

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 2.7.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ*

* Аникин А.И. Свойства газов. Свойства конденсированных систем: лабораторный практикум / А.И. Аникин; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИД САФУ, 2014. – 48 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.7*. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ

8.1. Экспериментальная установка

При домашней подготовке следует проработать теоретический материал, изложенный в описании к лабораторной работе № 2.6. Теплопроводность металлов, и ответить на контрольные вопросы к этой работе.

Измерительный модуль для экспериментального определения коэффициентов теплопроводности диэлектриков изображен на рис.8.1. Исследуемые образцы диэлектриков в виде дисков 9 помещают на нагреватель 3, температура t_1 которого в течение эксперимента поддерживается неизменной.

На диск устанавливают калориметр 6, представляющий собой алюминиевый цилиндр, окруженный снаружи теплоизолирующим кожухом. Стержень 5 посредством двух пружин 8 прижимает исследуемый образец к нагревателю, что обеспечивает хороший тепловой контакт между соприкасающимися поверхностями нагревателя, образца и калориметра.

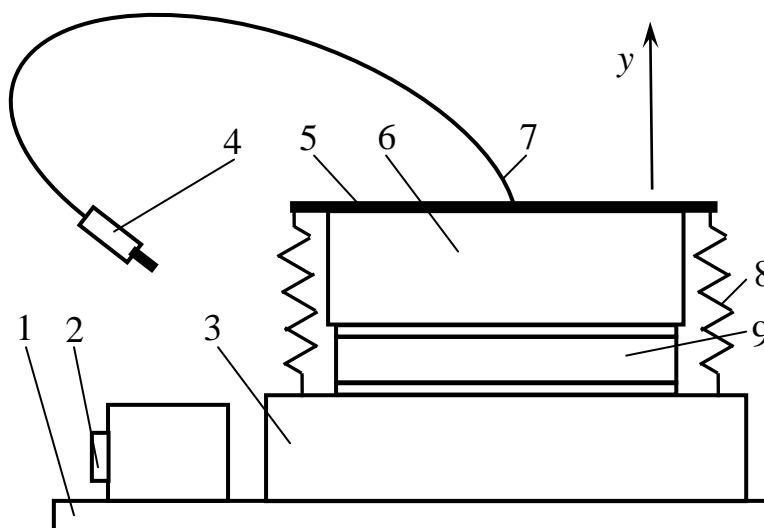


Рис. 8.1. Измерительный модуль

Внутри нагревателя и калориметра установлены датчики температуры, позволяющие определять температуры нижней и верхней поверхностей исследуемых образцов.

* При постановке лабораторных работ № 2.6 и 2.7 использовано оборудование, разработанное НТЦ «Владис» (Московский инженерно-физический институт).

Нагреватель и датчик температуры нагревателя посредством кабеля через разъем 2 подключают к разьему 2 измерительного прибора ИСТ-4К, фрагмент передней панели которого изображен на рис. 8.2 (модификации прибора могут иметь незначительные конструктивные различия элементов управления на передней панели). Датчики температуры калориметра подключают к гнезду 6 измерительного прибора с помощью кабеля 7 и разъема 4.

Измерительный прибор работает от электрической сети напряжением 220 В и включается с помощью тумблера 1. О включении прибора свидетельствует свечение 4-разрядного цифрового индикатора 4. Регулятор напряжения 7 позволят варьировать напряжение, подаваемое на нагреватель измерительного модуля. Включение нагревателя производится с помощью тумблера 8.

