

## ИССЛЕДОВАНИЕ СУММАРНОГО ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАКЕТОВ МАТЕРИАЛОВ АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ МЕТОДАМИ

### RESEARCH OF TOTAL HEAT RESISTANCE OF MATERIAL PACKAGES BY ALTERNATIVE METHODS

УДК 677.017.56

**И.А. Петюль\*, В.В. Сапёлко**

*Витебский государственный технологический университет*

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2019-13608>

**I. Petsiul\*, V. Sapelko**

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*СПЕЦИАЛЬНАЯ ОДЕЖДА, ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА, СУММАРНОЕ ТЕПЛООВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ТОЧНОСТЬ, ПОГРЕШНОСТЬ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ*

*Объектом исследования в данной работе являются пакеты материалов для изготовления специальной одежды, предназначенной для защиты от пониженных температур.*

*Целью работы являлась оценка приемлемости существующих альтернативных методик определения суммарного теплового сопротивления для производственного контроля и постановки продукции на производство.*

*В процессе работы проведен анализ и изучены требования, предъявляемые к показателям теплозащитных свойств специальной одежды, предназначенной для защиты от пониженных температур, в частности требования ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты». Проведен анализ методик определения суммарного теплового сопротивления и экспериментальные исследования пакетов материалов, используемых для изготовления специальной одежды, предназначенной для защиты от пониженных температур. Исследования проводились как стандартным методом по ГОСТ 20489-75, так и альтернативными методами, сущность и возможности технической реализации которых изложены в научных публикациях. Используя различные подходы к оценке точности в измерениях, разработаны рекомендации о возможности применения альтернативных методов для измерения суммарного теплового сопро-*

#### ABSTRACT

*SPECIAL CLOTHES, HEAT-PROTECTIVE PROPERTIES, TOTAL HEAT RESISTANCE, ACCURACY OF MEASUREMENT, ERROR OF MEASUREMENT, UNCERTAINTY OF MEASUREMENT*

*The article presents the requirements of regulatory legal acts for clothing designed to protect against the cold. The article shows that the most important indicator of the protective properties of special clothing is the total thermal resistance. Methods are determined that allow to define this indicator. The results of research materials are presented, performed by the standard method and known alternative methods. The following methods define the individual characteristics of the measurement accuracy: measurement error and uncertainty.*

*Conclusions are drawn on methods which are more acceptable for production control. The results can be used by clothing enterprises specializing in the manufacture of personal safety gear, as well as conformity assessment body of products and testing laboratories.*

\* E-mail: [petyl@inbox.ru](mailto:petyl@inbox.ru) (I. Petsiul)

тивления в целях производственного контроля. Результаты могут быть использованы швейными предприятиями, специализирующимися на пошиве средств индивидуальной защиты, а также органами по сертификации продукции и испытательными лабораториями.

В рамках созданного Евразийского экономического союза уполномоченными органами разработан ряд документов, регулирующих техническое законодательство, в том числе в сферах торговли и обеспечения безопасности. Одним из созданных документов, принятых Евразийской экономической комиссией, является технический регламент ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты». Средства индивидуальной защиты предусмотрены для многих профессий при выполнении работ, связанных с воздействием неблагоприятных факторов окружающей или производственной среды. Одним из видов средств индивидуальной защиты является одежда для защиты от пониженных температур, применение которой необходимо при выполнении работ в условиях окружающей среды при средней температуре воздуха в течение месяца ниже нуля. Такие климатические условия характерны как для нашей страны, так и для большей части территории Российской Федерации. Главное значение в такой одежде отводится ее теплозащитным свойствам. Для

специальной одежды, предназначенной для защиты от пониженных температур, документ регламентирует такие теплозащитные показатели, как теплоизоляция и суммарное тепловое сопротивление [1].

Как показал анализ, в большинстве технических нормативных правовых актов, содержащих требования к специальной одежде для защиты от холода, нормируются в основном только два показателя теплозащитных свойств, указанные в таблице 1 [1, 2, 3, 4].

Согласно ТР ТС 019/2011 специальная одежда от воздействия пониженной температуры в зависимости от климатического региона, времени непрерывного пребывания на холоде, воздухопроницаемости материала верха и с учетом тяжести выполняемой работы должна иметь следующие теплозащитные свойства:

- теплоизоляцию комплекта в диапазоне от 0,451 до 0,823  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$ ;
- суммарное тепловое сопротивление пакета материалов, определяемое классом защиты, не менее 0,50  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$ .

Таблица 1 – Нормируемые показатели теплозащитных свойств в различных нормативных правовых актах

| Показатель   | ТР ТС 019/2011 «О безопасности СИЗ» | ГОСТ 12.4.303-2016 «ССБТ. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования» | EN 342:2008 «Защитная одежда – Комплект для защиты от холода» | МР 2.2.8.2127-06 «Гигиенические требования к теплоизоляции комплекта СИЗ от холода в различных климатических регионах и методы ее оценки» |
|--|-------------------------------------|---|---|---|
| 1. Теплоизоляция комплекта, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$            | +                                   | +   | +   | +   |
| 2. Тепловое сопротивление (суммарное), $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$ | +                                   | +   | +   | -   |

Техническим регламентом ТР ТС 019/2011 определено ограниченное количество методик, которые могут применяться для определения теплозащитных свойств при декларировании или сертификации средств индивидуальной защиты. Так, например, теплоизоляционные свойства изделий в целом и отдельных предметов оцениваются по результатам физиолого-гигиенических исследований с участием испытуемых в климатических камерах. Нужно отметить, что данное исследование не проводится ни в одной из лабораторий Республики Беларусь. Другая указанная в регламенте методика оценки теплозащитных свойств изделий позволяет определять только суммарное тепловое сопротивление по ГОСТ 20489-75 на специальном приборе ПТС-225 при нормальных условиях [5]. В Республике Беларусь только лаборатория УП «Центр испытаний и сертификации ТООТ» аккредитована на определение этого показателя.

