

На правах рукопису

ВИШЕНСЬКИЙ СТАНІСЛАВ АНДРІЙОВИЧ

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА
ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ВЗУТТЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

Спеціальність 06.19.01- Матеріалознавство /текстильне,
шкіряно-взуттєве, хутрове/

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

КИЇВ-1994



00778464 (-)

Дисертація

Робота виконана в Державній академії
промисловості УкраїниНауковий керівник: доктор технічних наук,
професор Луцик Р.В.Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор Сфремов Р.Д.,
кандидат технічних наук,
доцент Олейнікова В.В.

Провідна організація: ВАТ "УкрНДІШВИ"

Замість відбудеться "15" ЛЮТОГО 1995 році на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д.01.17.02 при
Державній академії легкої промисловості України за адресою:
Київ-011, вул.Н.-Данченко, 2.З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Державної академії легкої промисловості України.Автореферат розісланий 5 СІЧНЯ 1995 р.Вчений секретар
Спеціалізованої ради
професор

Коновал В.П.

AB-31.699

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Найважливішими задачами, що стоять перед взуттевою промисловістю є збільшення кількості виготовлення взуття, поліпшення його якості та зовнішнього вигляду, постійне розширення та оновлення асортименту відповідно вимогам опоживачів. Технічний прогрес весь час дає взуттевій промисловості широку гаму нових матеріалів, теплозахисні властивості яких повинен враховуватись при розробці та виготовленні нового взуття. Для виготовлення якісного, відповідного потребам населення, взуття взуттевиком, як науковцем так і інженером, потрібні знання термічного опору, характеру і величини теплових потоків, поля температур у взуттевому матеріалі, зміна теплозахисних властивостей у часі і просторі, а також інші параметри матеріалів, що впливають на якість взуття. Крім того, промисловість вимагає розробки ефективного спецвзуття, що надійно захищає людину від шкідливих теплових дій на його ступні.

Для виготовлення такого взуття також необхідні дослідження процесів теплопереносу та теплозахисних властивостей шпирі та її заміників.

Таким чином, дослідження теплозахисних властивостей взуттевих матеріалів є важливим та актуальним і потребує ґрунтовного вивчення та розвитку.

Мета роботи і об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є експериментальне та теоретичне визначення теплопереносних та теплоізоляційних властивостей взуттевих матеріалів.

Метою цієї роботи є розробка нових методів визначення, розрахунку та прогнозування теплопереносних властивостей взуттевих матеріалів, їх експериментальне дослідження. Для досягнення цієї мети в роботі вирішувались наступні задачі:

- теоретичне обґрунтування та практична реалізація методів експериментального визначення теплопровідності взуттевих матеріалів;
- проведення експериментальних досліджень теплопровідності зразків взуттевих матеріалів;
- вивчення, систематизація та узагальнення теоретичних і експериментальних даних по теплопровідності взуттевих матеріалів;

- розробка методів розрахунку оптимальних величин термічного опору у вугутті;

- розробка методів розрахунку та прогнозування теплопровідності вугуттєвих матеріалів в залежності від структурних характеристик.

Наукова новизна роботи. Розв'язана задача теплопровідності для нескінченного ~~матеріалу~~ і розроблений абсолютний неруйнівний метод ~~визначення~~ якого джерела постійної теплової потужності для визначення теплопровідності великорозмірних вугуттєвих матеріалів

Розроблений метод розрахунку теплопровідності волюмінно-шкіряно-вугуттєвих матеріалів: дано опис розрахункової команди та схеми сполучень /вміщень/ теплового опору, одержані розрахункові формули.

Розроблений варіант абсолютного методу двох температурно-часових інтервалів, що дозволяє знаходити значення тепло- і температуропроводності листових вугуттєвих матеріалів при часі дослід, що відповідає зміні чисел Фур'є в діапазоні $0,1 < Fo < 0,5$.

На базі рішення рівняння теплопровідності Фур'є одержана узагальнююча формула, яка показує степеневу залежність теплопровідності матеріалів від температури.

Знайдені критичні розміри теплоізоляції для різних форм поверхні вугуття при умові, що на поверхні ступні питомий тепловий потік має мінімальне значення.

Розв'язана стаціонарна задача теплопровідності для нескінченної пластини, що нагрівається дисковим джерелом постійної теплової потужності кінцевого радіуса.

Практична цінність. Методи, аналітичні рішення, експериментальні дані одержані в дисертації знаходять практичне застосування в проєктно-конструкторській роботі та дослідженнях теплоізоляційних властивостей вугуттєвих матеріалів. Особливо це стосується розробок нових видів вугуття, в тому числі утепленого дитячого вугуття і спецвугуття для металургійних виробництв. Крім того розроблені методи лабораторних випробувань, які дозволяють з достатньою достовірністю оцінювати та прогнозувати комплекс спеціальних властивостей теплозахисного вугуття, яке проєктується для певних теплових умов його експлуатації.

Експериментальні визначення величини теплозахисних властивостей ряду вугнетених матеріалів дозволили виорати матеріал та конструкцію спецвугтя.

Розроблено нове теплозахисне вугтя, що дозволяє мати збільшений строк експлуатації та допустимі тимчасові зміни значень поля температур і теплових потоків у спецвугті для гарячих цехів металургійного виробництва.

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертації доповідались і одержали позитивну оцінку загальносоюзних та республіканських наукових конференціях та нарадах, які проходили в містах Москві, Рязі, Києві та інших, а також на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу /КІТІМУ /ДАЛУ/.

