

УДК 677.024

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОСНОВОВОРСОВОЙ ТКАНИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ТОЛЩИНЫ И ВОЛОКНИСТОГО СОСТАВА УТОЧНЫХ НИТЕЙ

**Бойко С.Ю., Назарова М.В.***Камышинский технологический институт, филиал ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный  
технический университет», Камышин, e-mail: ttp@kti.ru*

В статье проведены результаты исследования теплозащитных свойств неразрезной основоворсовой ткани с помощью тепловизионной установки. В качестве теплоизолятора предлагается использовать конструкционный материал, обладающий необходимыми свойствами – неразрезная двухполотенная основоворсовая ткань, с использованием в утке хлопчатобумажной и капроновой нити. В результате проведенных исследований с помощью тепловизионной установки, на базе инфракрасной камеры TermaCamTM SC 3000, определены основные теплофизические характеристики ткани, получены термограммы процесса охлаждения образцов ткани и по данным результатов измерений построены полулогарифмические графики их охлаждения. В результате анализа экспериментальных данных следует, что тепловое сопротивление образцов неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани зависит от их толщины. С увеличением толщины данной ткани увеличивается ее тепловое сопротивление, то есть улучшаются теплозащитные свойства, независимо от волокнистого состава ткани по утку.

**Ключевые слова:** основоворсовая ткань, теплоизолятор, тепловизор, толщина, тепловое сопротивление

## INVESTIGATION OF THERMAL CONDUCTIVITIES OF WARP-PILED FABRIC DEPENDING ON THE THICKNESS AND OF FIBROUS STRUCTURE OF THE WEFT THREADS

**Boyko S.Y., Nazarov M.V.***Kamyshin Technological Institute, branch of Volgograd State Technical University, Kamyshin,  
e-mail: ttp@kti.ru*

In the article the results of research conducted heat-shielding properties of a continuous warp-piled consisting of two layers of fabric using thermal imaging device. As a heat insulator is proposed to use a structural material with the required properties – warp-piled fabric consisting of two layers without cutting into of pile using weft cotton and cord yarn. The studies using the thermal imaging device, based on an infrared camera TermaCamTM SC 3000 defines the main thermophysical characteristics of fabric obtained thermograms of the cooling process fabric samples and according to data the results of measurements are constructed semi-log plot of cooling. As a result, the analysis of experimental data shows that the thermal resistance of the samples of a warp-piled fabric consisting of two layers on their thickness. With increasing thickness of the fabric increases its thermal resistance, it has improved thermal insulation properties, regardless of the composition of the fibrous fabric of the weft yarn.

**Keywords:** warp-piled fabric, thermal insulator, thermal imager, thickness, thermal resistance

Проектирование рациональной теплозащитной одежды для различных климатических и производственных условий является большой и весьма сложной научной проблемой, успешно решить которую можно только на базе комплексного использования данных физиологии, гигиены одежды, климатологии, теплофизики, текстильного материаловедения и конструирования одежды [4, 5].

Теплопроводность текстильных полотен связана с переносом энергии теплового движения микрочастиц от более нагретых частей тела к менее нагретым, приводящим к выравниванию температуры и оценивается коэффициентом теплопроводности; коэффициентом теплопередачи; тепловым сопротивлением, удельным тепловым сопротивлением.

Анализ работ по изучению теплофизических свойств материала показал, что при оценке теплозащитных свойств материалов

одежды более простой и наглядной величиной следует считать не коэффициент теплопроводности, а обратную ему величину, называемую тепловым сопротивлением. К факторам, влияющим на тепловое сопротивление материала, относятся: объемный вес, толщина, влажность, вид волокнистого материала, воздухопроницаемость [1, 3].

Поэтому целью данной работы является оценка величины теплофизических характеристик основоворсовой ткани, предназначенной для пошива спецодежды, используемой в экстремальных климатических условиях.

В данной работе при исследовании теплофизических свойств неразрезной основоворсовой ткани предлагается использовать принцип тепловой диагностики, который состоит в сравнении эталонного и анализируемого полей температуры в исследуемой ткани. Аномалии температуры служат индикаторами дефектов, а величина

температурных сигналов и их поведение во времени лежат в основе количественных оценок тех или иных параметров ткани.

