

УДК 658.562:677.017

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ СИСТЕМИ «ВЗУТТЯ-ДОВКІЛЛЯ»

Теличко Б. І., Абумаїліх М. М., Зінько Р. В.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

**Мета.** Розроблення методики і створення лабораторного стенду для дослідження теплофізичних властивостей матеріалів легкої промисловості.

**Методика.** Аналіз методик дослідження, конструкцій стендів, вибір за критерієм складності-ефективність.

**Результати.** Розроблено методику і створено стенд невеликої складності для визначення теплопровідності матеріалів.

**Наукова новизна.** Представлення стаціонарними способами експериментального визначення теплопровідності на прикладі методу необмеженого плоского шару.

**Практична значимість.** Стенд з використанням запропонованої методики дає можливість досліджувати: матеріали з різними теплофізичними і експлуатаційними характеристиками; матеріали різної структури і товщини; пакети матеріалів; двовісно орієнтовані матеріали у вигляді масивних листів.

**Ключові слова:** методики дослідження, лабораторний стенд, легка промисловість, теплофізичні властивості матеріалів, матеріали різної структури

Велике значення теплозахисних властивостей взуття, що випускається взуттєвою промисловістю, полягає у використанні її впродовж значної частини року в умовах низьких температур довкілля, причому не лише в зонах холодного клімату, але і в зонах відносно помірною клімату нашої країни. До того ж, як встановлено проведеними дослідженнями, при дії низьких температур на організм людини його стопи особливо схильні до відмороження: відмороження ніг складає за одними даними 66-99% усіх випадків відморожень, за іншими даними – 77,5-92 % [1].

Взуття, спроектоване з урахуванням кліматичних особливостей, розширить зону комфорту, підвищить працездатність, а в окремих випадках збереже від деяких захворювань.

На комфортність стопи при захисті її від низьких температур багато в чому впливає і низ взуття. Питання про теплозахисні властивості взуттєвих матеріалів низу взуття, призначених для використання в умовах знижених температур, залишається недостатньо дослідженим, а кількість розробок, що дають рекомендації для удосконалення і розширення асортименту утеплювальних матеріалів дуже мало. Тому необхідна проста методика розрахунку теплозахисних властивостей конструкції низу взуття, що враховує

властивості матеріалів, залежно від конкретних умов експлуатації. Аналогічні розрахунки слід виконувати і для взуття, експлуатованого в районах з жарким кліматом.

### ***Постановка завдання***

Для створення простої методики компонування і розрахунку низу взуття (підосви) необхідно визначити умови комфортності для стопи, чинники, що впливають на теплозахисні властивості взуття, методи і стенди для їх оцінки.

У загальному комплексі гігієнічних властивостей взуття важливе місце займають теплозахисні властивості, завдяки яким підтримується нормальна температура стопи.

У нормальних умовах температура поверхні стопи повинна знаходитися в межах 19-33°C [1]. Підвищення температури поверхні стопи вище 33°C призводить до перегрівання стопи і значного потовиділення, а зменшення температури до 18°C і нижче спричиняє за собою появу відчуття холоду. При пониженні температури поверхні стопи і гомілки до 8-10°C виникають больові відчуття і можливі простудні захворювання. Подальше пониження температури поверхні стопи і гомілки може привести до відмороження ніг.

Комфортність взуття залежить від багатьох чинників, найважливішими з яких є її термоізоляційні властивості, необхідні в холодних умовах. Розрахунок теплозахисних властивостей ведеться за тепловими властивостями матеріалів з яких складається взуття. На базі отриманих даних розрахунку можливий підбір матеріалів для взуття, що забезпечують необхідні теплові опори верху, низу і, отже, усій конструкції взуття. Тому при розробці конструкції взуття, зокрема його низу, величину показника теплозахисних властивостей і раціональну величину співвідношень теплових опорів низу і верху бажано визначати з узагальнених експериментальних даних за гігієнічною оцінкою різних видів взуття в різних метеорологічних умовах. За отриманими даними відбувається підбір матеріалів для конкретного виду взуття.

