

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

УДК 536.2.083.

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ РІДКИХ ТА ПАСТОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ

О Васильківський Ігор, Юсик Ярослав, Николин Григорій, 2008

Національний університет "Львівська політехніка"
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

Розглянуто новий метод вимірювання теплопровідності рідких та пастоподібних матеріалів на основі нової мостової теплової виміральної схеми. Наводиться описання принципової схеми розробленого приладу та результати експериментальних досліджень.

Рассмотрен новый метод измерения теплопроводности жидких и пастообразных материалов на основе новой мостовой тепловой измерительной схемы. Приводится описание принципиальной схемы разработанного прибора и результаты экспериментальных исследований.

In article is examined the new method of measurement of heat conductivity of liquid and paste-like materials on the basis of the new bridge thermal measuring scheme. The description of the basic scheme of the developed device and brought results of experimental researches.

З розвитком потреб сучасного виробництва створюється все більше різноманітних матеріалів, зокрема – рідких та пастоподібних. Часто коефіцієнт теплопровідності є однією із основних характеристик таких матеріалів, що пов'язано із задачами розрахунку теплових режимів, автоматичного контролю та керування багатьма технологічними процесами тощо, тому задача вимірювання цієї величини, підвищення його точності особливо актуальна. Для створення нових, точніших теплофізичних приладівдуже необхідні нові методи вимірювання, які дадуть змогу знизити похибку за рахунок компенсації впливу різноманітних неінформативних параметрів. Відомі методи вимірювання [1, 2], як стаціонарні, так і нестаціонарні, не дають змоги досягти високої точності вимірювання. Стаціонарні – оскільки здебільшого вимірювання абсолютних значень температур або їхніх різниць, і теплових потоків. Нестационарні – недостатньо враховують зміну початкових умов і вплив різноманітних факторів на виконання вимірювання [3].

Нами запропонований метод вимірювання теплопровідності рідких та пастоподібних матеріалів у стаціонарному тепловому режимі із зрівноваженням температур і теплових потоків, що проходять через досліджуваний та стандартний (порівняльний) зразки.

Він дає змогу значно зменшити вплив на результат вимірювання зміни температур джерела і приймача тепла та інших зовнішніх та внутрішніх збурень, що однаково впливають як на досліджуваний, так і на стандартний (порівняльний) зразки.

Розглянемо зрівноважену мостову теплову вимірвальну схему (ЗМТВС), яка реалізує запропонований метод. Схема з'єднання теплових опорів у такій схемі наведена на рис. 1. У схемі використовуються як змінні теплові опори як досліджуваний R_x , так і порівняльний R_e зразки, а також – два однакові опорні зразки із тепловими опорами R_o .

Для цієї ЗМТВС можна записати таку систему рівнянь

$$\begin{cases} F_1 = \frac{T_1 - T_a}{R_o} = \frac{T_a - T_2}{R_x}; \\ F_2 = \frac{T_1 - T_b}{R_o} = \frac{T_b - T_2}{R_e}. \end{cases} \quad (1)$$

Умову рівності теплових потоків ($F_1=F_2$) отримуємо, якщо $DT_{ab}=0$. Розв'язуючи систему рівнянь, одержуємо таке рівняння рівноваги:

$$R_x = R_e. \quad (2)$$

Звідси отримуємо формулу для визначення коефіцієнта теплопровідності досліджуваного зразка:

$$I_x = \frac{l_x}{S_x \left(\frac{l_e}{I_e S_e} \right)} = I_e \cdot \frac{l_x \cdot S_e}{l_e \cdot S_x}, \quad (3)$$

де I_x, I_e – коефіцієнт теплопровідності досліджуваного та стандартного (порівняльного) зразків, відповідно; l_x, l_e – товщина досліджуваного та стандартного (порівняльного) зразків, відповідно; S_x, S_e – площа поперечного перерізу досліджуваного та стандартного (порівняльного) зразків, відповідно.

