

УДК 614.842.6

РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРУППЫ ГОРЮЧЕСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рогачева Т.В.

**Научно-исследовательский институт пожарной безопасности
и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь
e-mail: niipb@anitex.by**

Рассмотрены основные понятия концепции «неопределенности» и необходимость расчета неопределенности при проведении испытаний в области пожарной безопасности. Представлена конкретная методика расчета неопределенности при проведении испытаний по определению группы горючести в соответствии с ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть» (метод 2).

The main definitions of the «uncertainty» conception and the necessity of calculating uncertainty while testing in the field of fire safety are examined. Specific principles of calculation of uncertainty for defining the combustibility group in accordance with GOST 30244-94 «Building materials. The principles of testing for combustibility» (method 2) are represented.

(Поступила в редакцию 14 мая 2010 года)

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие неопределенность стала единственной признанной на международном уровне мерой доверия к результатам измерений (испытаний). Руководство по выражению неопределенности в измерениях (GUM) [1], опубликованное в 1993 г. Международной организацией по стандартизации (ИСО), формально установило общие правила для оценивания и выражения неопределенности в широком спектре измерений в виде «концепции неопределенности». С целью способствования сотрудничеству между лабораториями и органами по аккредитации, взаимного признания результатов испытаний и гармонизации национальных требований и процедур с европейскими в Республике Беларусь с 01.01.2002 введен национальный стандарт СТБ ИСО/МЭК 17025-2002 «Общие требования к компетентности калибровочных и испытательных лабораторий» [2]. Один из разделов этого стандарта озаглавлен «Оценивание неопределенности измерений», и в соответствии с требованиями этого раздела аккредитованным испытательным лабораториям необходимо оценивать неопределенность. Другие разделы стандарта содержат требования по указанию в протоколах испытаний вместе с результатами испытаний меры доверия к этим результатам, т. е. указания неопределенности.

Из определения «неопределенности» следует, что она является количественной мерой точности соответствующего результата измерений и выражает степень доверия, с которой может допускаться, что значение измеренной величины в условиях измерения лежит внутри определенного интервала значений. Или, другими словами, неопределенность является количественной мерой того, насколько надежной оценкой измеряемой величины является полученный при проведении того или иного измерения результат. Неопределенность делает возможным сравнить результаты различных измерений одинаковых измеряемых величин между собой. А установление доверия к результатам измерений с помощью их сравнения важно, в частности, в национальной торговле и международном товарообмене. Это помогает устранять торговые и экономические барьеры, устанавливая соглашения о взаимном признании результатов испытаний.

На основании существующих документов в области оценивания неопределенности Республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ) было разработано методическое пособие [3], которое было рекомендовано тем, кто начинает заниматься оцениванием неопределенности на соответствие ИСО/МЭК 17025. Перечисленные документы в основном излагают теоретические основы концепции неопределенности.

В области оценивания неопределенности при испытаниях в различных областях в настоящее время отсутствуют исчерпывающие нормативные и методические материалы. Только в некоторых областях испытаний непосредственно самими аккредитованными испытательными лабораториями разрабатываются методики по оцениванию неопределенности.

РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРУППЫ ГОРЮЧЕСТИ В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ 30244-94 «МАТЕРИАЛЫ СТРОИТЕЛЬНЫЕ. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ НА ГОРЮЧЕСТЬ» (МЕТОД 2)

Воспользуемся общей схемой оценивания неопределенности, представленной в практическом пособии [3] в виде так называемых «восьми шагов»:

- описание измерений и составление его моделей;
- оценивание значений и стандартных неопределенностей входных величин;
- анализ корреляций;
- составления бюджета неопределенности;
- расчет оценки выходной величины;
- расчет стандартной неопределенности выходной величины;
- расчет расширенной неопределенности;
- представление конечного результата измерений.

Данная схема может частично нарушаться, допускаются перестановки отдельных частей местами, замена, объединение или упразднение некоторых из них.

1. Измерительная задача

1.1. Метод измерения

Испытание покрытия для пола ПВХ «GAMRAT» на горючесть проводилось в соответствии с *Методом 2* по ГОСТ 30244-94. Данный метод применяют для всех однородных и слоистых горючих материалов. Он основан на воздействии на образец покрытия пламени от источника зажигания.

1.2. Схема измерения

Для проведения испытания было изготовлено 12 образцов покрытия ПВХ длиной 1100 мм, шириной 190 мм.

