

І. Васильківський, Я. ЮсикНаціональний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ НОВОЇ МОСТОВОЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ НЕПОВНОГО ЗРІВНОВАЖЕННЯ

© Васильківський І., Юсик Я., 2013

Наведені теоретичні основи побудови вимірювального перетворювача теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів на основі нової мостової теплової вимірювальної схеми неповного зрівноваження, наводиться опис принципової схеми розробленого перетворювача та результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: теплопровідність, мостова тепла вимірювальна схема, нова конструкція теплопровідного елемента.

In article brought theoretical motivation of building of measuring converter heat conductivity building and heat isolation material on base new bridge thermal measuring scheme, as well as brought description of the basic scheme of the developed measuring converter and results of experimental researches.

Key words: thermal conductivity, the bridged thermal measuring circuit, new design heat-conducting element.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими практичними завданнями

Основними складовими похибок вимірювання теплопровідності у відомих розробках теплофізичних приладів є похибки вимірювання температур, їх різниць та теплових потоків. Крім того, на точність вимірювання теплопровідності впливають неінформативні параметри, такі, як: контактні теплові опори, температури джерела та приймачів тепла, втрати тепла з бокових поверхонь елементів, температурна залежність теплопровідності, відтоки тепла по електродах термопар тощо [1, 2].

Побудова приладів на основі зрівноважених мостових методів дозволить підвищити точність вимірювання теплофізичних характеристик матеріалів за рахунок компенсації впливу вищеперелічених неінформативних параметрів на результат вимірювань, що своєю чергою дасть змогу розширити діапазон вимірювання, а також, внаслідок спрощення вимірювальної схеми, значно підвищити надійність і зменшити собівартість приладів, які реалізують ці методи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основою для розроблення вимірювального перетворювача теплопровідності будівельних матеріалів було запропоновано використовувати мостову теплову вимірювальну схему (ТВС) з послідовним включенням досліджуваного і еталонного зразків та теплопровідним елементом, який виконаний у вигляді К паралельно з'єднаних теплопровідних елементів, у кожен з яких вмонтовано по N спаїв диференційної термопари [3].

Вимірювання теплопровідності проводили так. Переміщували точку вимірювання температури по осі теплопровідного елемента до тих пір, поки не знаходили мінімальну різницю температур між цією точкою та областю контакту досліджуваного і еталонного зразка. При цьому за вимірюваною різницею температур, номером теплопровідного елемента та положенням точки по осі пакета пластин однорідного теплопровідного елемента за допомогою градуювальних характеристик визначали коефіцієнт теплопровідності.

Слід зауважити, що ця схема має деякі недоліки. Так, монтування багатьох спаїв у теплопровідний елемент ускладнює конструкцію, вносить значні збурення в розподіл температур внаслідок втрат тепла через електроди тощо. Також важко прогнозувати теплові опори теплопровідного елемента через велику кількість контактних теплових опорів, які виникають під час монтажу спаїв.

Мета дослідження – створення на базі розроблених нами методологічних підходів [4] нової мостової ТВС неповного зрівноваження та розроблення вимірювального перетворювача теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів з новою конструкцією теплопровідного елемента.

Виклад основного матеріалу

Запропоновано основою для розроблення вимірювального перетворювача теплопровідності будівельних і теплоізоляційних матеріалів мостову ТВС неповного зрівноваження з послідовним включенням досліджуваного і еталонного зразків. Схема з'єднання теплових опорів в такій схемі наведена на рис. 1.