Тепло в низу взуття, в основному, втрачається за рахунок кондукції (зіткнення підосви з охолодженими предметами). Тому для зниження втрат тепла, необхідно добре компонувати і прораховувати конструкцію підосви.

Тепловий обмін між взутою стопою і довкіллям можна описати ланцюгом: поверхня стопи – повітряний прошарок – внутрішнє взуття (шкарпетками, панчохами, онучатами) – повітряний прошарок – внутрішні стінки взуття – зовнішні стінки взуття – тверда опорна площа (підстилаюча поверхня) – повітряне довкілля. Передача тепла

від стопи через зовнішні стінки низу взуття відбувається внаслідок зіткнення взуття з підстилаючою поверхнею і повітряним середовищем, через зовнішні стінки верху взуття – внаслідок зіткнення з повітряним середовищем.

Однією з найважливіших функцій взуття є створення комфортного тепловідчуття стопи, що пов'язане з певним співвідношенням процесів теплоутворення, теплопередачі і масообміну (вологообміну) з довкіллям. Його можна досягнути шляхом підбору матеріалів верху і низу взуття з різною теплопровідністю. Високим тепловим опором характеризується взуття, що включає деталі з пористих матеріалів, які містять повітряні прошарки, наприклад стельки з фетру і повсті, вкладні стельки з пінопласту, сітчасті вкладні утеплювачі як міжпідкладка.

При проектуванні взуття певного призначення конструктору задається район його експлуатації. При цьому вказуються узагальнені експериментальні дані гігієнічної оцінки, повний сумарний тепловий опір взуття різних видів при носінні в різних метеорологічних умовах. Коефіцієнт тепловіддачі в зовнішнє середовище, вид і товщина матеріалів усіх деталей верху і низу взуття, що забезпечують необхідний для заданого району тепловий опір взуття, задається конструктором.

Нині існує ряд методів визначення теплопровідності матеріалів [2]:

- метод визначення теплопровідності циліндричним зондом (ГОСТ 30256-94);
- метод визначення теплопровідності поверхневим перетворювачем (ГОСТ 30290-94);
- радіаційний метод;
- метод, заснований на залежності діелектричних характеристик матеріалу від його вологості і теплопровідності (ГОСТ Р 8.621-2006);
- стаціонарний метод плоского кулі і метод труб;
- метод необмеженого плоского шару.

Методи, засновані на вимірі стаціонарної і нестаціонарної теплопровідності, діляться на дві групи.

Перша група методів дозволяє проводити виміри в широкому діапазоні температур (від 20 до 700°C) і отримувати точніші результати. Недоліком методів виміру стаціонарного потоку тепла є велика тривалість досвіду.

Друга група методів дозволяє проводити експеримент впродовж декількох хвилин (до 1 год.), але застосовується для визначення теплопровідності матеріалів при порівняно низьких температурах. Недоліком методів для визначення коефіцієнта теплопровідності

при нестационарному тепловому потоці є невеликі межі виміру величини  $\lambda$ . Наприклад методом циліндричного зонду визначається коефіцієнт теплопровідності від 0,2 Вт/м<sup>2</sup>С і вище. Недоліком радіаційного методу є громіздкість і складність устаткування установки. Визначення коефіцієнта теплопровідності приладовим методом має високу вартість.

На основі огляду літератури можна зробити висновок, що є потреба в методах, призначених для теплофізичних досліджень матеріалів в умовах виробничих лабораторій при широкому спектрі температур. При цьому бажано, щоб експериментальні установки і техніка вимірів були б досить простими. Обробка дослідних даних не повинна бути громіздкою. Дослідження різних матеріалів зручно проводити при єдиній техніці вимірів і на одній і тій же установці. Методи мають бути швидкісними. Методи мають бути також комплексними, щоб в одному досліді і на одному зразку можна було отримати значення усіх теплових характеристик.

