

## Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317  
ISI (Dubai, UAE) = 1.582  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИИ (Russia) = 3.939  
ESJI (KZ) = 8.771  
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

### International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2023 Issue: 06 Volume: 122

Published: 23.06.2023 <http://T-Science.org>

Issue

Article



M.M. Shalamberidze

Akaki Tsereteli State University  
Doctor of Technical Science, Professor,  
Faculty of Technological Engineering,  
Kutaisi, Georgia

## INVESTIGATION OF HEAT-PROTECTIVE PROPERTIES OF A PACKAGE OF MATERIALS FOR THE BOTTOM OF SHOES

**Abstract:** The article investigates the heat-protective properties of the package of materials of the bottom of the shoe depending on the temperature of the foot, the heat flow of the foot and the heat-protective properties of the package of materials. It is proved that knowing the thermophysical characteristics of the package of materials of the bottom of the shoe, the ambient temperature and the heat flow of the foot, it is possible to determine the temperature in any part of the shoe by the equations obtained.

**Key words:** Package of shoe materials, heat flow, heat transfer.

**Language:** Russian

**Citation:** Shalamberidze, M. M. (2023). Investigation of heat-protective properties of a package of materials for the bottom of shoes. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 06 (122), 306-308.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-06-122-49> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2023.06.122.49>

**Scopus ASCC:** 1508.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПАКЕТА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НИЗА ОБУВИ

**Аннотация:** В статье исследованы теплозащитные свойства пакета материалов низа обуви в зависимости от температуры стопы, теплового потока стопы и теплозащитных свойств пакета материалов. Доказано, что зная теплофизические характеристики пакета материалов низа обуви, температуру окружающей среды и тепловой поток стопы - можно определить температуру в любой части обуви по полученными уравнениями.

**Ключевые слова:** Пакет обувных материалов, тепловой поток, теплопереход.

#### Введение

Для исследования теплозащитных свойств детали низа обуви, в основном используют математические методы, основанные на определении суммарного сопротивления теплопереходу от плантарной поверхности стопы к внешней среде через пакета материалов низа обуви. Суммарное сопротивление теплообмена детали низа обуви с внешней средой, не позволяют выявить те участки обуви, которые наиболее подвержены влиянию холода. Поэтому, важно разработать математический модель для обоснования выбора пакета материалов для различных вид обуви с целью создания комфортности стопе с учетом воздействия на нее низких температур. Данный подход позволяет

прогнозировать тепловое состояние стопы низких температурных в условиях эксплуатации обуви [1-10].

#### Объекты и методы исследования.

От стопы на внутренний слой пакет материалов низа обуви поступает тепловой поток плотности  $q$ . Теплообмен между внешней поверхностью обуви и окружающей средой (с температурой  $T_{n+1}$ ) происходит по закону Ньютона с коэффициентом теплопередачи  $\alpha$ .

Для многослойной плоской стенки поток тепла с учетом граничных условий описывается системой уравнений:

## Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317  
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582  
 GIF (Australia) = 0.564  
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
 ПИИЦ (Russia) = 3.939  
 ESJI (KZ) = 8.771  
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630  
 PIF (India) = 1.940  
 IBI (India) = 4.260  
 OAJI (USA) = 0.350

$$\begin{cases} Q = \frac{\lambda_i(T_i - T_{i+1})}{\int_{n_i}^{n_{i+1}} \frac{dn}{S(n)}}, i = 1, 2, 3, \dots, n \\ Q = \alpha(T_{n+1} - T_c)S_{n+1} \end{cases} \quad (1)$$

где:  $\lambda_i$  - коэффициенты теплопроводности слоев;  $S(n)$  - поверхность подошвы;  $n = \int_{n_i}^{n_{i+1}} \frac{dn}{S(n)}$  - толщина стенки;  $S_{n+1}$  - внешняя поверхность пакета.

Решение системы уравнения (1) дает возможность определить распределение температуры внутри пакета материалов и на его поверхностях, а также выражение полных тепловых сопротивлений для многослойных пакетов.

Тепловое сопротивление пакета равно:

$$R_n = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha} \quad (2)$$

### Экспериментальная часть.

В данной работе рассмотрен процесс теплопередачи через пакеты материалов с учетом зависимости коэффициентов теплопроводности и от температуры внутренней среды обуви. Исследовали пакет материалов для низа обуви имеющий тепловое сопротивление  $0,85 \left( m^2 \frac{0C}{Вт} \right)$  при температуре  $22^0C$ .

Расчеты зависимости теплового сопротивления пакета материалов низа обуви в диапазоне температур от  $-15^0C$  до  $0^0C$  при различных тепловых потоках приведены в табл. 1.

**Таб. 1. Изменение теплового сопротивления пакета материалов низа обуви при воздействии низких температур**

Температура окружающей среды	Плотность теплового потока стопы ( $Вт/м^2$ )		
	40	60	80
$0^0C$	0,57	0,62	0,67
$-5^0C$	0,53	0,58	0,63
$-10^0C$	0,51	0,53	0,58
$-15^0C$	0,48	0,49	0,54

В работе, так же рассмотрен нестационарный процесс теплообмена. Нестационарный процесс теплообмена представляет собой решение трех задач для системы дифференциальных уравнений теплопроводности соответственно для многослойных плоских пакетов.

