

Аналіз вищенаведених метрологічних характеристик показує, що відносна похибка нелінійності витратоміра в діапазоні витрат від 2,5 до 50 л/год не перевищує 0,5 %, а похибка квантування – 0,01 %. Адитивна та мультиплікативна похибки перетворення, викликані можливими змінами в'язкості, не перевищують 0,5 % від максимальних показів приладу. Одержані результати свідчать про високу точність та стабільність показів запропонованого витратоміра автомобільного палива в заданому діапазоні витрат.

Висновки. Запропоновано можливий варіант реалізації витратоміра автомобільного палива на базі турбінного витратоміра з аксіальною турбінкою, що поєднує високі метрологічні характеристики з порівняною простотою конструкції. З метою дослідження та оцінки основних метрологічних характеристик запропонованого приладу було використано розклад функції перетворення витратоміра в ряд Тейлора. В результаті цього дослідження було підтверджено високу точність та стабільність показів витратоміра в діапазоні витрат від 2,5 до 50 л/год.

1. Колосюк Д.Г. Використання та економія матеріалів і ресурсів на автомобільному транспорті. – К.: Вища шк., 1998. – 215 с. 2. Френкель Б.А. Микрорасходомеры для нефтехимических производств // Расчет и конструирование расходомеров. – 1978. – С. 169–173. 3. Семенов И., Савельев И., Коноплев В. Электронный расходомер жидкости // Радио. – 1986. – № 1. – С. 15–16. 4. Кремлёвский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1975. – 776 с. 5. Бобровников Г.В., Камышев Л.А. Теория и расчет турбинных расходомеров. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 128 с. 6. Поджаренко В.О., Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Сердюк Г.В. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. – Вінниця, 2001. 7. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Поджаренко В.О. Оцінка статичних метрологічних характеристик опосередкованих вимірювань. // Вісн. Вінницьк. політехн. ін-ту. – 2002. – № 2. – С. 12–17. 8. Поджаренко В.А., Кухарчук В.В. Измерения и компьютерно-измерительная техника: Учеб. пособие – К.: УМК ВО, 1991. – 240 с. 9. Гурский Д., Турбина Е. Вычисления в Mathcad 12. – СПб.: Питер, 2006. – 544 с.

УДК 536.2.083.

І.С. Васильківський, Я.П. Юсик

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

АЛГОРИТМІЧНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

© Васильківський І.С., Юсик Я.П., 2007

Запропоновано застосувати для розробленого приладу для вимірювання теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів алгоритм обробки вимірювальної інформації методом вимірювальних матриць, а саме – проводити визначення теплового опору досліджуваного зразка за співвідношенням теплових потоків в різних гілках вимірювальної схеми.

In given article it is offered to apply to the developed device for measurement of heat conductivity building and heat-insulated materials algorithm of processing of the information a method of measuring matrixes, namely to carry spend definition of thermal resistance of a researched sample on a ratio of thermal streams in different branches of the measuring circuit.

Постановка проблеми. Принципи побудови гідродинамічних вимірювальних перетворювачів на основі дросельних матриць можуть бути застосовані для розв'язання задач контролю найрізноманітніших фізико-механічних та гідродинамічних характеристик рідин [1]. Такі вимірю-

вальні перетворювачі, що будуються на базі дросельних матриць, мають більші можливості порівняно з іншими вимірювальними перетворювачами, оскільки в них наявне одночасно і послідовне і паралельне включення дросельних елементів, наявні спільні входи чи виходи дросельних елементів. Використавши аналогію між процесами переносу тепла та протікання середовища в дросельних (капілярних) елементах, ці методологічні підходи можна застосувати і для визначення теплофізичних характеристик матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запропоновано метод вимірювання теплопровідності матеріалів з низькою теплопровідністю на основі мостової теплової вимірювальної схеми та розроблено на основі цього методу прилад для вимірювання теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів [2]. У цьому приладі тепловий опір досліджуваного зразка визначається шляхом вимірювання різниці температур між різними точками гілок вимірювальної схеми.

Мета роботи – застосувати для розробленого приладу алгоритм обробки інформації методом вимірювальних матриць, який реалізований в гідродинамічних перетворювачах, а саме – проводити аналіз температур не тільки між гілками, але й у плечах вимірювальної схеми і тим самим розширити можливості приладу.