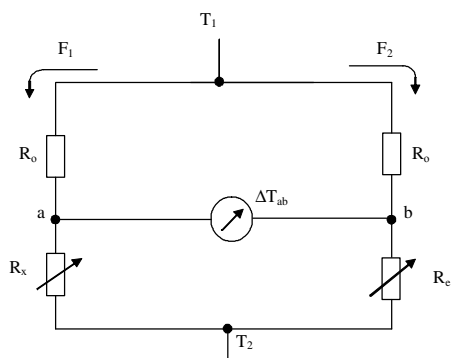


Рис. 1. Схема з'єднання теплових опорів, розподілу теплових потоків та температур у зрівноваженій мостовій тепловій вимірювальній схемі із зрівноваженням зміною теплових опорів досліджуваного і стандартного (порівняльного) зразків

Отже, запропонований метод уможливіє вимірювання коефіцієнта теплопровідності досліджуваного зразка лише за співвідношенням між товщинами досліджуваного і стандартного (порівняльного) зразків, яке визначається за розташуванням джерела теплового потоку відносно стоків тепла, яке можна визначити з високою точністю, оскільки всі інші значення відомі до вимірювань і входять у константу приладу K_{np} :

$$K_{np} = I_e \cdot \frac{S_e}{S_x}. \quad (4)$$

У результаті (3) можна записати у такому вигляді:

$$I_x = \frac{l_x}{l_e} \cdot K_{np}. \quad (5)$$

Принцип роботи розробленого на базі вищенаведеної ЗМТВС приладу для вимірювання теплопровідності рідин та пастоподібних матеріалів ілюструється рис. 2.

Прилад складається з джерела тепла (електро-нагрівача) 1, опорних взірців 2 однакової товщини, температуровирівнювальних пластин 3, в яких вмонтовано спаї диференційної термопари 4, приймачів

тепла 5 і 6, які являють собою достатньо масивні мідні блоки, в яких циркулює рідина постійної температури з термостата 20. У верхній і нижній вимірювальних комірках приладу містяться шар досліджуваної речовини 7 і шар стандартної (порівняльної) речовини 8, відповідно. Диференційна термопара 4 під'єднана до нуля-індикатора 9, наприклад, високочутливого гальванометра. Елементи приладу захищені від теплообміну з навколишнім середовищем теплоізоляційним корпусом, що складається з нерухомої частини 10, на якій закріплені напрямні з рухомою плитою 11, і рухомої частини, що складається із стоку тепла 5 і теплоізоляційного корпусу 12, яка має можливість переміщатись по напрямних за допомогою механізму переміщення 15. Контроль товщини шарів досліджуваної і стандартної (порівняльної) речовин, тобто переміщення рухомих частин корпусу 11 і 12 відносно нерухомої частини 10 здійснюється індикаторами переміщення 16 і 17, сигнали яких надходять на мікропроцесорний пристрій 19. Сюди ж надходить сигнал із задавального пристрою 18, в якому зберігається інформація про введений оператором коефіцієнт теплопровідності стандартної (порівняльної) речовини. В результаті оброблення даних за допомогою мікропроцесорного пристрою 19 отримуємо шукане значення теплопровідності досліджуваної речовини.

Вимірювання здійснюється так. За допомогою механізму переміщення 15 піднімають рухомі частини 11 і 12 корпусу. Заливають певний об'єм досліджуваної рідини у вимірювальну комірку рухомої частини 11 корпусу, а також – еталонної рідини у вимірювальну комірку нерухомої частини 10 корпусу. Вмикають нагрівач 1 і починають опускати за допомогою механізму переміщення 15 рухомі частину 11 і 12 корпусу до занурення температуровирівнювальної пластини 3 у шар стандартної (порівняльної) речовини 8. Після встановлення показів нуля-індикатора поступово опускають в шар досліджуваної речовини 7 за допомогою механізму переміщення 15 рухому частину 12 корпусу приладу доти, доки покази нуля-індикатора у стаціонарному режимі теплопередачі не будуть дорівнювати нулю.