Публікації. По питанням розробленим в дисертації опублікована 21 друкована робота, в авторефереті приведено 14 друкованих робіт, в яких викладений основний зміст дисертації.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних виводків, списку використаної літератури, яке викладене на 160 сторінках змісту, включаючи 21 рисунок та 10 таблиць.

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета та задачі, викладене коротка анотація головних положень дисертації.

В першому розділі зроблений огляд робіт по теплопереносним властивостям вугнетених матеріалів, приведені особливості будови цих матеріалів та їх характеристики.

На основі теорії теплопровідності діелектричних теплоізоляційних матеріалів, розглянуто теплопереносні властивості вугтя. Показаний вплив вологості, температури та структури на теплопровідність вугнетених матеріалів. Із опрацьованого огляду випливає, що теплопровідність вугнетених матеріалів вивчена недостатньо як експериментально, так і теоретично. Однією з цих причин є досить широка гама шкіряно-вугнетених матеріалів, що використовуються в промисловості, властивості яких визначаються будовою матеріалу.

В другому розділі дано теоретичне обґрунтування методів експериментального дослідження та розрахунку вугнетених матеріалів. Найбільш важливими при експериментальних дослідженнях теплопровідності вугнетених матеріалів вважається метод ВЕМ /восо-

лінійний метод плоского джерела постійної теплової потужності для зразків з формі пластини/.

Тестія методу основана на рішенні задачі нагріву двох однакових пластин, в місці контакту яких розташовано плоске джерело постійної теплової потужності. Ця задача для однорідного випадку при граничних умовах другого роду розв'язана в монографії Карслоу и Стр та роботі Фогеля та Алексеєва дає наступні рівняння температурного поля:

а/ для пластин при експоненціальній формі розв'язання

$$t - t_0 = \frac{2q_w \delta}{\lambda} \left[\frac{x}{\delta} - \frac{\delta}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{(2n-1)^2} \cdot \sinh\left[(2n-1)\frac{\pi}{2} \frac{x}{\delta}\right] e^{-\left[(2n-1)\frac{\pi}{2}\right]^2 \frac{a\tau}{\delta^2}} \right] \quad /1/$$

б/ для пластин при рішенні, вираженому через функції похибок

$$t - t_0 = \frac{2q_w \sqrt{a\tau}}{\lambda} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left[i \operatorname{erfc} \frac{(2n-1)\delta - x}{2\sqrt{a\tau}} - 2 i \operatorname{erfc} \frac{(2n-1)\delta + x}{2\sqrt{a\tau}} \right] \quad /2/$$

При числах Фур'є $F_0 = \frac{a\tau}{\delta^2}$, що знаходяться в $F_0 \gg 2,8$ практично наступає стаціонарний режим нагріву /що рекомендується по методу ВЕМ/ для якого із рішення /1/ впливає залежність

$$(t_{w'cm} - t_0) \lambda / q_w \cdot \delta = 1 \quad /3/$$

де $t_{w'cm} - t_0$ - надлишкова температура при стаціонарному режимі; λ - теплопровідність; q_w - питомий тепловий потік на внутрішній поверхні пластини / $q_w = \text{const}$ /; δ - товщина пластини.

Нами запропонований один з варіантів методу двох температурно-часових інтервалів, що ґрунтується на вирізі /2/ і дозволяє визначити температуропровідність і теплопровідність листових неуттєвих матеріалів при часі досліду, що відповідає єміні чисел Фур'є в діапазоні $0,1 < F_0 < 0,5$. При цьому

вироз /2/ приймає вигляд

$$t(\delta, \tau) - t_0 = \frac{2q_w \delta}{\lambda} \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} - 2i \operatorname{erfc} \frac{1}{\sqrt{Fo}} \right) \quad /4/$$

В цьому розділі також розроблено абсолютний метод плоского джерела постійної теплової потужності для визначення теплопровідності великорозмірних вуглецевих матеріалів /як метод, що не потребує спеціального виготовлення зразка вуглецевого матеріалу/. В ряді випадків вуглецевий матеріал зручно апроксимувати у вигляді необмеженого середовища, наприклад, для сферичарової композиції, укладеної в рулон.

Згідно монографії Карслоу і Бгер при підведенні до необмеженого середовища теплового потоку $q = \text{const}$ через диск $x^2 + y^2 < R^2$ через деякий час τ температуру в точці з координатами $/\theta, 0, z/$ можна виразити формулою

$$\Delta t(\theta, 0, z, \tau) = \frac{2q(a\tau)^{\frac{1}{2}}}{\lambda} \left\{ i \operatorname{erfc} \left[\frac{z}{2(a\tau)^{\frac{1}{2}}} \right] - i \operatorname{erfc} \left[\frac{(z^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}}{2(a\tau)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} \quad /5/$$

Для комплексного визначення тепло- і температуропровідності вуглецевих матеріалів нами табульовані температурно-часові функції: $i \operatorname{erfc} x$ та $\theta = \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} - i \operatorname{erfc} x \right) / x$ значення яких в кроком по аргументу $\Delta x = 0,01$ приведені в додатку до роботи. Одержані залежності $x_2 = f(x_1)$ значень величини в моменти часу, що відповідає постійному, в даному досліді, відношенню температур m

$$m = \frac{\Delta t(\tau_2)}{\Delta t(\tau_1)} = \frac{\theta(x_2)}{\theta(x_1)} = \frac{x_1 \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} - i \operatorname{erfc} x_2 \right)}{x_2 \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} - i \operatorname{erfc} x_1 \right)} \quad /6/$$

Для визначення відповідних до дослідів величин x_2 та x_1 , тобто точки на графіку $x_2 = f(x_1)$ необхідно через початок координат провести пряму з нахилом, що визначається експериментально по відповідним значенням величини $x_2 = R/\sqrt{a\tau_2}$, а потім розраховується значення температуропровідності λ , величину теплопровідності λ визначає по формулі:

$$\lambda = \frac{q R}{\Delta t (x_2)} \theta(x_1)$$

171

В другому розділі розглянуті й інші нестационарні експериментальні методи дослідження теплопровідності вуглецевих матеріалів. Дані варіанти похибок головного методу експерименту та інструментальної похибки.