Розглянемо мостову вимірювальну схему, яка лежить в основі побудови приладу. Схему з'єднання теплових опорів в ній показано на рис. 1.

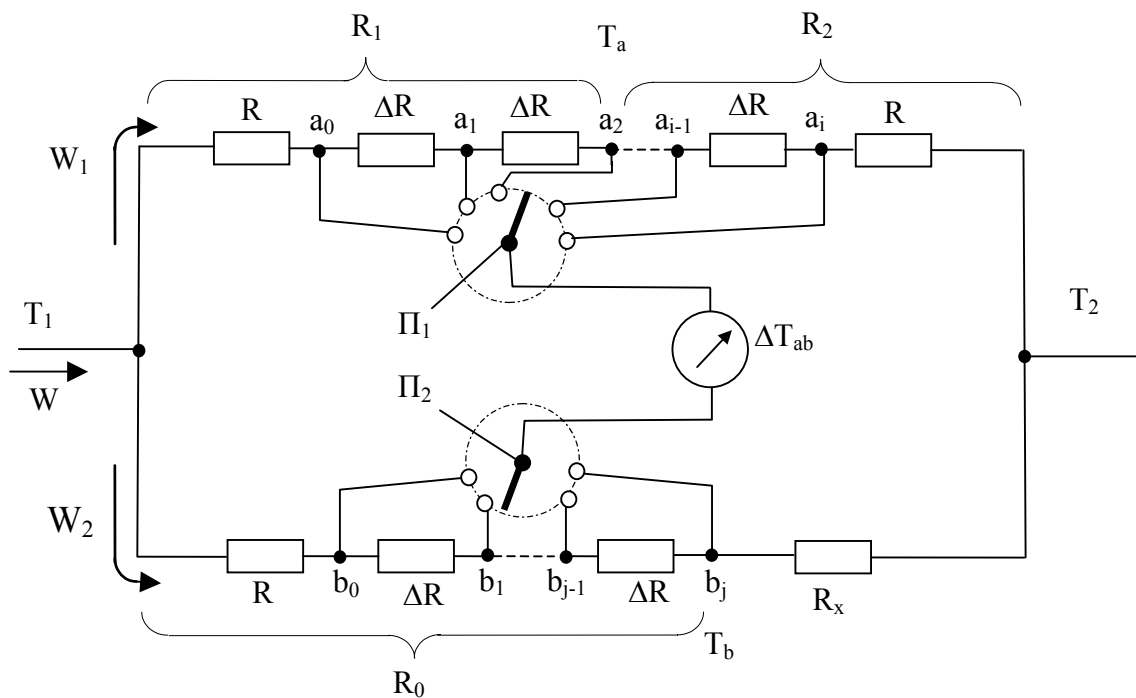


Рис. 1. Схема з'єднання теплових опорів в мостовій вимірювальній схемі розробленого приладу

Тепловий потік W , який проходить через теплопровідну ланку, визначається відомою формулою [3, 6]

$$W = \frac{\Delta T}{R}, \quad (1)$$

де ΔT – перепад температур, який виникає на теплопровідній ланці з тепловим опором R .

Загальна кількість тепла W , яка виділяється джерелом тепла, поділяється між гілками вимірювальної схеми (залежно від їх теплових опорів) на два теплові потоки W_1 і W_2 :

$$W = W_1 + W_2. \quad (2)$$

Запишемо рівняння теплових потоків для обох гілок вимірювальної схеми:

$$\begin{cases} W_1 = \frac{T_1 - T_2}{R_1 + R_2} = \frac{T_1 - T_2}{2R + i \cdot \Delta R}, \\ W_2 = \frac{T_1 - T_2}{R_0 + R_x} = \frac{T_1 - T_2}{R + j \cdot \Delta R + R_x}, \end{cases} \quad (3)$$

де T_1 – температура джерела тепла; T_2 – температура приймачів тепла; T_a, T_b – температури у вимірювальній діагоналі; R_x – тепловий опір досліджуваного зразка; $R_0 = R + k \cdot \Delta R$, $R_1 = R + n \cdot \Delta R$, $R_2 = R + (i-n) \cdot \Delta R$ – теплові опори елементів вимірювальної схеми; n, k – кількість теплових опорів ΔR для кожного плеча вимірювальної схеми, які залежать від положення перемикачів Π_1 і Π_2 відповідно, причому: $n = 0 \dots i$; $k = 0 \dots j$.