Ряд разработок и определенный накопленный опыт по данной тематике имеется в Витебском государственном технологическом университете (ВГТУ) [6]. В условиях постановки продукции на производство, при конфекционировании материалов не обязательно прибегать к применению стандартного метода, но использование альтернативного метода должно гарантировать приемлемую точность (прецизионность) результатов и достаточную уверенность в правильности получаемых результатов. В данной работе исследования материалов проводились с использованием альтернативных методов определения суммарного теплового сопротивления, с целью выбора из них наиболее простого, дешевого и доступного метода для предприятий и производственных лабораторий. Выбранные для исследования методы разработаны или модифицированы для текстильных материалов в ВГТУ, их принципы изложены в научной литературе, а техническая реализация не вызывала затруднений.

Испытания проводились на шести образцах пакетов материалов, характеристика которых приведена в таблице 2.

Суммарное тепловое сопротивление образцов  $R_o$  по стандартной методике (ГОСТ 20489-75) определялось в УП «Центр испытаний и сертификации ТООТ». Полученные значения

принимались в качестве опорных.

Сущность применяемых методов заключается в следующем.

#### МЕТОД 1

В основу предлагаемого метода положен принцип нестационарного теплового режима. Его сущность заключается в определении времени остывания нагревательного элемента, помещенного внутрь пакета материалов, в заданном интервале температур. Подобный принцип реализован в устройстве, описанном в российском патенте № 2527314 [7]. Для реализации данного принципа авторами разработан стенд для определения суммарного теплового сопротивления в нормальных условиях и с использованием климатической камеры.

Для проведения испытаний были подготовлены пробы из пакетов материалов в виде прямоугольных конвертов, размеры которых определялись размерами нагревательного элемента. Нагревательный элемент представлял собой вольфрамовый цилиндр длиной  $l = 12$  см, диаметром  $d = 2$  см, массой  $m = 129,7$  г, с удельной теплоемкостью  $c = 134$  Дж/кг · °С.

Нагревательный элемент вместе с датчиками температуры помещался внутрь прямоугольного конверта и запаковывался с помощью зажима (рисунок 1). Затем исследуемый объект закреплялся на стойке в климатической камере, в которой последовательно поддерживались определенные условия: нормальные с температурой  $(20 \pm 2)$  °С и влажностью  $(65 \pm 5)$  %, и со средними температурами воздуха зимних месяцев IV поясов, приведенных в ТР ТС 019-2011 (то есть в условиях, близких к эксплуатационным). После создания необходимых условий в климатической камере цилиндр нагревали до 60 °С, а изменения температуры фиксировали с помощью цифрового регистратора температуры. Для выравнивания температурного поля цилиндр охлаждали до температуры 55 °С, после чего фиксировалось время его охлаждения до температуры 45 °С. Выбор интервала температур проведен по аналогии с ГОСТ 20489-75.

Способность материалов препятствовать прохождению теплоты, то есть их теплозащитные свойства характеризуют тепловым сопротивлением  $R_{сум}$ ,  $м^2 \cdot °С/Вт$ , которое определялось по следующей формуле:

Таблица 2 – Характеристика пакетов материалов

| Обр. 1  | Обр. 2  | Обр. 3  | Обр. 4   | Обр. 5   | Обр. 6 |
|---|---|---|--|--|--------|
| <b>Материал верха</b>   |   |   |  |  |        |
| Ткань «Грета» (ОАО «Моготекс»).<br>Состав сырья: 51 % – хлопок, 49 % – ПЭ.<br>Переплетение: саржевое.<br>Отделка: гладкокрашенная.<br>Поверхностная плотность: 210 г/м <sup>2</sup>       | Ткань «Полет» (ОАО «Моготекс»).<br>Состав сырья: 76 % – хлопок, 24 % – ПЭ.<br>Переплетение: саржевое.<br>Отделка: гладкокрашенная.<br>Поверхностная плотность: 254 г/м <sup>2</sup>   | Ткань «Грета» (ОАО «Моготекс»).<br>Состав сырья: 51 % – хлопок, 49 % – ПЭ.<br>Переплетение: саржевое.<br>Отделка: гладкокрашенная.<br>Поверхностная плотность: 213 г/м <sup>2</sup> | Ткань «Грета» (ОАО «Моготекс»).<br>Состав сырья: 47 % – хлопок, 53 % – ПЭ.<br>Переплетение: саржевое.<br>Отделка: гладкокрашенная.<br>Поверхностная плотность: 217 г/м <sup>2</sup>  |  |        |
| <b>Материал подкладки</b>   |   |   |  |  |        |
| «Бязь» (ОАО «БПХО»).<br>Состав сырья: 100 % – хлопок.<br>Переплетение: полотняное.<br>Отделка: гладкокрашенная.<br>Поверхностная плотность: 145 г/м <sup>2</sup>                          | Ткань подкладочная (ОАО «Моготекс»).<br>Состав сырья: 100 % – ПЭ.<br>Переплетение: полотняное.<br>Отделка: гладкокрашенная АСО (антистатическая).<br>Поверхностная плотность: 71 г/м <sup>2</sup>   | Ткань подкладочная.<br>Состав сырья: 100 % – ПЭ.<br>Переплетение: полотняное.<br>Отделка: гладкокрашенная.<br>Поверхностная плотность: 60 г/м <sup>2</sup>                          | Ткань подкладочная.<br>Состав сырья: 100 % – ПЭ.<br>Переплетение: полотняное.<br>Отделка: гладкокрашенная.<br>Поверхностная плотность: 67 г/м <sup>2</sup>   |  |        |
| <b>Утеплитель</b>   |   |   |  |  |        |
| Ватин (2 слоя) холсто-прошивной полушерстяной (ОАО «Витебские ковры»).<br>Состав сырья: 35 % – натуральные волокна; 65 % – химические.<br>Поверхностная плотность: 400х2 г/м <sup>2</sup> | Ватин (1 слой) холстопрошивной полушерстяной (ОАО «Витебские ковры»).<br>Состав сырья: 35 % – натуральные волокна; 65 % – химические.<br>Поверхностная плотность: 270 г/м <sup>2</sup> .<br>Полотно нетканое объемное полиэфирное (синтепон) (ООО «Синтотекс»).<br>Состав сырья: 100 % – ПЭ.<br>Плотность: 150 г/м <sup>2</sup> | Полотно нетканое объемное полиэфирное (синтепон) (ООО «Синтотекс»).<br>Состав сырья: 100 % – ПЭ.<br>Плотность: 300 г/м <sup>2</sup>   | Ватин (2 слоя) холсто-прошивной полушерстяной.<br>Состав сырья: 35 % – натуральные волокна; 65 % – химические.<br>Поверхностная плотность: 260х2 г/м <sup>2</sup> .<br>Полотно нетканое объемное полиэфирное (синтепон).<br>Состав сырья: 100 % – ПЭ.<br>Плотность: 200 г/м <sup>2</sup> | Полотно нетканое объемное полиэфирное (синтепон).<br>Состав сырья: 100 % – ПЭ.<br>Плотность: 80 г/м <sup>2</sup> |        |
| <b>Толщина, мм (при давлении не более 1,5 Н)</b>  |   |   |  |  |        |
| 6,1   | 4,2   | 5,4   | 6,3  | 1,4  |        |
| <b>Масса, г</b>   |   |   |  |  |        |
| 33,25   | 20,98   | 22,2  | 16,42  | 30,19  | 10,44  |
| <b>Воздухопроницаемость, дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с</b>   |   |   |  |  |        |
| 29  | 39  | 30  | 35   | 35   | 35     |
| <b>Суммарное теплового сопротивление, R<sub>o</sub>, м<sup>2</sup>·°C/Вт (стандартный метод)</b>  |   |   |  |  |        |
| 0,725   | 0,629   | 0,645   | 0,524  | 0,645  | 0,377  |
| <b>Площадь всех испытываемых пакетов: (0,022–0,023) м<sup>2</sup></b>   |   |   |  |  |        |