При постановке задачи (для пакета материалов низа обуви, многослойной пластины) вводятся следующие значения  $\delta_i$  - толщина  $i$ -го слоя;  $i_i = \sum_{k=1}^i \delta_k$  - пределы изменения толщины  $x_i$   $i$ -го слоя ( $i_{i-1} \leq x_i \leq i_i$ );  $t$  время;  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя;  $\alpha_i$  - коэффициент температуропроводности  $i$ -го слоя;  $\theta_i(x_i, t)$  - температура  $i$ -го слоя;  $T_c$  - температура окружающей среды;  $T_i(x_i, t) = \theta_i(x_i, t) - T_c$  - относительная температура  $i$ -го слоя  $i_{i-1} \leq x_i \leq i_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

Распределение температуры в многослойном пакете сводится к решению следующей уравнении:

$$\frac{\partial T_i(x_i, t)}{\partial t} = \alpha_i \frac{\partial^2 T_i(x_i, t)}{\partial x_i^2}, \quad (3)$$

$$i_{i-1} \leq x_i \leq i_i, \quad t > 0, i = 1, 2, \dots, n$$

Начальное распределение температуры  $T_i(x_i, 0) = f_i(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n$

Предполагается, что функция  $f_i(x_i)$  является плоским на отрезке  $(i_{i-1}, i_i)$ , т.е. имеет непрерывную производную на этом отрезке и

можно считать, что  $f_i(x_i) = const$  - равной температуре в помещении.

Температура внешней поверхности пакета материалов подошвы поддерживается температурой окружающей среды:  $T_n(i_n, t) = 0, -5, -10, -15$ . При этом теплопередача сопровождается по закону ньютона:

$$\lambda_n \frac{\partial T_n(i_n, t)}{\partial x_n} + \alpha T_n(i_n, t) = 0 \quad (4)$$

Внутренняя пространство пакета материалов подошвы нагревается тепловым потоком стопы плотности  $q$ :

$$\lambda_1 \frac{\partial T_n(i_0, t)}{\partial x_1} + q = 0 \quad (5)$$

Между слоями материалов низа обуви существует идеальный контакт, что выражается условиями сопряжения на стыках:

$$T_{i-1}(i_{i-1}, t) = T_i(i_{i-1}, t), \quad (6)$$

$$\lambda_{i-1} \frac{\partial T_{i-1}}{\partial x_{i-1}}(i_{i-1}, t) = \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x_i}(i_{i-1}, t), i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Решение краевой задачи находится методом Фурье в виде функционального ряда

$$\theta_i(x_i, t) = T_i(x_i, t) + T_c = T_c + A_i x_i + B_i + \sum_{k=1}^{\infty} M_{ik} \exp(-\mu_k^2 t) \cdot \sin\left(\frac{\mu_k x_i}{\sqrt{\alpha_i}} + \phi_{ik}\right) \quad (8)$$

где:  $A_i, B_i, M_{ik}$  - коэффициенты уравнения, а  $\mu_k$  - числа краевой задачи. При любом  $t \geq 0$  ряд сходится абсолютно и равномерно на участке  $x_i \in [i_{i-1}, i_i]$ .

## Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317  
ISI (Dubai, UAE) = 1.582  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 3.939  
ESJI (KZ) = 8.771  
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

### Заклучение

Таким образом, зная теплофизические характеристики пакета материалов низа обуви, температурные условия окружающей среды и тепловой поток стопы, по полученным формулам можно рассчитать температуру в любой части

обувной подошвы. В частности, можно получить температуру внутриобувного пространства как функцию времени, которая является критерием температурной комфортности стопы при эксплуатации обуви в условиях низких температур.

### References:

1. Krutov, V.I. (1981). *Tekhnicheskaya termodinamika*. (p.439). Moscow: Izdatel'stvo «Vysshaya shkola».
2. (2010). *Osnovy` tekhnicheskoy termodinamiki i teorii teplo - i massobmena*. Pod redakciej V.A.Barilovuicha. (p.339). Sankt-Peterburg.
3. Smirnov, Yu.A. (2015). *Osnovy` tekhnicheskoy termodinamiki i teorii teplo- i massobmena*. (p. 432). Sankt-Peterburg.
4. Sharov, Yu.I. (2019). *Termodinamika i teploperedacha*. (p.311). Novosibirsk.
5. Amerkhanov, R.A., & Draganov, B.Kh. (2006). *Teplotekhnika*. (p.385). Moskva.
6. Konovalova, L. S., & Zagromov, Yu. A. (2000). *Osnovy` teplotekhniki*. Tekhnicheskaya Termodinamika Uchebnoe posobie. (p.116). Tomsk: Izd. Tomskij politekhnicheskij universitet.
7. Kozlov, N.A. (2010). *Tekhnicheskaya termodinamika i teplotekhnika*. Ucheb. posobie. Gos. un-t. (p.180). Vladimir: Izd-vo Vladim. gos. un-ta.
8. Prigozhin, I., & Kondepudi, D. (2002). *Sovremennaya termodinamika (ot teplovy`kh dvigatelej do dissipativny`kh struktur)*. (p.461). Moscow: Mir.
9. Erofeev, V.L., Erofeev, V.L., Semenov, P.D., & Pryakhin, A.S. (2008). *Teplotekhnika*. (p.326). Moscow: Izd. Akademkniga.
10. Kirillin, V.A., Sy`chev, V. V., & Shejndlin, A. E. (2003). *Tekhnicheskaya termodinamika*. (p.416). Moscow: E`nergoizdat.