Для градування приладу застосовувався комплект з чотирьох стандартних взірців теплопровідності рідин:

- 1) ПМС – 100 (ТЖ1);
- 2) вазелінове масло (ТЖ2);
- 3) гліцерин (ТЖ3);
- 4) вода дистильована (ТЖ4).

Результати градування приладу для вимірювання теплопровідності рідин та пастоподібних матеріалів при використанні гліцерину як стандартної (порівняльної) речовини відображені на рис. 3.

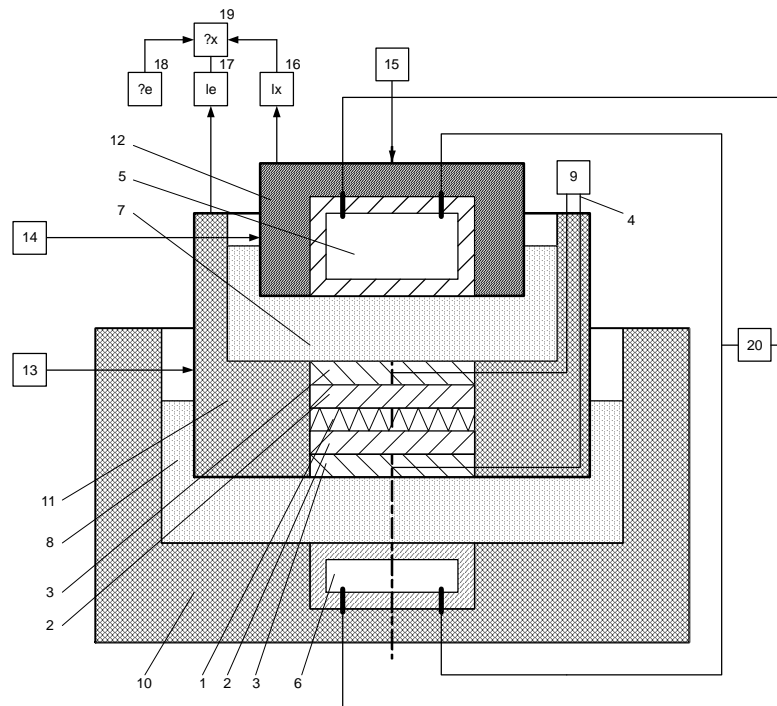


Рис. 2. Принципова схема приладу для вимірювання теплопровідності рідин та пастоподібних матеріалів: 1 – джерело тепла; 2 – опорні взірці; 3 – температуровирівнювальні пластини; 4 – диференційна термопара; 5, 6 – приймачі тепла; 7 – досліджувана речовина; 8 – стандартна (порівняльна) речовина; 9 – нуль-індикатор; 10 – нерухома частина корпусу; 11, 12 – рухомі частини корпусу; 13, 14 – фіксувальні елементи; 15 – механізм переміщення; 16, 17 – індикатори переміщення; 18 – λ_e задавальний пристрій; 19 – мікропроцесорний пристрій; 20 – термостат

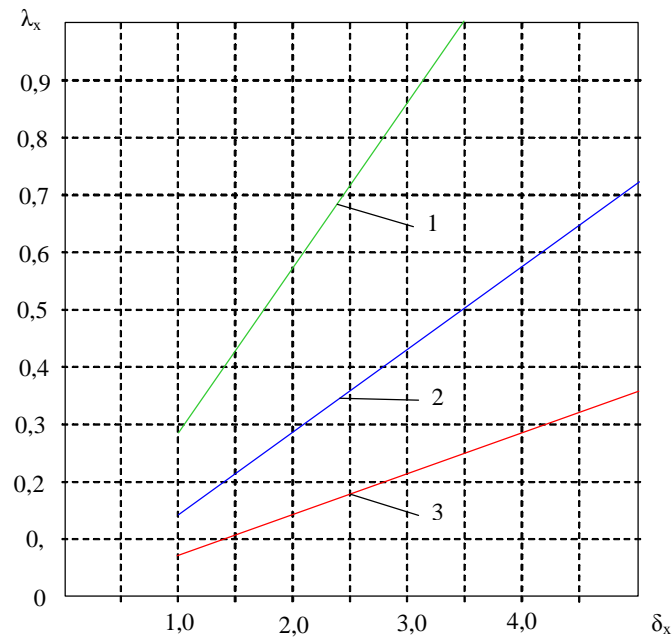


Рис. 3. Градувальні характеристики приладу для вимірювання теплопровідності рідких і пастоподібних матеріалів, при використанні гліцерину як стандартної (порівняльної) речовини, з товщиною шару:

