

УДК 331.344.2:677.52.076.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
СОВРЕМЕННЫХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ\***

**RESEARCH OF THERMAL INDICATORS OF MODERN HEATERS**

*М.В. РОДИЧЕВА, А.В. АБРАМОВ, А.А. ПАВЛОВСКАЯ  
M.V. RODICHEVA, A.V. ABRAMOV, A.A. PAVLOVSKAYA*

**(Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел)  
(State University – Educational-Research-and-Production Complex, Orel)  
E-mail: ral@orel.ru**

*Авторами предлагается экспериментальный метод для оценки теплозащитных свойств и рекомендации по выбору синтетических утеплителей для различных климатических поясов.*

*The authors offer an experimental method for estimation of heat-proofing properties and recommendations for the choice of synthetic heaters for various climatic zones.*

---

\* Работа проведена в рамках гранта РФФИ № 09-08-97557 на проект "Моделирование процессов тепло- и массообмена в биотехнической системе человек – одежда – окружающая среда.

**Ключевые слова:** синтетические утеплители, методы экспериментальной оценки теплозащитных свойств, теплоотдача, теплопередача, эффективность теплозащитной одежды.

**Keywords:** synthetic heaters, methods of experimental estimation of heat-proofing properties, heat exchange, a heat transfer, efficiency of heat-proofing clothes.

Традиционно использующийся эмпирический подход к выбору утеплителей для теплозащитной одежды значительно снижает ее защитные функции и, как правило, приводит к повышению уровня простудных заболеваний в холодные периоды года. Проводимые расчеты параметров теплозащитной одежды основаны на определении величины суммарного теплового сопротивления.

$$R_{\text{сум}} = \frac{\delta_{\text{мат}}}{\lambda_{\text{мат}}} + \frac{1}{\alpha}, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{мат}}$  – толщина пакета, м;  $\lambda_{\text{мат}}$  – коэффициент теплопроводности пакета, Вт/м·°С;  $\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}$  – коэффициент теплообмена одежды с окружающей средой, Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $\alpha_{\text{к}}$  и  $\alpha_{\text{л}}$  – коэффициент конвективной и лучистой теплоотдачи в окружающую среду.

Однако экспериментальное исследование суммарного теплового сопротивления материалов и пакетов одежды осложняется тем, что производители одежды и испытательные лаборатории не располагают современными приборами для их количественной оценки.

Для экспериментальной оценки показателей теплозащитных свойств современных утеплителей авторами предлагается биотехнический эмулятор теплообмена в системе человек – одежда – окружающая среда, который является частью измерительного комплекса, оснащенного электронным интерфейсом и программным обеспечением для автоматизации эксперимента и обработки его результатов [1]. Биотехнический эмулятор, моделирующий элемент тела человека, представляет собой алюминиевый цилиндр 1, который заполнен водой (рис. 1 – расчетная схема

теплоотдачи эмулятора через пакет одежды: 1 – рабочий объем эмулятора; 2 – рабочая поверхность эмулятора; 3 – пакет одежды; 4 – измерительный конус; 5 – измерительное кольцо). Принцип работы эмулятора сводится к поддержанию в рабочем объеме заданного значения температуры за счет импульсной подачи питания на электрический нагреватель (ТЭН). При понижении заданного значения температуры на 0,2°С автоматизированная система осуществляет подачу на ТЭН эмулятора импульса питания продолжительностью  $\tau_1$ . Тепловая энергия, поданная в рабочий объем за счет импульса, рассеивается через пакет одежды в окружающую среду за промежуток времени  $\tau_2$ , составляющий полный цикл эмулятора.

