

# Установка для исследования влияния влажности многокомпонентных материалов на основные теплофизические свойства

А.В. Котович<sup>а</sup>, В.И. Ольшанский  
Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь  
E-mail: <sup>а</sup>anton.kotovich97@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние влажности на теплофизические свойства материалов. Описаны методы определения коэффициента теплопроводности. Рассмотрены существующие установки по данному направлению. Обоснована целесообразность разработки установки для исследования влияния влажности на теплофизические характеристики.

**Ключевые слова:** влажность, теплофизическая характеристика, установка, теплопроводность, термическое сопротивление.

## Installation for Studying the Effect of Humidity of Multicomponent Materials on the Basic Thermophysical Properties

A. Kotovich<sup>a</sup>, V. Alshanski  
Vitebsk State University of Technology, Republic of Belarus  
E-mail: <sup>a</sup>anton.kotovich97@gmail.com

**Annotation.** The article considers the influence of humidity on the thermophysical properties of materials. Methods for determining the thermal conductivity coefficient are described. The existing installations in this area are considered. The expediency of developing an installation for studying the effect of humidity on thermophysical characteristics is substantiated.

**Key words:** humidity, thermophysical characteristics, installation, thermal conductivity, thermal resistance.

### ВВЕДЕНИЕ

К современным текстильным материалам, применяемым для производства одежды, предъявляется сложный комплекс требований, в том числе гигиенических. Среди всего многообразия свойств материалов одежды одними из наиболее важных являются теплофизические свойства, которые характеризуют способность материалов одежды защищать тело человека от тепловых потерь и перегрева при различных температурных условиях. С помощью правильно подобранного материала можно создать комфортный постоянный микроклимат, что позволит людям работать продуктивнее, уменьшит затраты энергии организма, сделает условия отдыха более эффективными и уменьшит вероятность простудных заболеваний. Таким образом одежда способствует сохранению работоспособности и здоровья человека.

Для материалов одежды основными теплофизи-

ческими свойствами являются тепловое сопротивление  $R$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , удельная теплоемкость  $C$  и коэффициент температуропроводности  $\alpha$ .

Целью работы является обоснование необходимости установки для определения влияния влажности материала на основные теплофизические свойства.

### ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Влажность характеризует наличие в материале свободной (не связанной химически) воды, которая может быть удалена высушиванием при определенной температуре. Влажность оказывает большое влияние на теплопроводность, теплоемкость материалов и другие теплофизические характеристики [1].

Гигроскопичность, способность текстильных материалов поглощать и отдавать водяные пары и воду,

является одним из важных свойств, влияющих на теплофизические свойства материалов.

При сорбции водяных паров в микрокапиллярах и в замкнутых капиллярах текстильных материалов происходит капиллярная конденсация паров влаги, в результате чего капилляры заполняются жидкостью.

При непосредственном соприкосновении текстильных материалов водой последняя поглощается как путем диффузии ее молекул, так и путем механического захвата ее частиц структурой материала. В последнем случае существенную роль играют процессы смачивания и капиллярного впитывания. Смачивание происходит при полном погружении материала в воду, либо при частичном соприкосновении воды и материала [2].

Теплофизические свойства являются важной составляющей свойств теплоизоляционных строительных материалов; деталей обуви; текстильных материалов при проектировании одежды с заданными теплозащитными свойствами, при выполнении влажно-тепловой обработки швейных изделий и их эксплуатации в различных климатических, производственных и бытовых условиях [1, 2, 3].

Многие изделия предполагается эксплуатировать на открытом воздухе, влажность короткого может изменяться в течении короткого промежутка времени. Теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности сухого воздуха, и, как следствие, при увеличении влажности воздуха и впитывании материалом влаги из окружающей среды, либо прямое попадание влаги на материал, ведет к резкому увеличению теплопотерь.

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Методы, используемые для определения характеристик теплофизических свойств, можно разделить на две группы: методы, основанные на принципе стационарного теплового режима; и методы, основанные на принципе нестационарного режима [2].

