

УДК 620.19

В.А. Донбаева

РГП «Казахстанский институт метрологии», Астана, Казахстан

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ

Приведены данные оценки неопределенности измерений при расчете коэффициента дымообразования твердых веществ в режиме тления, проведенные в испытательной лаборатории согласно ГОСТ 12.1.044-89.

Ключевые слова: неопределенность измерений, пожаровзрывоопасность, коэффициент дымообразования.

Введение

Испытания на пожаровзрывоопасность веществ и материалов проводятся с целью определения показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, применяемых в строительстве и различных отраслях промышленности. Одним из таких показателей является коэффициент дымообразования твердых веществ и материалов. Для определения этого коэффициента используется метод экспериментального определения по ГОСТ 12.1.044-89 (п.4.18) [1].

В статье рассматривается процедура оценки неопределенности, проведенная на основе данных, полученных при испытаниях в режиме тления в испытательной лаборатории ГУ «Служба пожаротушения и аварийно-спасательных работ», г. Караганда.

1. Испытательная задача

При испытаниях используется установка для определения коэффициента дымообразования по ГОСТ 12.1.044-89, содержащая фотометрическую систему, состоящую из источника (гелий-неоновый лазер) и приемника света (фотодиод).

Камера измерения имеет размеры:

$$800 \times 800 \times 800 \text{ мм}, V = 0,512 \text{ м}^3.$$

Длина пути луча света в задымленной среде составляет $L = 800 \text{ мм} = 0,8 \text{ м}$.

Проверку режима работы установки проводят с использованием стандартного образца. При этом значение коэффициента дымообразования должно быть в пределах: $D_m = (360 \pm 20) \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$;

В каждом режиме испытывают по пять образцов. Коэффициент дымообразования определяют как среднее арифметическое по результатам пяти испытаний.

Было проведено испытание 5 образцов в режиме тления. Полученные результаты измерений приведены в табл. 1.

Используемые средства измерений:

– весы лабораторные квадрантные ВЛКТ-500г-М 4 класса, погрешность $\pm 20 \text{ мг}$, дискретность показаний 10 мг .

Таблица 1

Результаты измерений

№	Масса образца, кг	T_0 , %	T_{mi0} , %	D_{mi}^{mi} , м ² /кг	D_m^{mb} , м ² /кг
1	0,02001	100	11	70,6	60,1
2	0,02002	100	13	65,2	
3	0,01999	100	17	56,7	
4	0,02003	100	19	53,1	
5	0,01998	100	18	54,9	

– фотометрическая система установки. Фотометрическая система должна обеспечивать измерение светового потока в рабочем диапазоне светопропускания от 2 до 90% с погрешностью не более $\Delta T = \pm 10 \%$.

В каждом режиме испытывают по пять образцов. Коэффициент дымообразования определяют как среднее арифметическое по результатам пяти испытаний. Сходимость метода не должна превышать 15%.

2. Математическая модель определения коэффициента дымообразования D_m

Коэффициент дымообразования каждого измерения вычисляют по формуле:

$$D_{mi} = \frac{V}{Lm} \ln \frac{T_0}{T_{mi0}}, \quad (1)$$

где V – вместимость камеры измерения, м³, L – длина пути света в задымленной среде, м; m – масса образца, кг; T_0 , T_{mi0} – соответственно значения начального и конечного светопропускания, %

Коэффициент дымообразования определяется как среднее арифметическое по результатам пяти испытаний:

$$D_m = \frac{D_{m1} + D_{m2} + D_{m3} + D_{m4} + D_{m5}}{5} = \frac{70,6 + 65,2 + 56,7 + 53,1 + 54,9}{5} = 60,1 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}. \quad (2)$$

3. Оценка неопределенности

Оценка неопределенности была проведена, используя [2].

Оценивание неопределенности входных величин

Неопределенность измерения вместимости камеры измерения

$$V = l^3 = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,512 \text{ м}^3,$$

где l – длина, ширина, высота камеры (800 мм = 0,8 м).