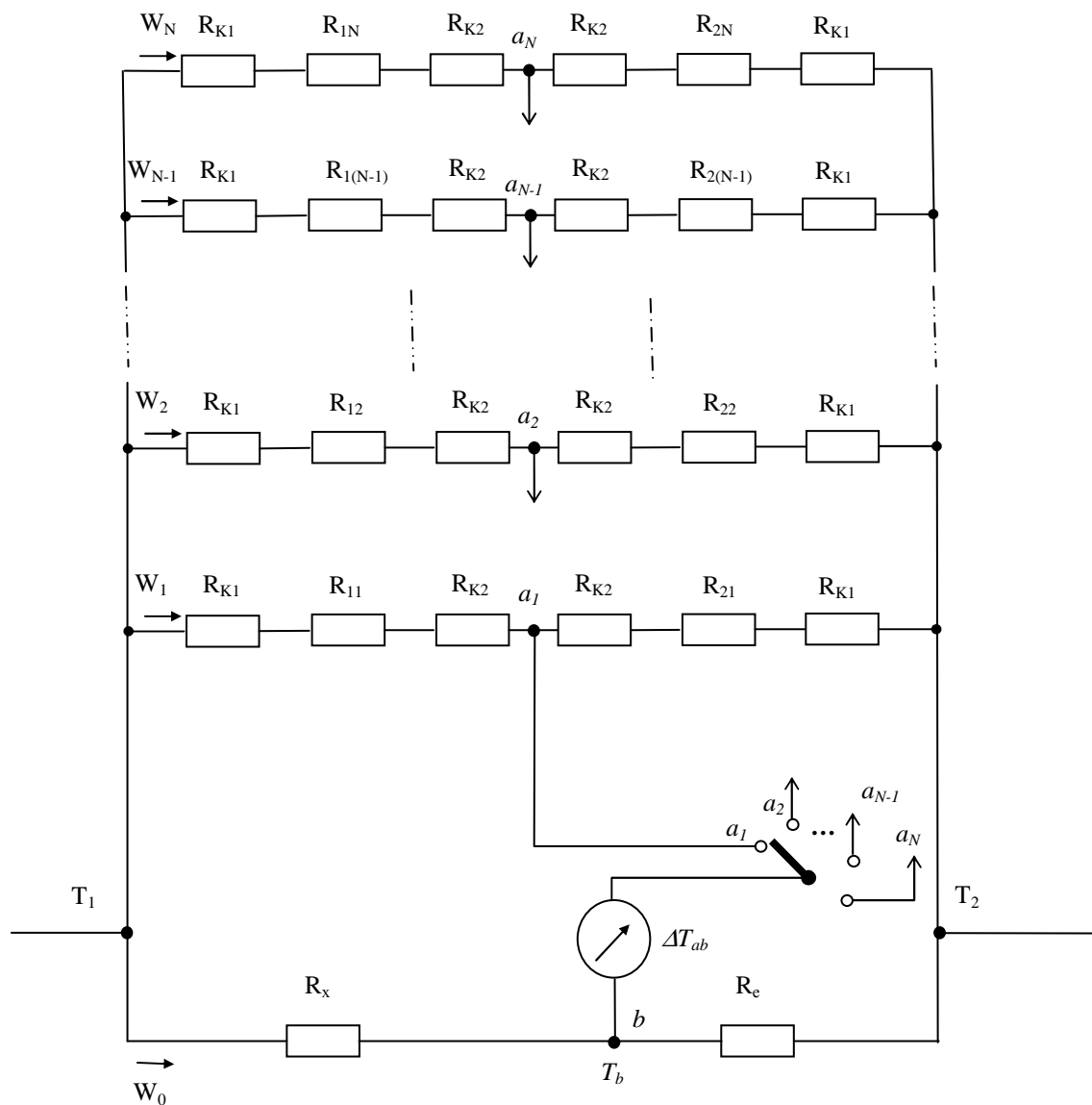


Рис. 1. Схема з'єднання теплових опорів та розподілу теплових потоків і температур у розробленій мостовій ТВС, де: $\Delta T_{12} = T_1 - T_2$ – різниця температур джерела і приймача тепла; $\Delta T_{ab} = T_a - T_b$ – різниця температур у вимірювальній діагоналі; R_x, R_e – теплові опори досліджуваного, еталонного зразків, відповідно; R_{K1}, R_{K2} – контактні теплові опори на кінцях теплопровідних елементів і в місці монтажу давачів температури, відповідно; $R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1N}$ – теплові опори частин теплопровідних елементів, які примикають до джерела тепла; $R_{21}, R_{22}, \dots, R_{2N}$ – теплові опори частин теплопровідних елементів, які примикають до приймача тепла, $W_0, W_1, W_2, \dots, W_N$ – теплові потоки в різних гілках мостової схеми

У пропонуваній схемі на відміну від попередньої [3] пропонується виконати теплопровідний елемент у вигляді N паралельно з'єднаних теплопровідних елементів, у кожен з яких вмонтовано по одному спаю диференційної термопари, які по чергово комутуються зі спаєм цієї термопари, розміщеним між досліджуваним і опорним взірцями.

