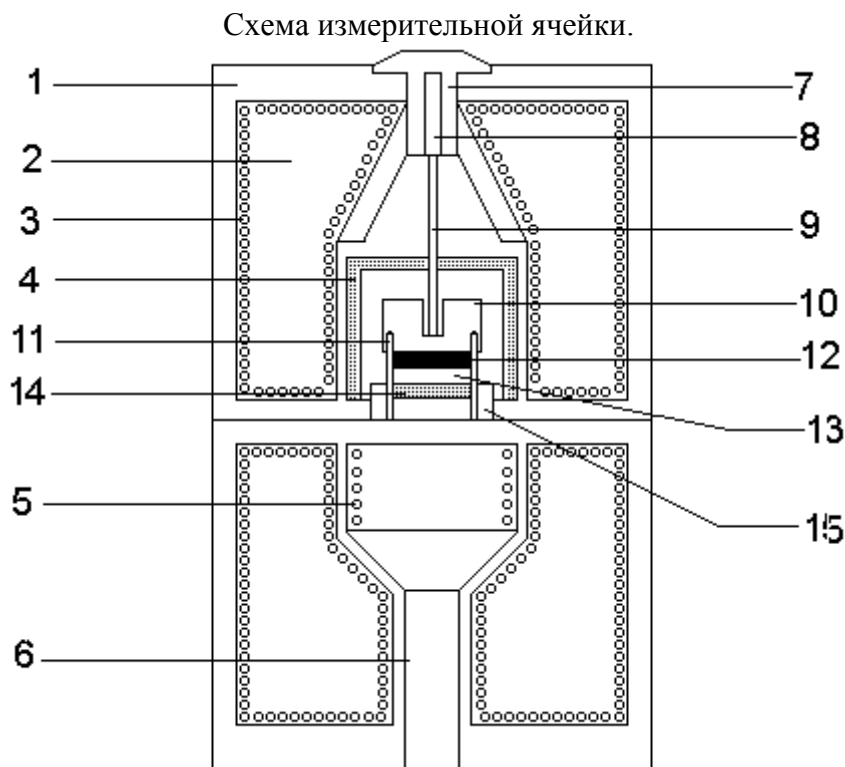
Измерительный блок собран на двух несущих платах, связанных между собой стойками. Основой конструкции служит нижняя плата. Блок закрыт кожухом, состоящим из двух частей. Верхняя часть кожуха съемная, что обеспечивает доступ внутрь блока. Соединение обеих частей кожуха производится креплением шестью винтами.

Верхняя плата несет на себе нижнюю часть измерительной ячейки и связана с ней планками.

Верхняя часть измерительной ячейки при смене испытуемого образца имеет возможность подъема и поворота в сторону на 90° . Это обеспечивается наличием направляющей и штанги, которая имеет шпоночный паз и фрезерованную канавку для бокового поворота. Для ограничения поворота служит упор. На нижней плате размещены угольники крепления передней и задней панелей, перегородка, ножки блока. На перегородке установлен отражающий экран, соединительная колодка и мост сопротивлений, которые закрыты снизу платой, а с других сторон - съемным кожухом.

На передней панели расположены рукоятки управления, сигнальная лампа регулятора температуры, а на задней- трубка выхода азота.

Вся теплоизмерительная часть прибора размещена в измерительном блоке. Важнейшей частью измерительного блока является измерительная ячейка (рис. 3),



1-корпус, 2- теплозащитная оболочка, 3-коробка из фольги, 4- охранный колпак, 5- нагревательный блок, 6,7-патрубки, 8- пружина, 9- прижим, 10-стержень,11- термопара, 12- образец, 13-контактная пластина, 14- пластина, 15- основание.

Рис. 3.

которая состоит из корпуса 1, разъемной теплозащитной оболочки 2 и металлического ядра. Нижняя часть корпуса размещена на верхней горизонтальной плате измерительного блока, верхняя часть - на подъемно - поворотном штанговом механизме, она может подниматься и поворачиваться в сторону на 90° .

Нагревательный блок и охранный колпак 4, 5 снабжены системой отверстий. Через отверстия и патрубки 6,7 подается жидкий азот при охлаждении в области отрицательных температур.

На медном основании 15 размещены термопары 11, пластина 14, контактная пластина 13, составляющие тепломер, и образец 12.

4. Порядок выполнения работы

Прежде чем приступить к измерениям теплопроводности испытуемых материалов, необходимо провести вначале подготовительную работу:

1. Перевести кнопки “сеть”, “нагрев”, в положение “выкл”.

