

## Лабораторна робота № 12

### Визначення теплопровідності матеріалів методом пластини

**Зміст роботи.** Визначення методом плоского шару теплопровідності матеріалу з низькою тепловою провідністю і залежності теплопровідності від температури.

**Опис експериментальної установки.** Робоча ділянка (мал. 6.4) складається з двох зразків 1, виконаних у формі дисків завтовшки  $\delta = (5,0 \pm 0,015)$  мм і діаметром  $d = 140$  мм. Зразки поміщені між нагрівачем 3 і двома холодильниками 2. Необхідна густина контакту досліджуваних зразків з відповідними гарячими і холодними поверхнями забезпечується застосуванням болтового пристрою, а також високою чистотою обробки дотичних поверхонь.

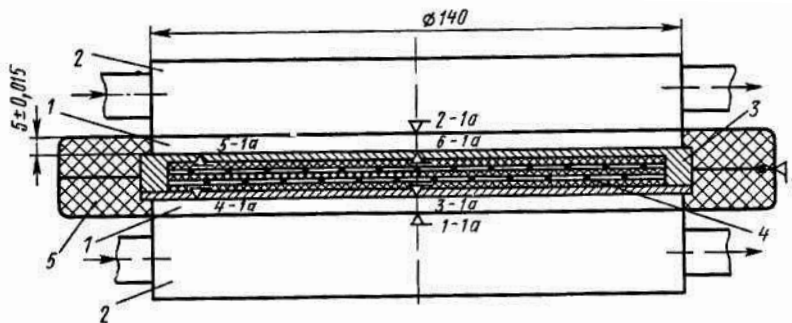
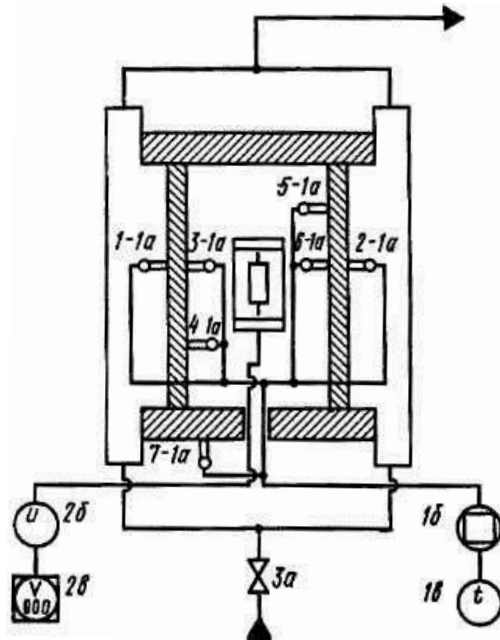


Рис. 6.4 Робоча ділянка установки

Нагрівач 3 з електричним опором  $R = 41,7$  Ом виконано з двох сполучених латунних дисків, один з яких служить кришкою, а інший є циліндром з нагрівальним елементом 4, укладеним на поверхню листового азбесту, який служить електричним ізолятором. Для зниження радіальних теплових втрат нагрівач фіксується по центру теплоізоляційного кожуха 5, заповненого азбоцементом  $[\lambda_{\text{аз}} = 0,092 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})]$ .

Кожух заввишки  $h_k = 22$  мм складається з двох симетричних порожнистих циліндрів із зовнішнім діаметром  $d_k = 140$  мм. У сталому тепловому режимі теплота (за винятком радіальних теплових втрат), що виділяється в нагрівачі, проходить через випробовувані зразки, а потім відводиться водою, що протікає через порожнини двох холодильників. Кожний з холодильників є коробкою з неіржавіючої сталі, що складається з корпусу і кришки. Корпус виконаний у вигляді диска із спіральними канавками для направленої циркуляції води.

Схема вимірювань показана на мал. 6.5. Напруга, що подається на нагрівач регулюється автотрансформатором ЛАТР-2М—2б і вимірюється комбінованим цифровим приладом Щ-4313—2в.



Мал. 6.5. Схема вимірювань

Для вимірювання температури поверхонь зразків використано шість термопар ТХК. Термопари *1-1a* і *2-1a* зачеканені по центру поверхонь холодильників, а решту чотирьох термопар *3-1a*, *6-1a*, *4-1a* і *5-1a* розташовані на поверхнях торців нагрівача. Крім того, встановлена ще одна термопара *7-1a* в центрі бічної поверхні ізоляційного кожуха. ЕРС термопар вимірюється мілівольтметром МВУ6-41А—1в, шкала якого градуйована в °С.