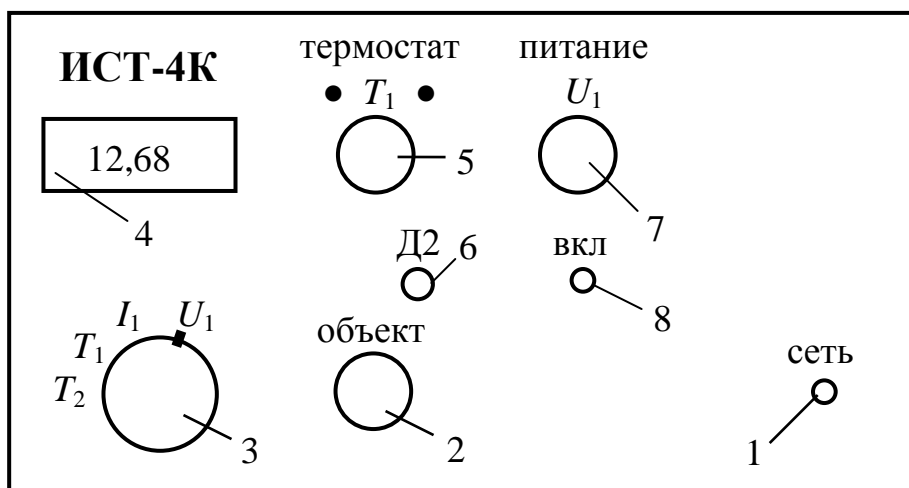


Рис. 8.2. Фрагмент передней панели измерительного прибора ИСТ-4К

Переключатель 3 позволяет устанавливать режимы измерения температуры t_1 на нижней поверхности исследуемого образца, температуры t_2 на его верхней поверхности, силы тока I_1 в нагревателе и напряжения U_1 на нагревателе. Температура измеряется в градусах Цельсия с разрешением $0,1\text{ }^\circ\text{C}$, сила тока – в миллиамперах, напряжение – в вольтах.

Регулятор 5 с индикаторами позволяет устанавливать требуемую температуру нагревателя. Если температура нагревателя меньше

заданной, то светится зеленый индикатор, а если температура нагревателя больше заданной, то светится красный индикатор. В установившемся режиме светятся оба индикатора.

На нагреватель устанавливают исследуемый образец, температура которого меньше температуры нагревателя. При соприкосновении образца с нагревателем температура нижней поверхности образца быстро сравнивается с температурой t_1 нагревателя и в дальнейшем не изменяется, а температура t_2 верхней поверхности образца будет сравнительно медленно возрастать с течением времени. Вследствие высокой теплопроводности алюминиевого калориметра он быстро нагревается и его температуру можно считать приближенно равной температуре верхней поверхности образца.

Толщина b образца, имеющего форму диска, намного меньше его диаметра d , поэтому потерями теплоты через боковую поверхность образца можно пренебречь и считать, что его температура изменяется только вдоль оси y .

В соответствии с законом Фурье за бесконечно малый промежуток времени $d\tau$ через поперечное сечение образца площадью S , перпендикулярное оси y , пройдет количество теплоты

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dy} S d\tau, \quad (8.1)$$

где $\frac{dt}{dy}$ – градиент температуры в направлении оси y , К/м.

Если образец имеет постоянный коэффициент теплопроводности λ , то, как показывает теоретический анализ, через некоторое время после начала нагрева температура образца будет изменяться вдоль оси y по линейному закону. Такой режим нагревания называют регулярным. В случае регулярного теплового режима формулу (8.1) можно записать так:

$$dQ = \lambda \frac{t_1 - t_2}{b} S d\tau. \quad (8.2)$$

Если за бесконечно малый промежуток времени dt температура верхней поверхности образца изменится на бесконечно малую величину dt_2 , то калориметр при этом получит количество теплоты

$$dQ = C dt_2, \quad (8.3)$$

где C – теплоемкость калориметра, Дж/К.

Введем обозначение для разности температур:

$$t_1 - t_2 = \vartheta.$$

Используя это обозначение, формулы (8.2) и (8.3) можно записать так:

$$dQ = \lambda \frac{\vartheta}{b} S d\tau;$$

$$dQ = -C d\vartheta.$$

Приравняем правые части последних двух выражений, выполним разделение переменных и проинтегрируем:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \lambda \frac{S}{bC} d\tau = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} - \frac{d\vartheta}{\vartheta}.$$

После интегрирования выразим коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = \frac{bC}{S(\tau_2 - \tau_1)} \ln \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}, \quad (8.4)$$

где ϑ_1, ϑ_2 – разность температур $t_1 - t_2$ нижней и верхней поверхностей образца соответственно в моменты времени τ_1 и τ_2 .

8.2. Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

8.2.1. Ознакомиться с устройством экспериментальной установки, записать перечень приборов и принадлежностей и их характеристики в отчет о лабораторной работе.

8.2.2. С помощью штангенциркуля измерить толщину b и диаметр d образца диэлектрика, выданного преподавателем, рассчитать площадь S его поперечного сечения. Результаты записать в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Исходные данные

Материал образца	b	d	S

8.2.3. Подсоединить нагреватель, датчики температуры нагревателя и калориметра к измерительному прибору ИСТ-4К и подключить прибор к электрической сети.

8.2.4. Включить нагреватель с помощью тумблера 8 и установить регулятором 7 напряжение в диапазоне 12–18 В.