Термин «тепловидение» относится, главным образом, к регистрации теплового излучения твердых тел, которое складывается из собственного излучения тела, обусловленного его температурой, а также отраженного и прошедшего излучения других тел. Для оптически непрозрачных объектов, тепловизионные устройства фиксируют исключительно поверхностные эффекты: температуру поверхности и величину коэффициентов излучения (поглощения) и отражения [2].

При исследовании объектов с помощью тепловизоров чаще применяются два наи-

более распространенных диапазона длин волн: 3-5,5 мкм и 8-12 мкм; и обычно они обозначаются как коротковолновые и длинноволновые диапазоны.

Общая схема измерения теплового излучения произвольного твердого тела изображена на рис. 1. Объект контроля (1) окружен средой (2) и другими объектами (3), соответственно с температурами  $T_{\text{ср}}$  и  $T_{\text{внеш}}$ . Для регистрации теплового излучения используется тепловизор (4). Объект контроля характеризуется следующими оптическими параметрами: коэффициент излучения  $\epsilon$ ; коэффициент поглощения  $\alpha$ ; коэффициент отражения  $r$ ; коэффициент пропускания  $\tau$ .

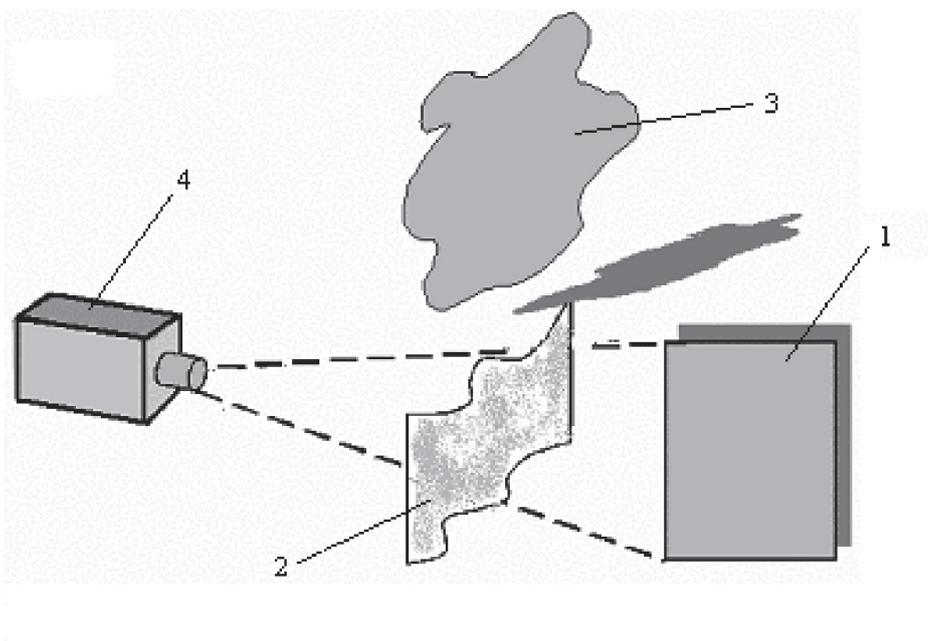


Рис. 1. Принципиальная схема измерения теплового излучения произвольного твердого тела

Основное преимущество тепловизора перед другими приборами при исследовании теплозащитных свойств материалов является:

- высокая термочувствительность;
- более точные значения температур;
- высокая скорость получения результатов эксперимента и их обработка;
- неограниченный температурный диапазон.

При определении теплофизических характеристик неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани, с помощью тепловизионной системы, была применена методика, разработанная на кафедре «Промышленная теплоэнергетика» МГТУ им. А.Н. Косыгина. Методика определения теплофизических характеристик основана на методах нестационарного теплового режима для экспериментальной оценки теплозащитных свойств

материалов одежды методом регулярного теплового режима, основанного на явлении свободного охлаждения нагретого образца в газообразной среде (воздухе) [4, 6].

Исследования теплофизических характеристик неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани с помощью тепловизионной системы проводились в лаборатории кафедры «Промышленная теплоэнергетика» МГТУ им. А.Н. Косыгина.

При использовании тепловизионной системы были поставлены следующие задачи:

- определение температурных полей на поверхности исследуемых образцов ткани при охлаждении;
- определение теплопроводности неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани.

