

УДК 620.1:678.7]:534.083

М.А. Голофеева, магістр,  
В.М. Тонконогий, д-р техн. наук, проф.,  
В. А. Балан, студентка,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## СОСТАВЛЕНИЕ БЮДЖЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ МЕТОДЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИНТЕГРАНА

*М.О. Голофеева, В.М. Тонконогий, В.О. Балан. Складання бюджету невизначеностей при ультразвуковому методі контролю якості виробів з синтеграну.* Розглянуто міжнародний підхід до оцінювання якості вимірювань, що включає в себе єдині в міжнародній практиці правила вираження невизначеностей вимірювань та їх підрахунку. Складено бюджет невизначеностей ультразвукового методу контролю якості виробів з синтеграну.

*Ключові слова:* невизначеність, синтегран, акустичний метод контролю, заломлення ультразвукового променя.

*М.А. Голофеева, В.М. Тонконогий, В.А. Балан. Составление бюджета неопределенностей при ультразвуковом методе контроля качества изделий из синтеграна.* Рассмотрен международный подход к оцениванию качества измерений, включающий в себя единые в международной практике правила выражения неопределенностей измерений и их подсчет. Составлен бюджет неопределенностей ультразвукового метода контроля качества изделий из синтеграна.

*Ключевые слова:* неопределенность, синтегран, акустический метод контроля, преломление ультразвукового луча.

*М.А. Golofeyeva, V.M. Tonkonogiy, V.A. Balan. Budgeting uncertainties in ultrasonic quality control of products from sintegran.* The international approach to evaluating the quality of measurements, including the common practice international rules of expressing the uncertainty of measurements and their summation, is considered. The budget of uncertainties in the ultrasonic method of quality control of products from sintegran is compiled.

*Keywords:* uncertainty, sintegran, acoustic monitoring method, the ultrasonic beam refraction.

В Украине с 27 декабря 2006 г. введен в действие ДСТУ ISO/IEC 17025:2006, требующий проводить в испытательной лаборатории оценку прослеживаемости и неопределенности измерений при испытаниях. Результаты таких оценок должны учитываться при определении компетентности лабораторий в ходе проведения испытаний и при обработке их результатов, что в полной мере соответствует международной практике. Указанный стандарт разработан с учетом положений международного стандарта ISO/IEC 17025:2005, который в качестве признанной на международном уровне меры доверия к результатам измерений, в том числе и при испытаниях, вводит определение “неопределенность измерений”.

Рассмотрим понятие “неопределенность”. Присутствие случайной и неисключенной систематической составляющей погрешности результата измерения приводит к тому, что последний может быть очень близким к значению измеряемой величины (и поэтому иметь пренебрежимо малую погрешность), однако не вызывать при этом соответствующего доверия. Именно поэтому для оценки качества результата измерения обычно опираются не на погрешность, а на ее вероятностные характеристики, основывающиеся не на фактическом значении измеряемой величины, а на наблюдаемой (оцененной) рассеянности результата измерения.

Мерой рассеяния случайной величины служит центральный момент второго порядка, называемый дисперсией. По мере уточнения результата измерения остающаяся неизвестной по-

грешность уменьшается, а дисперсия результата увеличивается. Безусловно, неизвестный систематический эффект не может учитываться в оценке дисперсии результата измерения, однако он вносит вклад в его погрешность.

Оценки вероятностных параметров рассеяния результата измерения, характеризующие сомнения относительно достоверности результата измерения, и называют *неопределенностью измерения*.

В широком смысле слова неопределенность измерения — параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине [1].

Отметим, что введение понятие “неопределенность измерения” является вынужденной мерой, необходимой для единообразного и упрощенного оценивания достоверности измерения, поскольку ее оценка осуществляется на основе получаемых результатов измерения, известных условий эксперимента и характеристик аппаратуры, а не на известном истинном значении измеряемой величины.

Методология применения неопределенности измерений для оценки качества измерений (как меры доверия к результатам измерений) изложена в Руководстве GUM. В нем формально установлены общие правила для оценивания и выражения неопределенности для широкого круга измерений. В Украине практические рекомендации по применению Руководства изложены в РМГ 43-2001 ГСИ “Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”.