8.2.5. Регулятором температуры 5 задать температуру 60–70 °С. Требуемая температура установится через 15–20 мин, при этом будут гореть и зеленый и красный индикаторы.

8.2.6. После того, как установится заданная температура, поместить исследуемый образец на нагреватель. На образец установить калориметр и прижать образец к нагревателю посредством стержня с пружинами.

8.2.7. Выполнить измерение температур нижней t_1 верхней t_2 поверхностей образца с промежутком времени 60 с. Полученные данные записать в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты измерений и расчетов

$\tau, \text{с}$	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540
$t_1, \text{°C}$										
$t_2, \text{°C}$										
$\vartheta, \text{°C}$										
$\ln \vartheta$										

8.2.8. Рассчитать для всех опытов разность температур $t_1 - t_2 = \vartheta$ и $\ln \vartheta$. Результаты записать в табл. 8.2.

8.2.9. Построить график зависимости $\ln \vartheta = f(\tau)$. Выделить на графике (рис. 8.3) линейный участок и, используя координаты точек A и B , лежащих на его концах, рассчитать коэффициент теплопроводности образца по формуле (8.4). При малой толщине образца и относительно высоком значении коэффициента его теплопроводности начало прямолинейного участка может находиться на оси ординат.

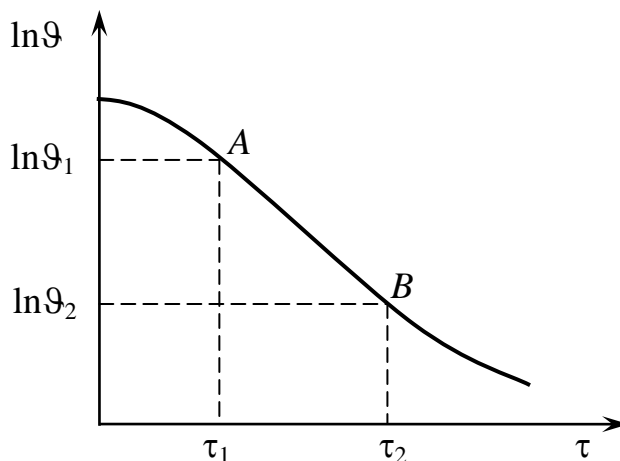


Рис. 8.3. Зависимость $\ln \vartheta = f(\tau)$

8.2.10. Проанализировать полученный результат, сравнив его со справочными данными, приведенными в табл.6 приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Коэффициенты Стьюдента

Число измерений	Доверительная вероятность α				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
3	2,9	4,3	7,0	9,9	32
4	2,4	3,2	4,5	5,8	13
5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,7
6	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	1,8	2,2	2,8	3,2	4,6
12	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
∞	1,6	2,0	2,3	2,6	3,3

Таблица 2

Значения плотности ρ , эффективного диаметра d молекул и динамического коэффициента вязкости η некоторых газов при нормальных условиях

Вещество	ρ , кг/м ³	$d \cdot 10^9$, м	$\eta \cdot 10^5$, Па·с
Азот	1,25	0,37	1,67
Воздух	1,29	–	1,72
Кислород	1,43	0,35	1,92

Таблица 3

Значения коэффициента диффузии D паров этанола (C₂H₅OH) в воздухе при различных температурах t и давлении $p = 1,01 \cdot 10^5$ Па

t , °С	14	16	18	20	22	24	26
$D \cdot 10^5$, м ² /с	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23

Таблица 4

Значения плотности ρ и динамического коэффициента вязкости η воды при различных температурах t и давлении $p = 1,01 \cdot 10^5$ Па

t , °С	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
ρ , кг/м ³	998,2	997,1	995,7	994,1	992,2	990,2	988,1	985,7	983,1	980,5	977,8
$\eta \cdot 10^3$, Па·с	1,004	0,894	0,801	0,722	0,653	0,599	0,549	0,506	0,470	0,435	0,406

Таблица 5

Коэффициенты теплопроводности некоторых металлов

Вещество	Алюминий	Латунь	Бронза	Сталь
λ , Вт/(м·К)	160 – 210	70 – 120	60 – 80	40 – 48

Таблица 6

Коэффициенты теплопроводности некоторых диэлектриков

Вещество	Стекло	Картон	Пенопласт	Текстолит
λ , Вт/(м·К)	0,8 – 1,2	0,14 – 0,35	0,04 – 0,05	0,2 – 0,4