Окрема розглянуто варіант абсолютного методу лінійного інтервалу постійної теплової потужності для випадку, коли досліджуваний матеріал є анізотропним /ортотропним/ середовищем великих розмірів.

В другому розділі також приведені залежності для розрахунку теплопровідності двокомпонентних матеріалів, одержані по методу "конструювання функцій". Показаний взаємозв'язок між ними і рекомендовані значення їх для сумішів, в яких відношення теплопровідності компонентів не відрізняється більш ніж на порядок.

Визначено середньоінтегральне значення термічного опору вуглецевих матеріалів в формі пластини при лінійній залежності теплопровідності від координати.

На рисунку приведена модель розрахункової теплової комірки, що складається з волокон і заповненого середовища. Розміри та пористість теплової комірки характеризується залежностями:

$$V = L^2(H + 2\Delta); V_1 = \Delta^2(H + L); V_2 = \bar{\Delta}^2 \frac{(\bar{H} + 2\bar{\Delta})}{(\bar{H} + 2\bar{\Delta})}$$

де V , V_1 , V_2 - об'єми комірки, волокон та їх порожнича частина в комірці відповідно; L , H , Δ та \bar{H} , $\bar{\Delta}$ - лінійні розміри елементів комірки ($\bar{H} = H/L$; $\bar{\Delta} = \Delta/L$)

Із виразу для V_2 , впливає квадратне рівняння відносно $\bar{\Delta}$.

Фізичний зміст має лише корінь рівняння

$$\bar{\Delta}^2(\bar{H} + 2) - 2V_2\bar{\Delta} - V_1\bar{H} = 0; \bar{\Delta}_1 = \frac{2V_2 + \sqrt{4V_2^2 + 4(\bar{H} + 2)V_1}}{2(\bar{H} + 2)}$$

При $\bar{H} = 0$ /структура тканини/, $\bar{\Delta} = \frac{2V_2 + \sqrt{4V_2^2 + 12V_1}}{2}$

При $\bar{H} = 1$ комірка майже ізотропна і

$$\bar{\Delta} = (2V_2 + \sqrt{4V_2^2 + 12V_1}) / 6$$

На рисунку приведена розбивка теплової комірки ізотермічними та адіабатичними площинами, схеми заміщень термічних опорів.

В роботі розрахована ефективна теплопровідність комірок $\lambda_{із}$ та $\lambda_{ад}$

$$\frac{\lambda_{із}}{\lambda_1} = \frac{(\bar{H} + 2\bar{\Delta})(1 + \gamma) \frac{1 - \bar{\Delta}}{\bar{\Delta}} (\bar{\Delta}^2 + \gamma(1 - \bar{\Delta}^2))}{\bar{H} (1 + \gamma \frac{1 - \bar{\Delta}}{\bar{\Delta}}) + 2(\bar{\Delta} + \gamma(1 - \bar{\Delta}))^2} \quad /8/$$

$$\frac{\lambda_{ад}}{\lambda_1} = \frac{\bar{\Delta}^2 + \gamma(1 - \bar{\Delta})^2 + \frac{2(\bar{H} + 2\bar{\Delta})}{\bar{H} + \bar{\Delta}}}{\frac{\gamma \bar{\Delta} (1 - \bar{\Delta})}{\lambda_{із} + \lambda_{ад}} + \frac{1}{1 - \bar{\Delta}}} \quad /9/$$

Накінєць маємо $\lambda_{еф} = \frac{\lambda_{із} + \lambda_{ад}}{2}$. На рисунку /г, д/ приведена схема заміщень термічного опору та його величини. В таблиці 1 приведені значення термічних опорів, які відповідають цій розбивці.

Дані порівняння експериментальних та розрахованих даних, наведені в таблиці 2, підтверджує високу точність запропонованого методу розрахунку.

В третьому розділі приведений опис експериментальних установок, які використані в роботі для визначення теплопровідності ряду взуттєвих матеріалів.

Описані схеми установок:

- для визначення теплопровідності полімерних взуттєвих матеріалів в формі пластин абсолютним методом джерела постійної теплової потужності, похибка металу $\delta\lambda = 4,5-5\%$, рекомендований до використання правилами ВЕМ;
- для визначення тепло- та температуропровідності взуттєвих м'яких довгорозмірних матеріалів нестационарним абсолютним неруйнівним методом джерела постійної теплової потужності, що працює під час джерела в імпульсному режимі /в кінцевому маю тривалістю імпульсу/, похибка досліду $\delta\lambda = 10\%$;
- для визначення тепло- та температуропровідності матеріалів порівняльним нестационарним методом двох температурно-часових точок, з похибками досліду $\delta\lambda = 10\%$ та $\delta\alpha = 10\%$;
- для визначення теплопровідності пластинчатих взуттєвих матеріалів порівняльним стаціонарним методом багеточарової пластини з похибкою $\delta\lambda = 10\%$.