Відношення теплових потоків W_1 і W_2 можна виразити такою формулою:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{R_x + R_0}{R_1 + R_2} = \frac{R_x + R_0}{R_C}, \quad (4)$$

де $R_C = R_1 + R_2$ – сумарний тепловий опір верхньої гілки вимірювальної схеми.

Після нескладних перетворень можна записати формулу для визначення теплового опору досліджуваного зразка:

$$R_x = \varphi \cdot R_C - R_0, \quad (5)$$

де $\varphi = W_1 / W_2$.

Враховуючи, що R_0 і R_C – постійні теплові опори, які знаходяться при градуванні взірцевими мірами і є константами приладу, визначення теплового опору досліджуваного взірця зводиться до знаходження відношення теплових потоків φ .

Для визначення теплових потоків в різних гілках вимірювальної схеми і їх співвідношення φ використовуються сигнали диференційних термопар, зведені у таку матрицю:

$$\Delta T_{ab} = \begin{pmatrix} \Delta T_{a_0b_0}; \Delta T_{a_0b_1}; \dots; \Delta T_{a_0b_k}; \dots; \Delta T_{a_0b_j} \\ \Delta T_{a_1b_0}; \Delta T_{a_1b_1}; \dots; \Delta T_{a_1b_k}; \dots; \Delta T_{a_1b_j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta T_{a_nb_0}; \Delta T_{a_nb_1}; \dots; \Delta T_{a_nb_k}; \dots; \Delta T_{a_nb_j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta T_{a_ib_0}; \Delta T_{a_ib_1}; \dots; \Delta T_{a_ib_k}; \dots; \Delta T_{a_ib_j} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де $\Delta T_{a_0b_0}; \dots; \Delta T_{a_nb_k}; \dots; \Delta T_{a_ib_j}$ – різниці температур між точками $a_0, \dots, a_n, \dots, a_i$ і точками $b_0, \dots, b_k, \dots, b_j$ (рис. 1).

З формули (1) можна записати:

$$W_1 = \frac{\Delta T_{a_0a_1}}{\Delta R} = \dots = \frac{\Delta T_{a_{n-1}a_n}}{\Delta R} = \dots = \frac{\Delta T_{a_{i-1}a_i}}{\Delta R} = \frac{\Delta T_{a_0a_i}}{i \cdot \Delta R}, \quad (7)$$

$$W_2 = \frac{\Delta T_{b_0b_1}}{\Delta R} = \dots = \frac{\Delta T_{b_{n-1}b_n}}{\Delta R} = \dots = \frac{\Delta T_{b_{j-1}b_j}}{\Delta R} = \frac{\Delta T_{b_0b_j}}{j \cdot \Delta R},$$

де $\Delta T_{a_0a_1}; \dots; \Delta T_{a_{n-1}a_n}; \dots; \Delta T_{a_{i-1}a_i}; \Delta T_{a_0a_i}$, а також $\Delta T_{b_0b_1}; \dots; \Delta T_{b_{n-1}b_n}; \dots; \Delta T_{b_{j-1}b_j}; \Delta T_{b_0b_j}$ – різниці температур на теплових опорах ΔR в різних гілках вимірювальної схеми (рис. 1), які визначаються через різниці між рядками або стовпчиками матриці (6) відповідно.

Конструктивну схему приладу для вимірювання теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів показано на рис. 2.

Теплові потоки в теплопровідних колах приладу задаються джерелом тепла 1. Між джерелом тепла 1 і приймачами тепла в одній гілці вимірювальної схеми розміщено теплопровідний елемент

3, в іншій гілці – зразок опорного матеріалу 4, виконаний у вигляді змінного теплового опору, а також зразок 5 досліджуваного матеріалу. Теплопровідний елемент 3 та опорний зразок 4 набрані у вигляді пакета пластин, між якими вмонтовано спаї диференційних термопар 6. Термопари через комутуючий пристрій 7 почергово приєднуються до вторинного приладу 8. Нижній приймач тепла 2, зразок 3, електричний нагрівач 1 та зразок 4 з'єднані між собою стаціонарно. Досліджуваний зразок 5 розміщується на зразку 4 і притискається верхнім приймачем тепла 2. Бокові поверхні теплопровідного кола захищені від теплообміну з навколишнім середовищем теплоізоляційними екранами 9. Температуру нижнього і верхнього стоків тепла 2 задають та підтримують за допомогою рідинного термостата 10.