Согласно ГОСТ 30244-94 было проведено три испытания, в каждом из которых одновременно испытывались по 4 образца.

Испытания проводились на установке по определению группы горючести, которая состоит из камеры сжигания, системы подачи воздуха в камеру сжигания, газоотводной трубы, вентиляционной системы.

Источником зажигания является газовая горелка. Продолжительность воздействия на образец пламени от источника зажигания составляет 10 мин. По истечении 10 мин источник зажигания отключают. При наличии пламени или признаков тления фиксируется продолжительность самостоятельного горения (тления). Испытание считается законченным после остывания образцов до температуры окружающей среды.

Подготовка установки к испытаниям была проведена в соответствии с ГОСТ 30244-94.

При каждом испытании определяются следующие показатели:

- температура дымовых газов;
- продолжительность самостоятельного горения и (или) тления;
- длина повреждения образца;
- масса образца до и после испытания.

При испытании фиксируют также следующие наблюдения:

- время достижения максимальной температуры дымовых газов;
- переброс пламени на торцы и необогреваемую поверхность образцов;
- сквозное прогорание образцов;
- образование горящего расплава;
- внешний вид образцов после испытания;
- время до распространения пламени по всей длине образца;
- продолжительность горения по всей длине образца.

1.3. *Использованное оборудование*

При определении группы горючести использовались следующие приборы:

- 1) установка по определению групп горючести, калиброванная по ГОСТ 30244-94;
- 2) измеритель-регулятор температуры «Сосна-002»;
- 3) секундомер «Интеграл С-01»;
- 4) термопреобразователь ТХА (К) – 4 шт.;
- 5) линейка (0–1000 мм);
- 6) весы ВНМ 3/15;
- 7) психрометр ВИТ-1;
- 8) барометр;
- 9) штангенциркуль (0–150 мм, цена деления – 0,1 мм).

1.4. *Условия измерения*

Испытания образцов проводились в следующих условиях:

- 1) температура воздуха $t = 22$ °С;
- 2) относительная влажность $\varphi = 53$ %;
- 3) атмосферное давление $p = 98,6$ кПа.

2. Математическая модель измерения

Измеряемые при испытаниях величины:

T (°С) – температура дымовых газов;

$t_{с.г}$ (с) – продолжительность самостоятельного горения;

S_L (%) – степень повреждения образца по длине;

S_m (%) – степень повреждения образца по массе.

Величины T , $t_{с.г}$, S_L , S_m зависят от входных измеряемых величин $L_{нач}$ (начальная длина образца, мм) и $m_{нач}$ (начальная масса образца, г), которые определяют их «истинное» значение.

Таким образом, математическую модель представим в виде:

$$Y(T_{max}, t_{с.г}, S_L, S_m) = f(L_{нач}, m_{нач}), \quad (1)$$

где

$$1) T_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i + \delta T \quad \text{– максимальная температура дымовых газов,} \quad (2)$$

$n = 3$ – количество испытаний,

$\delta T = \pm 5$ °С – поправка, обусловленная отклонением показаний при измерении температуры дымовых газов каждой из 4 термопар (согласно ГОСТ 30244-94);

2) $t_{с.г}$ – время самостоятельного горения.

Поскольку при проведении 3 испытаний $t_{с.г} = 0$, то эту величину при оценке не рассматриваем.

$$3) S_L = \frac{\bar{L}}{L_{нач}} \cdot 100\% \quad \text{– степень повреждения образца по длине,} \quad (3)$$

где

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \text{ – длина повреждения образца, } n = 3;$$

$$\bar{L}_{\text{нач}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{i \text{ нач}} \text{ – начальная длина образца, } n = 3;$$

$$4) S_m = \frac{\bar{m}}{m_{\text{нач}}} \cdot 100\% \text{ – степень повреждения образца по массе,} \quad (4)$$

где

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \text{ – масса повреждения образца, } n = 3;$$

$$\bar{m}_{\text{нач}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{i \text{ нач}} \text{ – начальная масса образца, } n = 3.$$

3. Анализ входных величин

Анализ входных величин представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ входных величин