Лабораторная установка для проведения эксперимента представлена на рис. 2.

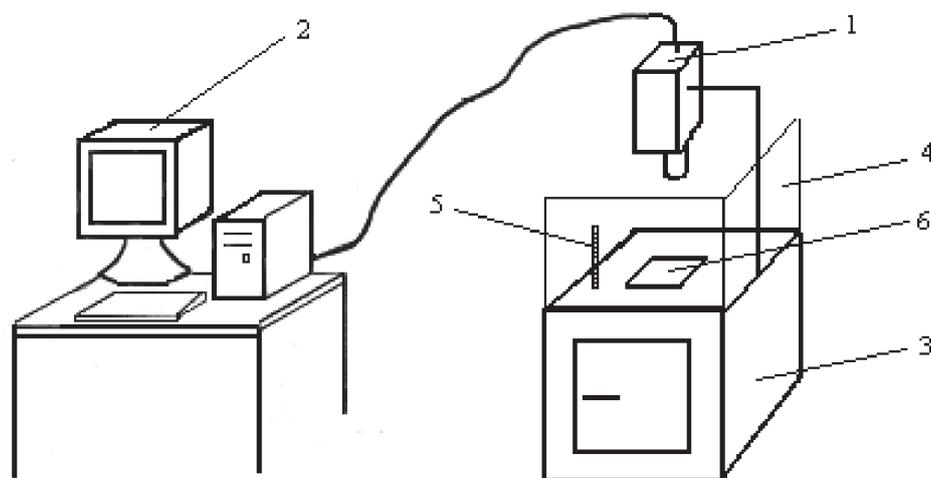


Рис. 2. Тепловизионная система для исследования теплопроводности основворсовой ткани:  
 1 – тепловизионная камера *Thermacam<sup>sm</sup> SC 3000*; 2 – компьютер для обработки данных;  
 3 – теплоизолированный шкаф; 4 – защитный экран; 5 – термометр, для контроля температуры  
 внутри шкафа; 6 – образец ткани

Как известно из исследований А.П. Колесникова [3], теплоизоляционная способность ткани зависит от ее толщины. Толщина имеет наибольшее значение в теплоизоляционных свойствах ткани. Для проведения эксперимента использовались образцы неразрезной основворсовой ткани с хлопчатобумажной пряжей в коренной и ворсовой основах. В утке использовалась хлопчатобумажная пряжа линейной плотностью 15,4\*2 текс (I-вариант) и нить капроновая T=15,6 текс (II-вариант). В каждом из вариантов менялась толщина ткани. Для проведения эксперимента были использованы образцы ткани различной толщины: I – вариант образец с хлопчатобумажной пряжей в утке, и II – вариант образец с капроновой нитью в утке. Толщина образцов ткани в обоих вариантах составляла  $b_1=7.57$  мм,  $b_2=7.62$  мм.

Алгоритм исследования теплозащитных свойств неразрезной двухполотенной основворсовой ткани выглядит следующим образом:

Нагрев образца в теплоизолированном шкафу до фиксированной температуры  $t=100^\circ\text{C}$  (меньшей температуры деформации волокон);

Контроль равномерности прогрева исследуемого образца при помощи инфракрасной камеры *ThermaCAM SC 3000*;

При достижении равномерного температурного поля на поверхности образца отключение питания электронагревателя;

При помощи инфракрасной камеры *ThermaCAM SC 3000* фиксирование остывания образца до исходной комнатной температуры при соблюдении условий  $\theta = const$ ,  $\alpha = const$ ;

Замена исследуемого образца (вариант 1) на другой образец (вариант 2) и проведение всего комплекса измерений заново;

После получения термограмм процесса охлаждения образцов производится обработка экспериментальных данных при помощи ЭВМ;

По известным формулам определяем теплопроводность и тепловое сопротивление образцов неразрезной двухполотенной основворсовой ткани.

Условия проведения эксперимента:

- излучательная способность объекта (степень черноты) – 0,95;
- температура окружающей среды –  $23^\circ\text{C}$ ;
- расстояние между объектом и тепловизором – 30 см;
- относительная влажность воздуха – 55%.