2. Замерить высоту и диаметр образца с точностью до 0,01мм. Взвесить образец с точностью 0,001г.
3. Поднять верхнюю половину корпуса измерительной ячейки, протереть бензином или ацетоном контактные поверхности стержня, образца, контактной пластины тепломера, а затем нанести на эти поверхности тонкий слой смазки для улучшения теплового контакта.
4. Установить образец на контактную пластину тепломера, стержень - на иглы-термопары.
Опустить верхнюю половину корпуса измерительной ячейки.
Включить боки питания и регулирования кнопкой “сеть”.
Установить по вольтметру начальное напряжение 40В при работе от 25 °С и 20В при работе от минус 125 °С.
5. Провести охлаждение измерительной ячейки, Для чего:
Установить переключатель измерение в положение t_C .
Налить в бачок устройства для охлаждения жидкий азот из сосуда Дьюара. Расход жидкого азота для охлаждения измерительной ячейки до -150 °С -2-3 литра.
Установить бачок на верхний колпак измерительного блока.
Следить по гальванометру в процессе охлаждения за температурой измерительной ячейки, последовательно переводя рукоятку “температура” от 25°С до -125 °С каждый раз, когда указатель гальванометра проходит через нуль.
Снять бачок с колпака измерительной ячейки через 2-3 мин. после достижения температуры -125 °С.
6. Включить кнопкой “нагрев” основной нагреватель При этом проследить за показанием вольтметра, чтобы начальное напряжение было 20В.
7. Провести измерения значений n_0 и n_T - показаний гальванометра при достижении каждой из заданных температур. (Температура стержня достигает ожидаемого значения при прохождении светового указателя гальванометра через нулевую отметку).
8. Измерив значения n_0 и n_T для всех указанных температур, выключить кнопкой “нагрев” основной нагреватель.
9. Установить переключатель “измерение” в положение “УСТ.0”. Выключить блоки питания и регулирования.
10. Снять образец, снять бензином (или ацетоном) смазку с поверхностей образца, контактной пластины, стержня. Провести охлаждение измерительной ячейки до комнатной температуры а верхнюю половину измерительного корпуса снова опустить на место.
11. Провести расчет теплопроводности в следующей последовательности:
Рассчитать поправку на теплоемкость образца σ_0 по формуле (6).
Рассчитать тепловое сопротивление образца по формуле (5)
Рассчитать теплопроводность испытуемого образца по формуле (8) для каждой температуры
Рассчитать температуру \bar{t} отнесения измеренного значения теплопроводности по формуле (9). Значения A_T при данных температурах T_C взять из Приложения 1.
Построить график зависимости $\lambda = f(\bar{T})$.

Данные, необходимые для эксплуатации измерителя

$t_c, ^\circ C$	$C_c, \frac{Дж}{К}$	$C_m, \frac{Дж}{кг.К}$	$\lambda_m, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$\lambda_{кв}, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$k_T, \frac{Вт}{К}$	$P_k, \frac{м^2 К}{Вт}$	$A_t, \frac{К}{мВ}$
-100	14,0553	345	407	1,032	0,172	0,77	37,9
-75	14,5745	358	401	1,113	0,185	0,67	32,5
-50	14,8595	365	395	1,183	0,198	0,60	29,0
-25	15,1852	373	390	1,243	0,200	0,55	26,8
0	15,3073	376	387	1,295	0,199	0,51	25,0
25	15,6737	385	384	1,340	0,197	0,48	24,8
50	15,9587	392	381	1,383	0,196	0,46	24,5
75	16,1216	396	379	1,420	0,194	0,45	24,6
100	16,2544	400	377	1,456	0,181	0,44	24,7
125	16,4065	403	376	1,493	0,189	0,43	24,8
150	16,4880	405	375	1,531	0,187	0,43	25,9
175	16,4880	405	374	1,571	0,187	0,45	25,0
200	16,6101	408	373	1,612	0,189	0,48	25,0

Удельная теплоемкость кварца $C_{кв} = 890$ Дж/кг.К; Удельная теплоемкость
оптического стекла $C_o = 840$ Дж/кг.К;
Стекло оптическое марки ТФ-1: $d = 15$ мм. $h = 2$ мм. $m = 1,271$ г. Стекло органическое
ТОСП: $d = 15$ мм, $h = 0,8$ мм.

Градуировка измерителя.

В формулы для расчета коэффициента теплопроводности λ входят постоянные прибора k_T и P_k , которые необходимо определить экспериментально на образцах с известным коэффициентом теплопроводности.

При определении k_T проводят серию из 5-7 экспериментов, в которых используют образец из плавленного кварца КВ (ГОСТ 15 ВВС-69). Расчет k_T проводят вначале по упрощенной формуле без учета поправки P_k .

$$k_T' = \frac{n_0}{n_T} \frac{\lambda}{h} S(1 + \sigma_{кв})$$

где n_0 - перепад температуры на образце (в дел).

n_T - перепад температуры на рабочем слое тепломера.

λ, h, S - коэффициенты теплопроводности, толщина и площадь сечения кварцевой пластины

При определении теплового сопротивления P_k также проводят серию из 5-7 экспериментов с образцом из меди при тех же температурах, что и эксперименты с кварцем. P_k рассчитывают по формуле, аналогичной (5):

$$P_k = \frac{n_0}{n_T} \frac{S}{k_T} (1 + \sigma_M) - \frac{h_M}{\lambda_M}$$

Здесь λ_M, h_M, S - коэффициенты теплопроводности, толщина и площадь сечения медной пластины.

n_0 - перепад температуры на образце (в дел).

n_T - перепад температуры на рабочем слое тепломера.

Затем проводят уточнение k_T с учетом среднего значения P_k для каждой температуры по формуле:

$$k_T = \frac{n_0}{n_T} \frac{\lambda}{h} \frac{S(1 + \sigma_0)}{1 + \sigma_k} = \frac{k_T'}{1 + \sigma_k}$$

где $\sigma_k = P_k \frac{\lambda_{кв}}{h_{кв}}$,

Среднее из вычисленных для каждой температуры значений k_T и P_k используют в дальнейшем для определения λ исследуемых материалов на данной установке.

Расчет погрешностей определения k_T и P_k проводят при доверительной вероятности 0,95.