

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ПАКЕТОВ ОДЕЖДЫ С КОМБИНИРОВАННЫМИ УТЕПЛИТЕЛЯМИ*

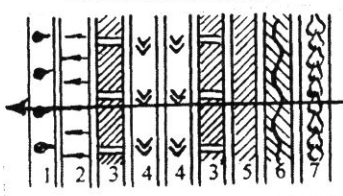
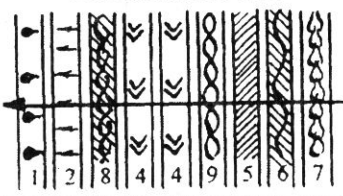
И.В. МОЛЬКОВА, Б.П. КУЛИКОВ, В.В. ВЕСЕЛОВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

Основным условием сохранения комфортного теплового состояния человека в одежде является достижение динамического теплового равновесия между образующимся в организме метаболическим теплом и теплом, отданным через одежду в окружающую среду. В определенных сферах деятельности человеку приходится длительное время находиться в условиях пониженных температур окружающего воздуха. В этом случае для сохранения теплового комфорта пакеты одежды формируют с различными комбинированными утеплителями [1].

Конструктивно такие утеплители представляют собой мягкие каркасные элементы из листового материала с ячейками, заполненными воздухом. Сами ячейки получают путем рассечения листов по всему полю в определенной последовательности и последующего растяжения их в поперечном направлении. Для таких ячеистых наполнителей, находящихся в состоянии напряжения, необходимо закрепление по всему полю детали. В противном случае ячейки находятся в состоянии ожидания к изменению своих размеров при снятии с детали усилия растяжения или сжатия.

Таблица 1

Состав пакета № 1	Толщина, $\delta = 16,3$ мм при $P = 196$ Па	Состав пакета № 2	Толщина, $\delta = 20,4$ мм при $P = 196$ Па
			
1 Плащевая ткань "Зевс"	0,7	1 Плащевая ткань "Зевс"	0,7
2 Ветрозащитная ткань, арт.52203	0,4	2 Ветрозащитная ткань, арт.52203	0,4
3 Комбинированный утеплитель (пенополиуретан, ППУ-75Р)	4,39	8 Синтепон	4,0
4 Бязь, арт.142	0,4	4 Бязь, арт. 142	0,4
4 Бязь, арт.142	0,4	4 Бязь, арт. 142	0,4
3 Комбинированный утеплитель (пенополиуретан, ППУ-75 Р)	4,39	9 Ватин	4,6
5 Байка, арт.1600	0,5	5 Байка, арт.1600	0,5
6 Ткань х/б, арт. С 19-ЮД	0,7	6 Ткань х/б, арт. С 19-ЮД	0,7
7 Трикотажное белье	2,0	7 Трикотажное белье	2,0
Общее термическое сопротивление $R_{общ.}$, Вт/м ² ·град	0,6183	Общее термическое сопротивление $R_{общ.}$, Вт/м ² ·град	0,5073
Масса, г/см ²	19,45	Масса, г/см ²	21,0

*Работа выполнена в рамках конкурса грантов по фундаментальным исследованиям в области технических наук 2003...2004 гг. (грант ТО-10.4-795).

В настоящей работе исследовали теплозащитную способность пакетов одежды специального назначения с комбинированным утеплителем, содержащим стабилизированные по форме и размерам воздушные ячейки (пакет № 1) и традиционный по структуре (пакет № 2). В качестве примера в табл. 1 приведена структура исследуемых пакетов.

Теплозащитные свойства пакетов изучали в условиях, при которых перенос тепла осуществлялся кондукцией (теплопроводностью) и конвекцией в разных точках тела при сохранении постоянства во времени, то есть $dt/d\tau = \text{const}$.

Теплопроводность тел в стационарном режиме теплообмена определяли на основе уравнения Фурье, согласно которому количественную характеристику теплопроводных свойств пакета можно выразить уравнением вида

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dx} df d\tau, \quad (1)$$

где dQ – тепловой поток, проходящий через площадь пакета df за время $d\tau$; λ – коэффициент теплопроводности; dt/dx – градиент температуры по толщине пакета.

Многослойные пакеты состоят из различных по структуре, толщине и теплопроводности текстильных материалов. В этом случае более предпочтительной обобщенной характеристикой, отражающей их теплозащитную способность, является общее термическое сопротивление $R_{\text{общ}}$.

Из (1) плотность теплового потока выразится так:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2), \quad (2)$$

где λ/δ – термическая проводимость, а обратная ей величина – термическое сопротивление $R_{\text{общ}}$.

Тогда

$$R_{\text{общ}} = \frac{t_1 - t_2}{q}. \quad (3)$$

Для исследований собрана экспериментальная установка и изготовлен специальный нагреватель плоского типа в виде квадратной пластины со сторонами 160 мм и толщиной 3 мм. Размеры нагревателя определялись с учетом толщины пакетов одежды исходя из условия минимального влияния краевых эффектов на формирование теплового потока.