С помощью тепловизионной системы производится запись термограмм процесса охлаждения образца ткани с частотой 1 кадр в секунду.

По данным измерений построен полулгарифмический график охлаждения, представленный на рис.3 и 4, прямолинейный участок кривой соответствует регулярному режиму. Уравнение этой прямой, соглас-

но основному закону регулярного режима (первого рода) имеет следующий вид:

$$\ln v = -m \cdot \tau + g(x, z, z), \quad (1)$$

На прямой отмечается шесть точек с соответствующими координатами, в соответствии с которыми определяется темп охлаждения.

Темп охлаждения на каждом участке определяется по формулам (2),  $c^{-1}$ :

$$m_1 = \frac{\ln v_1 - \ln v_2}{\tau_2 - \tau_1} \quad m_n = \frac{\ln v_n - \ln v_{n+1}}{\tau_{n+1} - \tau_n}, \quad (2)$$

где  $v_1$  – разность между температурой в данной точке и во внешней среде в момент времени  $\tau_1$ ;  $v_2$  – разность между температурой в данной точке и во внешней среде в момент времени  $\tau_2$ ;

Средний темп охлаждения определяется по формуле 3,  $c^{-1}$ :

$$m_{CP} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5}{5}, \quad (3)$$

Определяем коэффициент форм для образцов ткани по формуле (4):

Если принять, что образец ткани условно принимает форму параллелепипеда, то для прямоугольного параллелепипеда с ребрами  $L_1, L_2, L_3$ , мм:

$$k = \frac{1}{\pi^2 \left( \frac{1}{L_1^2} + \frac{1}{L_2^2} + \frac{1}{L_3^2} \right)}, \quad (4)$$

где  $L_1$  – ширина образца, мм;  $L_2$  – длина образца, мм;  $L_3$  – высота образца, равной  $b_1, b_2$ , мм.

Коэффициент температуропроводности определяется по формуле (5),  $m^2/c$ :

$$a = \frac{K \cdot m}{1000000}, \quad (5)$$

Объемная плотность образцов определяется по формуле (6),  $kg/m^3$ :

$$\gamma = \frac{M}{b}, \quad (6)$$

где  $M$  – поверхностная плотность образца,  $g/m^2$ ;  $b$  – толщина образца, мм.

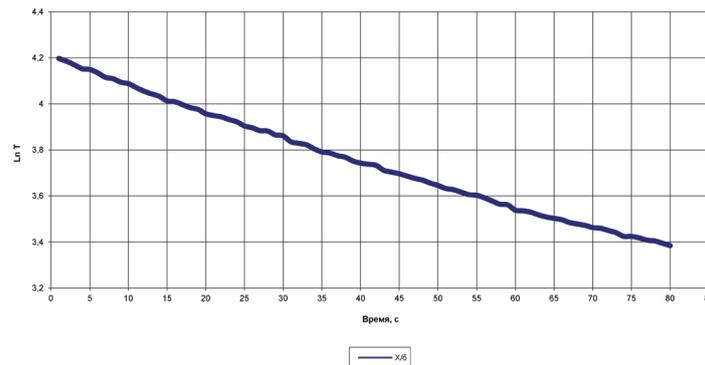


Рис. 3. Экспериментальная кривая темпа охлаждения образца основоворсовой ткани с хлопчатобумажной пряжей в утке (I-вариант)

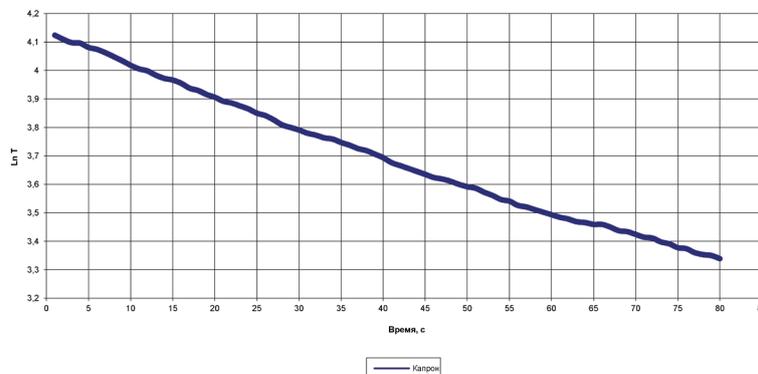


Рис. 4. Экспериментальная кривая темпа охлаждения основоворсовой ткани с капроновой нитью в утке (II-вариант)