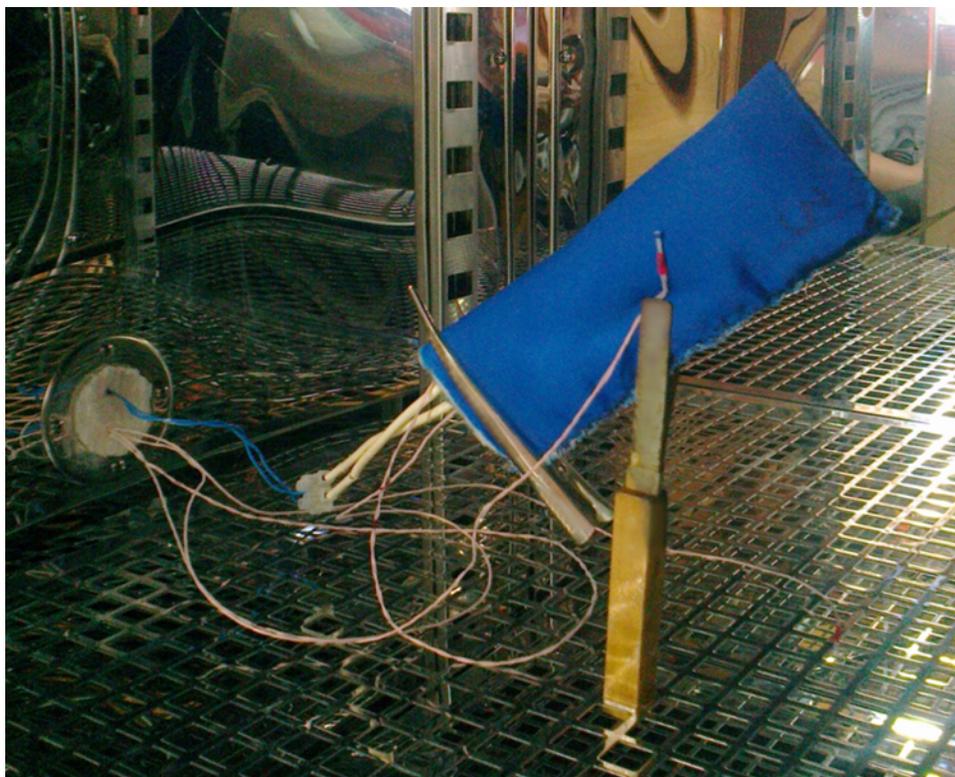


Рисунок 1 – Метод закрепления пакета материалов в испытательной камере

$$R_{сум} = \frac{S_{np} \cdot \tau}{c \cdot m}, \quad (1)$$

где  $S_{np}$  – площадь поверхности пробы, через которую совершается теплообмен,  $m^2$ ;  $\tau$  – время остывания нагревательного элемента в заданном интервале температур,  $c$ ;  $c$  – удельная теплоемкость нагревательного элемента,  $Дж/кг \cdot ^\circ C$ ;  $m$  – масса нагревательного элемента,  $кг$ .

Результаты исследования при различных температурных условиях окружающей среды, полученные по методу 1, отражены на рисунке 2.

Согласно ТР ТС 019-2011 суммарное тепловое сопротивление пакета материалов специальной должно быть не менее  $0,50 m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ . При этом норма установлена без учета климатического региона и вида выполняемой работы, тогда как величина теплоизоляции в реальных условиях использования

нормируется с учетом климатических регионов (поясов). Все исследуемые образцы не достигают данного значения при проведении испытаний при отрицательных температурах, то есть в условиях, близким к эксплуатационным. А как показано в [8, с. 216–218], скорость ветра и температура окружающего воздуха имеют главное влияние на показатели теплозащитных свойств одежды. Очевидно, что имеет смысл ранжирование норм в зависимости от климатического пояса, в котором будет эксплуатироваться защитная одежда.

#### МЕТОД 2

Кафедрой «Информационные системы и автоматизация производства» ВГТУ был разработан автоматизированный измерительный стенд, позволяющий определять тепловое сопротивление и теплопроводность различных материалов и их систем с различной толщиной и сочетанием комплекующих [9].