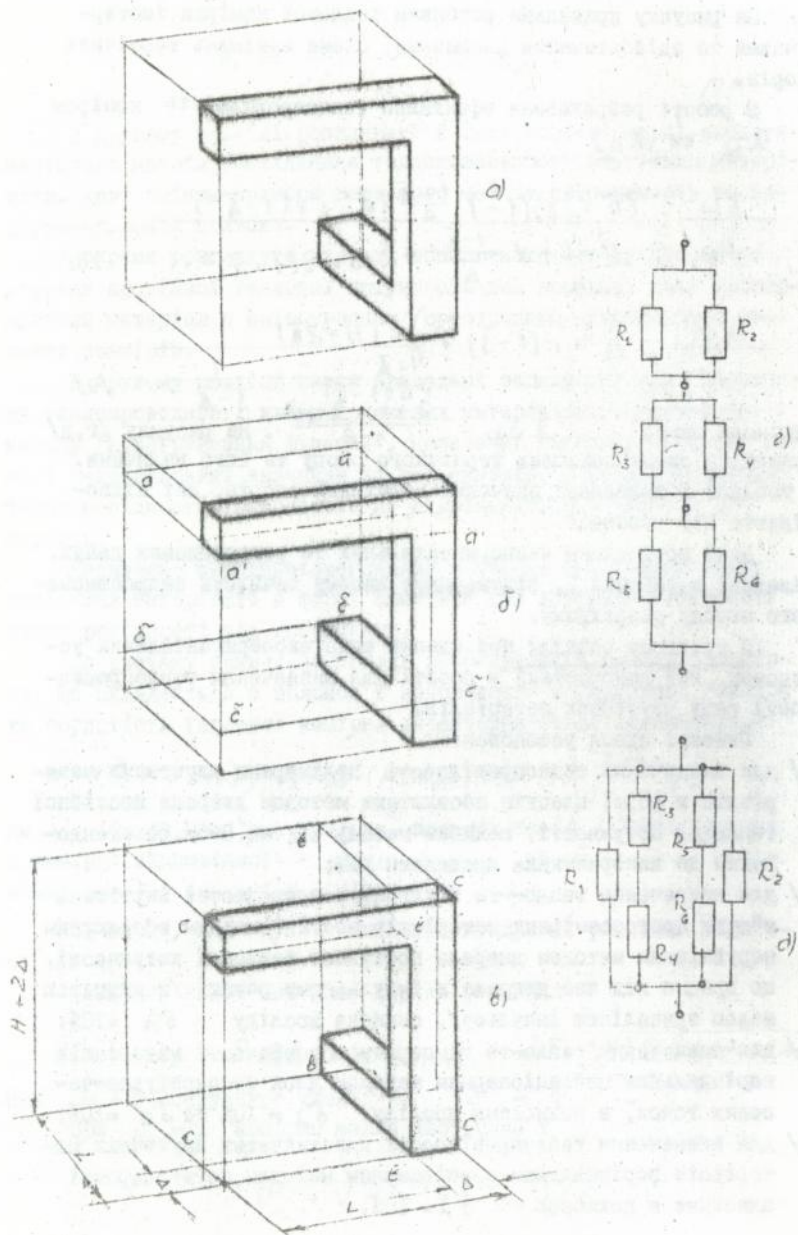


Рис. Розрѣхункові комірки /а,б,в/ та схеми зміщень теплових опорів /г,д/.

Таблиця I.

Величини термічного опору, що відповідають розподілу теплової
комірки ізотермічними та адіабатичними площинами

Схема	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
/Г/	$\frac{\Delta}{\lambda_1 \Delta L}$	$\frac{\Delta}{\lambda_2 L(L-\Delta)}$	$\frac{H}{\lambda_1 \Delta^2}$	$\frac{H}{\lambda_2 (L^2 - \Delta^2)}$	$\frac{H}{\lambda_1 L \Delta}$	$\frac{\Delta}{\lambda_2 L(L-\Delta)}$
/Д/	$\frac{H+2\Delta}{\lambda_1 \Delta^2}$	$\frac{H+2\Delta}{\lambda_2 (L-\Delta)^2}$	$\frac{H+\Delta}{\lambda_2 \Delta(L-\Delta)}$	$\frac{\Delta}{\lambda_1 \Delta(L-\Delta)}$	$\frac{\Delta}{\lambda_1 \Delta(L-\Delta)}$	$\frac{H+\Delta}{\lambda_2 \Delta(L-\Delta)}$

Таблиця 2.

Розрахунок ефективної теплопровідності волокнистих матеріалів

№	Матеріал, товщина δ , мм, пористість V_2 , об'ємна частин на волокон V_1 ; λ_1 волокон λ_2 повітря Вт/м.К і їх від- ношення	Ці параметри		Теплопровідність, Вт/м.К			
		k	$\bar{\Delta}$	$\lambda_{\text{експ.}}$	$\lambda_{\text{ад}}$	$\lambda_{\text{із}}$	$\lambda_{\text{еф}}$
1.	Хромова шкіра, чепрак 2,3; 0,38; 0,62; 0,2; 10,026; 0,13	I	0,709	0,120	0,116	0,132	0,124
2.	ХРД жорстка шкіра, чепрак 4,5; 0,25; 0,75; 0,2; 0,026 0,13	I	0,806	0,140	0,142	0,156	0,149
3.	Трав'яна шерстяна 3,28; 0,84; 0,164; 0,23; 0,026; 0,113	I	0,164	0,038	0,035	0,059	0,047
4.	Сукно сірошинельне шерстяне 3,7; 0,86; 0,14; 0,23; 0,026; 0,113	I	0,280	0,041	0,034	0,051	0,043
5.	Вовна очищена 0,82; 0,30; 0,026; 0,09	I	0,197	0,052	0,059	0,060	0,049