### *Результати досліджень*

Особливістю розробленої методики є розрахунок низу взуття з врахуванням теплофізичних характеристик матеріалів, конструкції низу взуття і умов експлуатації також у випадку використання нових або нетипових матеріалів з невідомими характеристиками (рис. 1).

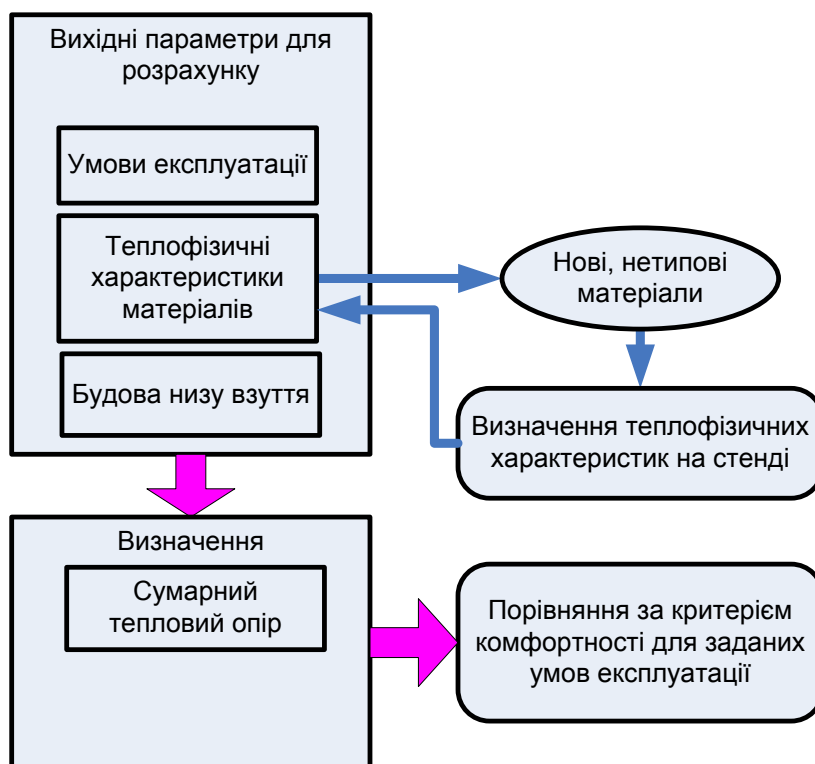


Рис. 1. Методика проведення досліджень

Теплозахисні властивості матеріалів, що використовуються для виготовлення взуття, із збільшенням товщину зростають. Теплозахисні властивості окремих матеріалів для взуття характеризуються величиною термічного або теплового опору елементарного шару матеріалу  $R_m$ , який прямопропорційний товщині і обернено пропорційною до коефіцієнта теплопровідності матеріалу [3]:

$$R_m = \frac{\delta}{\lambda}, (m^2 \cdot ^\circ C) / Bm$$

де  $\delta$  – товщина матеріалу, м;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $Bm / (m \cdot ^\circ C)$ .

У випадку системи, що складається з ряду шарів, сумарний тепловий опір визначається сумою опору усіх елементарних шарів матеріалу і повітряних прошарків, а також сумою опорів переходу тепла з повітряного прошарку до наступного шару матеріалу (внутрішніх поверхневих опорів).

Опір проходженню тепла від стопи до деталей взуття через повітряний прошарок, включаючи опір теплосприйняття внутрішньої поверхні взуття, у більшості випадків не враховується. У теплових розрахунках це допустимо, оскільки можна вважати, що за наявності деякого повітряного прошарку між стопою і взуттям її теплозахисні властивості підвищуються і буде деякий резерв теплового опору взуття.