Стационарные методы характеризуются независимостью распределения температуры от времени, и теплопроводность определяется из результатов измерения теплового потока через образец и температурного градиента поверхностей образца после достижения теплового равновесия. Далее теплофизические характеристики определяются по расчетным формулам.

При нестационарном методе распределение температуры в образце меняется со временем, и измерение скорости изменения температур, определяющей теплопроводность, заменяет измерение теплового потока. Затем теплопроводность вычисляется из температуропроводности, используя имеющиеся данные о плотности и удельной теплоемкости испытуемого материала. При нестационарном методе определяется скорость охлаждения нагретого тела, изолирован-

ного от окружающей среды испытываемым материалом. Этот метод позволяет воспроизвести условия теплообмена, когда изделие одной стороной прилегает к нагретому телу, а другой соприкасается с окружающей средой, в частности с воздухом [2, 4].

В настоящее время используется ряд методов определения теплопроводности материалов [5]:

- метод определения цилиндрическим зондом (ГОСТ 30256-94);
- метод определения поверхностным преобразованием (ГОСТ 30290-94);
- метод выполнения измерений теплопроводности диэлектрическим методом (ГОСТ 8621-2006);
- стационарный метод плоского слоя;
- метод трубы.

Для текстильных, нетканых и некоторых иных материалов основными методами определения теплофизических характеристик являются стационарный метод плоского слоя и метод регулярного (нестационарного) теплового режима.

При использовании метода плоского слоя образец материала располагают между нагревательным элементом и холодильником. Устанавливают постоянное значение температуры нагревателя и холодильника, с помощью приборов контролируют расход электроэнергии, идущий на поддержание постоянного перепада температур, и рассчитывают мощность теплового потока. Затем определяют коэффициент теплопроводности и значения других теплофизических свойств по следующим формулам:

Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = (\delta \cdot P) / \Delta T, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К);  $\delta$  – толщина материала, м;  $P$  – мощность теплового потока, Вт;  $\Delta T$  – градиент температур нагреваемой и охлаждаемой поверхностей материала, К.

Термическое сопротивление теплопередачи:

$$R = \delta / \lambda, \quad (2)$$

где  $R$  – термическое сопротивление теплопередачи. Тепловое сопротивление, способность тела препятствовать распространению теплового движения молекул, (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

Теплоемкость:

$$C_p = Q / \Delta T, \quad (3)$$

где  $C_p$  – теплоёмкость;  $Q$  – количество теплоты, полученное веществом при нагреве, либо выделившееся при охлаждении, Дж;  $\Delta T$  – разница температур между поверхностями материала, К.

Удельная теплоемкость:

$$c_p = Q / (m \cdot \Delta T), \quad (4)$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К),  $m$  – масса.  
Коэффициент температуропроводности:

$$\alpha = \lambda / (C \cdot \rho), \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.  
Основным недостатком данного метода является длительность установления теплового процесса.

При использовании метода нестационарного (регулярного) теплового режима пластину с электронагревателем нагревают до определенного значения перепада температуры пластины и окружающей среды. Образец помещают на пластину. С помощью аэродинамического устройства создается воздушный поток определенной скорости и направления (под углом  $\varphi$  к образцу), направленный на образец материала. По темпу охлаждения вычисляют значение суммарного теплового сопротивления испытываемого материала. Остальные теплофизические характеристики определяются по вышеописанным формулам 3–5.

Данный метод является более быстрым и простым, чем метод плоского слоя.

### СУЩЕСТВУЮЩИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Анализ существующих установок для определения теплопроводности, таких как SHR, DVT YAN TG Thermal Resistance Tester For Clothing, MT-380, HFM 446 Lamba Eco-Line, РГ-ПТП.01, ИТП-МГ4, ПИТ-3, ПИТ-2.1, ИТС-1, DRH-ZD, GHP 456 Titan, ИТ-λ-400, показал, что на данный момент на рынке оборудования установка для определения теплопроводности с динамическим изменением влажности материала не представлена.

На рисунке 1 показан прибор для определения суммарного теплового сопротивления ткани SHR. Он основан на методе нестационарного (регулярного) теплового режима.

