

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

---

УДК 006.91.001: 536.5.081; 536.5.081

*А.А. Абдукаюмов, [abduraufabdukayumov@gmail.com](mailto:abduraufabdukayumov@gmail.com), Узбекистан*

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СУММАРНОГО ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты исследования взаимосвязи понятий «метрологическая прослеживаемость», «неопределенность измерений», «единство измерений» и «передача размера единиц величин» между собой и источников неопределенности результата измерения суммарного теплового сопротивления текстильных материалов, выявлены основные источники неопределенности результата измерения суммарного фонового сопротивления текстильного материала.

**Ключевые слова:** прослеживаемость, неопределенность, метрологическая, измерение, суммарное, теплое, сопротивление.

#### **Введение**

Повышение качества и конкурентоспособности производимой продукции является важнейшей задачей развитого государства.

Постановлением Президента Республики Узбекистан от 16 сентября 2019 года № ПП-4453 «О мерах по дальнейшему развитию легкой промышленности и стимулированию производства готовой продукции» утверждены целевые параметры производства и экспорта текстильной, швейно-трикотажной, кожевенно-обувной и пушно-меховой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе углубленной переработки сырья исходя из спроса рынка на 2020–2025 годы [1].

В целях обеспечения конкурентоспособности продукции на мировом рынке, защиты потребителя от недобросовестности изготовителя, подтверждения показателей качества продукции, Законом Республики Узбекистан «О сертификации продукции и услуг» (статья 2) предусмотрено осуществление её сертификации [2].

Перечень производимых в Республике Узбекистан и ввозимых на ее территорию видов продукции, подлежащих обязательной сертификации утверждён постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 28 апреля 2011 года №122 «О дополнительных мерах по совершенствованию процедур сертификации и внедрения систем менеджмента качества» [3].

В соответствии с указанным Перечнем одежда трикотажная машинного или ручного вязания, комплекты одежды профессиональные для пожарных, обувь и аналогичные изделия подлежат обязательной сертификации.

Также в Республике Узбекистан принят общий технический регламент «О безопасности продукции лёгкой промышленности», который утверждён постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 11 мая 2016 года № 148 [4]. Виды продукции, охваченные данным техническим регламентом (*тканые, трикотажные и нетканые полотна; изделия швейные из материалов текстильных; чулочно-носочные изделия; покрытия и изделия ковровые из текстильных, нетканых материалов, и войлока; головные уборы; текстильно-галантерейные изделия*) также подлежат обязательной сертификации.

Международными документами в области метрологии и оценки соответствия установлено, что для обеспечения признания протоколов испытаний в зарубежных странах, основным требованием к средствам измерений, используемым в испытательных лабораториях, является прослеживаемость результатов измерений, полученных с помощью каждого конкретного средства измерений.

Понятия «метрологическая прослеживаемость» и «неопределенность измерений» появились в метрологической практике с принятием международного стандарта ISO/IEC 17025 [5], предъявляющего требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

В соответствии с международным словарем по метрологии (VIM) [6], метрологическая прослеживаемость (*metrological traceability*) – это свойство результата измерений, посредством которого результат можно соотнести к эталону через документально подтверждённую непрерывную цепь калибровок, обуславливающих неопределенность измерений.

Концепция метрологической прослеживаемости является важной для практического применения, так как позволяет сравнить точность измерений в соответствии со стандартизированной процедурой оценки неопределенности измерения.

Поэтому для обеспечения прослеживаемости измерений необходима оценка неопределенности измерений, которая в соответствии с VIM [6] определяется как неотрицательный параметр, характеризующий дисперсию количественной величины, который можно приписать измеряемой величине на основе используемой информации.

Одним из важных показателей, подлежащих определению при испытаниях текстильного материала, является его суммарное тепловое сопротивление (СТС).

#### **Изложение основного материала**

Суммарное тепловое сопротивление материала  $R_{\Sigma}$  определяют по измеренному значению времени  $\tau$  охлаждения тепловой ячейки по формуле [7]

$$R_{\Sigma} = \frac{E}{\Phi \cdot K(m - B \cdot E)}. \quad (1)$$

Следовательно, основными источниками неопределенности результата измерения СТС являются:

$E = 3C_1 / (3C_1 + C_2)$  – коэффициент;

$\Phi = C_1 / S$  – тепловой фактор калориметра, Дж/(м<sup>2</sup>К);

$K = 0,4 + [0,6 / (1 + 2b / D)^2]$  – коэффициент, учитывающий рассеяние теплового потока в пробе;

$m = \frac{\ln \Delta T_1 - \ln \Delta T_2}{\tau}$  – темп охлаждения, с<sup>-1</sup>;

$\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$  – разности температур пластины и окружающего воздуха, соответственно в момент времени  $t_1$  и  $t_2$ , К;

$S$  – площадь рабочих поверхностей пластины, м<sup>2</sup>;

$b$  – толщина исследуемого материала, мм;

$D$  – диаметр пластины (или размер наименьшей стороны прямоугольной пластины), мм.

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений  $\varepsilon_{\bar{x}}$ , как известно, вычисляют по формуле:

$$\varepsilon(\bar{x}) = t \cdot S_{\bar{x}}, \quad (2)$$

где  $x$  – измеряемая величина;

$t$  – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности  $P$ , числа измерений  $n$ , закона распределения вероятности и ряда других классификационных характеристик измерений;

$S_{\bar{x}}$  – оценка среднего квадратического отклонения (СКО) результата измерений, вычисляемая по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где  $S_x$  – СКО единичного измерения;

$n$  – число измерений.