Таким чином, повний сумарний тепловий опір взуття  $R_{нов}$ , що включає опір віддачі тепла зовнішньою поверхнею зовнішньому середовищу, може бути виражений рівнянням [4]:

$$R_{нов} = R_{сум} + R_{зов} = R_{сум} + 1/\alpha$$

де  $R_{сум}$  – сумарний тепловий опір (опір передачі тепла через систему матеріалів взуття);  $R_{зов}$  – зовнішній поверхневий опір;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі в зовнішнє середовище,  $Bm / m^2 \cdot ^\circ C$ .

Коефіцієнт  $\alpha$  задається конструктором. Величини коефіцієнтів тепловіддачі в зовнішнє середовище а в умовах природної конвекції повітря у взуття для носіння на вулиці складають 6,7-7,5, а у взуття спеціального призначення – 8,0-12,5. Найбільш низький коефіцієнт тепловіддачі характерний для взуття, у якого зовнішня поверхня деталей верху має ворс, пористість, нерівності, де більшою мірою утримується шар повітря, що граничить з поверхнею взуття.

Показниками комфортного мікроклімату внутрішньовзуттєвого простору є

температура ( $20 \pm 8^\circ\text{C}$ ) і відносна вологість ( $60 \pm 5\%$ ) [5]. Вони досягаються при термічних опорах низу взуття для різних періодів експлуатації (див. таблицю) [6, 7].

Таблиця

Допустимі теплові опори низу взуття для різних періодів експлуатації

Період	Діапазон температур, $^\circ\text{C}$	Тепловий опір, $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт}$
Перехідний	+5,0/4,9	0,22-0,28
I. Холодний	-5,0-19,9	0,23-0,32
II. Холодний	-20,0-34,9	0,31-0,46

Отримані розрахункові значення сумарного теплового опору порівнюються з допустимими за критеріями комфортності.

Для реалізації розробленої методики був створений лабораторний стенд для дослідження теплофізичних властивостей матеріалів, що використовує спосіб нестационарного режиму. Стенд дає можливість досліджувати: матеріали різної структури, товщини, з різними теплофізичними та експлуатаційними характеристиками; пакети матеріалів; двовісно орієнтовані матеріали у вигляді масивних листів.

Схема вимірювань показана на рис. 2.

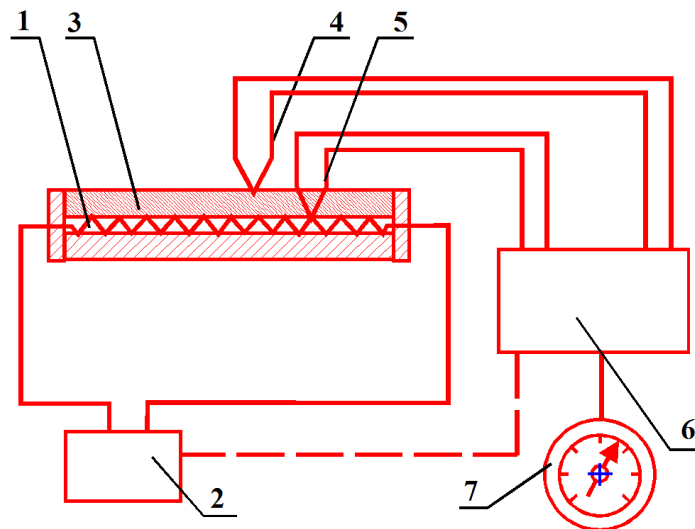


Рис. 2. Схема вимірювання

Напруга, яка подається на нагрівач 1, регулюється електронним блоком термостата 2, що забезпечує стабільність робочої температури ( $39^\circ\text{C}$ ) на робочій поверхні. Для вимірювання температури досліджуваних зразків 3 використовуються термодатчики 4, 5,

опір яких змінюється пропорційно зміні температури на поверхнях нагрівача і вимірювального блоку. Ці зміни опорів обробляються електронним блоком 6 і виводяться на індикатор 7 який показує різницю вимірних температур в одиницях  $\Delta T^{\circ}\text{C}$ .

