

Статья поступила в редакцию 12.10.2011 г.

SUMMARY

In work on the basis of the experimental researches it is shown, that the existing form of an estimation of thermal protective properties of fire-resistant materials and their packages is not exact. For elimination of the given lack the new methodological approach to an estimation of thermal protective properties of fire-resistant materials and their packages is offered. Its practical application allows not only to make the comparative analysis of thermal protective properties, but also to make an estimation of time of safe operation of package of fire-resistant materials at any level of thermal influence.

УДК 685.34.017:(685.34.03)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАКЕТА МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБУВИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е.Ф. Замостоцкая, В.И. Ольшанский

Специальная обувь должна обладать комплексом защитных, физико-механических и эргономических показателей, позволяющих защищать ноги от различного рода воздействий, возникающих от климатических и других факторов. При определённых воздействиях тепла и холода на материалы верха специальной обуви не должно быть разрушения наружной поверхности, отслоения покрытия, растрескивания материалов, входящих в пакет материалов, при воздействии низких температур.

Основными материалами, используемыми при изготовлении верха обуви специального назначения ГОСТ 28507-99 [1], являются различные виды термостойких и водонепроницаемых кож и других материалов, не уступающих им по своим защитным, эксплуатационным и физико-гигиеническим свойствам. Для производства верха специальной обуви в основном используются кожи двух групп: 1) кожи для верха и подкладки преимущественно хромового дубления; 2) юфть обувная преимущественно комбинированных методов дубления.

Для обуви специального назначения теплозащитные свойства характеризуются величиной термического сопротивления теплопередачи R . Величина R определяет сопротивление верха обуви переносу тепла от стопы во внешнюю среду. Как известно, обувная заготовка неравномерна по своей толщине и ее условно можно разделить на зоны (задинка, подносок, геленок, голенище и т. д.), имеющие свои конструктивные особенности. Каждая из зон заготовки представляет собой многослойный пакет материалов. Величину теплового потока многослойной стенки можно определить [2]:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (1)$$

где t_1 – температура 1-го слоя, К;

$i = 1, 2, \dots, n$ – номер слоя;

δ_i – толщина слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности слоя, Вт/(м·К).

Из уравнения (1) следует, что общее термическое сопротивление многослойной стенки равно сумме частных термических сопротивлений каждого из слоев. Тогда для всей обувной заготовки приведенное термическое сопротивление можно представить в следующем виде:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^m F_j}{\sum_{j=1}^m R_j}, \quad (2)$$

где $j = 1, 2, \dots, m$ – номер зоны;

F_j – площадь поверхности зоны, м²;

$R_j = \frac{\delta_j}{\lambda_j}$ – термическое сопротивление j -й зоны, м²·К/Вт.

На рисунке 1 представлена типовая конструкция мужских ботинок специального назначения, которая разбита на следующие зоны с площадью теплообмена F_j : 1 – союзка, 2 – задинка, 3 – берец, 4 – язычок, 5 – блочный ремень. В таблице приведены состав каждой зоны и значения толщины материалов.

Термическое сопротивление j -й зоны R_j определяется следующим образом:

$$R_j = R_{\lambda j} + R_k + R_\alpha, \quad (3)$$

где $R_{\lambda j}$ – термическое сопротивление всех m зон, м²·К/Вт:

$$R_{\lambda j} = \sum_{i=1}^{n_{ij}} \frac{\delta_{ij}}{\lambda_{ij}}, \quad (4)$$

где n_{ij} – число слоев в j -й зоне;

δ_{ij} – толщина j -го материала j -й зоне, м;

λ_{ij} – коэффициент теплопроводности j -го материала j -й зоны, Вт/(м·К);

R_k – среднее суммарное контактное термическое сопротивление, м²К/Вт;

R_α – среднее по поверхности термическое сопротивление, м²К/Вт;

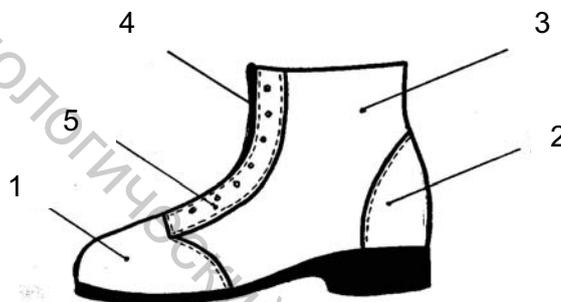


Рисунок 1 – Зоны конструкции верха обуви

$$R_{\alpha} = \frac{l}{\lambda_{\epsilon} Nu}, \quad (5)$$

где l – определяющий линейный параметр обуви, м;

λ_{ϵ} – коэффициент теплопроводность внешнего атмосферного воздуха при температуре t_{ϵ} , Вт/(м·К);

Nu – критерий Нуссельта, который определяет внешнюю теплоотдачу и зависит от вида конвекции и режима обтекания вблизи поверхности обуви.