1 – $\delta_e = 1$ мм; 2 – $\delta_e = 2$ мм; 3 – $\delta_e = 4$ мм

Експериментальні дослідження показали, що межа допустимої основної похибки розробленого приладу для вимірювання теплопровідності рідких і пастоподібних матеріалів становить не більше ніж 7 % в діапазоні λ_x від 0,1 до 1,0 Вт/(м·К), при довірчій ймовірності 0,95.

Отже, запропонований метод може знайти широке застосування для розроблення нових приладів для вимірювання теплопровідності рідин та пастоподібних матеріалів з високими метрологічними і функціональними характеристиками.

1. Теплофизические измерения и приборы / Под общей ред. Е.С. Платунова. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1986. – 256 с. 2. Новиченок Л.Н. Методы и приборы для измерения теплопроводности жидких сред/ Тез. докл. ВНТК: Методы и средства теплофизических измерений. – М., 1987. – Ч.1. – С. 70–71. 3. Пистун С.П., Рогоцкий Я.Г., Васильковский И.С. Повышение точности измерения теплопроводности на основе принципа инвариантности // Контрольно-измерительная техника. – Львів.: Вища школа, В-во при Львів. ун-ті, 1989. – Вып.45. – С. 29–32.

УДК 536.2:536.3:536.6:697.34

УНИВЕРСАЛЬНИЙ ПРИБОР ИТ-8М ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Декуша Олег, Воробьев Леонид, Декуша Леонид, 2007

Институт технической теплофизики НАН Украины, Желябова, 2а, Киев, Украина

teplomer@ukr.net

Розглянуто теоретичні основи створення приладу для експрес-вимірювань теплопровідності будівельних та ізоляційних матеріалів. Принцип роботи приладу заснований на методі локальної теплової дії на поверхню зразка. Розглянутий вплив контактної теплової опору і коефіцієнта теплообміну на поверхні зразка на результат вимірювань. Наведено основні технічні характеристики розробленого приладу.

Рассмотрены теоретические основы создания прибора для экспресс-измерений теплопроводности строительных и изоляционных материалов. Принцип работы прибора основан на методе локального теплового воздействия на поверхность образца. Рассмотрено влияние контактного теплового сопротивления и коэффициента теплообмена на поверхности образца на результат измерений. Приведены основные технические характеристики разработанного прибора.

Theoretical bases of device creation for expressmeasurements of heat conductivity of build and isolatings materials are considered. Principle of work of device is based on the method of the local thermal affecting surface of specimen. Influence of contact thermal resistance and heat-transfer coefficient is considered on-the-spot specimen on the result of measurings. Basic technical descriptions of the developed device are resulted.

Необходимость экономного отношения к энергии и энергоресурсам вызвала увеличение спроса на теплоизоляционные материалы. Для контроля их качества можно использовать не только дорогостоящие стационарные приборы, цикл измерения в которых составляет от нескольких часов до нескольких суток, но и приборы – тестеры, позволяющие определять коэффициент теплопроводности за 5...30 мин., доступные по цене как производителю, так и потребителю строительных материалов. Таким средством,

позволяющим определять теплопроводность твердых, пористых, волокнистых и сыпучих материалов, является прибор ИТ-8М, разработанный в ИТТФ.

Работа прибора основана на закономерностях теплообмена в полуограниченном теле при локальном тепловом воздействии на его поверхность известным тепловым потоком. Основная теоретическая зависимость [1, 2], положенная в основу метода, имеет вид:

$$J(r, z) = \frac{q \cdot r_{ППП}}{l} \cdot I(r, z), \quad (1)$$