**Порядок проведення досліду.** Після ознайомлення з керівництвом до роботи і короткими відомостями з теорії необхідно перевірити заземлення установки, включити автоматичний вимикач на панелі управління (мал. 6.6) тумблером *1* (спалахує сигнальна лампочка «сеть»), а потім тумблером *5* включити живлення приладу Щ-4313 і перевірити температуру, що показується термопарами. До мілівольтметру *1в* термопари підключаються за допомогою перемикача ПТИ-м-20-1б, ручка якого *7* виведена на панель управління. Термометри, якщо вони справні, зареєструють температуру поміщення  $t_c$ .

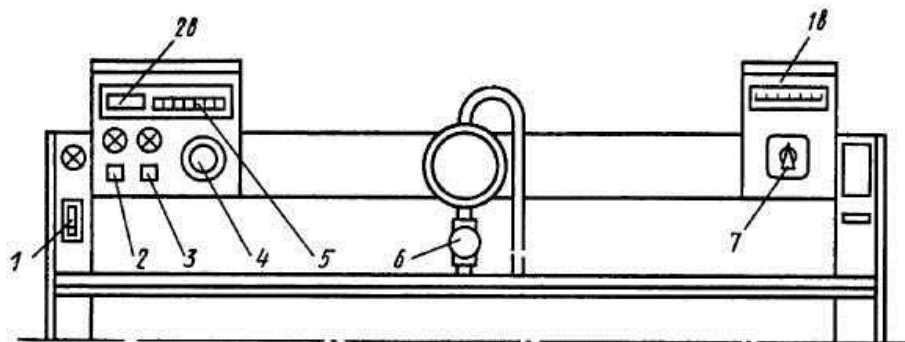


Рис. 6.6 Загальний вигляд установки ТП-5

Після реєстрації температури навколишнього середовища  $t_c$  слід відкрити вентиль охолоджуючої води *б* і переконатися в опусканні поплавця в камері трубопроводу. Потім включити кнопковий вмикач *2* подачі напруги на нагрівальний елемент і ручкою автотрансформатора *4* плавно встановити напругу електронагріву  $U=35$  В, реєстроване приладом Щ-4313—2в.

Через 15 хв. після включення нагріву заміряти температуру не менше 3...4 разів через кожні 5 хв. Перший режим можна закінчити, лише переконавшись в практичній постійності показників всіх датчиків впродовж декількох вимірювань.

Провести вимірювання температур на двох інших режимах  $U=50\text{В}$  і  $U=60\text{В}$ . Виміри на цих режимах слід починати через 15 хв після установки відповідної напруги і проводити їх не менше 15...20хв.

Після закінчення експерименту вимкнути подачу напруги на нагрівач (вимикач 3), прилад Щ-4313—2в, а потім і автоматичний вимикач на панелі управління, після чого закрити вентиль подачі води.

Результати вимірювань записати в журнал спостережень, складений формою:

№ режиму	Напруга U, В	Температура, °С						
		1-го зразка			1-го зразка			Кожуха
		$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$

**Обробка результатів вимірювань.** 1. Використовуючи середні значення результатів вимірювань, підрахувати значення коефіцієнтів теплопровідності для трьох досліджених режимів за формулою

$$\lambda = K(Q - Q_e) / (t_a - t_o), \quad (6.17)$$

де  $K = \delta / (2F)$  — коефіцієнт форми,  $\text{м}^{-1}$ ;  $\delta$  — товщина зразка,  $\text{м}$ ;  $F = \pi d^2 / 4$  — поверхня зразка,  $\text{м}^2$ ;  $Q = U^2 / R$  — тепловий потік від нагрівача,  $\text{Вт}$ ;  $Q_e$  — радіальні теплові втрати,  $\text{Вт}$ ;  $t_a = \sum_{i=1}^3 t_i / 4$  — середня температура поверхні зразків з боку нагрівача,  $\text{К}$ ;  $t_x = (t_1 + t_2) / 2$  — середня температура поверхні зразків з боку холодильника,  $\text{К}$ .