Автоматизированный измерительный стенд (рисунок 3) состоит из прибора для исследова-

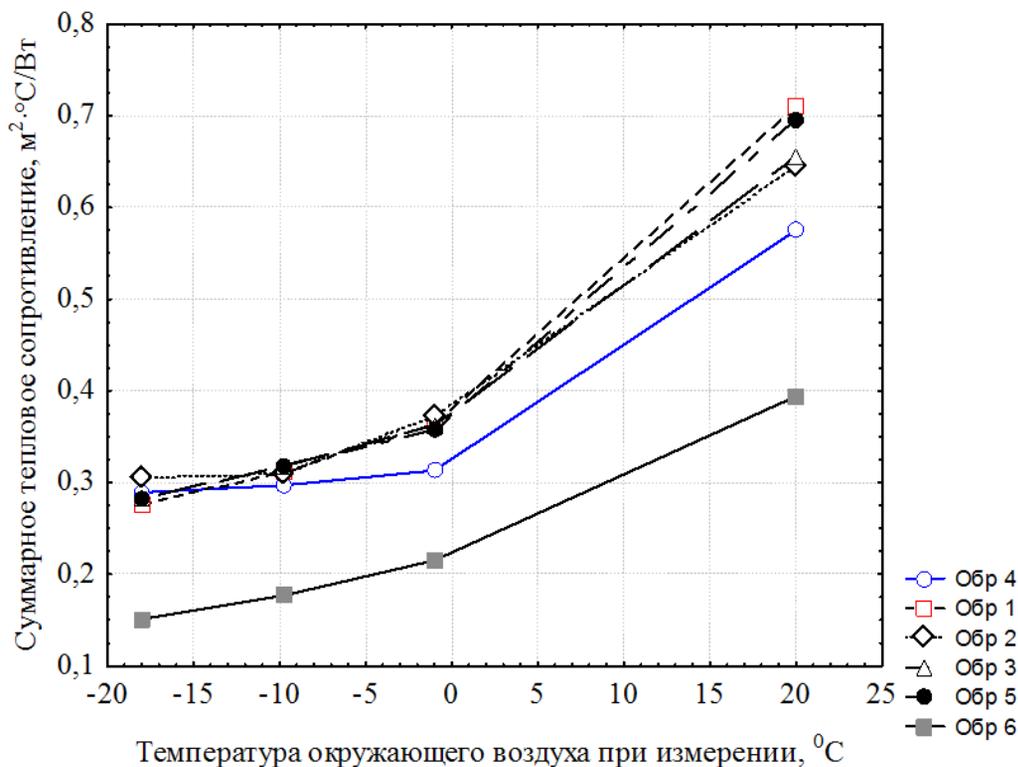


Рисунок 2 – Результаты испытаний по методу 1

ния теплозащитных свойств материалов, работающего по принципу нестационарного теплового режима, автоматизированного устройства для установления и фиксации параметров испытания, регистрации и графического отображения полученных в ходе испытания экспериментальных данных, источников регулируемого питания приборной автоматики и электронагревателя.

В основу методики испытания на измерительном стенде были положены температурные режимы, используемые для определения теплозащитных свойств текстильных материалов в соответствии с ГОСТ 20489-75. Нижняя металлическая пластина прибора нагревалась с помощью электронагревателя до получения перепада температур между пластиной и окружающей средой, равного 60 °С. После заправки в прибор исследуемого образца, толщина которого контролировалась микрометрами, нагретая пластина прибора охлаждалась до перепада температур между нижней и верхней пластинами  $\Delta T_1 = 55$  °С. Далее измерялось время, необхо-

димое для охлаждения пластины до перепада температур  $\Delta T_2 = 45$  °С, которое фиксировалось на автоматической панели устройства. По полученным показаниям рассчитывался темп охлаждения пластины  $m$ .

Для оценки теплозащитных свойств материалов и систем рассчитывались два показателя: коэффициент теплопроводности и тепловое сопротивление.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , **Вт/м·град**, определялся по формуле:

$$\lambda = \varphi \cdot \delta \cdot \left[ \left( A + \frac{1}{3} \cdot c \cdot \rho \cdot \delta \right) \cdot m - K \right], (2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент рассеяния в первом приближении, являющийся функцией толщины образца (если толщина менее 5 мм – 0,96, более 5 мм – 0,95);  $\delta$  – толщина материала, м;  $\rho$  – объемная масса материала, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – удельная

