

УДК 687.03:536]:685.34.073.32
DOI 10.47367/0021-3497_2021_2_50

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕЛЕК ЗИМНЕЙ ОБУВИ**

**RESEARCH OF HEAT CONDUCTIVITY OF MATERIALS
FOR MANUFACTURE OF WINTER SHOES INSOLES**

М.В. РОДИЧЕВА, Ю.С. ШУСТОВ, А.В. АБРАМОВ, А.Д. ФИЛИППОВ

M.V. RODICHEVA, YU.S. SHUSTOV, A.V. ABRAMOV, A.D. FILIPPOV

(Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева,
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Orel State University named after I.S. Turgenev,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: Ant-lin88@mail.ru

Предложен оригинальный метод оценки теплопроводности нетканых материалов для изготовления стелек зимней обуви. Получены зависимости теплопроводности от температуры материала при различных условиях окружающей среды. Составлены диаграммы, которые характеризуют ком-

плексный теплообмен в системе "элемент тела – образец – окружающая среда" при различных условиях эксплуатации.

An original method for assessing the thermal conductivity of materials for the manufacture of insoles of winter shoes is proposed. The dependences of thermal conductivity on the temperature of the material under various environmental conditions are obtained. Diagrams have been compiled that characterize the complex heat and mass transfer in the system "body element - sample - environment" under various operating conditions.

Ключевые слова: теплопроводность нетканых материалов, различные условия окружающей среды, теплообмен, система "элемент тела – образец – окружающая среда".

Keywords: thermal conductivity of nonwovens, various environmental conditions, heat and mass transfer, the system "body element - sample - environment".

Для повышения эксплуатационной эффективности обуви пакет материалов может быть сформирован с использованием результатов компьютерного моделирования теплообмена в системе "стопа – обувь – окружающая среда" [1], [2]. По результатам моделирования составляется прогноз динамики микроклимата внутриобувного пространства и теплового состояния стопы. В основу численных моделей положены классические уравнения теории теплообмена и данные о теплофизических свойствах материалов, в первую очередь, зависимости теплопроводности от

температуры полотна ($\lambda=f(t_{\text{мат}})$) [1].

Для решения поставленной задачи использовали разработанный экспериментальный комплекс (рис.1, где I – область, устанавливающая заданную температуру тела; II– цилиндрическая стенка устройства; III – пакет материала; IV – воздух вблизи устройства), в котором предусмотрена тепловая модель элемента тела человека, имеющая температуру поверхности тела $t_{\text{эм}}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3...5]. Поддержание температуры внутреннего объема установки обеспечивается электронагревателем за счет подачи теплового потока ($q_{\text{ТЭН}}$).

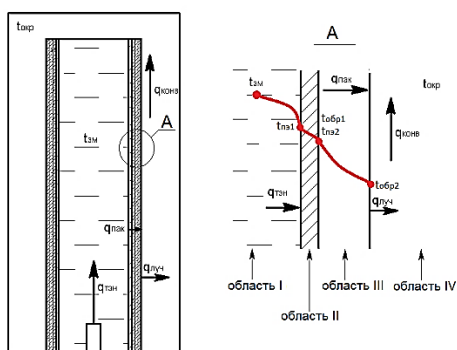


Рис. 1

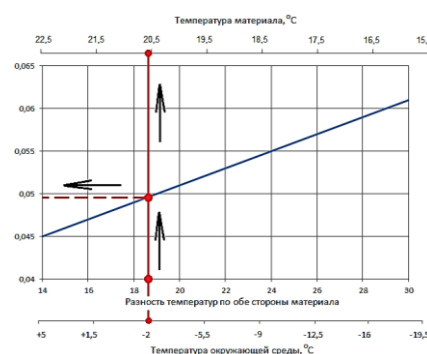


Рис. 2

В процессе эксперимента при температуре окружающей среды $t_{\text{окр}}$ исследуется величина $q_{\text{ТЭН}}$, а также перепад температур по обе стороны образца ($\text{где } t_0=t_{\text{обр1}}-t_{\text{обр2}}$), размещенного на модели элемента тела. На основе этих величин рассчитывается величина λ :

$$\lambda = \frac{q_{\text{ТЭН}} h_{\text{обр}}}{(t_{\text{обр1}} - t_{\text{обр2}})}, \quad (1)$$

где $h_{\text{обр}}$ – толщина исследуемого образца, м.