Размеры сторон камеры определены с погрешностью $\Delta l = \pm 0,5 \text{ мм} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Неопределенность длины каждой стороны камеры оценивается по типу В в предположении прямоугольного распределения вероятности:

$$u_B(l) = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,289 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \quad (3)$$

Неопределенность объема камеры оценивается как:

$$u_B(V) = \sqrt{3} l^2 u_B(l) = \sqrt{3} \cdot 0,8^2 \cdot 0,289 \cdot 10^{-3} = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (4)$$

Неопределенность длины пути луча в задымленной среде L оценивается по типу В, учитывая погрешность измерения длины луча $\Delta l = \pm 0,5 \text{ мм} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ в предположении прямоугольного распределения вероятности:

$$u_B(L) = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,289 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \quad (5)$$

Неопределенность измерения массы образца m оценивается следующими составляющими:

- по типу В, учитывая погрешность измерений $\Delta m = 20 \text{ мг}$ в предположении прямоугольного распределения вероятности:

$$u_{B1}(m) = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 11,55 \cdot 10^{-6} \text{ кг}; \quad (6)$$

- по типу В, учитывая цену деления весов (дискретность показаний) в предположении прямоугольного распределения вероятности a_T

$$u_{B2}(m) = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{2\sqrt{3}} = 2,89 \cdot 10^{-6} \text{ кг}; \quad (7)$$

- по типу А, учитывая действия оператора при взвешивании. По результатам предварительных взвешиваний было получено значение:

$$u_A(m) = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ кг}. \quad (8)$$

Сложив все составляющие, получаем суммарную неопределенность для m :

$$u(m) = \sqrt{(11,55 \cdot 10^{-6})^2 + (2,89 \cdot 10^{-6})^2 + (2,6 \cdot 10^{-6})^2} = 12,14 \cdot 10^{-6} \text{ кг}. \quad (9)$$

Неопределенность начального T_0 и конечного светопропускания T_{mi0} оценивается по типу В, учи-

тывая, то относительная погрешность фотометрической системы установки $\delta T = 10\%$; в предположении прямоугольного распределения вероятности:

$$u_B(T_0) = \frac{T_0 \cdot \delta T}{100\% \sqrt{3}} = \frac{100 \cdot 10}{100 \cdot \sqrt{3}} = 5,774\%; \quad (10)$$

$$u_B(T_{mi0}) = \frac{T_{mi0} \cdot \delta T}{100\% \sqrt{3}} = \frac{15,6 \cdot 10}{100 \sqrt{3}} = 0,90\%.$$

Расчет суммарной стандартной неопределенности выходной величины коэффициента дымообразования D_{mi} для одного испытания

Расчет коэффициентов чувствительности для входных величин уравнения

$$c_V = \frac{\partial D_{mi}}{\partial V} = \frac{1}{Lm} \ln \frac{T_0}{T_{mi0}} = 116,19 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{кг}};$$

$$c_L = \frac{\partial D_{mi}}{\partial L} = -\frac{V}{L^2 m} \ln \frac{T_0}{T_{mi0}} = -74,36 \frac{\text{м}}{\text{кг}};$$

$$c_m = \frac{\partial D_{mi}}{\partial m} = -\frac{V}{Lm^2} \ln \frac{T_0}{T_{mi0}} = -2976,2 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2}; \quad (11)$$

$$c_{T_0} = \frac{\partial D_{mi}}{\partial T_0} = \frac{V}{LmT_0} = 0,320 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}\%};$$

$$c_{T_{mi0}} = \frac{\partial D_{mi}}{\partial T_{mi0}} = -\frac{V}{LmT_{mi0}} = -2,052 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}\%}.$$

Кроме входных величин в суммарной стандартной неопределенности необходимо учесть, что проверке режимов работы установки проводят с помощью стандартных образцов, при этом коэффициент дымообразования определяется с погрешностью $\Delta D_m = \pm 20 \text{ м}^2/\text{кг}$ (режим тления). Составляющая неопределенности оценивается по типу В в предположении прямоугольного распределения вероятности:

$$u_{B1}(D_m) = \frac{20}{\sqrt{3}} = 11,55 \text{ м}^2/\text{кг}. \quad (12)$$

Далее учитывается сходимость метода δD_m (15%), абсолютная погрешность сходимости равна $\Delta D_{mc} = \delta D_m D_m / 100\% = 15\% \cdot 60,1 / 100\% = 9,015 \text{ м}^2/\text{кг}$, стандартная неопределенность типа В в предположении прямоугольного распределения вероятности:

$$u_{B2}(D_m) = \frac{9,015}{\sqrt{3}} = 5,2 \text{ м}^2/\text{кг}. \quad (13)$$

Суммарная стандартная неопределенность коэффициента дымообразования одного испытания будет равна:

$$u_c(D_{mi}) = \sqrt{(c_V \cdot u(V))^2 + (c_L \cdot u(L))^2 + (c_m \cdot u(m))^2 + (c_{T_0} \cdot u(T_0))^2 + (c_{T_{mi0}} \cdot u(T_{mi0}))^2 + (u_{B1}(D_m))^2 + (u_{B2}(D_m))^2}$$