Кожен теплопровідний елемент забезпечує певну точку рівноваги:

перший

$$\left(\frac{R_x}{R_e} \right)_1 = \frac{R_{K1} + R_{11} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{21} + R_{K2}} = a_1,$$

другий

$$\left(\frac{R_x}{R_e} \right)_2 = \frac{R_{K1} + R_{12} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{22} + R_{K2}} = a_2,$$

($N-1$) - й

$$\left(\frac{R_x}{R_e} \right)_{N-1} = \frac{R_{K1} + R_{1(N-1)} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{2(N-1)} + R_{K2}} = a_{N-1},$$

N - й

$$\left(\frac{R_x}{R_e} \right)_N = \frac{R_{K1} + R_{1N} + R_{K2}}{R_{K1} + R_{2N} + R_{K2}} = a_N.$$

(1)

Введемо такі позначення: діапазон вимірювання, забезпечуваний вимірювальним перетворювачем

$$\frac{R_{x \max}}{R_{x \min}} = \frac{a_1}{a_N} = D \quad (2)$$

$$\text{відношення } \frac{a_1}{a_2} = \frac{a_2}{a_3} = \dots = \frac{a_{N-1}}{a_N} = d$$

Можна записати:

$$d^N = D,$$

де N – кількість теплопровідних елементів

Звідси можна знайти необхідну кількість теплопровідних елементів:

$$N = \lg D / \lg d. \quad (3)$$

Оскільки в цій схемі теплопровідний елемент і досліджуваний зразок перебувають у різних гілках, то їх розміри і теплопровідність можуть значно відрізнятись. Тому ця схема є перспективною для розроблення на її основі вимірювального перетворювача теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів.

На основі цієї ТВС розроблений вимірювальний перетворювач теплопровідності будівельних матеріалів в діапазоні від 0,03 до 1 Вт/(м·К).

Проведемо розрахунок конструктивних параметрів розглядуваного перетворювача теплопровідності будівельних матеріалів.

Необхідний діапазон вимірювання, забезпечуваний вимірювальним перетворювачем, прийемо $D = 16$. Це більше ніж можуть забезпечити наявні вимірювальні перетворювачі теплопровідності [3]. Відношення d виберемо на рівні 1,1, оскільки це дозволить проводити вимірювання з достатньою точністю. Тоді з (3) знайдемо необхідну кількість теплопровідних елементів $N = 29,1$. Прийемо $N = 29$. Враховуючи це, уточнимо відношення $d = 1,1003 \approx 1,1$.

Матеріалом для теплопровідного елемента вибрано нержавіючу сталь 12Х18Н10Т з теплопровідністю $\lambda_p = 14,68 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, при 300 К. З конструктивних міркувань, вибираємо робочу довжину кожного теплопровідного елемента 30 мм, діаметр – 16 мм. Тепловий опір цієї робочої довжини $R_p = l_p / (\lambda_p \cdot S_p)$ при 300 К становитиме 10,16 К/Вт. Значення контактних опорів $R_{K1} + R_{K2}$ впливають на загальний тепловий опір теплопровідного елемента. Експериментально визначено, що $R_{K1} + R_{K2} = 1,6 \text{ К/Вт}$.

Спаї диференційної термопари в теплопровідних елементах монтувалися в однакових температуровирівнюючих пластинах. Товщини частин для першого і останнього теплопровідних елементів становлять 26,8 і 3,2 мм, для другого і передостаннього 26,2 і 3,8 мм і т.д.

Принципова схема розробленого перетворювача показана на рис. 2.

Теплові потоки в теплопровідних колах перетворювача задаються джерелом тепла 1. Між джерелом тепла 1 і приймачем тепла 2 розміщено досліджуваній 3 та еталонний 4 зразки, розділені температуровирівнюючою пластиною 5, в яку вмонтовано спай диференційної термопари 6. Бокові поверхні зразків захищені від теплообміну з навколишнім середовищем захисними пластинами 7. Між джерелом тепла 12 і приймачем тепла 11 розміщено теплопровідні елементи. Бокова поверхня теплопровідних елементів захищена від теплообміну з навколишнім середовищем теплоізоляційним кожухом 13. У теплопровідні елементи вмонтовано другий спай диференційної термопари 9. Частини теплопровідної комірки фіксуються за допомогою корпусу 14. Температури джерел тепла 1 і 12 і приймачів тепла 2 і 11 задають та підтримують за допомогою рідинних термостатів відповідно 15 і 16. Щоб сигнал диференційної термопари 6 дорівнював нулю, його контролюють за допомогою нуль-індикатора 17.