Для проведения исследования были выбраны различные образцы нетканых материалов, используемые в качестве стелек,

отличающиеся между собой составом и поверхностной плотностью рассматриваемых материалов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

| № п/п | Вид материала | Волокнистый состав | h, мм | Поверхностная плотность, г/м ² |
|-------|--------------------------|--|-------|---|
| 1 | Полотно термоскрепленное | П/Э бикомпонентное волокно – 20%; шерсть овечья – 80% | 4,8 | 886 |
| 2 | | | 5,9 | 1004 |
| 3 | | | 6,0 | 1149 |
| 4 | Войлок иглопробивной | П/Э Бикомпонентное волокно – 10%; волокно регенерированное (шерсть, акрил, Х/Б)- 50%; лен № 2 короткие волокна – 25%; П/Э волокно регенерированное – 15% | 2,53 | 345 |
| 5 | | | 4,1 | 819 |
| 6 | Войлок иглопробивной | П/Э Бикомпонентное волокно– 25%; волокно регенерированное (шерсть, акрил, Х/Б)- 35%; лен № 2 короткие волокна – 25%; П/Э волокно регенерированное – 15% | 4,11 | 1052 |

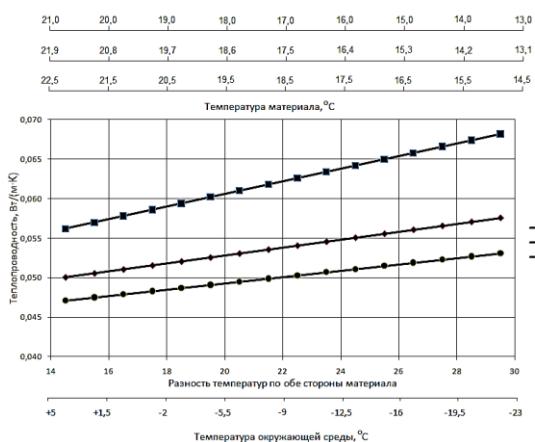


Рис. 3

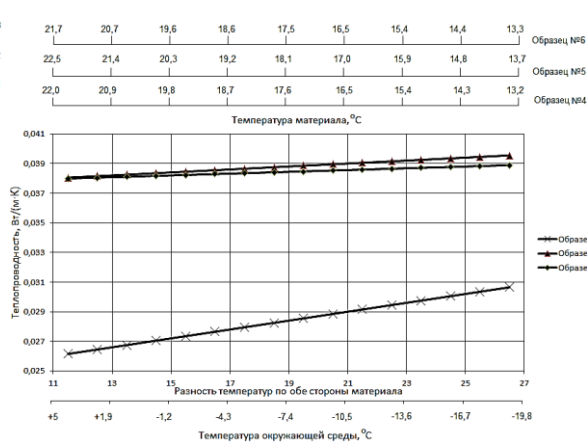


Рис. 4

Результаты исследования представляются в виде диаграммы (рис. 2), которая характеризует комплексный теплообмен в образце, для чего на ее поле нанесена линия теплопроводности, а также ряд температурных шкал. Из точки на шкале $t_{окр}$ проводится вертикальная линия (например, $t_{окр}=-2^{\circ}\text{C}$), в точках ее пересечения с элементами диаграммы видно, что ожидаемая температура материала $t_{мат}=20,5^{\circ}\text{C}$, разность температур по обе стороны образца $\text{grad } t_0=18,8^{\circ}\text{C}$, а величина $\lambda_{мат}=0,049 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Группу материалов №1 составляют термоскрепленные полотна из шерстяных волокон (образцы №1...3). При схожем волокнистом составе различия между значениями λ (рис. 3) определяются толщиной (h, мм) и поверхностной плотностью (A, г/м²)