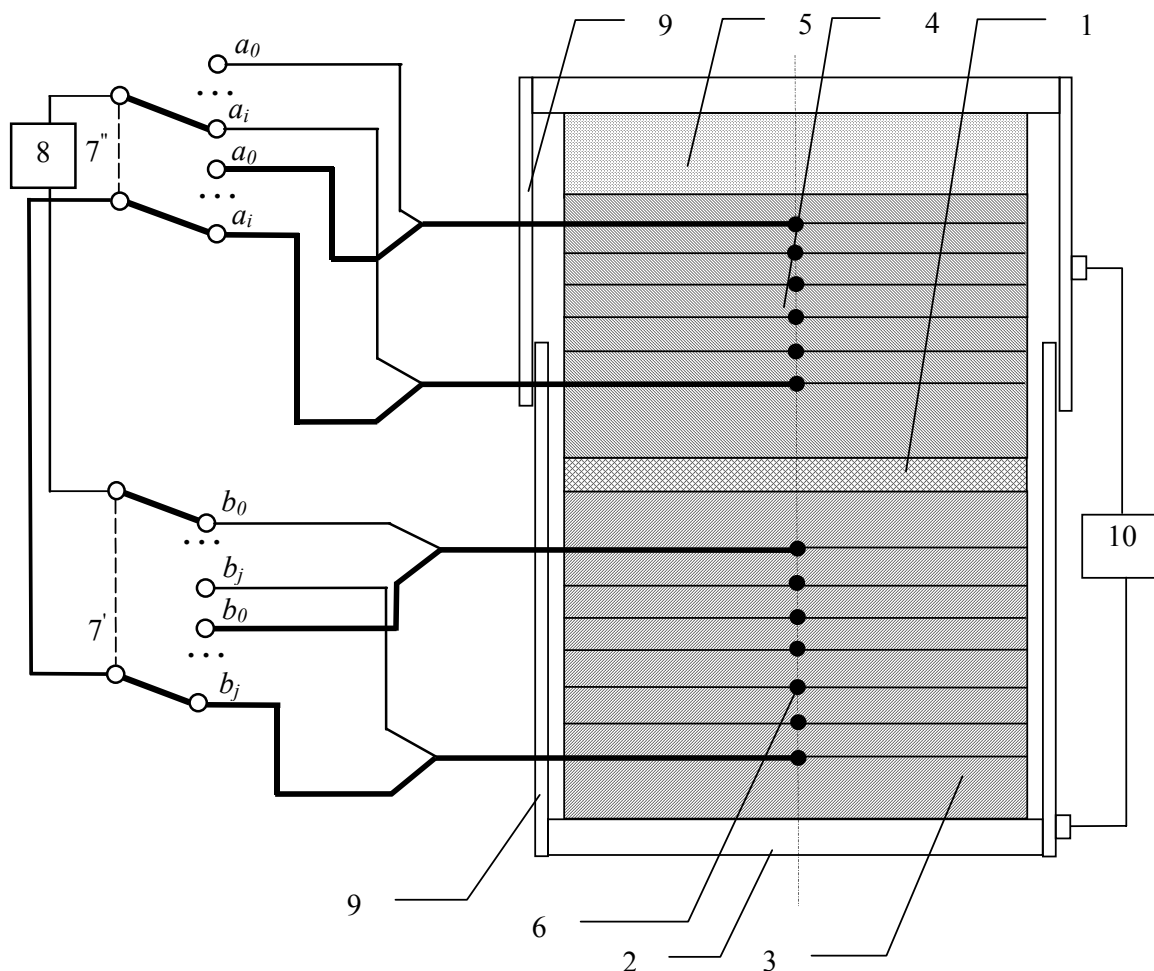


Рис. 2. Конструктивна схема приладу для вимірювання теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів:

1 – джерело тепла; 2 – приймачі тепла; 3 – теплопровідний елемент; 4 – опорний зразок; 5 – досліджуваний зразок; 6 – диференційні термопари; 7', 7'' – перемикачі пристрою комутації термопар; 8 – вторинний прилад; 9 – теплоізоляційні екрани; 10 – рідинний термостат

Досліджуваний зразок матеріалу виконується у вигляді пластини з поперечними розмірами 250×250 мм і завтовшки від 10 до 50 мм.

