

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  $10 \text{ мг}$ .

Таблица 1

Результаты измерений

№	Масса образца, кг	$T_0, \%$	$T_{mi0}, \%$	$D_{mi}^{mb}, \text{ м}^2/\text{кг}$	$D_m^{mb}, \text{ м}^2/\text{кг}$
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,  $\text{м}^3$ ,  $L$  – длина пути света в задымленной среде,  $\text{м}$ ;  $m$  – масса образца,  $\text{кг}$ ;  $T_0, T_{mi0}$  – 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 проверку 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  $\delta D_m$  (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 <sup>3</sup>	0,32 · 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>	прямоугольн.	116,19 (м·кг) <sup>-1</sup>	0,0372 м <sup>2</sup> /кг
L	0,8 м	0,289 · 10 <sup>-3</sup> м	прямоугольн.	-74,36 м/кг	0,0210 м <sup>2</sup> /кг
m	0,020 кг	12,14 · 10 <sup>-6</sup> кг	нормальное	-2976,2 м/кг <sup>2</sup>	0,03613 м <sup>2</sup> /кг
T <sub>0</sub>	100 %	5,774 %	прямоугольн.	0,320 м <sup>2</sup> /кг%	3,418 м <sup>2</sup> /кг
T <sub>0</sub>	15,6 %	0,90 %	прямоугольн.	-2,05 м <sup>2</sup> /кг%	3,4123 м <sup>2</sup> /кг
D <sub>mi</sub>		11,55 м <sup>2</sup> /кг	прямоугольн.	1	11,55 м <sup>2</sup> /кг
		5,2 м <sup>2</sup> /кг	прямоугольн.	1	5,2 м <sup>2</sup> /кг
					12,89 м <sup>2</sup> /кг
D <sub>m</sub>	60,1 м <sup>2</sup> /кг				5,765 м <sup>2</sup> /кг
D <sub>m</sub>	60,1 м <sup>2</sup> /кг				5,765 м <sup>2</sup> /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 м<sup>2</sup>/кг до 500 м<sup>2</sup>/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 м<sup>2</sup>/кг в суммарную стандартную неопределенность, равную 12,89 м<sup>2</sup>/кг. Одновременное испытание 5 образцов позволяет уменьшить суммарную стандартную неопределенность до 5,765 м<sup>2</sup>/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 дымоутворення твердих речовин в режимі тління, проведені у випробувальній лабораторії згідно ГОСТ 12.1.044-89.

**Ключові слова:** невизначеність вимірювань, пожежовибухонебезпека, коефіцієнт дымоутворення.

**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.