образца. При увеличении h образец создает дополнительное тепловое сопротивление потоку тепла, что способствует снижению λ . Величина h_1 ниже h_2 и h_3 на 20%, а величина λ_1 меньше λ_2, λ_3 на 18 и 20% соответственно. При увеличении A, г/м², снижается объем воздуха, иммобилизованного в структуре образца, что вызывает рост λ , однако по этому показателю образцы группы материалов №1 различаются незначительно. В диапазоне $t_{окр}=-23...+5^{\circ}\text{C}$ при $t_{м}^{\circ}=35^{\circ}\text{C}$ температура материалов группы №1 – $t_{мат}=13...22,5^{\circ}\text{C}$. Наиболее высокие значения наблюдаются для образца №1. Величина $\text{grad } t_0$ материалов группы №1 составляла 14...30 $^{\circ}\text{C}$. По мере снижения $t_{окр}$ значение этого показателя возрастало.

Группу материалов №2 составляют иглопробивные войлоки (образцы 4...6).

Наибольшие различия между этими образцами заключаются в поверхностной плотности. Значение A_4 на 58% и 67% ниже, чем A_5 и A_6 . Значение λ_4 при одинаковых условиях на 23...32 % ниже чем λ_5 и λ_6 (рис. 4) Величины $t_{\text{мат}}$ образцов этой группы сопоставимы с предыдущей. Более низкие значения $\text{grad } t_0$ материалов этой группы связаны с волокнистым составом.

ВЫВОДЫ

1. Пакет материалов обуви может быть сформирован на основе компьютерного моделирования теплообмена в системе "стопа – обувь – окружающая среда". При этом для каждого материала необходимо иметь зависимость $\lambda=f(t_{\text{мат}})$.

2. Различия в теплопроводности термоскрепленных полотен из шерстяных волокон определяются толщиной образца. Величина h_1 ниже h_2 и h_3 на 20%, в результате величина λ_1 меньше λ_2 , λ_3 на 18 и 20% соответственно.

3. Различия в теплопроводности иглопробивных войлоков (группа 2) определяются поверхностной плотностью и волокнистым составом. При различиях в величине A между образцами в 58% и 67% значения λ различаются на 23...32 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Puzkarz A. The Study of Footwear Thermal Insulation Using Thermography and the Finite Volume Method // International Journal of Thermophysics. – 2019. P. 40...45.

2. Xiong S., Zhao J., Jiang Z., Dong M. A computer-aided design system for foot-feature-based shoe last customization // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – V. 46, 2010. P. 11...19.

3. Родичева М.В., Шустов Ю.С., Абрамов А.В., Ветрова Т.Н. Экспериментальный комплекс для оценки эксплуатационной эффективности пакетов материалов современной теплозащитной одежды // Технология и дизайн. – 2019, №70. С. 65...71.

4. ГОСТ Р ИСО 17705–2016. Обувь. Методы испытаний верха, подкладки и вкладных стелек. Теплоизоляция. – 2016.

5. Прохоров В.Т. и др. Особенности защиты человека от воздействия низких температур / Под общ. ред. проф. В.Т. Прохорова. – Шахты: Изд-во ГОУ ВПО "ЮРГУЭС", 2007.

REFERENCES

1. Puzkarz A. The Study of Footwear Thermal Insulation Using Thermography and the Finite Volume Method // International Journal of Thermophysics. – 2019. P. 40...45.

2. Xiong S., Zhao J., Jiang Z., Dong M. A computer-aided design system for foot-feature-based shoe last customization // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – V. 46, 2010. P. 11...19.

3. Rodicheva M.V., Shustov Yu.S., Abramov A.V., Vetrova T.N. Eksperimental'nyy kompleks dlya otsenki ekspluatatsionnoy effektivnosti paketov materialov sovremennoy teplozashchitnoy odezhdy // Tekhnologiya i dizayn. – 2019, №70. S. 65...71.

4. GOST R ISO 17705–2016. Obuv'. Metody ispytaniy verkha, podkladki i vkladnykh stelek. Teploizolyatsiya. – 2016.

5. Prokhorov V.T. i dr. Osobennosti zashchity cheloveka ot vozdeystviya nizkikh temperatur / Pod obshch. red. prof. V.T. Prokhorova. – Shakhty: Izd-vo GOU VPO "YuRGUES", 2007.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 18.03.21.