В [2] показано, что для плоской неограниченной пластины в центральной ее части условие одномерности теплового потока для нестационарного теплообмена выполняется с высокой степенью надежности, если отношение половины толщины пакета к длине стороны пластины составляет величину менее 0,25.

При этом должны выполняться следующие граничные условия:

- граничные условия второго рода для случая, когда $q_{\text{п}} = \text{const}$, то есть, когда плотность теплового потока по поверхности нагревателя остается постоянной;

- граничные условия третьего рода, характеризующие закон теплообмена между поверхностью и окружающей средой при

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\text{п}} = -\frac{\alpha}{\lambda} (T_{\text{п}} - T_{\text{с}}).$$

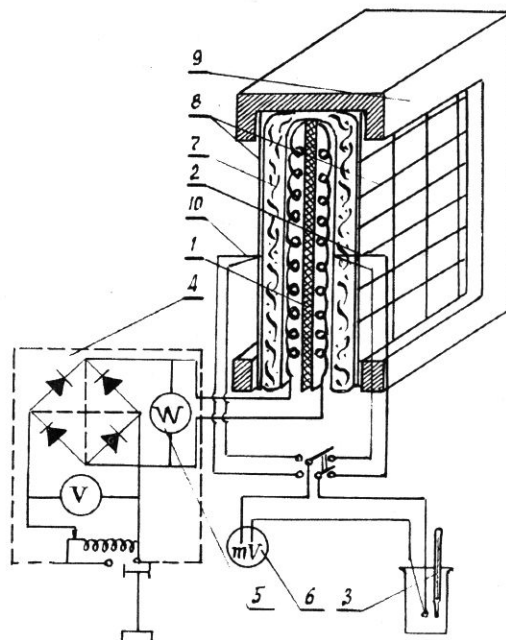


Рис. 1

Рабочий участок нагревателя 1 (рис.1) изготовлен из нихромового проводника, намотанного на стеклопластиковый каркас толщиной 1 мм и изолирован с обеих сторон лавсановыми пленками. Снаружи на нем закреплена рубашка из отшлифованной медной фольги толщиной 0,3мм, на которой расположены термопары 2 типа хромель-копель, включенные по встречной схеме. Холодный и нейтральный спаи термопар помещались в сосуд Дьюара 3. Рабочие концы термопар прокладывались по поверхности рубашки нагревателя в канавках на длине, соответствующей 160 диаметрам сечения проводников, прижимались полосками такой же фольги, которые припаивались по краям к рубашке.

С целью устранения поперечной помехи от наводок электромагнитного поля проводники термопар помещались в кембрик и экранировались. Питание нагревателя осуществлялось от стабилизированного источника постоянного тока через феррорезонансный стабилизатор напряжения 4.

Плотность теплового потока задавалась с учетом площади нагревателя в зависимости от величины теплопродукции человека, характеризующей степень тяжести выполняемой работы, в ее тепловом эквиваленте. Мощность контролировали с помощью ваттметра Д5004-Э 5 класса 0,5 и ценой деления шкалы 0,2 Вт, а термо-ЭДС измеряли милливольтметром 6.

Сформированный пакет 7 надевался на нагреватель (асимметричная задача) и зажимался по боковым сторонам с помощью прикладных рамок и сетки 8, закрепленной на рамках. Такая конструкция позволяла добиться плоскопараллельного расположения слоев пакета с одинаковой степенью прилегания их между собой по всей поверхности нагревателя. Перед закреплением пакета измеряли его толщину на плоскости стола при постоянной распределенной нагрузке 196 Па. Толщину пакета регулировали, а также измеряли после его закрепления непосредственно на нагревателе. Измерения проводили с использованием бесконтактного метода [3].

С целью уменьшения теплопотерь че-

рез торцевые участки пакета на прикладных рамках нагревателя закрепляли охранные приспособления коробчатого сечения 9, в которых внутренняя поверхность, обращенная к пакету, была покрыта слоем металлизированной ткани с хорошей отражательной способностью. На поверхности покровной ткани пакета также закрепляли термопары 10.

Контроль температуры в удаленной от нагревателя точке осуществляли физическим термометром с ценой деления шкалы 0,1 град, а контроль за наступлением стационарного режима теплообмена проводили по показаниям самопишущего потенциометра КСП-4 (на схеме не показано). Перепад температуры во всех опытах в условиях спокойного воздуха поддерживали постоянным.

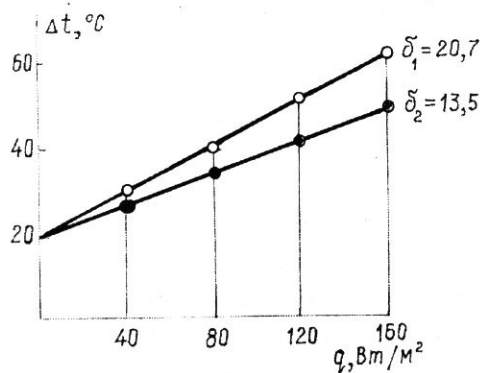


Рис. 2

На рис. 2 показан характер изменения перепада температуры в зависимости от плотности теплового потока для пакетов разной толщины. Установлено также, что изменение теплового потока при увеличении толщины пакета имеет линейный характер.