На рисунке 2 показан прибор для измерения коэффициента теплопроводности и термического сопротивления ИТП-МГ4. Данный прибор основан на методе стационарного теплового потока, метод плоского слоя.



Рисунок 1 – Прибор для определения суммарного теплового сопротивления ткани SHR



Рисунок 2 – Прибор для измерения коэффициента теплопроводности и термического сопротивления ИТП-МГ4

**ВЫВОДЫ**

Ввиду важности значения теплофизических свойств материалов различного назначения, в том числе для производства одежды, значительного влияния влажности на теплофизические свойства материалов, отсутствия на рынке оборудования для определения коэффициента теплопроводности с динамическим изменением влажности авторы считают целесообразным разработку подобной установки для быстрого, удобного и точного определения зависимостей теплофизических характеристик материалов от их влажности.

Подобная установка позволила бы измерять теплопроводность материала с заданной влажностью путем непосредственного подвода определённого количества равномерно распределённой воды к материалу, одновременного контроля влажности образца с помощью датчиков, и определять зависимость теплофизических свойств испытываемых образцов от влажности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Колесников, П. А. Теплозащитные свойства одежды / П. А. Колесников. – Москва : Легкая индустрия, 1965. – 346 с.
2. Бузов Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (шейное производство) / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
3. Эргономичность и технологичность конструкции обуви : конспект лекций / В. Е. Горбачик. – 2-е изд., стер. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – 212 с.
4. Выбор метода исследования теплопроводности ниобия в сверхпроводящем состоянии / И. А. Архаров [и др.] // Инженерный журнал: наука и инновации. Прочие технологии, – 2013. – Т. 1(13), – С. 186–195.
5. Ольшанский, В. И. Метод определения теплофизических свойств нетканых материалов / В. И. Ольшанский, В. Г. Мульц, Е. Л. Зимина // Вестник Витебского государственного технологического университета, – 2021. – № 2 (41). – С. 43–50.

**REFERENCES**

1. Kolesnikov, P.A. Heat-protective properties of clothing / P. A. Kolesnikov. – Moscow : Light Industry, 1965. – 346 p.
2. Buzov, B. A. Materials science in the production of light industry products (sewing production) / B.A. Buzov, N. D. Alymenkova. – Moscow : Publishing center "Academy", 2004. – 448 p.
3. Ergonomics and manufacturability of shoe design: lecture notes / V. E. Gorbachik. – 2nd ed., erased. – Vitebsk : UO "VSTU", 2021. – 212 p.
4. The choice of a method for studying the thermal conductivity of niobium in a superconducting state / I. A. Arkharov [et al.] // Engineering Journal: Science and Innovation. Other technologies, – 2013. – Vol. 1(13). – P. 186–195.
5. Alshanski, V. I. Method for determining the thermophysical properties of nonwovens / V. I. Olshansky, V. G. Mults, E. L. Zimina // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. – 2021. – № 2 (41). – P. 43–50.

**SPISOK LITERATURY**

1. Kolesnikov, P. A. Teplozashhitnye svojstva odezhdy / P. A. Kolesnikov. – Moskva : Legkaja industrija, 1965. – 346 s.
2. Buzov, B. A. Materialovedenie v proizvodstve izdelij legkoj promyshlennosti (shejnoe proizvodstvo) / B. A. Buzov, N. D. Alymenkova. – Moskva : Izdatel'skij centr «Akademija», 2004. – 448 s.
3. Jergonomichnost' i tehnologichnost' konstrukcii obuvi : konspekt lekcij / V. E. Gorbachik. – 2-e izd., ster. – Vitebsk : UO «VGTU», 2021. – 212 s.
4. Vybor metoda issledovanija teploprovodnosti niobija v sverhprovodjashhem sostojanii / I. A. Arharov [i dr.] // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. Prochie tehnologii, – 2013. – T. 1(13), – S. 186-195.
5. Ol'shanskij, V. I. Metod opredelenija teplofizicheskikh svojstv netkanyh materialov / V. I. Ol'shanskij, V. G. Mul'c, E. L. Zimina // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta, – 2021. – № 2 (41). – S. 43–50.

Статья поступила в редакцию 20.05.2024.