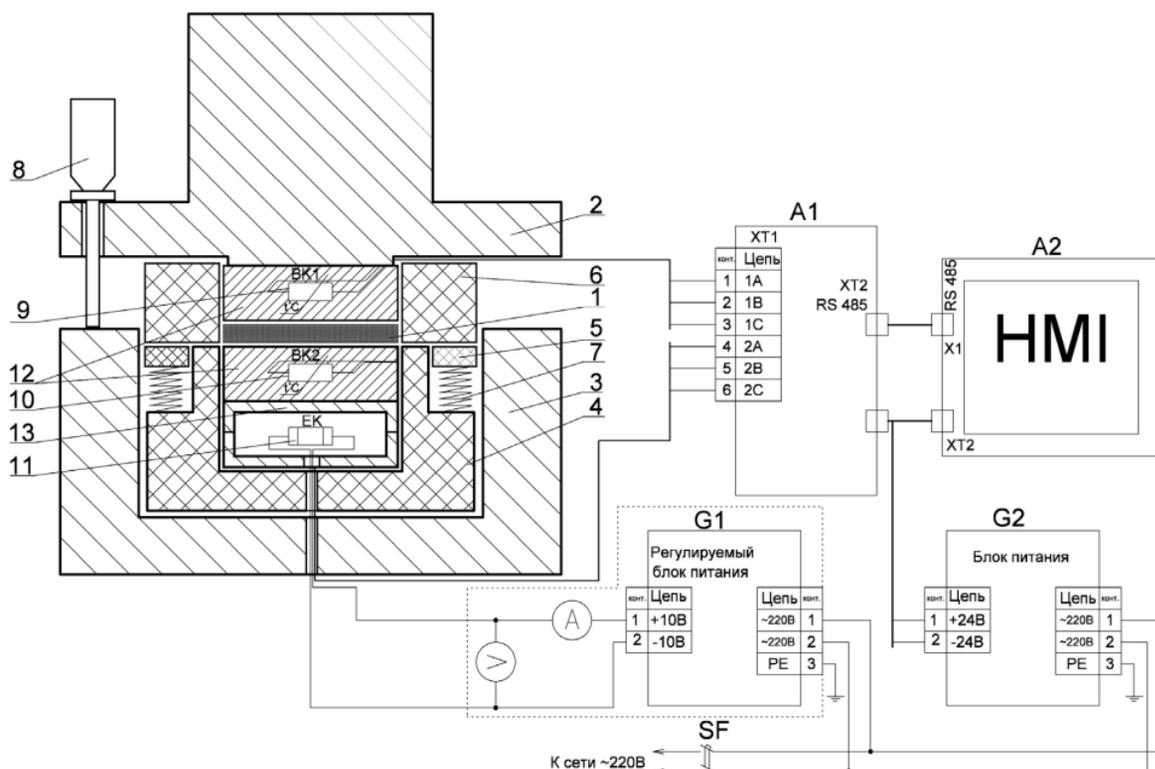


Рисунок 3 – Схема автоматизированного измерительного стенда для определения теплозащитных свойств материалов:

1 – образец материала; 2, 3 – верхняя и нижняя части металлического корпуса (латунь); 4 – теплоизоляционная оболочка нагревателя (пеноплэкс); 5 – охранный кольцо; 6 – теплоизоляционная оболочка образца (пеноплэкс); 7 – пружинный компенсатор перекоса (4 шт. по контуру); 8 – микрометр; 9 – датчик «холодной» стороны образца; 10 – датчик нагреваемой стороны образца; 11 – нагреватель; 12 – верхние и нижние металлические пластины (медь); 13 – корпус электронагревателя; A1 – вторичный преобразователь термометров сопротивлений IO-6-RTDs; A2 – устройство регистрации и отображения данных HMI-750; G1 – источник регулируемого питания электронагревателя; G2 – источник питания приборной автоматики; SF – автоматический выключатель

теплоемкость материала (удельная теплоемкость материалов органического происхождения равна  $1,675 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$ , текстильных материалов – в пределах от  $0,96 \cdot 10^3$  до  $2,18 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$ );  $A$  – первая постоянная прибора, характеризующая теплоемкость сердечника, то есть нижней пластины ( $A = 23809,5$ );  $K$  – вторая постоянная прибора, характеризующая теплопередачу теплоизоляционного слоя ( $K = 2,9$ );  $m$  – темп охлаждения сердечника,  $с^{-1}$ .

Тепловое сопротивление  $R_{\text{сум}}$ ,  $м^2 \cdot с/Вт$ , определялось по формуле:

$$R_{\text{сум}} = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – толщина материала,  $м$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности  $Вт/м \cdot \text{град}$ .

### МЕТОД 3

Суммарное тепловое сопротивление определялось с помощью прибора ИТ-λ-400, который предназначен для исследования температурной зависимости теплопроводности твердых, меха-

нически обрабатываемых материалов в режиме монотонного нагрева (рисунок 4) [10].

Принцип работы прибора соответствует модели динамического калориметра.

На рисунке 5 изображена схема измерительной части тепломера. Тепловой поток  $Q_2$  от основания ячейки 4 передается через пластину тепломера 3, контактную пластину 2, образец 1 затем поглощается стержнем 5. В ходе измерения термопарой 6 регистрируют перепад температур на образце  $\Pi_o$  и на пластине тепломера  $\Pi_t$  и таким образом определяют потери тепла при прохождении его через образец.

Тепловое сопротивление образца определяется по формуле:

$$P_o = \frac{\Pi_o \cdot S \cdot (1 + \sigma_c)}{\Pi_t \cdot K_t} - P_k, \quad (4)$$

где  $\Pi_o$  – перепад температуры на образце, число делений;  $S$  – площадь поперечного сечения образца,  $m^2$ ;  $\sigma_c$  – поправка на теплоемкость образца;  $\Pi_t$  – перепад температуры на пластине, число делений;  $K_t$  – тепловая проводимость тепломера,  $Вт/К$ ;  $P_k$  – поправка, учитывающая тепловое сопротивление участков заделки термопар,  $m^2 \cdot К/Вт$ .