Влияние ветрового воздействия на теплозащитную способность пакетов оценивали путем обдува образцов в аэродинамической камере (на схеме не показано) при скоростях 2, 4, 6 и 8 м/с и угле атаки 60 град, обеспечивающем безциркуляционное обтекание профиля пакета.

При обдуве пакетов потоком воздуха их общее термическое сопротивление снижается, несмотря на ветрозащитные прокладки, располагающиеся непосредственно за покровной оболочкой пакетов.

Это связано с тем, что значительная часть тепла теряется с поверхности пакетов за счет увеличения конвективного переноса.

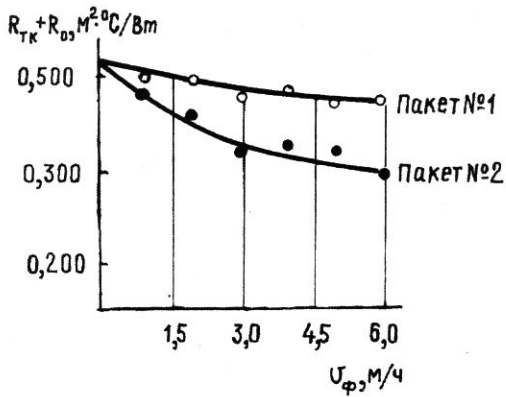


Рис. 3

На рис. 3 показан характер снижения общего термического сопротивления для опытных пакетов одежды в зависимости от величины скорости фильтрации воздуха через них.

В общих потерях тепла доля конвективного переноса через опытные образцы, находящиеся в одинаковых условиях, различна, хотя фильтрационные характеристики покровных оболочек пакетов одинаковые. Это объясняется тем, что при равных градиентах давления воздушного потока на поверхности пакетов величина фильтрации зависит также и от их толщины. С физической точки зрения неодинаковый фильтрационный расход для разных по структуре и толщине пакетов одежды объясняется их разным гидравлическим сопротивлением воздушному потоку.

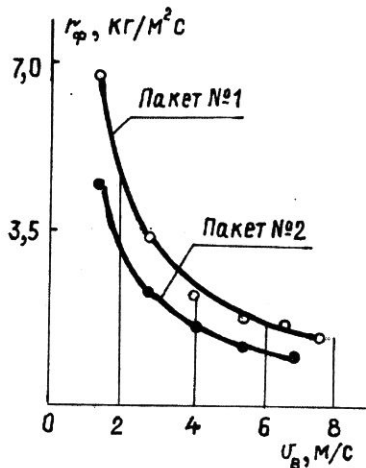


Рис. 4

Из рис. 4 видно, что сопротивление фильтрации воздушному потоку при обдуве пакетов резко снижается уже при скорости ветра 4 м/с. Следует отметить, что такое значение скорости ветра характерно для средней климатической зоны России. И хотя характер изменения сопротивления фильтрации одинаковый, пакет № 1 является более предпочтительным, так как сопротивление фильтрации у него выше, следовательно, и общие потери тепла в этом случае снижаются меньше по сравнению с пакетом № 2. Данный факт объясняется тем, что при одинаковых по фильтрационным свойствам покровных оболочках (покровных тканях и ветрозащитных прокладках) пакет № 1 имеет иную структуру утеплителя и расположение его в пакете.

Применение комбинированных утеплителей в сочетании с традиционными, рациональное расположение гидрофильных и гидрофобных слоев в пакете позволит расширить функциональные свойства одежды с учетом условий эксплуатации и климатических зон, изложенных в требованиях к эксплуатации специальной одежды.

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что при наличии в пакете комбинированного пенополиуретанового утеплителя с распределенными в нем воздушными ячейками уровень тепловой защиты повысился на $0,111 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ (18%) по сравнению с тепловой защитой пакетов, имеющих традиционную структуру утеплителя при снижении массы пакета на 8...10%.

2. Доказано, что применение комбинированных пенополиуретановых утеплителей с воздушными ячейками, распределенными с учетом особенностей локального теплообмена человека, позволит значительно улучшить как эксплуатационные, так и гигиенические характеристики одежды специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богомолов К.Л.* Разработка методов проектирования и изготовления спецодежды с ячеистыми наполнителями: Дис. ... канд. техн. наук. – С-Пб., 1992.
2. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / Шашков А.Г., Воло-

хов Г.М. и др. – М.: Энергия, 1973.

3. *Куликов Б.П., Стебельский М. В., Шеленгин Ю.Д.* //Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1973, № 1.

Рекомендована кафедрой технологии швейных изделий. Поступила 19.03.03