Джерела і приймачі тепла виконані у вигляді проточних камер, в яких циркулюють теплоносії заданої температури з відповідних термостатів.

Вимірювання проводять так. Вмикають термостати 15 і 16, забезпечуючи тим самим циркуляцію теплоносіїв у відповідних камерах.

Встановлюють досліджуваній зразок 3 на температуровирівнюючу пластину 5 і притискають його згори джерелом тепла 1.

Спаї диференційної термопари 6 через перемикач теплопровідних елементів 8 та перемикачі термопар теплопровідних елементів 9 по чергово під'єднують до нуль-індикатора 17 до тих пір, поки не визначать мінімальну різницю температур між областю контакту досліджуваного зразка 3 і еталонного зразка 4 та точкою по осі одного із теплопровідних елементів. При цьому за вимірною різницею температур та номером теплопровідного елемента (в нашому випадку $N=29$) за допомогою градувальних характеристик визначають коефіцієнт теплопровідності.

Досліджуваній зразок матеріалу 3 виконується у вигляді пластин з поперечними розмірами 250x250 мм і товщиною від 10 до 50 мм.

Розглядуваній перетворювач працює в комплекті з двома рідинними термостатами, які задають температуру вимірювання, та мікровольтметром з ціною поділки 1 мкВ і менше.

Враховуючи заданий діапазон вимірювання, для градування вимірювального перетворювача використовувався набір зразків, виготовлених з органічного скла, дані про теплопровідність якого прогнозовані з високою точністю $\pm 3 \%$ [5], з однаковими поперечними розмірами 250x250 мм, але з різною товщиною. Враховуючи геометричні розміри міри теплопровідності, виготовленої із зразкового матеріалу (зразкової міри теплопровідності), її можна розглядати як зразкову міру теплового опору.

Апробація вимірювального перетворювача проводилась під час вимірювання теплопровідності пінобетонів з різними наповнювачами в процесі їх виготовлення. Залежно від умов, за яких проводилось спінування, і виду наповнювача можна отримати пінобетон з різними технічними (теплоізоляційними) характеристиками. Під час аналізу зміни теплопровідності отриманого пінобетону залежно від різних факторів, виявлялись закономірності їх впливу і

надавались рекомендації для створення матеріалу з найнижчою теплопровідністю. Використання цього перетворювача дало змогу підібрати такий склад компонентів, при якому досягнуте значення теплопровідності пінобетону було в межах 0,065 – 0,072 Вт/(м·К).