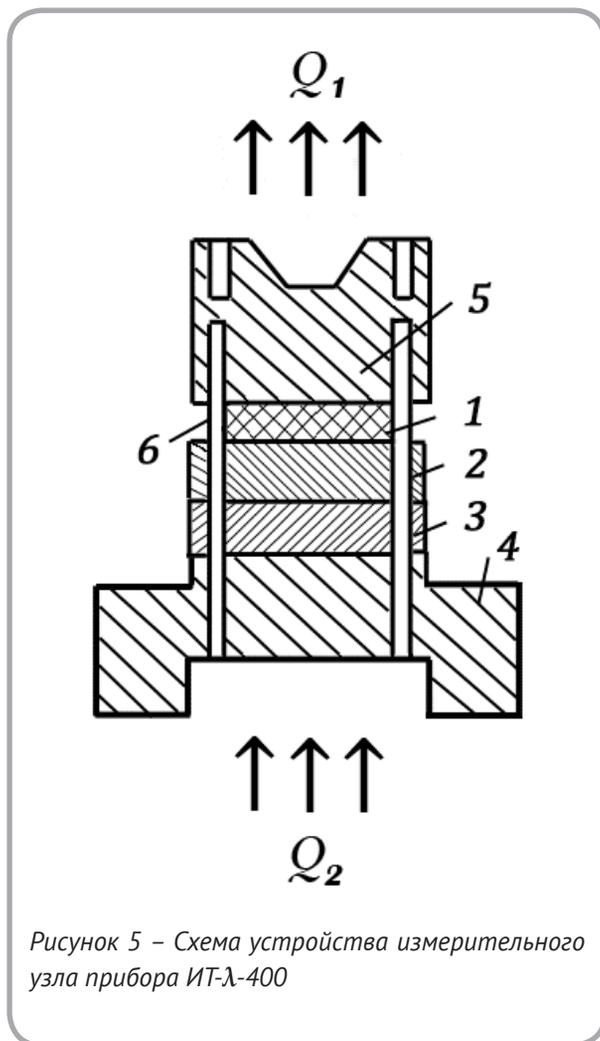


Рисунок 5 – Схема устройства измерительного узла прибора ИТ-Л-400



Рисунок 4 – Внешний вид прибора ИТ-Л-400

Поправка на теплоемкость образца  $\sigma_c$  рассчитывается по формуле, указанной в паспорте прибора, но поправка на теплоемкость для текстильных материалов настолько мала, что ей можно пренебречь ( $\sigma_c \sim 0$ ). Значения постоянных  $K_p, P_k$  и некоторых других для прибора ИТ-Л-400 в исследуемом диапазоне температур приведены в таблицах паспорта прибора.

Графически результаты измерений суммарного теплового сопротивления, полученные с использованием трех рассмотренных выше методов, а также полученные по стандартной методике (ГОСТ 20489-75), представлены на рисунке 6.

Разность между значениями суммарного теплового сопротивления, полученным по стандартной методике и методом 1 для всех испытанных образцов, оказалась минимальной. Смещение результатов по методу 2 и 3 объясняется рядом факторов: различными размерами и толщинами образцов, особенностями конструкции приме-

няемых устройств (разное зажимное усилие, наличие приспособления для минимизации потерь тепла (теплоизоляционная оболочка образца из пеноплэкса) и др.).

Коэффициенты корреляции, которые представлены в таблице 3, указывают на сильную связь между значениями суммарного теплового сопротивления, полученными различными методами.

Принимая во внимание высокий уровень корреляции между всеми методами и стандартным, были рассчитаны поправочные коэффициенты для 2-го и 3-го методов относительно опорного значения  $R_o, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ . Поправочные коэффициенты представляют собой средние арифметические значения множителей, которые необходимо умножить на полученный результат, чтобы приблизить его к опорному значению (таблица 4).

Результаты измерения суммарного теплового сопротивления после введения поправочных ко-

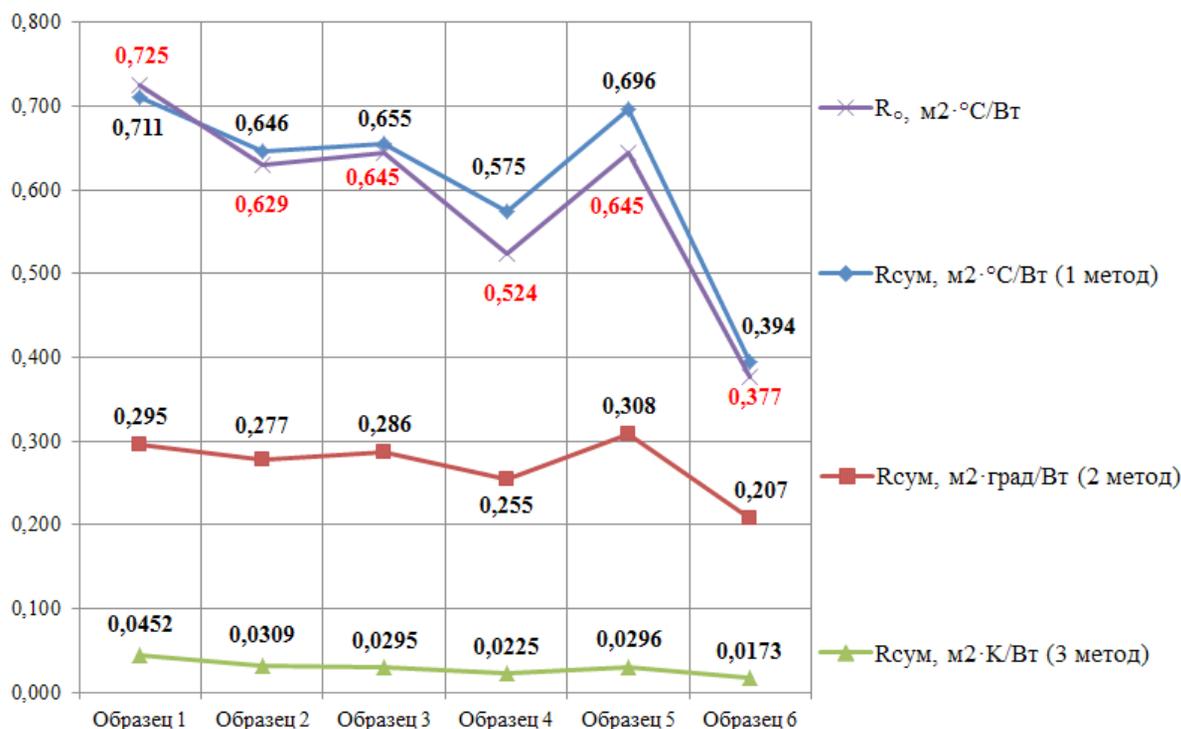


Рисунок 6 – Значения суммарного теплового сопротивления, полученные разными методами

эффициентов показаны на рисунке 7.

Абсолютная и относительная погрешности методов относительно опорного значения (полученного по стандартной методике) для всех

испытанных образцов (с учетом поправочных коэффициентов для 2-го и 3-го методов) представлены в таблице 5.