<p>Входная величина: поправка, обусловленная отклонением показаний при измерении температуры дымовых газов $\delta T, \text{ }^\circ\text{C}$</p>	<p>Тип оценивания неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Значение оценки: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины: $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ Стандартная неопределенность: $u(\delta T) = 2,9 \text{ }^\circ\text{C}$</p>
<p>При измерении температуры дымовых газов отклонение показаний каждой из четырех термопар от их среднего арифметического значения должно составлять не более $5 \text{ }^\circ\text{C}$ (согласно ГОСТ 30244-94). Оценку стандартной неопределенности проводим по типу В, вид распределения - прямоугольный. Тогда стандартную неопределенность рассчитываем так:</p> $u(\delta T) = \frac{5}{\sqrt{3}} \approx 2,9 \text{ }^\circ\text{C}$	
<p>Входная величина: Среднее значение температур дымовых газов каждой из трех термопар $T_i, \text{ }^\circ\text{C}$</p>	<p>Тип оценивания неопределенности: А Вид распределения: нормальное Значение оценки: $148 \text{ }^\circ\text{C}$ Стандартная неопределенность: $u(T_i) = 1,53 \text{ }^\circ\text{C}$</p>
<p>Для оценки стандартной неопределенности по типу А при измерении температур дымовых газов после проведения испытания возьмем средние значения T_i из 3 наблюдений: $T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$, тогда $T = \frac{150 + 145 + 149}{3} \approx 148 \text{ }^\circ\text{C}$. Стандартную неопределенность вычисляем по формуле: $u(T) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (T_i - T)^2}$, следовательно $u(T) = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 2} [(150 - 148)^2 + (145 - 148)^2 + (149 - 148)^2]} \approx \pm 1,53 \text{ }^\circ\text{C}$</p>	
<p>Входная величина: Среднее значение начальной длины образца $\bar{L}_{\text{нач}}$, мм</p>	<p>Тип оценивания неопределенности: В, т. к. данные взяты по предварительным измерениям Вид распределения: прямоугольное Значение оценки: 1000 мм</p>

	<p>Интервал, в котором находится значение входной величины: ±10 мм Стандартная неопределенность: $u(\bar{L}_{\text{нач}}) = 5,78 \text{ мм}$</p>
<p>Поскольку результат измерений округляется до 1 см (как указано в ГОСТ 30244-94), т. е. абсолютная погрешность равна ±10 мм, то значение стандартной неопределенности начальной длины образца $u(\bar{L}_{\text{нач}})$ находим из предположения прямоугольного распределения величины этого отклонения в границах его предельно допустимых значений: $u(\bar{L}_{\text{нач}}) = \frac{10}{\sqrt{3}} \approx 5,78 \text{ мм}.$</p>	
<p>Входная величина: Среднее значение длины повреждения образца \bar{L}, мм</p>	<p>Тип оценивания неопределенности: А, В Суммарная стандартная неопределенность: $u_c(\bar{L}) = 6,27 \text{ мм}$</p>
<p>1) Так как результат измерений округляется до 1 см (как указано в ГОСТ 30244-94), т. е. абсолютная погрешность равна ±10 мм, то значение стандартной неопределенности начальной длины образца $u_1(\bar{L})$ находим из предположения прямоугольного распределения величины этого отклонения в границах его предельно допустимых значений: $u_1(\bar{L}) = \frac{10}{\sqrt{3}} \approx 5,78 \text{ мм}.$</p> <p>2) Поскольку \bar{L} – среднее значение длин повреждения, то вычислим стандартную неопределенность по формуле: $u_2(\bar{L}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{L}_i - \bar{L})^2}$, где $\bar{L}_1 = (42,5 \cdot 1000) / 100 = 425 \text{ мм}$, $\bar{L}_2 = (42,25 \cdot 1000) / 100 = 422,5 \text{ мм}$, $\bar{L}_3 = (42,25 \cdot 1000) / 100 = 422,5 \text{ мм}$, $\bar{L} = 420 \text{ мм}$, тогда $u_2(\bar{L}) = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 2} [(425 - 420)^2 + (422,5 - 420)^2 + (422,5 - 420)^2]} = 2,5 \text{ мм}$</p> <p>3) Суммарную стандартную неопределенность вычислим по формуле: $u_c(\bar{L}) = \sqrt{u_1^2(\bar{L}) + u_2^2(\bar{L})}$, т. е. $u_c(\bar{L}) = \sqrt{5,78^2 + 2,5^2} \approx 6,27 \text{ мм}$</p>	
<p>Входная величина: Среднее значение начальной массы образца $\bar{m}_{\text{нач}}$, г</p>	<p>Тип оценивания неопределенности: А Вид распределения: нормальное Значение оценки: 2636 г Стандартная неопределенность: $u(\bar{m}_{\text{нач}}) = \pm 2,74 \text{ г}$</p>
<p>Для оценки стандартной неопределенности по типу А при взвешивании образцов воспользуемся средними значениями \bar{m}_i из 3 наблюдений: $\bar{m}_{\text{нач}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$, тогда $\bar{m}_{\text{нач}} = \frac{2640 + 2361 + 2638}{3} = 2636 \text{ г}.$</p> <p>Стандартную неопределенность вычисляем по формуле: $u(\bar{m}_{\text{нач}}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{m}_i - \bar{m}_{\text{нач}})^2}$, следовательно</p>	