Формула (6.17) одержана із співвідношення (6.2) для плоского шару стосовно робочої ділянки (мал. 6.4), на якому досліджуються відразу два зразки.

Радіальні теплові втрати, що входять в рівняння (6.17), визначаються за формулою

$$Q_e = \alpha_e (\bar{t}_e - t_c) F_e + (t_a - t_x) / 3, \quad (6.18)$$

де  $\alpha_e$  — коефіцієнт тепловіддачі із сторони торцевої поверхні кожуха,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $t_a = 0,13t_{\bar{a}} + 0,09t_{\bar{n}} + 0,73t_x$  — температура кріпильних болтів;  $F_e = \pi (h_e d_e + (d_e^2 - d^2) / 2) = 0,039$  — площа зовнішньої торцевої поверхні кожуха,  $\text{м}^2$ .

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_e$  і розрахункова різниця температур  $\bar{t}_e - t_c$  обчислюються за формулами

$$\alpha_e \approx 3,31 + 0,0024(t_o - t_a); \quad \bar{t}_e - t_c \approx 1,08(t_o - t_c) + 0,08(t_o - t_c) \quad (6.19)$$

де  $t_o - t_c = 0,30(t_a - t_c) - 0,06(t_o - t_c)$ , які одержані на основі аналізу результатів аналітичного рішення задачі стаціонарного двовимірного температурного поля ізоляційного кожуха.

Набуті значення теплопровідності слід відносити до середньої температури  $\bar{t}$  досліджуваного зразка.

2. Визначивши значення  $\lambda$  для трьох режимів, побудувати залежність

$$\lambda = a + b\bar{t} \quad (6.20)$$

3. Визначити матеріал досліджуваних зразків, зіставивши коефіцієнти  $a$  і  $b$  з відповідними значеннями для різних матеріалів:

Матеріал $a$ ,	Вт/(м·К)	$b \cdot 10^4$ , Вт/(м·К <sup>2</sup> )
Азбест ( $\rho = 500$ кг/м <sup>3</sup> )	0,107	1,9
Азбестовий картон	0,157	1,4
Асбослюда	0,134	1,51
Азбоцемент	0,088	1,28
Вермикуліт	0,072	2,9
Повсть шерстяна	0,047	20
Вулканіт ( $\rho = 450$ кг/м <sup>3</sup> )	0,092	1,74
Сталь аустенітного класу	13,8	155

Слід також зіставити експериментальні  $t_7$  і розрахункові  $t_p$  значення температури зовнішньої поверхні в середньому перетині кожуха.

**Оцінка похибок вимірювань.** Відповідно до розрахункової формули (6.17) і залежності (1.21) середньоквадратична помилка визначення теплопровідності підраховується за формулою

$$\delta_\lambda = \pm 100 \left[ \frac{(\Delta Q)^2 + (\Delta Q_e)^2}{(Q - Q_e)^2} + \left( \frac{\Delta \delta}{\delta} \right)^2 + 2 \left( \frac{\Delta d}{d} \right)^2 + 2 \left( \frac{\Delta t}{t_a - t_x} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (6.21)$$

де  $\Delta Q/Q = 2 \Delta U/U + \Delta R/R$  — відносних похибок вимірювання теплового потоку;  $\Delta t = (\Delta t_n^2 + \Delta t_o^2)^{1/2}$  — абсолютна похибка визначення температури;  $\Delta t_n$ ,  $\Delta t_o$  — абсолютні похибка вимірювання температури і похибка тарування термопар відповідно.

Максимальні похибки вимірювань  $\Delta U$ ,  $\Delta t_n$  визначаються класом вимірювальних приладів; максимальну похибка тарування термопар можна прийняти рівною  $\Delta t_o = \pm 0,5$  К, а погрішностями визначення радіальних теплових втрат  $\Delta Q_e$  і електричного опору нагрівача  $\Delta R$  при визначенні помилки вимірювання теплопровідності можна нехтувати.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. За яких умов однозначності одержане рівняння, використовуване для визначення теплопровідності в даній роботі?
2. У чому перевага використовуваної робочої ділянки в порівнянні з ділянкою з одностороннім нагрівом зразка?
3. Дайте загальну характеристику використовуваного методу визначення теплопровідності.
4. Які і з допомогою яких приладів проводяться вимірювання при виконанні роботи?
5. Назвіть основні причини можливих похибок даного експерименту.