В целях стандартизации для метода 1 был

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между значениями суммарного теплового сопротивления, полученные различными методами

| Суммарное тепловое сопротивление             | $R_o, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ | $R_{сум}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ (метод 1) | $R_{сум}, м^2 \cdot град / Вт$ (метод 2) | $R_{сум}, м^2 \cdot К / Вт$ (метод 3) |
|--|--------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| $R_o, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$               | -                              | 0,979  | 0,945                                    | 0,904                                 |
| $R_{сум}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ (метод 1) | 0,979                          | -  | 0,983                                    | 0,819                                 |
| $R_{сум}, м^2 \cdot град / Вт$ (метод 2)     | 0,945                          | 0,983  | -  | 0,750                                 |
| $R_{сум}, м^2 \cdot К / Вт$ (метод 3)        | 0,904                          | 0,819  | 0,750                                    | -                                     |

Таблица 4 – Поправочные коэффициенты для 2-го и 3-го методов

| Поправочный коэффициент, $a_o$           |                                       |
|--|---------------------------------------|
| $R_{сум}, м^2 \cdot град / Вт$ (метод 2) | $R_{сум}, м^2 \cdot К / Вт$ (метод 3) |
| 2,159                                    | 20,855                                |

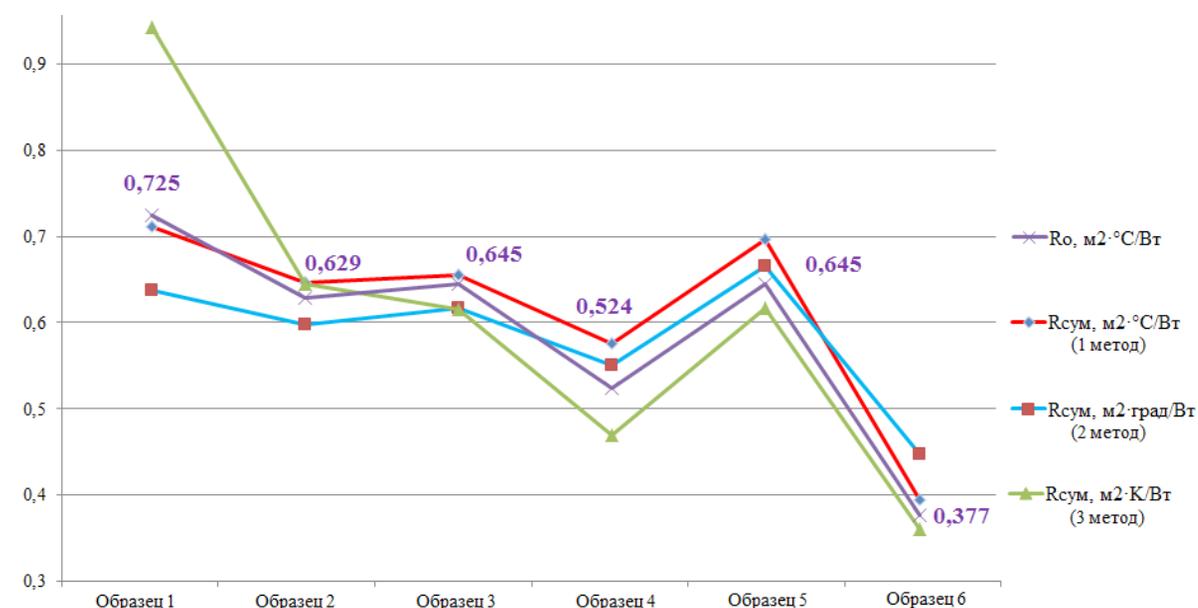


Рисунок 7 – Суммарное тепловое сопротивление с учетом поправочных коэффициентов для 2-го и 3-го методов

Таблица 5 – Абсолютная и относительная погрешность

| Метод   | № образца | Показатели   |   |  |
|---------|-----------|--|---|--|
|         |           | Абсолютная погрешность, $\Delta, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | Относительная погрешность, $\delta, \%$ | Среднее значение, $\delta_{\text{ср}}, \%$ |
| Метод 1 | 1         | 0,014  | 1,931                                   | 5  |
|         | 2         | 0,017  | 2,703                                   |  |
|         | 3         | 0,01   | 1,550                                   |  |
|         | 4         | 0,051  | 9,733                                   |  |
|         | 5         | 0,051  | 7,907                                   |  |
|         | 6         | 0,017  | 4,509                                   |  |
| Метод 2 | 1         | 0,088  | 13,832                                  | 8  |
|         | 2         | 0,031  | 5,176                                   |  |
|         | 3         | 0,028  | 4,458                                   |  |
|         | 4         | 0,027  | 4,822                                   |  |
|         | 5         | 0,020  | 3,003                                   |  |
|         | 6         | 0,070  | 15,644                                  |  |
| Метод 3 | 1         | 0,218  | 23,089                                  | 9  |
|         | 2         | 0,015  | 2,393                                   |  |
|         | 3         | 0,030  | 4,840                                   |  |
|         | 4         | 0,055  | 11,671                                  |  |
|         | 5         | 0,028  | 4,486                                   |  |
|         | 6         | 0,016  | 4,492                                   |  |

разработан проект методики выполнения измерений, которая позволяет определять суммарное тепловое сопротивление на установке с использованием климатической камеры с достаточно высокой точностью. Расширенная неопределенность метода измерений составила  $\pm 0,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  при коэффициенте охвата 2 и уровне доверительной вероятности 0,95. Алгоритм оценивания неопределенности приведен в [11].

Кроме оценок погрешности и неопределенности для сравнения альтернативного метода 1 со стандартным целесообразно также использование критериев, предлагаемых в стандарте СТБ ИСО 5725-6-2002 [12]. Согласно данному стандарту при сравнении двух методов с целью установления их эквивалентности рекомендуется оценить внутрилабораторную и общую прецизионность, а также оценить показатели повторяемости. Из-за ограниченного количества результатов измерений, полученных стан-

дартным методом, постановка эксперимента по оценке указанных статистических критериев не проводилась.