$$= \sqrt{\begin{aligned} & (116,19 \cdot 0,32 \cdot 10^{-3})^2 + \\ & + (-74,36 \cdot 0,289 \cdot 10^{-3})^2 + \\ & + (-2976,21 \cdot 12,14 \cdot 10^{-6})^2 + (0,320 \cdot 5,774)^2 + \\ & + (-2,05 \cdot 0,9)^2 + (11,55)^2 + (5,2)^2 \end{aligned}}$$

$$= 12,89 \text{ м}^2 / \text{кг}.$$

Суммарная стандартная неопределенность среднего коэффициента задымления вычисляется как

$$u_c(D_m) = \frac{u(D_{mi})}{\sqrt{5}} = \frac{12,44}{\sqrt{5}} = 5,563 \text{ м}^2 / \text{кг}. \quad (15)$$

Расширенная неопределенность

$$U(D_m) = 2 \cdot 5,765 = 11,53 \approx 12 \text{ м}^2 / \text{кг}.$$

Представление окончательного результата

$$(60 \pm 12) \text{ м}^2 / \text{кг} \quad \text{при } k = 2 \quad P = 95\%.$$

Таблица 2

Бюджет неопределенности

Величина X_i	Оценка, x_i	Станд. неопред. $u(x_i)$	Распределен.	Коефф. чувств. c_i	Вклад неопредел. $c_i u(x_i)$
V	0,512 м ³	0,32 · 10 ⁻³ м ³	прямоугольн.	116,19 (м·кг) ⁻¹	0,0372 м ² /кг
L	0,8 м	0,289 · 10 ⁻³ м	прямоугольн.	-74,36 м/кг	0,0210 м ² /кг
m	0,020 кг	12,14 · 10 ⁻⁶ кг	нормальное	-2976,2 м/кг ²	0,03613 м ² /кг
T ₀	100 %	5,774 %	прямоугольн.	0,320 м ² /кг%	3,418 м ² /кг
T ₀	15,6 %	0,90 %	прямоугольн.	-2,05 м ² /кг%	3,4123 м ² /кг
D _{mi}		11,55 м ² /кг	прямоугольн.	1	11,55 м ² /кг
		5,2 м ² /кг	прямоугольн.	1	5,2 м ² /кг
					12,89 м ² /кг
D _m	60,1 м ² /кг				5,765 м ² /кг
D _m	60,1 м ² /кг				5,765 м ² /кг

Выводы

Значение коэффициента дымообразования применяется для классификации материалов по дымообразующей способности. Согласно [1] данный образец относится к группе с умеренной дымообразующей способностью – коэффициент дымообразования свыше 50 м²/кг до 500 м²/кг.

В [3] отмечается, что в некоторых областях испытаний может оказаться, что вклады измерительных инструментов в общую неопределенность может быть незначительным по сравнению с повторяемостью процесса. В рассматриваемом случае это наглядно демонстрируется: вклад от повторяемости составил 11,55 м²/кг в суммарную стандартную неопределенность, равную 12,89 м²/кг. Одновременное испытание 5 образцов позволяет уменьшить суммарную стандартную неопределенность до 5,765 м²/кг.

Список литературы

- ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.- Введ.1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 99 с.
- JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) – First edition 2008/ - JCGM – 2008. – 120 p.
- M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement – Edition 3 – November 2012. – United Kingdom Accreditation Service (UKAS).

Поступила в редколлегию 16.12.2014

Рецензент: канд. хим. наук Г.К. Бектурганова, РГП «Каззахстанский институт метрологии», Астана, Республика Казахстан.

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ НА ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКУ

В.О. Донбаєва

У статті приведені дані оцінки невизначеності вимірювань при розрахунку коефіцієнта димоутворення твердих речовин в режимі тління, проведені у випробувальній лабораторії згідно ГОСТ 12.1.044-89.

Ключові слова: невизначеність вимірювань, пожежовибухонебезпека, коефіцієнт димоутворення.

ASSESSMENT OF UNCERTAINTIES DURING FIRE AND EXPLOSION HAZARDS TESTS

V.A. Donbayeva

The report provides the assessment of uncertainties data of measurement on the calculation fume evolution of solid substance coefficients at smouldering mode in test laboratory according GOST 12.1.044-8.

Keywords: uncertainty of measurement, fire and explosion hazards, substance coefficient.