Проведені такі дослідження властивостей зразків взуттєвих матеріалів:

в/ визначене теплопровідність поліетилену високої та низької густини в межах температур 20°C - / \pm 10°C / та -60°C / -20°C / поліетилен прийнято в якості еталонного частково-кристалічного взуттєвого матеріалу/;

б/ визначена температурна залежність теплопровідності вологої шкіри хромрослинного дублення в діапазоні температур -60°C - $+80^{\circ}\text{C}$;

в/ досліджені теплофізичні властивості зразків хромової шкіри для верху взуття, підшовної шкіри, пористої взуттєвої гуми, різних тканин, що використовуються при розробці утепленого спецвзуття;

г/ визначена теплопровідність пакетів утепленого спецодягу для робітників морозильних цехів холодокомбінатів та зразків штучного взуттєвого хутра;

д/ визначені теплозахисні властивості матеріалів для зовнішніх, внутрішніх та проміжних деталей спецвзуття, а також пакетів для верху і низу спецвзуття.

Показана можливість використання дослідних зразків взуттєвих та інших матеріалів для створення теплозахисного спецвзуття. Одержані значення величин теплопереносних властивостей для матеріалів верху теплозахисного спецвзуття, підкладочних матеріалів, їх пакетів. Для зростання теплового опору термостійкої гуми, нових матеріалів низу взуття рекомендовано вводити теплоізоляційну прокладку, наприклад, із базальтового картону.

В четвертому розділі проведено аналіз експериментальних результатів, одержаних в роботі. Виконана обробка даних для визначення температурної залежності вологої жорсткої шкіри хромрослинного дублення.

Одержана залежність теплопровідності колагену жорсткої шкіри хромрослинного дублення від вологості, при постійних температурах теплоносіїв 20°C та 80°C , при умовах постійної інтегральної вологості. Зовнішній вигляд одержаних кривих вологості теплопровідності колагену при тих температурах, подібний відповідним кривим інших аналогічних матеріалів /монотонне зростання величини теплопровідності, при наявності її максимуму, при значеннях вологості $W = 22-25\%$, що відповідає вологості

гігроскопічного стану.

По відомих експериментальним даним для частково-кристалічних полімерів запропоновані універсальні емпіричні формули, що дозволяють визначити температурні залежності теплопровідності полімерів. Використовуючи формули теорії узагальненої провідності виконана обробка експериментальної температурної залежності шару полікапроамідного волокна різної кратності витяжки.

Розглянуто результати експериментального визначення теплофізичних характеристик деяких звукових матеріалів та їх теплозахисних композицій для виготовлення спецвуття для гарячих цехів металургійного виробництва.

Приведені характеристики дослідних матеріалів та їх пакетів показують можливість досягнення задовільних теплоізоляційних властивостей розроблюваного спецвуття. Визначені теплофізичні характеристики звукових матеріалів при кімнатних та підвищених температурах. Серед них виявлено, що найбільш перспективними є хромова термостійка шкіра "Дністро" для верху та бутадієнітрильна гума ОКН-40М для низу спецвуття.

В роботі запропоновані оптимальні пакети верху спецвуття металургів і зварників. Для захисту верху спецвуття від підвищених температур застосовується охолоджувальна вентиляція.

Для оцінки ефективності охолоджувальної вентиляції спецвуття використано цикл Карно. В розділі також виконано аналіз оптимальної теплоізоляції спецвуття та спецодягу.

Потужність теплових втрат в теплоізоляційній конструкції з активними екранами визначається із виразу $Q_{\text{втр}} = T_0 \frac{ds}{dt}$ де ds/dt - швидкість створення / появи / ентропії при підведенні тепла до матеріалу дорівняє

$$\frac{ds}{dt} = \int_{(V)} \lambda(T) \left(\frac{1}{T} \frac{dT}{dz} \right)^2 dV = \int_{z_1}^{z_2} \lambda(T) \left(\frac{1}{T} \frac{dT}{dz} \right)^2 \cdot F \cdot dz$$

T_0 - температура навколишнього середовища в момент часу для циліндричного шару теплоізоляції з активними екранами

$$\left(\frac{ds}{dt}\right)_{\min} = \frac{2\pi H \left[\int_{T_1}^{T_2} \lambda(\tau) \frac{d\tau}{\tau} \right]^2}{2 \left[z_2^{\frac{1}{2}} - z_1^{\frac{1}{2}} \right]} (z_2 - z_1)$$

та без них, маємо нерівність $\frac{ds}{dt} > \left(\frac{ds}{dt}\right)_{\min}$, тоді рівняння /I0/ приймає вигляд

$$\frac{ds}{dz} = \int_{z_1}^{z_2} \lambda(\tau) \left[\frac{1}{\tau} \frac{dT}{dz} \right]^2 2\pi z H dz = Q \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^2} = Q \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

де тепловий потік $Q = \lambda(\tau) \frac{dT}{dz} \cdot 2\pi z H = \text{const}$ /II/
і тоді формула /II/ приймає вигляд

$$\frac{ds}{dt} = \frac{2\pi H T_1 \int_{T_1}^{T_2} \lambda(\tau) d\tau}{\rho_n \frac{z_2}{z_1}} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$
 /I2/