В целом результаты выполненной работы позволяют заключить, что все опробованные в данной работе методы имеют большой потенциал для практической реализации и дальнейших исследований теплозащитных свойств текстильных материалов. Метод 1 определения суммарного теплового имеет в среднем погрешность 5 % относительно результатов, полученных по стандартному методу, а расширенная неопределенность метода измерений не превышает  $\pm 0,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  при коэффициенте охвата 2 и уровне доверительной вероятности 0,95. Данный метод можно рекомендовать к использованию на стадии проектно-конструкторской разработки в производственных лабораториях предприятий, занимающихся производством защитной одежды от пониженных температур.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ТР ТС 019/2011. *О безопасности средств индивидуальной защиты*, Принят 09.12.2012, Вступил в силу 01.06.2012, Минск, Экономэнерго, 2012, 108 с.
2. ГОСТ 12.4.303-2016. *ССБТ Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования*, Введ. 01.09.2017, Минск, БелГИСС, 2017, 40 с.
3. EN 342:2008. *Protective clothing. Ensembles and garments for protections against cold*, 2008, 22 с.
4. МР 2.2.8.2127-06. *Гигиенические требования к теплоизоляции комплекта средств индивидуальной защиты от холода в различных климатических регионах и методы ее оценки*, Введ. 07.09.2006, НИИ медицины труда РАМН, Москва, 2006, 20 с.
5. ГОСТ 20489-75. *Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления*, Введ. 01.01.1976, Москва, Издательство стандартов, 1986, 11 с.
6. Сапелко, В. В., Петюль, И. А. (2017), Анализ методов определения суммарного теплового сопротивления, применяемых для продукции легкой промышленности, Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, *Материалы докладов международной научно-технической конференции, посвященной Году науки*, Витебск, 21–22 ноября 2017 г., Витебск, 2017, С. 292–295.
7. Чижик, М. А., Долгова, Е. Ю., Иванцова, Т. М. (2014), *Способ определения теплозащитных свойств материалов и пакетов одежды*, патент РФ № 2527314, МПК G01N25/18, заявлено 19.12.2012; опубликовано 27.08.2014.
8. Колесников, П. А. (1965), *Теплозащитные свойства одежды*, Москва, Легкая индустрия, 1965,

## REFERENCES

1. TR CU 019/2011. *On safety of personal protective equipment*, Adopted on 09.12.2012, Entered into force on 01.06.2012, Minsk, Economenergo, 2012, 108 p.
2. GOST 12.4.303-2016. *SSBT Occupational Safety Standards System. Special clothing for protection against low temperatures. Specifications*, Introd. 09.01.2017, Minsk, BelGISS, 2017, 40 p.
3. EN 342: 2008. *Protective clothing. Ensembles and garments for protections against cold*, 2008, 22 s.
4. МР 2.2.8.2127-06. *Hygienic requirements for thermal insulation of a set of personal protective equipment against cold in various climatic regions and methods for its assessment*, Introd. 07.09.2006, Int. September 7, 2006, Research Institute of Occupational Medicine, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow, 2006, 20 p.
5. GOST 20489-75. *Materials for clothing. Method of determining the total thermal resistance*, Introd. 01.01.1976, Moscow, Publishing house of standards, 1986, 11 p.
6. Sapelko, V. V., Petyul I. A. (2017), Analysis of methods for determining the total thermal resistance used for light industry products [Analiz metodov opredelenija summarnogo teplovogo soprotivlenija, primenjaemyh dlja proizvodcii legkoj promyshlennosti], Innovative technologies in the textile and light industry, *Proceedings of the reports of the international scientific and technical conference dedicated to the Year of Science*, Vitebsk, November 21–22, 2017, Vitebsk, 2017, Pp. 292–295.
7. Chizhik, M. A., Dolgova, E. Yu., Ivantsova, T. M. (2014), *Sposob opredelenija teplozashhitnyh svojstv materialov i paketov odezhdy* [Method for determination of heat-shielding properties of materials and clothing packages], patent of the Russian Federation № 2527314, МРС G01N25/18, declared 12.19.2012; published

340 с.

9. Горбачик, В. Е., Кузнецов, А. А., Томашева, Р. Н., Ринейский, К. Н., Леонов, В. В. (2015), Оценка теплозащитных свойств пакетов верха производственной обуви, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2015, № 1 (28), С. 41–49.
10. Денисова, Э. И. (2005), Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-λ-400, *Методическое руководство к лабораторной работе для студентов*, Екатеринбург, 2005, 35 с.
11. Петюль, И. А., Шеверина, Л. Н., Сапелко, В. В. (2018), Оценка пригодности методики определения суммарного теплового сопротивления на установке с использованием климатической камеры, *Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, Сборник научных статей*, Витебск, 2018, С. 317–319.
12. СТБ ИСО 5725-6-2002. *Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 6. Использование значений точности на практике*, Введ. 01.07.2003, Минск, БелГИМ, 2002, 48 с.

08.27.2014.

8. Kolesnikov, P. A. (1965), *Teplozashhitnye svojstva odezhdy* [Heat-protective properties of clothing], Moscow, Light industry, 1965, 340 p.
9. Gorbachik, V. E., Kuznetsov, A. A., Tomasheva, R. N., Rineysky, K. N., Leonov, V. V. (2015), Evaluation of the heat-shielding properties of top-of-footwear packages [Ocenka teplozashhitnyh svojstv paketov verha proizvodstvennoj obuvi], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2015, № 1 (28), P. 41–49.
10. Denisova, E. I. (2005), Izmerenie teploprovodnosti na izmeritele IT-λ-400 [Measurement of thermal conductivity on an IT-λ-400 meter], *Methodological guide to laboratory work for students*, Ekaterinburg, 2005, 35 p.
11. Petyul, I. A., Sheverinova L. N., Sapelko, V. V. (2018), Evaluation of the suitability of the method for determining the total thermal resistance at a plant using a climate chamber [Ocenka prigodnosti metodiki opredelenija summarnogo teplovogo soprotivlenija na ustanovke s ispol'zovaniem klimaticheskoy kamery], *Innovative technologies in the textile and light industry, Collection of scientific articles*, Vitebsk, 2018, p. 317–319.
12. STB ISO 5725-6-2002. *Accuracy (accuracy and precision) of measurement methods and results. Part 6. The use of precision values in practice*, Introd. July 01, 2003, Minsk, BelGIM, 2002, 48 p.

Статья поступила в редакцию 10. 05. 2019 г.