СКО прямых измерений, таких, как измерения толщины образца исследуемого текстильного материала, геометрических размеров пластины тепловой ячейки, температуры и времени остывания пластины и ряда других величин определяют по формуле

$$S_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}. \quad (4)$$

СКО результата косвенных некоррелированных измерений величины  $Z$  вычисляют по формуле

$$S_{\bar{z}} = \left[ \sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial Z}{\partial X_j} \right)^2 \cdot S_{X_j}^2 \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Значение частных производных (коэффициентов влияния составляющих погрешностей)  $\frac{\partial Z}{\partial X_j}$  вычисляется при средних значениях аргументов  $\bar{x}_j$ .

В соответствии с формулами (1) – (5) СКО измерения суммарного теплового сопротивления  $S_{R\Sigma}$ , темпа охлаждения  $S_m$ , поправки на рассеяние теплового потока в калориметре  $S_B$ , полной теплоёмкостью пластины  $S_{C_1}$  и исследуемого материала  $S_{C_2}$ , удельной теплоёмкости  $S_c$  и поверхностной плотности исследуемого материала  $S_{\rho_s}$ , площади поверхности пластины  $S_s$ , разности температур пластины и окружающего воздуха  $S_T$ , теплового фактора прибора  $S_\Phi$ , коэффициентов  $K$ ,  $E$  соответственно  $S_K$  и  $S_E$  определяются следующими формулами [8]:

$$\delta_{R\Sigma} = \sqrt{\left(1 - \frac{B \cdot E}{m}\right)^{-2} \cdot (\delta_E^2 + \delta_m^2) + \left(\frac{m}{B \cdot E} - 1\right)^{-2} \cdot \delta_B^2 + \delta_\Phi^2 + \delta_K^2}, \quad (6.1)$$

$$\delta_E = \frac{C_2}{3C_1 + C_2} \sqrt{\delta_{C_1}^2 + \delta_{C_2}^2}, \quad (6.2)$$

$$\delta_m = \sqrt{\delta_\tau^2 + \frac{2}{(\ln \Delta T_1 - \ln \Delta T_2)^2} \cdot \delta_{\Delta T}^2}, \quad (6.3)$$

$$\delta_B = \sqrt{\delta_m^2 + \delta_E^2}, \quad (6.4)$$

$$\delta_\Phi = \sqrt{\delta_S^2 + \delta_{C_1}^2}, \quad (6.5)$$

$$\delta_K = \frac{2,4 \cdot b}{D \left(1 + \frac{2b}{D}\right)^3} \sqrt{\delta_b^2 + \delta_D^2}, \quad (6.6)$$

$$\delta_{C_2} = \sqrt{\delta_{C_2}^2 + \delta_{\rho_s}^2 + \delta_S^2}, \quad (6.7)$$

$$\delta_S = 1,41 \cdot \delta_D, \quad (6.8)$$

$$\delta_{\rho_s} = \sqrt{\delta_M^2 + \delta_{S_{II}}^2}, \quad (6.9)$$

где  $\delta_{R\Sigma}, \delta_E, \delta_m, \delta_B, \delta_\Phi, \delta_K, \delta_{C_2}, \delta_{C_1}, \delta_{C_2}, \delta_{\rho_s}, \delta_\tau, \delta_{\Delta T}, \delta_S, \delta_b, \delta_D, \delta_M, \delta_{S_{II}}, \delta_l$ , – относительные СКО измерения величин  $R_\Sigma, E, m, B, \Phi, K, C_1, C_2, c_2, \rho_s, \tau, \Delta T, S, b, D, M, S_{II}, l$ , соответственно;

$C_2 = 1,675 \cdot 10^3$  – удельная теплоёмкость материалов органического происхождения, Дж/кг К;

$\rho_s$  – поверхностная плотность исследуемого материала, кг / м<sup>2</sup>;

$M, S_{II}$  и  $l$  – масса, площадь поверхности и линейные размеры (длина и ширина) пробы, подготовленной для определения поверхностной плотности исследуемого материала, соответственно.

Математические модели относительных неопределенностей  $u_{co}(x)$  суммарного теплового сопротивления текстильных материалов аналогичны уравнениям (6.1) – (6.9).

## Выводы

1. Показаны взаимосвязи понятий «метрологическая прослеживаемость», «неопределенность измерений», «единство измерений» и «передача размера единиц величин» между собой.

2. Выявлены основные источники неопределенности результата измерения СТС текстильных материалов.

3. Впервые получена математическая модель неопределенности измерения суммарного теплового сопротивления текстильных материалов

4. Вклад каждого источника неопределенности в суммарную стандартную и расширенную неопределенности результата измерения СТС будут описаны в следующей работе.

### ***Литература***

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 16 сентября 2019 года № ПП-4453 «О мерах по дальнейшему развитию легкой промышленности и стимулированию производства готовой продукции».
2. Закон Республики Узбекистан «О сертификации продукции и услуг».
3. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 28 апреля 2011 года № 122 «О дополнительных мерах по совершенствованию процедур сертификации и внедрения систем менеджмента качества».
4. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 11 мая 2016 года № 148 «Об утверждении общего технического регламента о безопасности продукции лёгкой промышленности».
5. ISO/IEC 17025:2005 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий
6. JCGM 200:2008 (E/F) International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). (Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. Перевод JCGM 200:2008. Из-во: Санкт-Петербург, НПО «Профессионал», 2009 г.)
7. ГОСТ 20489-75. Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления.
8. Хакимов О.Ш., Джаббаров Р.Р., Абдукаюмов А.А. Метод определения случайной погрешности суммарного теплового сопротивления материалов для одежды // Вестник ТашГТУ. – 2001. – № 1. – С.58–61.