$u(\bar{m}_{\text{нач}}) = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 2} [(2640 - 2636)^2 + (2631 - 2636)^2 + (2638 - 2636)^2]} \approx \pm 2,74 \text{ г.}$	
<p>Входная величина: Среднее значение массы повреждения образца \bar{m}, г</p>	<p>Тип оценивания неопределенности: А Вид распределения: нормальное Значение оценки: 2174,7 г Стандартная неопределенность: $u(\bar{m}) = \pm 4,9 \text{ г}$</p>
<p>Для оценки стандартной неопределенности по типу А при взвешивании образцов после проведения испытания воспользуемся средними значениями \bar{m}_i из 3 наблюдений: $\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i, \text{ тогда } \bar{m} = \frac{470 + 453 + 462}{3} \approx 462 \text{ г} - \text{средняя масса повреждения.}$ Стандартную неопределенность вычисляем по формуле: $u(\bar{m}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{m}_i - \bar{m})^2}, \text{ следовательно,}$ $u(\bar{m}) = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 2} [(470 - 462)^2 + (453 - 462)^2 + (462 - 462)^2]} \approx \pm 4,9 \text{ г}$ </p>	

4. Результаты измерений

В процессе выполнения испытаний были получены результаты, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты выполнения испытаний

№ испытания	Макс. температура дымов.газов, °С	Время самостоятельного горения, с	Степень повреждения образца по длине, см				Средняя масса образцов, г		Степень повреждения по массе	
			1	2	3	4	до опыта	после опыта	г	%
1	150	0	44	42	42	42	2640	2170	470	18
2	145	0	42	43	42	42	2631	2178	453	17
3	149	0	43	43	42	43	2638	2176	462	18

5. Корреляции

Ни одна из входящих в уравнение модели (1) величин не рассматривается коррелированной друг с другом в какой-нибудь значительной степени.

6. Расчет стандартных неопределенностей выходных величин

6.1. Определение оценки и суммарной стандартной неопределенности выходной величины T_{max}

Суммарную неопределенность при измерении температур дымовых газов вычисляем по формуле: $u_c(T_{\text{max}}) = \sqrt{u^2(\delta T) + u^2(T)}$, т. е. $u_c(T_{\text{max}}) = \sqrt{2,9^2 + 1,53^2} \approx 3,28$.

6.2. Определение суммарной стандартной неопределенности выходной величины S_L

Оценка степени повреждения по длине образца (S_L) рассчитывается по формуле (3), т. е.:

$$S_L = \frac{420}{1000} \cdot 100\% = 42\%.$$

Так как величины, входящие в эту формулу, являются некоррелированными, то суммарную стандартную неопределенность рассчитываем по формуле:

$u(S_L) = \sqrt{c_L^2 u_c^2(\bar{L}) + c_{L_{нач}}^2 u^2(\bar{L}_{нач})}$, где коэффициенты чувствительности находим следующим образом:

$$C_L = \frac{\delta f}{\delta L} = \frac{1}{L_{нач}} = \frac{1}{1000} = 0,001 = 10^{-4},$$

$$C_{L_{нач}} = \frac{\delta f}{\delta L_{нач}} = -\frac{\bar{L}}{L_{нач}^2} = -\frac{420}{1000000} = -0,00042 = -4,2 \cdot 10^{-4}, \text{ тогда}$$

$$u_c(S_L) = \sqrt{(10^{-4})^2 \cdot 6,27^2 + (-4,2 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 5,78^2} \cdot 100\% = \sqrt{10^{-8} \cdot 628,63} \cdot 100\% \approx 0,25\%.$$

