

УДК 687.174:687.016

ЛУЦКЕР Т.В., КОЛОСНІЧЕНКО М.В., ОСТАПЕНКО Н.В.,  
ВИННИЧУК М.С.

Київський національний університет технологій та дизайну

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО ОПОРУ З ПІДВИЩЕНОЮ ТОЧНІСТЮ ВИМІРЮВАНЬ

**Мета.** Розробка способу визначення теплового опору текстильних матеріалів з підвищеною точністю вимірювань.

**Методика.** Застосовано теоретичні основи теорії теплопередачі (теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням) через багатошарові анізотропні тіла та вимірювання параметрів багатофункціональними термосенсорами.

**Результати.** Розвинуто теоретичні основи процесу визначення теплофізичних характеристик матеріалів і пакетів одягу.

**Наукова новизна.** Отримано вираз для розрахунку теплового опору пакета матеріалів спеціального одягу та запропоновано функціональну схему для реалізації запропонованого методу.

**Практична значимість.** Запропонований спосіб визначення теплового опору пакетів матеріалів спеціального одягу використано для проведення експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** пакет матеріалів, тепловий опір, підвищення точності вимірювань.

**Вступ.** Відомо [1-4], що теоретичною основою сучасних методів визначення теплофізичних характеристик текстильних матеріалів і пакетів одягу є теорія теплопровідності. В методах прямих вимірювань теплофізичні характеристики досліджуються за реакцією на тепловий вплив, якому піддається зразок у спеціально організованому експерименті. Структура температурного відклику суттєво залежить від геометрії тіла, функціонального виду теплового впливу, а також від стадії теплового процесу.

**Постановка завдання.** Внаслідок того, що коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  пакетів матеріалів характеризує теплопередачу через шари пакету [1] не лише теплопровідністю, але і конвекцією через повітряні прошарки, пори. Тому тепловий опір пакету матеріалів  $R_T$  визначається як відношення величини товщини пакету  $\delta$  та еквівалентного коефіцієнта теплопровідності  $\lambda_E$ . Аналітичний розрахунок теплового опору пакету матеріалів за теплопровідністю його шарів представляє велику складність, так як теплофізичні коефіцієнти не проявляють властивості адитивності. У зв'язку з цим оцінка теплового опору пакету матеріалів переважно визначається експериментально з використанням різних методів, заснованих на формуванні направленого теплового потоку через пакет матеріалів і вимірюванні його різниці. При цьому втрати тепла, які важко зменшити за допомогою теплоізолюючих прокладок, засипок, радіаційних екранів тощо, є немінучими. Розрахунковий спосіб не дозволяє в повній мірі врахувати вплив втрат тепла. Тому похибка виміру теплового опору пакету матеріалів досягає 7 – 8% при використанні розрахункової формули:

$$R_T = \frac{\Delta T \cdot S}{J^2 \cdot R}, \quad (1)$$

де  $\Delta T$  – вимірний перепад температури;

$S$  – площа пакету, що нагрівається;

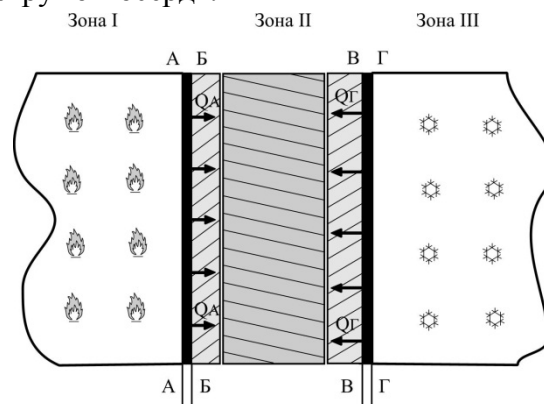
$J$  – змінний струм через нагрівач;

$R$  – опір нагрівача.

Виникає необхідність створення способу визначення теплового опору пакету матеріалів одягу з метою підвищення точності вимірювань.

**Результати дослідження.** Відомо, що спеціальний одяг має багат шарову структуру. Для його виготовлення використовуються пакети з визначеним призначенням шарів текстильних матеріалів, різних по структурі, властивостям і призначенню, між якими є повітряні прошарки. Оскільки теплопередача через шари пакета одягу (враховуючи відносно малі повітряні прошарки) здійснюється за законом теплопровідності, то їх теплоізоляційний ефект оцінюють величиною теплового опору. Фізична модель процесу визначення теплового опору представлена на рис. 1. В сучасній техніці використовується велика кількість матеріалів, фізичні властивості і умови експлуатації яких надзвичайно різноманітні. Їх теплофізичні властивості досліджують при різних тисках, в широкому діапазоні температур, тому, різноманітними є мета, умови та вимоги до точності вимірювань [1].