Для експериментів були вибрані чотири пакети матеріалів. За мету прийнято підбір однакових матеріалів, що формують низ взуття, крім самої підошви. Для підошви взято пористу і монолітну гуми, поліуретан, термоеластопласт однакової товщини.

З рис. 3 можна побачити, що і з зменшенням коефіцієнта теплопровідності зростає термічний опір матеріалів підошви (решту матеріалів низу підошви однакові і мають також однакову товщину). Матеріали підібрані таким чином, що коефіцієнт теплопровідності має майже прямолінійну залежність до зменшення. Термічний опір у цьому випадку зростає за поліноміальною залежністю третього порядку.

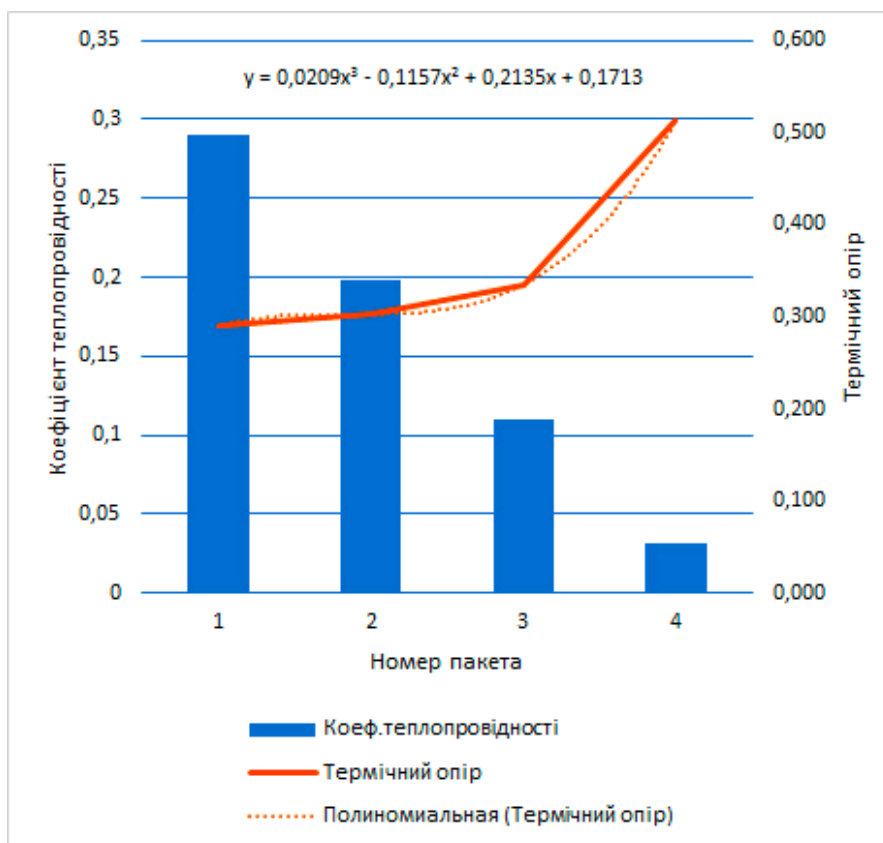


Рис. 3. Взаємозв'язок між коефіцієнтом теплопровідності і термічним опором матеріалів підошви

Аналіз залежностей зміни коефіцієнта теплопровідності і термічного опору, наведених на рис. 3, підтверджує доцільність врахування характеристик матеріалу для реалізації вимог комфортності.

Всі зразки задовольняють вимогу комфортності для перехідного періоду (рис. 4). Підшва на основі термоеластопласту має мінімальний запас. Найбільший запас має підшва, виготовлена з поліуретану. Ця підшва при інших однакових умовах (товщина і тип матеріалів) із значним запасом перевищила межу і для 1-го холодного періоду.