Для побудови градувальних характеристик використовувався набір зразків, виготовлених з однакового матеріалу – органічного скла, теплопровідність якого добре вивчена і прогнозована з високою точністю [4, 5], розмірами 250×250 мм з різними товщинами (6, 9, 12, 29, 40, 50 мм) і відповідно з різними тепловими опорами $R_{гр}$. В результаті експериментів отримано ряд експериментальних точок ($R_{гр}$; φ), наведених в таблиці.

$R_{гр}, \text{К/Вт}$	0,4677	0,7877	0,9764	2,3385	3,2821	4,0275
φ	0,2929	0,3485	0,4292	0,6023	0,7114	0,8738

Використовуючи як математичну модель формулу (5), проведено обробку експериментальних даних методом найменших квадратів. В результаті отримано константи приладу: $R_c = 6,5282$; $R_0 = 1,6181$ і залежність, за якою визначається R_x :

$$R_x = 6,5282 \cdot \varphi - 1,6181.$$

Результати експериментальних досліджень і графічний вид залежності показано на рис. 3

Отже, запропоновано проводити визначення теплового опору досліджуваного взірця за співвідношенням теплових потоків в різних гілках вимірювальної схеми, що здійснюється обробкою даних від існуючих датчиків температури згідно з рівнянням (7).

Теплопровідність досліджуваного зразка розраховують з отриманого значення теплового опору R_x за формулою [6]

$$\lambda_x = \frac{\delta_x}{R_x \cdot S_x},$$

де δ_x, S_x – товщина, площа поперечного перерізу досліджуваного зразка відповідно.

Апробація методики проводилась під час вимірювання теплопровідності пінобетонів з різними наповнювачами під час 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 найбільш низькою теплопровідністю. Використання цього приладу дало змогу підібрати такий склад компонентів, за якого досягнуте значення теплопровідності пінобетону було в межах 0,065 – 0,072 Вт/(м·К).