На основании применения соотношений (2) – (5) определим термическое сопротивление теплопередачи верха обуви мужских ботинок специального назначения [1]. Исходные данные для расчета определены экспериментально на установке, разработанной на кафедре ТиОМП, и приведены в таблице.

Среднее суммарное контактное термическое сопротивление, по опытным данным Кедрова Л.В., $R_{\kappa} = 0,01$ м²К/Вт [3]. Примем погодные условия при ношении обуви данного вида равными: скорость ветра $v = 10$ м/с и температура воздуха $t_{\epsilon} = 0$ °С. Определяющий параметр обуви равен $l = 0,3$ м.

Для определения термического сопротивления теплоотдаче R_{α} воспользуемся критериальным уравнением [4]:

$$Nu = 0,57 Re^{0,5}, \quad (6)$$

$$Re = \frac{v l}{\nu_{\epsilon}}, \quad (7)$$

Таблица – Исходные данные для расчета термического сопротивления верха обуви

Номер зоны (рис. 1)	Индекс		Материал в i -м слое пакета	$\delta_{ij} \times 10^3$, м	λ_{ij} , Вт/м·К	R_{ij} , м ² ·К/Вт	R_{ij} , м ² ·К/Вт	F_j , м ²	$\frac{F_j}{R_j}$
	слоя i	зоны j							
1	1	1	юфть	2,16	0,170	0,013	0,044	0,065	0,331
	2	1	термобязь	0,48	0,042	0,011			
	3	1	термопласт	1,42	0,154	0,009			
	4	1	трикотаж	0,55	0,054	0,010			
2	1	2	юфть	2,16	0,170	0,013	0,054	0,034	0,166
	2	2	термобязь	0,48	0,042	0,011			
	3	2	кожкартон	1,80	0,090	0,020			
	4	2	трикотаж	0,55	0,054	0,010			
3	1	3	юфть	2,16	0,170	0,013	0,034	0,249	1,331
	2	3	термобязь	0,48	0,042	0,011			
	3	3	трикотаж	0,55	0,054	0,010			
4	1	4	юфть	2,16	0,170	0,013	0,023	0,037	0,210
	2	4	трикотаж	0,55	0,054	0,010			
5	1	5	юфть	2,16	0,170	0,013	0,016	0,026	0,156
	2	5	трикотаж	0,55	0,170	0,003			
Итого:							0,412	2,195	

Теплофизические характеристики вязкость $\nu_e = 13,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda_e = 2,44 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ определяются по температуре наружного воздуха t_e .

По соотношению (5) определено среднее по поверхности значение термического сопротивления теплоотдачи: $R_a = 0,143 \text{ м}^2/\text{Вт}$. По формуле (3), зная R_{λ_j} , R_k , R_α , определено термическое сопротивление зон R_j . Приведенное термическое сопротивление теплопередачи верха обуви мужских ботинок специального назначения $R = 0,189 \text{ м}^2/\text{Вт}$ определено по соотношению (2).

На рисунке 2 представлены результаты расчета термического сопротивления верха обуви специального назначения.