Ефективність активних екранів в теплоізоляції визначена /оцінена/ відношенням

$$\psi = \frac{Q_{\text{всп min}}}{Q_{\text{всп}}} = \frac{\left(\frac{ds}{dt}\right)_{\min}}{\frac{ds}{dt}} = \varphi \frac{T_1 T_2 \int_{T_1}^{T_2} \frac{\sqrt{\lambda(\tau)}}{\tau} d\tau}{(T_2 - T_1) \int_{T_1}^{T_2} \lambda(\tau) d\tau}$$
 /I3/

де $\varphi = \frac{1}{4} \left(\frac{\delta}{z_2^{\frac{1}{2}} - z_1^{\frac{1}{2}}} \right)^2 \rho_n \frac{z_2}{z_1}$ - коефіцієнт форми циліндричного шару /в роботі є значення величини φ для плоского та сферичного шарів/ та аналітично знайдена залежність $\lambda(\tau) = \beta / T^m$, що спрощує формулу. Вона приймає вигляд

$$\psi = 2\varphi \left(1 - \frac{1}{m}\right) \frac{\nu}{\nu - 1} \frac{(\nu^{-\frac{m}{2}} - 1)^2}{(\nu^{m+1} - 1)}$$
 /I4/
 $\nu = T_2 / T_1 \quad (0 < \nu < 1)$

В п'ятому розділі на основі закону теплопровідності Фур'є, виведена формула, яка показує залежність теплопровідності матеріалів від температури.

Розглянемо взутятий матеріал, питомий тепловий потік в якому визначається законом Фур'є у вигляді

$$q = -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x}$$

/15/

Якщо введем змінну $\varphi = \lambda(T) \cdot T$ то маємо вираз

$$q + \frac{\partial \varphi}{\partial x} = T \frac{\partial \lambda}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x}$$

/16/

Розділивши праві та ліві частини виразів /16/ та /15/ одержим відношення

$$\frac{q + \frac{\partial \varphi}{\partial x}}{q} = - \frac{T d\lambda}{\lambda dT}$$

/17/

Прийнявши, що ліва частина формули /17/ дорівнює η

$$-\eta \frac{dT}{T} = \frac{d\lambda}{\lambda}$$

/18/

або після інтегрування та потенціювання маємо

$$\lambda \cdot T^\eta = \text{const}$$

/19/

де показник ступеневої залежності вуглецевих матеріалів від температури змінюється від $\eta = -\infty \dots; -2; -1; 0; 1/2; 1; 2, \dots$ до $\eta = +\infty$.

В п'ятому розділі дано також розв'язок стаціонарної задачі теплопровідності вуглецевого матеріалу /пластини/.

Диференціальне рівняння теплопровідності осесиметричної стаціонарної задачі зводиться до рівняння

$$\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{1}{z} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = 0$$

/20/

граничні умови задачі

$$\frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{z=0} = \frac{q}{\lambda}, \quad z < a; \quad \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0; \quad /21/$$

$$v \Big|_{z=0} = 0; \quad 0 < z < \infty; \quad v(\infty, z) = 0 \quad /22/$$

Розв'язок задачі з'ясовано по методу інтегральних перетворень /використані пряме та зворотне перетворення Ханкеля/.

Розв'язок має вигляд

$$v = \frac{q \delta}{\lambda} \bar{a} \int_0^{\infty} \frac{t A \frac{u}{a}}{u} J_1(u) du \quad /23/$$

де \bar{a} - безрозмірний радіус нагрівача a/δ

Вирахування інтегралу в формулі для v наближено виконано по методу трапецій $J \approx \int_0^{13,3369} \frac{t A \frac{u}{a}}{u} J_1(u) du +$

$$+ 1 - \int_0^{13,3369} J_0(u) du$$

/використано для знаходження розтікання тепла/.

Значення величини v також знайдено у вигляді ряду

$$v = \frac{q \delta}{\lambda} \left[1 - \frac{4}{\pi} \bar{a} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K_0(2k+1)}{2k+1} \right] /24/$$

Розв'язана двовірна стаціонарна задача теплопровідності для областей ступеняного змінювання товщини підшви спецзуття. Поля температур і теплові потоки визначені у вигляді розв'язку рівняння Лапласу, з використанням комплексної температури /потенціалу/.

Розглянута нестационарна задача теплопровідності, що описує зварювання прогумованих взуттєвих матеріалів під тиском. Результати приведені в критеріальному вигляді. Визначено екстремальне значення термічного опору циліндричного шару теплоізоляції заданої товщини.

Одержані оптимальні залежності рекомендуються для використання при теплових розрахунках і прогнозування теплозахисних властивостей спецзуття та спецодягу.

В цьому розділі виконано також розрахунки критичних розмірів теплоізоляції утепленого взуття та одягу, що відповідало мінімальному тепловому потоку /питомому/ на поверхні ступні /тіла людини/. Нижче розглянута двшарова теплоізоляція циліндричної стінки, що описується системою рівнянь для теплового потоку

$$q_e = q/e; \quad q_e = \frac{\pi (t_{cm1} - t_{2x})}{\frac{1}{2\lambda_2} \ln(d_{2x}/d_2)}$$

$$q_e = \frac{\pi (t_{2x} - t_{cm2})}{\frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_{2x}}}; \quad q_e = \alpha_2 (t_{cm2} - t_2) \pi d_2^2$$

$$q_e = \frac{\pi (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_2 d_2} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_{2x}}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_{2x}}}$$

Питомий тепловий потік на поверхні теплоізоляції діаметром d_1 , має вигляд

$$q_1 = \frac{q_e}{\pi d_1} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d_1}{2\lambda_1} \ln \left(\frac{d_{2x}}{d_1} \right) + \frac{d_1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_{2x}} + \frac{d_1}{\alpha_2 d_2}} = \frac{t_1 - t_2}{R} \quad /25/$$