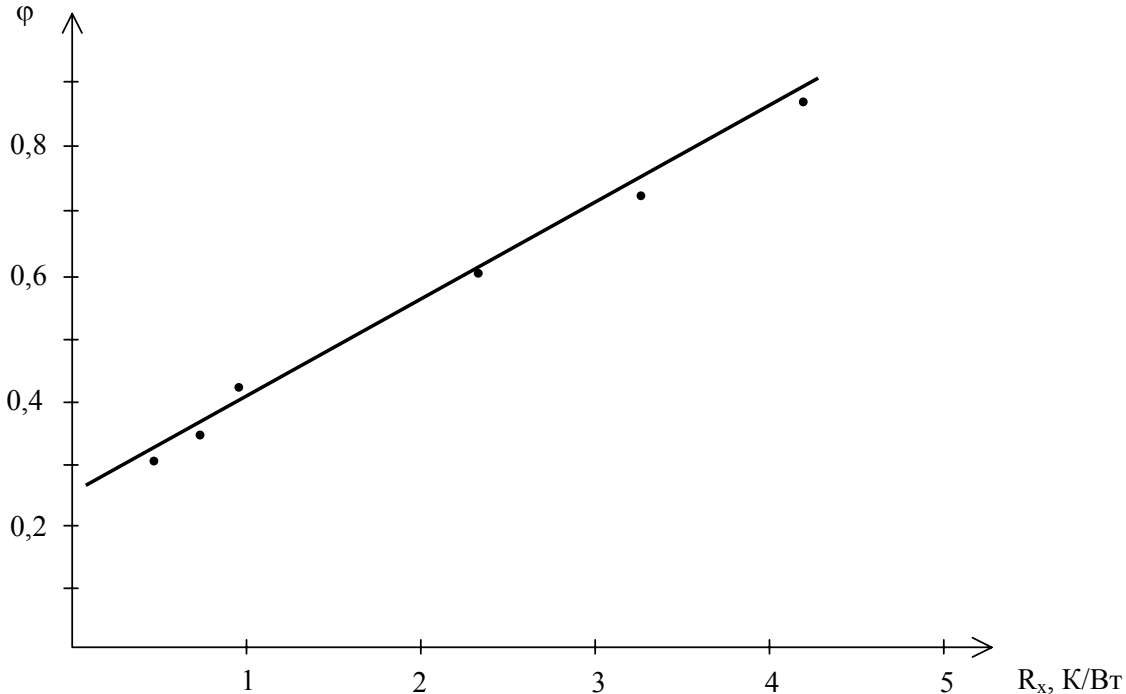


Рис. 3. Графічний вид залежності для визначення теплового опору досліджуваного взірця R_x через відношення теплових потоків в гілках вимірювальної схеми φ

Крім того, проводились вимірювання коефіцієнта теплопровідності багатьох матеріалів, а саме: пінополістиролу, гіпсокартону тощо.

В результаті отримані значення теплопровідності, Вт/м·К:	
пінополістирол	0,036
гіпсокартон	0,22,

що відповідає даним, наведеним в [7].

Висновки. Отже, запропонований алгоритм обробки інформації методом вимірювальних матриць дасть можливість підвищити точність вимірювання теплопровідності, оскільки в результаті проведення одного експерименту отримуємо паралельно шукане значення R_x як за методикою [2], так і за алгоритмом, наведеним у цій роботі

1. Пістун Є.П., Крих А.Б. Принципи побудови гідродинамічних вимірювальних перетворювачів на базі дросельних матриць // *Методи та прилади контролю якості.* – Івано-Франківськ.: Вид-во “Простір-М”, 2000. – Вип. 5. – С. 56–59. 2. Васильківський І.С., Юсик Я.П. Метод вимірювання теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів // *Вимірювальна техніка та метрологія: Міжвідомчий науково-технічний збірник.* – Львів: Вид-во при Львів. ун-ті. – Вип. 64. – С. 119–122. 3. *Теплофизические измерения и приборы / Под общей ред. Е.С. Платунова.* – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с. 4. *Сергеев О.А. Метрологические основы теплофизических измерений.* – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 154 с. 5. ДСТУ 2568- 94. *Метрологія. Державна служба стандартних довідкових даних України. Основні положення.* – К.: Держстандарт України, 1994. 6. Крейт Ф., Блек У. *Основы теплопередачи.* – М.: Мир, 1983. – 346 с. 7. Хоменко В.П., Фаренюк Г.Г. *Справочник по теплозащите зданий.* – К.: Будівельник, 1986. – 216 с.

УДК 539.3

Г.Т. Сулим, С.Р. Сіверс, Р.І. Байцар

Львівський національний університет імені Івана Франка,
кафедра механіки,
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

ВИМІРЮВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОВЕРХНІ ТОРЦЯ СТРИЖНЯ ГОПКІНСОНА

© Сулим Г.Т., Сіверс С.Р., Байцар Р.І., 2007

Методом одноразового поздовжнього удару кульки зі стрижнем Гопкінсона виміряно імпульсне переміщення поверхні торця стрижня. Подано результати обчислень та вимірювань параметрів ударного навантаження та характеристик імпульсу переміщення поверхні торця стрижня.

The measuring impulse superficial butt displacement of the rod Hopkinson is made with method on-once longitudinal impact of ball and rod. The results of calculation and investigation of the parameters impact loading and haracteristic of impulse superficial butt displacement are presented.

Постановка проблеми. Проблеми динамічних вимірювань все частіше розглядаються у роботах з метрологічного забезпечення наукових досліджень, техніки і виробництва. У створенні нових конструкційних матеріалів і їх використанні для вимірювання динамічних властивостей за стиску стрижень Гопкінсона знайшов найширше застосування [1, 3–5]. Це викликало необхідність вдосконалення вже відомого методу вимірювання малих переміщень у стрижні Гопкінсона за ударного навантаження ємнісним методом.