6.3. Определение суммарной стандартной неопределенности выходной величины S_m

Оценка степени повреждения по длине образца (S_L) рассчитывается по формуле (4):

$$S_m = \frac{462}{2636} \cdot 100\% \approx 18\%$$

Так как величины, входящие в эту формулу, являются некоррелированными, то суммарную стандартную неопределенность рассчитываем по формуле:

$u_c(S_m) = \sqrt{c_m^2 u^2(\bar{m}) + c_{m_{нач}}^2 u^2(\bar{m}_{нач})}$, где коэффициенты чувствительности находим следующим образом:

$$C_m = \frac{\delta f}{\delta m} = \frac{1}{m_{нач}} = \frac{1}{2636} \approx 3,8 \cdot 10^{-4},$$

$$C_{m_{нач}} = \frac{\delta f}{\delta m_{нач}} = -\frac{\bar{m}}{m_{нач}^2} = -\frac{462}{2636^2} \approx -0,066 = -0,66 \cdot 10^{-4}, \text{ тогда}$$

$$u_c(S_m) = \sqrt{3,8^2 \cdot (10^{-4})^2 \cdot 2,4^2 + (-0,66 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 4,9^2} \cdot 100\% = \sqrt{10^{-8} \cdot 93,64} \cdot 100\% \approx 0,097\%.$$

7. Расширенная неопределенность

Для получения расчета неопределенности выходной величины Y были получены суммарные стандартные неопределенности для отдельных членов и величин, входящих в уравнение (1).

В нашем случае,

$$u_1(y) = u_c(T_{max}) = 3,28 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$u_2(y) = u_c(S_L) = 0,25 \text{ } \%;$$

$$u_3(y) = u_c(S_m) = 0,097 \text{ } \%.$$

Тогда расширенную неопределенность $U(Y) = (U(T_{max}), U(S_L), U(S_m))$ получаем путем умножения суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата $k = 2$ в предположении нормального распределения для уровня доверия 95 %:

$$U_1(Y) = U(T_{max}) = 3,28 \cdot 2 = 6,56 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$U_2(Y) = U(S_L) = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ } \%,$$

$$U_3(Y) = U(S_m) = 0,097 \cdot 2 \approx 0,19 \text{ } \%.$$

8. Полный результат измерения

Полный результат измерения, состоящий из оценки измеряемой величины Y и расширенной неопределенности $U(Y)$ представим в виде записи следующей формы:

$$T_{\max} = 148 \pm 6,56 \text{ (}^\circ\text{C)},$$

$$S_L = 42 \pm 0,5 \text{ (\%)},$$

$$S_m = 18 \pm 0,19 \text{ \%}.$$

где число, следующее за знаком « \pm », является численным значением расширенной неопределенности, которая получена умножением стандартной неопределенности на коэффициент охвата $k = 2$, основанный на предполагаемом нормальном распределении, и определяет интервал, соответствующий вероятности охвата приблизительно 95 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правительством Республики Беларусь принят курс на гармонизацию норм проектирования и строительства с европейскими и международными нормами, в том числе касающихся требований пожарной безопасности, в соответствии с чем Министерство по чрезвычайным ситуациям обязано обеспечить создание материально-технической базы и проведение испытаний по определению пожарной опасности строительных и отделочных материалов в соответствии с требованиями норм Европейского Союза.

Поэтому перед лабораториями, желающими аккредитоваться в соответствии с европейскими требованиями и требованиями ИСО/МЭК 17025, возникает необходимость в разработке методик оценивания неопределенности, как для конкретных видов измерений, так и для конкретных испытаний. В настоящее время НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси разработано четыре методики расчета неопределенности при проведении испытаний строительных и отделочных материалов. В дальнейшем планируется произвести расчет неопределенности при испытании жидких веществ и материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guide to the Expression of Uncertainty in measurement: First edition. / ISO, Geneva, 1993.
2. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. СТБ ИСО/МЭК 17025-2002. – Минск, 2007.
3. Ефремова, Н.Ю. Оценка неопределенности в измерениях : практ. пособие / Н.Ю. Ефремова. – Минск : БелГИМ, 2003.
4. Ефремова, Н.Ю. Примеры оценивания неопределенностей из различных областей измерений и испытаний : практ. пособие. / Н.Ю. Ефремова, С.А. Качур. – Минск : БелГИМ, 2006.
5. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть : ГОСТ 30244-94. – М., 1994.