Удельная теплоемкость образцов берется из экспериментальных данных определенных П.А Колесниковым [1]:

– для I – варианта (хлопок)  $c_1=1.38$  кДж/кг·град;

– для II – варианта (хлопок-капрон)  $c_2=1.66$  кДж/кг·град;

Теплопроводность материала определяется по формуле (7), Вт/м·град:

$$\lambda = a \cdot c \cdot \gamma. \quad (7)$$

Тепловое сопротивление образцов ткани определяется по формуле (7), м<sup>2</sup>·град/Вт:

$$R_M = \frac{\delta}{\lambda},$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·град.

Расчет параметров теплового сопротивления образцов неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани двух вариантов проведен на ЭВМ и представлен в табл. 2.

**Таблица 2**

Результаты расчета параметров теплового сопротивления образцов неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани

№ Образца	I – вариант		II – вариант	
	Толщина слоя, мм	Тепловое сопротивление, м <sup>2</sup> ·град/Вт	Толщина слоя, мм	Тепловое сопротивление, м <sup>2</sup> ·град/Вт
1	7,62	0,651	7,57	0,591
2	7,12	0,608	6,96	0,544
3	3,03	0,259	3,00	0,234
4	2,85	0,244	2,79	0,218
5	5,35	0,457	4,83	0,377
6	4,98	0,426	4,46	0,348
7	7,38	0,631	7,19	0,562
8	2,97	0,254	2,93	0,229
9	5,01	0,428	4,54	0,355

В результате проведенного анализа данных таблицы следует, что тепловое сопротивление образцов неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани зависит от их толщины. С увеличением толщины данной ткани увеличивается ее тепловое сопротивление, то есть улучшаются теплозащитные свойства, независимо от волокнистого состава ткани по утке.

Наилучшими теплозащитными свойствами обладают: – образец ткани с содержанием в утке хлопчатобумажной пряжи и толщиной  $b_T=7,62$  мм; образец ткани с содержанием в утке капроновой нити и толщиной  $b_T=7,57$ .

Далее по приведенным выше формулам на ЭВМ произведен расчет теплофизических характеристик образцов ткани, приведенный в табл. 3.

**Таблица 3**

Теплофизические характеристики образцов основоворсовой ткани

Теплофизические характеристики	I – вариант	II – вариант
1. Темп охлаждения, с <sup>-1</sup>	1,093E-02	1,080E-02
2. Температуропроводность, м <sup>2</sup> /с	6,36E-08	6,21E-08
3. Удельная теплоемкость, кДж/кг·град.	1,38	1,664
4. Теплопроводность, Вт/м·град.	1,17E-02	1,28E-02

**Выводы**

1. С помощью тепловизионной установки, на базе инфракрасной камеры ТермаCamTM SC 3000, проведено исследование теплозащитных свойств ткани, определены основные ее теплофизические характеристики, получены термограммы процесса охлаждения образцов ткани и по данным результатов измерений построены полулогарифмические графики их охлаждения.

2. Разработан алгоритм расчета теплозащитных свойств неразрезной двухполотенной основоворсовой ткани, на основе которого определены основные теплофизические характеристики ткани.

**Список литературы**

1. Бойко С.Ю. Разработка оптимальных технологических параметров выработки ткани для защиты человека от внешних воздействий: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 2004. – 16 с.
2. Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. – М.: «Интел универсал», 2002 – 88 с.
3. Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды. Л.: «Легкая индустрия», 1971. – 112 с.
4. Назарова М.В., Бойко С.Ю. Разработка метода проектирования ткани для защиты человека от внешних воздействий // Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 6. – С. 75-79.
5. Назарова М.В., Бойко С.Ю., Завьялов А.А. Разработка оптимальных технологических параметров выработки ткани, обладающей высокими прочностными свойствами // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 10 (часть 2). – С. 385-390.
6. Назарова М.В., Бойко С.Ю., Романов В.Ю. Разработка оптимальных технологических параметров выработки ткани обладающей теплозащитными свойствами // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 10 (часть 2). – С. 391-396.