при умовах $t_1 = \text{const}; t_2 = \text{const}; d_2 = \text{const}; d_{2x} = \text{const}$
 $d_1 = \text{var}$ термічний опір R в формулі /25/ є немонотонною функцією від величини d_1 , що задовольняє умовам існування максимуму залежності $R(d_1)$: при

$$dR/dd_1 = 0 \quad \text{знак} \quad d^2R/dd_1^2 < 0$$

з умови $dR/dd_1 = 0$ і формули /25/ можна знайти величини $d_{1 \text{ опт}}$ та $q_{1 \text{ min}}$. Зокрема маємо:

а/ двохшарова ізоляція

$$d_{1 \text{ опт}} = \frac{d_{2x}}{\exp \left[1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \ln \left[\frac{d_2}{d_{2x}} + \frac{2}{Bi} \right] \right]} \quad /26/$$

де

$$Bi = \frac{\alpha_2 d_2}{\lambda_2} \text{ число Біо;}$$

б/ одношарова ізоляція

$$d_{1 \text{ опт}} = \frac{d_2}{\exp \left(1 - \frac{2}{Bi} \right)} ; q_{1 \text{ min}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d_2 \left(1 - \frac{2}{Bi} \right)}{2\lambda_1 \exp \left(1 - \frac{2}{Bi} \right)} + \frac{1}{\alpha_2 \exp \left(1 - \frac{2}{Bi} \right)}}$$

$$d_{1 \text{ опт}} = \frac{d_2}{e} ; q_{1 \text{ min}} = 2\alpha_2 \lambda_1 \frac{t_1 - t_2}{d_2}$$

Одержані вирази можна застосовувати для розрахунків критичних розмірів циліндричних шарів теплоізоляції утепленого взуття, що відповідаєть мінімальним питомим тепловим потокам на поверхні ступні.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ.

1. Розроблено варіант абсолютного методу двох температурно-часових інтервалів, який дозволяє визначити тепло- і температуропровідність листових взуттєвих полімерних матеріалів при часі досліду, який відповідає зміні числа Фур'є в діапазоні $0,1 < F_0 < 0,5$. Одержані відповідні температурно-часові функції і приведені приклади розрахунків.

2. Розроблено абсолютний неруйнівний метод плоского джерела постійної теплової потужності для визначення теплопровідності великорозмірних взуттєвих матеріалів із застосуванням методу двох температурно-часових функцій. Розв'язана задача теплопровідності для необмеженого середовища і табульовані значення температурно-часових функцій.

3. Визначена теплопровідність ряду взуттєвих матеріалів для спецвзуття, що дозволило вибрати матеріал та конструкцію взуттєвої композиції спецвзуття, розробленого для умов металургійного виробництва та гарячих цехів інших виробництв.

4. Визначена температурна залежність теплопровідності вологої жорсткої шкіри хромослинного дублення в інтервалі температур $20-30^{\circ}\text{C}$ в умовах постійної інтегральної вологості. Показано, що одержані результати аналізу вологості теплопровідності жорсткої шкіри від вологості, узгоджуються з відомими даними по теорії форм зв'язку вологи з матеріалом.

5. Розроблено метод розрахунку теплопровідності волокнистих шкіряно-взуттєвих матеріалів. Приведено опис розрахункової комірки, схеми сполучень /заміщень/ теплового опору. Одержана розрахункова формула та приведені приклади розрахунків різних взуттєвих та експериментальних даних, які показвали практичну придатність методу.

6. Одержано варіант розв'язання рівняння теплопровідності Фур'є, що дозволило визначити вигляд температурної залежності $\lambda(\tau)$ взуттєвих матеріалів. Одержані степеневі залежності від абсолютної температури.

7. Знайдені критичні розміри теплоізоляції вуття при умові, що на поверхні ступні питомий тепловий потік має мінімальне значення. Розглянуті циліндричні, сферичні та плоскі /приєма/ шари теплоізоляції.

8. Використовуючи метод невизначених множників Лагранжу, знайдені експериментальні значення теплового потоку та оптимальні витрати теплоти в циліндричному шарі теплоізоляції заданої постійної товщини.

9. Досліджена теплоізоляція у вутті з активними теплоюми екранами та без них, що дозволяє прогнозувати теплові витрати через неї для випадків поверхонь різної кривизни /циліндр, сфера та плоский шар кінцевих розмірів/.

10. По методу прямого та зворотного інтегральних перетворень Ханкеля виконано розв'язок стаціонарної задачі теплопровідності для неосмеженої пластини, що нагрівається диском-ним джерелом постійної теплової потужності кінцевого радіусу.

11. Розглянута квазістаціонарна задача теплопровідності, що описує зварювання гумовотканинних вуттєвих матеріалів під тиском.

12. Результати, одержані в дисертаційній роботі впроваджені в практику науково-дослідних та конструкторських робіт, а також використані в педагогічному процесі при підготовці інженерів-технологів вуттєвого виробництва. Результати досліджень теплопереносних властивостей термостійкого вуття дозволили успішно завершити роботи в галузі розробки спецвуття, яке має збільшений строк використання.

По темі дисертації надруковано 21 роботу, основні з яких наведені нижче:

1. Характеристики капілярно-пористих матеріалів /Вишньовський С.А., Каштан В.С., Луприк Р.В., Коновал В.П., Недужий І.О., Цатурянц А.Б./ Навчальний посібник, Київ.- Вища школа, 1991

2. Недужий І.А., Ласинов С.Д., Вишньовський С.А. К вопросу о комплексном методе определения теплофизических характеристик полимерных материалов в форме пластины. Вопр.теплообмена и термодинамики.-К.: 1971, вип. I, с.91-84.