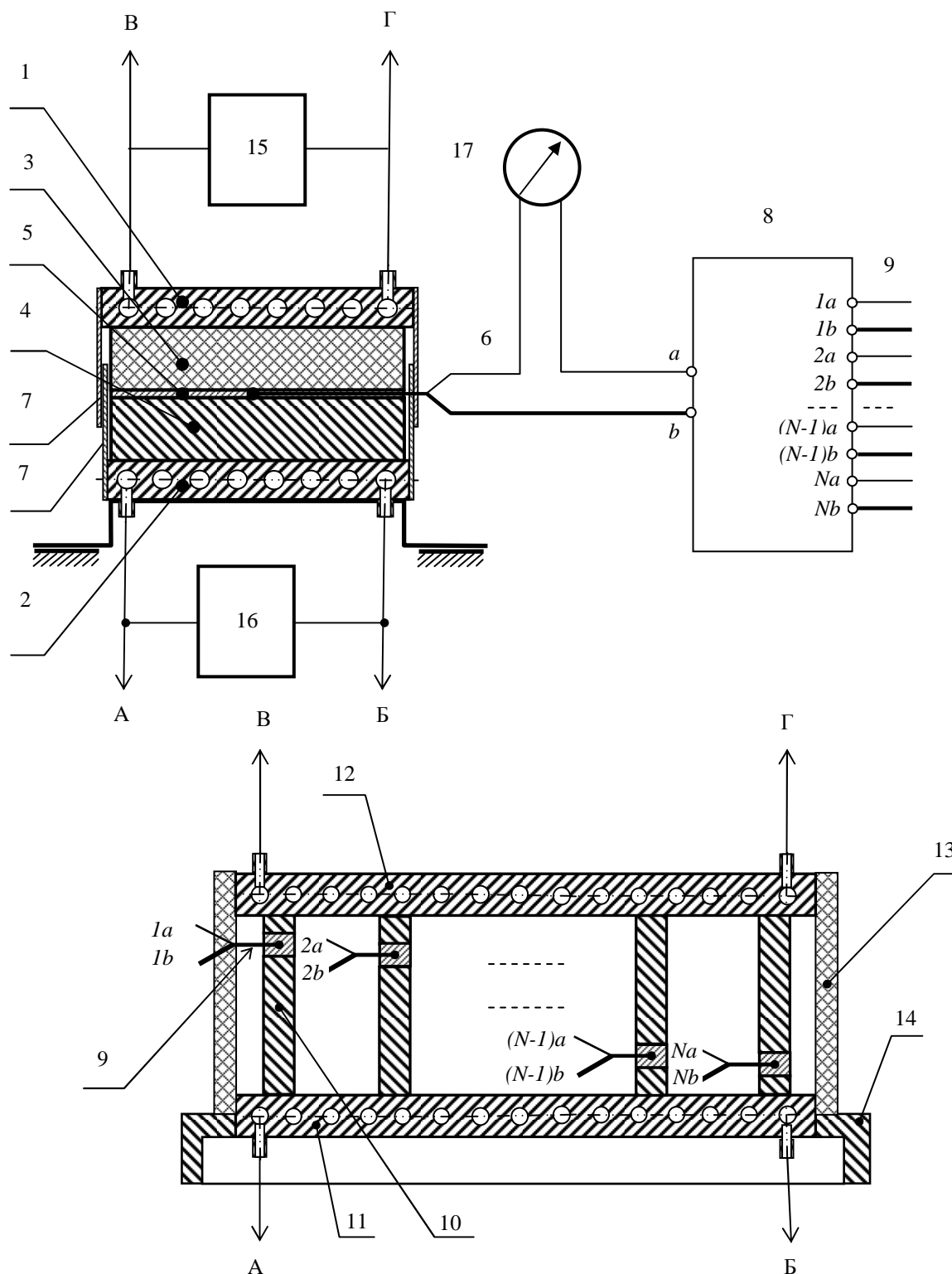


Рис. 2. Принципова схема вимірального перетворювача теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів у діапазоні від 0,03 до 1 Вт/(м·К): 1 – джерело тепла; 2 – приймач тепла; 3 – досліджуваний зразок; 4 – еталонний зразок; 5 – температуровирівнююча пластина; 6 – диференційна термопара; 7 – захисні пластини; 8 – перемикач спайв диференційної термопари; 9 – спайв диференційної термопари; 10 – теплові опори теплопровідного елемента; 11 – приймач тепла; 12 – джерело тепла; 13 – теплоізоляційний кожух; 14 – корпус; 15, 16 – термостати; 17 – нуль-індикатор

Висновки

Отже, розроблення вимірювального перетворювача теплопровідності на основі мостової ТВС неповного зрівноваження з використанням нової конструкції теплопровідного елемента, який виконано у вигляді N паралельно з'єднаних теплопровідних елементів, в кожен з яких вмонтовано спай диференційної термопари, усуває необхідність вимірювання абсолютних значень температур та їх різниць, теплових потоків, що проходять через зразки, зменшує вплив зовнішніх збурень на результат вимірювання, що своєю чергою дає змогу значно підвищити точність вимірювання та розширити діапазон вимірювання.

Крім того, вимірювальний перетворювач, розроблений на основі нової мостової ТВС, значно простіший і технологічніший за конструкцією, дозволяє зменшити час вимірювання порівняно з попередньою розробкою.

1. Геращенко О.А., Грищенко Т.Г. Приборы для теплофизических измерений / Каталог. – К., 1991. 2. Теплофизические измерения и приборы / Под общей ред. Е.С. Платунова. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение., 1986. 3. Васильківський І.С., Юсик Я.П. Вимірювальний перетворювач теплопровідності будівельних матеріалів на основі нової мостової теплової схеми неповного зрівноваження // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація”. – Львів, 2010. – № 677. – С. 121–128. 4. Васильківський І.С., Юсик Я.П. Температурометричні мостові схеми для вимірювання теплофізичних характеристик // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація”. – Львів, 2008. – №617. – С. 108–117. 5. ДСТУ 2568-94. Метрологія. Порядок атестації і використання довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів. – К.: Держстандарт України, 1994.