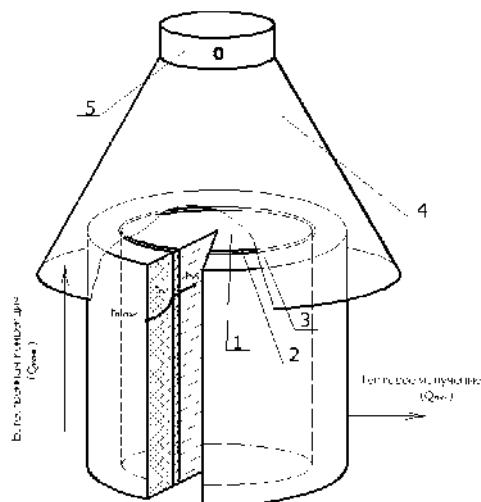


Рис. 1

При проведении экспериментальных исследований на поверхности эмулятора размещается слой нетканого материала 2, а затем исследуемый пакет материалов, представленный цилиндрическими оболочками 3. Автоматизированная система контролирует параметры работы ТЭНа, по

которым рассчитывается величина тепловой энергии:

$$Q_{\text{под}} = \frac{U^2 \tau_1}{R \tau_2}, \quad (2)$$

где  $U$  – величина напряжения на ТЭНе, В.

Интенсивность теплопередачи через структуру пакета может быть оценена по величине коэффициента теплопроводности:

$$\lambda = \frac{Q_{\text{под}} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{2\pi\ell(t_{n2} - t_{n1})}, \quad (3)$$

где  $t_{n1}$  – температура поверхности эмульгатора, °С;  $t_{n2}$  – температура поверхности пакета, °С;  $S_{\text{пов}}$  – площадь поверхности пакета одежды;  $d_1$  и  $d_2$  – внутренний и внешний диаметры пакета, м.

При определении коэффициента теплопроводности пакета на внешней и внутренней поверхностях каждого слоя утеплителя располагали первичные преобразователи температуры DS18B20 – в каждом слое по шесть датчиков, распределенных равномерно.

В безветренный день (без осадков) тепловая энергия с поверхности пакета одежды рассеивается в окружающую среду за счет естественной конвекции и теплового излучения. Для исследования естественной конвективной теплоотдачи над верхним торцом эмульгатора размещается конус 4 с измерительным кольцом 5 (рис. 1). Воздух, поднимающийся вверх, формируется конусом в поток, который попадает в измерительное кольцо, где расположены приборы контроля расхода и температуры. По показаниям датчиков рассчитывается

величина естественной конвективной теплоотдачи:

$$W_{\text{конв}} = \rho v S_{\text{кольца}} c (t_{\text{п-пак}} - t_{\text{окр}}), \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха в измерительном кольце, г/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость движения воздуха, измеренная в кольце, м/с;  $S_{\text{кольца}}$  – площадь измерительного кольца, м<sup>2</sup>;  $c$  – теплоемкость воздуха, Дж/кг·°С;  $t_{\text{п-пак}}$  и  $t_{\text{окр}}$  – соответственно температуры поверхности исследуемого пакета и окружающей среды, °С.

Лучистая составляющая теплоотдачи с поверхности пакета рассчитывается по закону Стефана-Больцмана, для чего измеряются температура поверхности пакета и окружающего воздуха.

На основе приведенных соотношений авторами проведено экспериментальное исследование эффективности современных синтетических утеплителей: ватин, синтепон, Holofiber, Thermofinn, характеристики которых представлены в табл. 1 (некоторые физические свойства исследуемых утеплителей).

Экспериментальные исследования теплофизических свойств были направлены на определение зависимости суммарного теплового сопротивления утеплителя от его толщины. Для этого из каждого утеплителя изготавливались 3 пакета, состоящие из одного, двух и трех слоев. Ввиду нерегулярной структуры утеплителей воздушные прослойки между слоями по размеру сопоставимы с объемами воздуха, стабилизированными в структуре. Поэтому многослойный утеплитель рассматривался как монослойный.