Підшви з пористої гуми з невеликим запасом також задовольняють вимогу комфортності для використання в умовах першого холодного періоду.

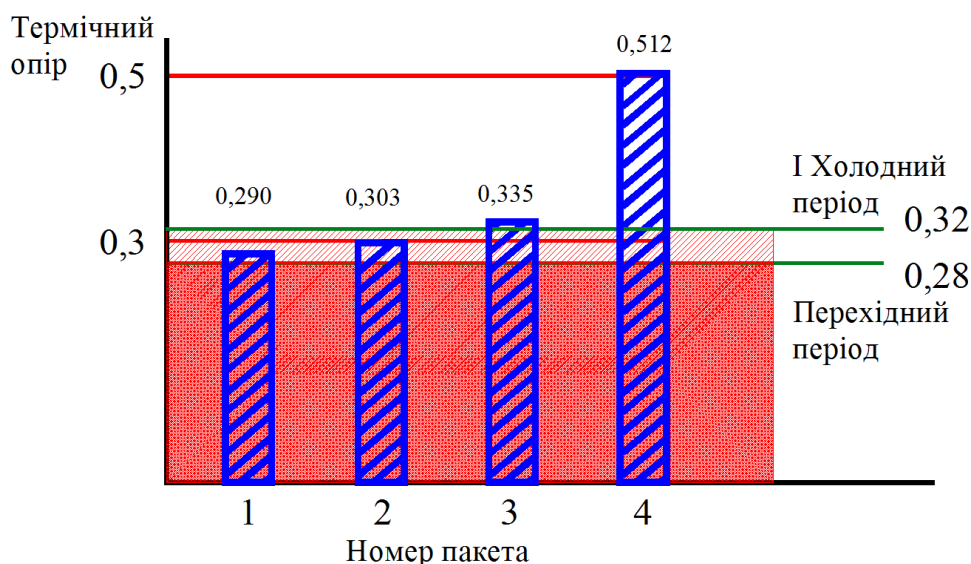


Рис. 4. Виконання умови комфортності для різних пакетів матеріалів

### Висновки

На основі аналізу літературних джерел визначена необхідність розробки простого методу розрахунку теплозахисних властивостей конструкції низу взуття, що враховує властивості матеріалів, залежно від конкретних умов експлуатації.

Створено лабораторний стенд для дослідження теплофізичних властивостей матеріалів, що використовує спосіб стаціонарного режиму. За допомогою стенду можна досліджувати: матеріали різної структури, товщини, з різними теплофізичними та експлуатаційними характеристиками; пакети матеріалів; двовісно орієнтовані матеріали у вигляді масивних листів.



Розроблено метод обґрунтування вибору пакетів матеріалів для різних конструктивних елементів взуття для забезпечення комфортних умов при низьких температурах. Особливістю є також можливість визначати теплопровідність нових і нетипових матеріалів у випадку відсутності довідникових даних про їх характеристики.

Економічна ефективність проведених досліджень полягає в зменшенні часу на формування пакетів матеріалів, зокрема низу взуття, для забезпечення комфортних умов при низьких температурах.

### Список використаних джерел

1. Павлов А. С. Экстремальная работа и температура тела [Текст] / А. С. Павлов. – Донецк: ДонНУ, 2007. – 308 с.
2. Клименко А. В. Теоретические основы теплотехники [Текст] / А. В. Клименко, В. М. Зорин. – М. : Изд-во МЭИ, 2001. – 561 с.
3. Чернышева Т. И. Методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов [Текст] / Т. И. Чернышева. В. Н. Чернышев. – М. : Машиностроение, 2001, – 194 с.
4. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] / В. А. Осипова. – М. : Энергия, 1979. – 320 с.
5. Афанасьева Р. Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода [Текст] / Р. Ф. Афанасьева. – М. : Легкая индустрия, 1977. – 136 с.
6. Прохоров В. Т. Особенности защиты человека от воздействия низких температур [Текст] / В. Т. Прохоров. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – 499 с.
7. Осина Т. М. Метматическое моделирование процессов теплообмена в системе «стопа-обувь-окружающая среда» [Текст] / Т. М. Осина, А. Б. Михайлов, И. Д. Михайлова, А. П. Жихарев. // Кожевно-обувная промышленность, 2008, №3. – С. 47-48.