Введення операцій по охолодженню осердя, протилежного до осердя, що нагрівається постійним струмом, який пропускають через термоелектричний охолоджувач, встановлення оптимального струму охолодження по мінімальній температурі осердя дозволяє збільшити тепловий потік через пакет матеріалів при тому ж самому його тепловому опорі. Вимірювання температури охолодженого осердя, збільшення постійного струму через термоелектричний охолоджувач і подальше відновлення температури осердя, що нагрівається, до первинного значення зменшенням змінного струму через нагрівач стабілізує рівень теплових втрат у доквілля і збільшує направлений тепловий потік через пакет матеріалів. В результаті збільшення теплового потоку зростає температура охолодженого постійним струмом осердя.



**Рис. 1.** Фізична модель процесу визначення теплового опору пакету матеріалів: зона I – елемент, що нагріває; зона II – дослідний пакет матеріалів, що складається з матеріалу верху, теплоізолюючої прокладки, підкладки; зона III – елемент, що охолоджує; А – А – зовнішня поверхня електронагрівача; Б – Б – зовнішня поверхня пакету матеріалів; В – В – внутрішня поверхня пакету матеріалів; Г – Г – зовнішня поверхня термоелектричного охолоджувача

Ступінь зменшення охолодження осердя фіксують виміром збільшеної температури осердя. Вимір початкового змінного струму нагріву і його зменшеного значення, вимір початкової і збільшеної температури охолоджуваного осердя дозволяє обчислити тепловий опір пакету матеріалів без впливу неминучих теплових втрат, що сприяє підвищенню точності процесу визначення теплового опору пакету матеріалів при знижених вимогах до рівня теплових втрат у довкілля.

Температура охолодження залежить від значення постійного струму, оскільки поряд з поглинанням теплоти за рахунок ефекту Пельтьє безпосередньо в спаях термоелектродів відбувається і виділення теплоти Джоуля у самих термоелектродах і її вступ в спаї за рахунок теплопровідності термоелектродів. Тому електрична потужність  $W_x$ , яка перетвориться безпосередньо в холод, визначається виразом:

$$W_{\delta} = p \cdot I - k \cdot I^2 \cdot r, \quad (2)$$

де  $p$  – коефіцієнт Пельтьє матеріалів термоелектродів;  $I$  – постійний струм через термоелектроди;  $r$  – опір термоелектродів;  $k$  – коефіцієнт, що враховує частку теплоти Джоуля, яка надходить у спаї термоелектродів.

Оптимальний струм охолодження  $I_0$ :

$$I_0 = \frac{p}{2 \cdot k \cdot r} \quad (3)$$

Тому рівняння теплового балансу подано у вигляді:

$$W_H \cdot \frac{S \cdot (T - T_1)}{R_T} = W_H'' \cdot \frac{S \cdot (T - T_2)}{R_T}, \quad (4)$$

де  $S$  – площа пакета матеріалів між осердями;  $R_T$  – тепловий опір пакета матеріалів;  $T$  – температура охолодженого осердя;  $T_1$  – первинна температура нагрітого осердя;  $T_2$  – первинна температура охолодженого осердя.

Таким чином, вираз можна подати у вигляді:

$$R_T = \frac{S \cdot (T_2 - T_1)}{(J_1^2 - J_2^2) \cdot R}, \quad (5)$$

де  $R$  – опір електронагрівача;  $J_1$  – початковий встановлений змінний струм електронагрівача;  $J_2$  – зменшений змінний струм електронагрівача.

При невеликому охолодженні осердя (до 10°C) струми нагріву  $J_1$  і  $J_2$  близькі по значенням. Тому вираз (4) має вигляд:

$$R_T = \frac{S \cdot (T_2 - T_1)}{(J_1 - J_2) \cdot (J_1 + J_2) \cdot R}, \quad (6)$$

Запропонована розрахункова формула (6) не потребує виміру градієнта температур у дослідному пакеті матеріалів, визначення якого ускладнено через неминучу нестабільність і неідентичність характеристик термодатчиків, вмонтованих в осердях.