3. Вишньовский С.А., Каштан В.С., Коновал В.П., Шарпа Т.П., Хришч А.Т. Исследование теплозащитных свойств новых материалов для спецобуви. Известия вузов, ТШ, I/181, 1986, с.33-37.

5. Недужий И.А., Дабинюк С.Д., Шимчук Т.Я., Вишенский С.А. Исследование удельной теплоемкости и теплопроводности поликапронид волокон при различной степени вытяжки. Сб. Синтез и физико-химия полимеров, вып.8, Республиканский межведомственный сборник. - Наукова думка, 1971, с.73-76.

6. Вишенский С.А., Ключков В.П. Модельные представления для определения теплопроводности частично-кристаллического полиэтилена. Сб. Теплофизические свойства полимерных материалов и теплообменные процессы в легкой промышленности. - Киев: 1971, с.71-74.

7. Вишенский С.А., Луцк Р.В. Расчет критических размеров утепленной обуви и одежды. Известия вузов, ТШ № 4, 1992, с.19-25.

8. Вишенский С.А., Каштан В.С., Луцк Р.В. Исследование теплофизических свойств кожевенно-обувных материалов. Известия вузов, ТШ, № 6, 1991, с.121.

9. Теплофизические свойства кожевенно-обувных материалов и влияние на них технологических особенностей производства. Отчет об оконченной госбюджетной научно-исследовательской теме ГЕ// за 1986-1990 г.г. Номер государственной регистрации в Москве ОI.86 ОI27200044, Киев, 1990 /Вишенский С.А., Луцк Р.В., Каштан В.С., Якусова Л.В./.

10. Оптимізація процесу виготовлення нових вуглецевих і текстильних матеріалів та виробів з них, прогнозування їх властивостей на основі вивчення комплексу теплофізичних, теплообмінних та фізико-механічних характеристик. Завершальний звіт по ДДР по темі № 03ДБ за 1991-1994 р.р. Номер держреєстрації в м.Києві ОI.94 00417Т, Київ, 1994 /Вишенський С.А., Луцк Р.В., Каштан В.С./.

11. Вишенский С.А., Недужий И.А., Шкаранда И.Т., Каштан В.С., Андрухия А.А. Исследование теплопроводности натуральных жестких кож. Реферативная информация, КТИШ, вып.8, 1975, с.9.

12. Недужий И.А., Каштан В.С., Вишенский С.А. Исследование теплопроводности кожи в зависимости от технологических факторов в процессе производства. Сб. Теплопроводность и диффузия в технологических процессах. Материалы I-й республиканской научно-технической конференции. - Рига, 1977, с.322.

13. Вишенский С.А., Луцк Р.В., Расчет термических сопротивлений теплоизоляционных материалов, элементов спецобуви при тепловых воздействиях на них /КТИЛ/ Міжвузівська науково-практична конференція. Тези доповідей, 1992, ч. I. - Київ: 1992, с. 60.

14. Вишенский С.А., Луцк Р.В., Каштан В.С. Термическое сопротивление реотекания теплоты в области контакта металлических тел с материалами спецобуви. Тезисы докладов 44-й научной и 12 научно-методической конференций профессорско-преподавательского состава КТИЛ, - Киев: 1992, с. 194-195.

АННОТАЦІЯ

Вишенский С.А. Разработка методов определения, изоляции и прогнозирования теплопереносных свойств обувных материалов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.19.01 - материаловедение /текстильное, кожевенно-обувное, меховое/. Государственная академия легкой промышленности Украины, Киев, 1994 г.

Работе посвящена теоретическому обоснованию и практической реализации методов экспериментального определения теплопроводности обувных материалов. Проведены изучение, систематизация и обобщение теоретических и экспериментальных данных по теплопереносным характеристикам обувных материалов. Разработаны методы расчета теплопроводности обувных материалов позволяющие прогнозировать теплозащитные свойства обуви.

Ключові слова:

вауттері матеріали, теплопровідність, термічний опір, питомий тепловий опір, критичний розмір теплозахисного матеріалу.

SUMMARY

Vishensky S.A.

WORKING OUT THE METHODS OF DEFINITION, RESEARCH AND
PREDICTION HEAT TRANSFER PROPERTIES OF SHOE MATERIALS

Thesis on academic degree for a Candidate of Technical Science on a speciality 05.10.01-material keeping(textile,tanning shoe and fur), The Light Industry State Academy of the Ukraine,year 1994.

The work dedicated to theoretical basing and practical realization the methods of experimental definition the shoe materials heat conduction.It was carried out the study,systematization and generalization theoretical and experimental data for heat transfer characteristics of shoe materials.It was working out the calculation methods of shoe materials heat conduction permitting to predict shoe heat-reflecting properties.

Key words:

shoe materials,heat conduction,heat resistance,specific heat resistance,critical dimension of heat-reflecting material

Вішнєнський

Підп. до друку 21.12.94р. Формат 60x84 1/16, Папір друк.№2. Друк офсетний. Умовн.друк. арк. 1,39. Умовн.фарбо-відб. 1,50. Облік.-вид.арк. 1,09. Тираж 110. Зам.327. Безплатно.

Дільниця оперативної поліграфії при Державній академії легкої промисловості України,
252011,Київ-11,вул. Немировича-Данченко,2

AB 31.699

Безкоштовно

AB 31.699

3AM,327