### References

1. Pavlov A. S. Ekstremalnaja rabota i temperatura tela. / A. S. Pavlov. – Donetsk: DonNU, 2007. – 308 p.
2. Klimenko A. V. Teoreticheskiye osnovy teplotehniki. / A. V. Klimenko, V. M. Zorin. – M. : MEI, 2001. – 561 p.
3. Chernysheva T. I. Metody i sredstva nerazruwajushchego kontrolja teplofizicheskikh

- svoystv materialov. / T. I. Chernysheva, V. N. Chernyshev. – M. : Mashinostrojenije. 2001. – 194 p.
4. Osipova V. A. Ekstremalnoje issliedovanie procesov teploobmena / V. A. Osipova. – M. : Energia, 1979. – 320 p.
5. Afanasjeva R. F. Gigijenicheskiye osnovy proektirovaniya odezdy dlja zashchity ot holoda. / R. F. Afanasjeva. – M. : Ljgkaja industria, 1977. – 136 p.
6. Prohorov V. T. Osobennosti zashchity cheloveka ot vozdeystviya nizkih temperatur. / V. T. Prohorov. – Shahty: JuRGUES, 2007. – 499 p.
7. Osina T. M. Matematicheskoye modelirovaniye procesov teploobmena v sisteme «stopa-obuv-okruzajushchaja sreda». / T. M. Osina, A. B. Mihajlov, I. D. Mihajlova, A. P. Rzhigarev. // Korzavno-obumnaja promyshlennost, 2008, №3. P.47-48.

**Теличко Б. І., Абумаиліх М. М., Зинько Р. В.**

**Исследование теплопроводимости системы «обувь - окружающая среда»**

Національний університет «Львівська політехніка», г. Львів

**Цель.** Разработка методики и создание лабораторного стенда для исследования теплофизических свойств материалов легкой промышленности.

**Методика.** Анализ методик исследования, конструкций стендов, выбор по критерию сложность-эффективность.

**Результаты.** Разработана методика и создан стенд небольшой сложности для определения теплопроводимости материалов.

**Научная новизна.** Представление стационарными способами экспериментального определения теплопроводимости на примере метода неограниченного плоского слоя.

**Практическая значимость.** Стенд с использованием предложенной методики дает возможность исследовать: материалы с разными теплофизическими и эксплуатационными характеристиками; материалы разной структуры и толщины; пакеты материалов; двухосно ориентированные материалы в виде массивных листов.

**Ключевые слова:** методики исследования, лабораторный стенд, легкая промышленность, теплофизические свойства материалов, материалы разной структуры

**Telychko B. I., Abumailich M. M., Zinko R. V.**

**Research of heat-conducting of system «shoe - environment»**

Lviv Polytechnic National University

**Purpose.** Development of methodology and creation of laboratory stand for research of thermophysical properties of materials of light industry.

**Methodology.** Analysis of methodologies of research, constructions of stands, choice on a criterion complication-efficiency.

**Results.** Methodologies of research and the stand of small complication is created for determination of heat-conducting of materials.

**Originality.** Presentation of experimental determination of heat-conducting stationary methods on the example of method of unlimited flat layer.

**Practical value.** Stand with the use of the offered methodology gives an opportunity to investigate: materials with different thermophysical and operating descriptions; materials of different structure and thickness; packages of materials; the biaxial oriented materials are as massive folias.

**Keywords:** research methodologies, laboratory stand, textile industry, thermophysical properties of materials, materials of different structure