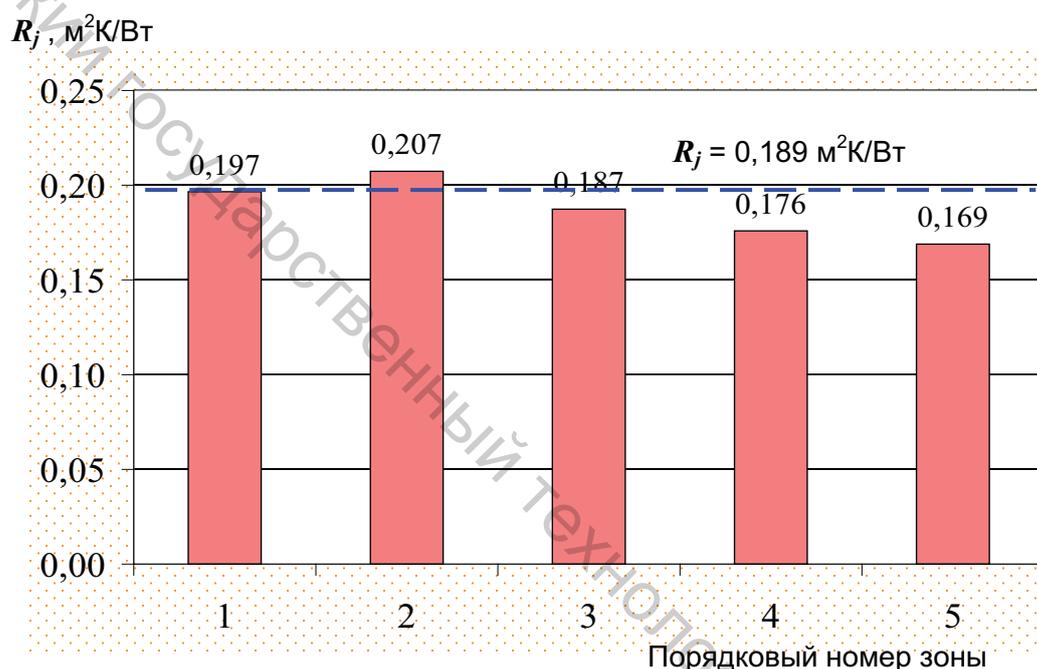


Рисунок 2 – Результаты расчета термического сопротивления

Рассчитанное значение термического сопротивления R хорошо согласуется с экспериментальными значениями термического сопротивления теплопередачи для мужских ботинок [3], расхождение не превышает 5 %.

Термическое сопротивление теплопередачи R верха обуви мужских ботинок специального назначения определялось без учета влияния влагопереноса ($W = 0$). Если процесс теплопереноса через теплоизолирующую оболочку сопровождается влагопереносом, то в уравнении теплопереноса необходимо добавить потери теплоты за счет влагопроводности с учетом фазовых превращений. Поле температуры в данном случае будет зависеть от поля влагосодержания, которое, в свою очередь, описывается соответствующим дифференциальным уравнением массопереноса.

Белюсовым В.П. [5] проведена оценка влияния влажности материала на термическое сопротивление теплопередачи R и получены соотношения для определения термического сопротивления теплопередачи R' , зависящего от влажности ($0 < W < 0,5$). Поскольку диапазон изменения R_α в реальных условиях внешней среды составляет $0,2 - 0,07 \text{ м}^2/\text{Вт}$, то оценку изменения термического

сопротивления теплопередачи R' необходимо проводить по максимальному и минимальному значениям R_α [5]:

$$R'_{max} = 0,841R, \quad (8)$$

$$R'_{min} = 0,77R. \quad (9)$$

Для ботинок специального назначения из соотношений (8) и (9) получены значения $R'_{max} = 0,158 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ и $R'_{min} = 0,144 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. Следовательно, при равномерном увлажнении обувной оболочки от 0 до 50 % термическое сопротивление изменяется от 0,144 до 0,158 $\text{м}^2\text{К/Вт}$.

Предложенная методика позволяет на стадии проектирования определить рациональный пакет материалов, который будет соответствовать требованиям ГОСТа. По данной методике можно подобрать пакет материалов с заданными теплофизическими свойствами для любой модели обуви и любых условий эксплуатации при соблюдении защитных и физико-механических требований.

В соответствии с приведенной методикой, определен оптимальный состав пакета верха обуви специального назначения, выпускаемой в настоящее время на ЭОП УО «ВГУ».

Список использованных источников

1. Обувь специальная с верхом из кожи, предназначена для защиты ног от механических воздействий : ГОСТ 28507 – 99. – введ. 01–09–05. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2005. – 17 с.
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, Н. М. Михеева. – Москва : Энергия, 1973. – 344 с.
3. Кедров, Л. В. Теплозащитные свойства обуви / Л. В. Кедров. – Москва : Легкая индустрия, 1979. – 168 с.
4. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко. – Москва : Высшая школа, 1971. – 459 с.
5. Белоусов, В. П. Аналитическая оценка влияния влажности обувной оболочки на ее теплозащитную способность / В. П. Белоусов // Кожевенно-обувная промышленность. – 1989. – № 4. – С. 38–40.

Статья поступила в редакцию 12.10.2011 г.

SUMMARY

Article is devoted drawing up of a design procedure of thermal resistance for a multilayered package of materials. Calculation of thermal resistance of a package of materials of footwear of a special purpose is as a result made: values of resistance to a heat transfer in each layer of a material and all package of materials as a whole are revealed.