Т а б л и ц а 1

Вид утеплителя	Плотность, ·10 <sup>-3</sup> г/см <sup>3</sup>	Толщина слоя, мм	Волокнистый состав
Синтепон	27	4,9	Полиэфир – 80%; полипропилен – 20%
Ватин	61	6,8	Биокомпонент – 85% Синтетические волокна – 15%
Thermofinn	20	5,2	Полиэфир силиконизированный – 100%
Holofiber	23	2,9	Полиэфир силиконизированный – 100%;

Испытания проводились при разности температур между рабочей поверхностью эмульгатора и окружающей средой 40°С – для моделирования условий умеренного

холода. Полученные результаты иллюстрируются рис. 2 (зависимость суммарного теплового сопротивления утеплителя от толщины утепляющего пакета).

Наиболее эффективными из рассмотренных утеплителей являются Thermofinn и ватин, что обусловливается структурой волокон. На малых толщинах синтепон показывает лучшую защитную эффективность. Однако с увеличением толщины утеплитель Thermofinn предпочтительнее. На малых толщинах утеплитель Holofiber показывает наименьшую теплозащитную эффективность. Однако при увеличении толщины можно ожидать значительного увеличения теплозащитной эффективности.

Полученные данные позволяют решить ряд практических задач, в частности, подобрать толщину утеплителя в зависимости от требуемой величины суммарного

теплового сопротивления (табл. 2 – требуемая толщина утеплителя, для обеспечения нормативной величины теплоизоляции) [2].

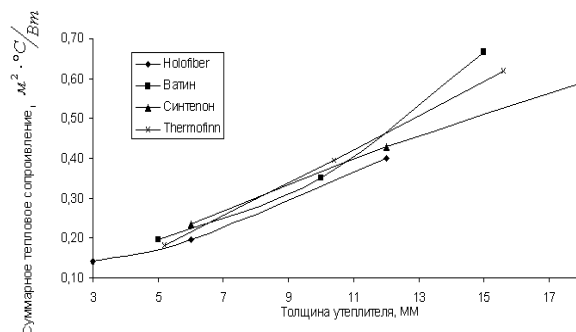


Рис. 2

Таблица 2

Климатический пояс	Требуемая величина R, м²·°С/Вт,	Толщина утеплителя, мм			
		ватин	синтепон	Thermofinn	Holofiber
При воздухопроницаемости верхнего слоя 10 дм³/м²·с					
IA	0,669	15	21	17	16
IB (IV)	0,744	15	24	18	17
II (III)	0,518	13	15	13	14
III (II)	0,451	12	13	12	13
При воздухопроницаемости верхнего слоя 20 дм³/м²·с					
IA	0,714	15	23	18	17
IB (IV)	0,752	15	25	18	17
II (III)	0,534	14	16	14	14
III (II)	0,474	13	14	12	14
При воздухопроницаемости верхнего слоя 30 дм³/м²·с					
IA	0,764	15	25	19	18
IB (IV)	0,759	15	25	19	18
II (III)	0,551	14	15	14	15
III (II)	0,500	13	15	13	14
При воздухопроницаемости верхнего слоя 40 дм³/м²·с					
IA	0,823	15	28	20	18
IB (IV)	0,767	15	26	19	18
II (III)	0,569	14	17	14	15
III (II)	0,528	14	15	13	14

## ВЫВОДЫ

В работе представлены исследования современных утеплителей для одежды с помощью нового метода и прибора – биотехнического эмулятора теплообмена. Как показывают результаты расчетов, во всех климатических зонах натуральный утеплитель ватин является предпочтительнее синтетических утеплителей. Однако его плотность в 2,5...3 раза выше, чем у синтетических, поэтому ватин утяжеляет пакет одежды. Как и ожидалось, с увеличением толщины утеплитель Holofiber показывает лучшую теплозащитную эффективность в

сравнении с другими синтетическими утеплителями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Родичева М.В., Абрамов А.В., Уваров А.В. Моделирование процессов теплообмена в биотехнической системе "человек - одежда - окружающая среда" // Швейная промышленность. – 2009, №6. С.38...40.
2. МР 2.2.7.2129-06. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в не отапливаемых помещениях / Р.Ф. Афанасьева // утв. главным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 01.11.2006.

Рекомендована кафедрой технологии и конструирования швейных изделий. Поступила 03.06.11.