Тому, запропоновано фізичну модель процесу визначення теплового опору пакету матеріалу одягу, згідно якої дослідний пакет розміщують між двома металевими осердями,

одне з яких нагрівають пропусканням змінного струму через вмонтований електронагрівач, створюють стаціонарний тепловий потік між осердями, вимірюють змінний струм електронагрівача і визначають тепловий опір по формулі. Після нагріву одне з осердь охолоджують інше осердя пропусканням постійного струму через вмонтований термоелектричний охолоджувач до мінімальної температури осердя, після виміру електронагрівача та температури у обох осердях, збільшують постійний струм через термоелектричний охолоджувач, фіксують збільшення температури нагрітого осердя, зменшують змінний струм електронагрівача до досягнення первинної температури нагрітого осердя, вимірюють встановлений змінний струм нагріву і збільшену відносно первинної температуру охолодженого осердя, а тепловий опір пакету матеріалів визначимо за такою формулою [5]:

$$R_T = \frac{S \cdot (T_2 - T_1)}{2 \cdot (J_1 - J_2) R \cdot J_1} \quad (7)$$

Отже, використання запропонованого процесу визначення теплового опору пакетів матеріалів одягу підвищить точність вимірювань і спростить методику вимірювань для забезпечення теплозахисних властивостей одягу в агресивному середовищі.

**Висновки.** Розвинуто теоретичні основи процесу визначення теплофізичних характеристик матеріалів і пакетів одягу та поставлено завдання щодо створення термоелектричного. Теоретично обґрунтовано фізичну модель процесу визначення теплового опору пакета матеріалів, що сприяє підвищенню точності і спрощенню вимірювань теплозахисних характеристик спеціального одягу, що експлуатується в агресивному середовищі. Отримано вираз для розрахунку теплового опору пакета матеріалів спеціального одягу та запропоновано функціональну схему для реалізації запропонованого методу. Новизну означеного рішення підтверджено патентом України на корисну модель.

#### Список використаної літератури

1. Платунов Е. С. Теплофизические измерения и приборы / Е. С. Платунов и др. – Л.: Машиностроение, 1986. – 255 с.
2. Високоточні вимірювання багатофункціональними термосенсорами: навч. посібник / Д.Б. Головка, В.О. Дубровний, Ю.О. Скрипник, та ін. – К.: «Либідь», 2000. С. 185 – 187.
3. Термоелектричні прилади контролю: навч. посібник / В.П. Гондюл, Д.Б. Головка, Ю.О. Скрипник, та ін. – К.: «Либідь», 1994. – С. 175 – 184.
4. Термоелектричні термометри та їх метрологічне забезпечення: навч. посібник / [М.П. Березненко, Ю.О. Скрипник, Г.І. Хімичова та ін.]. – К.: ІСДО, 1994. – С. 173 – 180.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ИЗМЕРЕНИЙ

ЛУЦКЕР Т.В., КОЛОСНИЧЕНКО М.В., ОСТАПЕНКО Н.В., ВИННИЧУК М.С.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Разработка способа определения теплового сопротивления текстильных материалов с повышенной точностью измерений.

**Методика.** Применены теоретические основы теории теплопередачи (теплопроводностью, конвекцией, радиацией) через многослойные анизотропные тела и измерения параметров многофункциональными термосенсорами.

**Результаты.** Развито теоретические основы процесса определения теплофизических характеристик материалов и пакетов одежды.

**Научная новизна.** Получено выражение для расчета теплового сопротивления пакетов материалов специальной одежды и предложено функциональную схему для реализации метода.

**Практическая значимость.** Предложенный способ определения теплового сопротивления пакетов материалов специальной одежды использовано для проведения экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** пакет материалов, тепловое сопротивление, повышение точности измерений.

## THEORETICAL GROUND OF PHYSICAL MODEL OF PROCESS OF DETERMINATION OF THERMAL RESISTANCE WITH THE BEST EXACTNESS OF MEASURING

LUTSKER T., KOLOSNIICHENKO M., OSTAPENKO N., VYNNYCHUK M.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Development of method of determination of thermal resistance of textile materials with enhanceable exactness of measuring.

**Method.** Theoretical bases of theory of heat transfer (by heat conductivity, convection, radiation) are applied through multilayered anisotropic bodies and measuring of parameters multifunction touch controls.

**Results.** Theoretical Bases of process of determination of thermophysical descriptions of materials and packages of clothing are developed.

**Scientific innovation.** Expression is got for the calculation of thermal resistance of packages of materials of the special clothing and a functional diagram is offered for realization of method.

**The practical value.** The offered method of determination of thermal resistance of packages of materials of the special clothing is used for realization of experimental researches.

**Keywords:** package of materials, thermal resistance, improve accuracy in measurement.