Отличительными положениями методологии, приведенной в Руководстве GUM, используемыми при оценке качества результатов измерений на основе концепции “неопределенности”, являются:

— отказ, по возможности, от использования понятий “погрешность” и “истинное значение измеряемой величины” в пользу понятий “неопределенность” и “измеренное значение измеряемой величины”;

— переход от деления погрешностей по природе их проявления на “случайные” и “систематические” к делению по способу оценивания неопределенностей измерений.

Такой подход включает:

**оценку по типу А** — с использованием методов математической статистики для обработки полученных результатов измерений;

**оценку по типу В** — другими методами, в том числе на основе использования информации нормативных документов.

Базовыми концепциями Руководства GUM при оценке неопределенности являются:

— Знание об измеряемой величине, в том числе о величинах, оказывающих влияние на измеряемую величину, представляется в виде функции плотности вероятности для рассматриваемых величин.

— Математическое ожидание такой функции рассматривается как оптимальная (наилучшая) оценка величины.

— Стандартное отклонение (СКО) такой функции рассматривается как стандартная неопределенность, связанная с такой оценкой.

— Функция плотности вероятности базируется на знании о величине, которое может быть получено на основе повторных измерений, — оценка типа А или расчетных методов оценки, основанной на использовании всей доступной информации о возможных отклонениях рассматриваемых величины, — оценка типа В.

Основные этапы оценивания неопределенностей подразумевают формулировку измерительной задачи и вычисления, что включают в себя трансформирование распределения вероятностей и получение окончательного результата [2].

Этап формулировки измерительной задачи состоит из:

— задания измеряемой величины  $Y$ ;

— выявления входных величин, от которых зависит  $Y$ ;

— составления модели измерения, определяющей соотношение измеряемой величины  $Y$  с входными величинами;

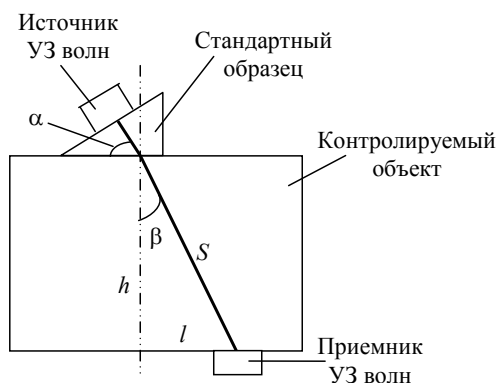


Схема ультразвукового прозвучивания образца из синтегрона

— приписывания распределения вероятностей (нормального, прямоугольного и др.) входным величинам на основе имеющейся информации.

Этап вычислений состоит из трансформирования по данной модели измерения распределения вероятностей для входных величин в распределение вероятностей для выходной величины  $Y$  и использование этого распределения для получения математического ожидания  $Y$ , принимаемого как значение оценки  $y$  величины  $Y$ ; стандартного отклонения величины  $Y$ , принимаемого как стандартная неопределенность  $u(y)$ ; интервала охвата, содержащего  $Y$  с заданной вероятностью охвата.

Расчет неопределенности измерений проводился экспертным методом [1], с учетом неполной информации о влияющих величинах (составляющих бюджета неопределенности).

Для выявления причин возникновения ошибок измерения сформулируем измерительную задачу. На рисунке приведена схема ультразвукового прозвучивания. Источник ультразвукового сигнала при контроле изделия из синтегрона является неподвижным, а приемник перемещается вдоль объекта. Тогда  $l$  — расстояние от перпендикуляра к границе раздела сред в точке падения ультразвукового луча до точки падения УЗ луча на нижнюю границу контролируемого объекта (перемещение приемника УЗ волны);  $h$  — толщина изделия;  $S$  — траектория распространения ультразвуковой волны.

Зависимость перемещения приемника  $l$  от физико-механических свойств синтегрона, по которым косвенно можно говорить и об особенностях структуры материала, а следовательно, судить о параметрах качества изделий из него [3]

$$l = \frac{h \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}}{\sqrt{C_1^2 - \sin^2 \alpha} \frac{E}{2\rho(1+\nu)}}, \quad (1)$$

где  $C_1$  — скорость распространения УЗ волны в стандартном образце;

$E$  — модуль упругости синтегрона;

$\rho$  — плотность синтегрона;

$\nu$  — коэффициент Пуассона;

$\alpha$  — угол падения УЗ луча;

$h$  — толщина изделия.

Первая группа ошибок (для оценки неопределенности по типу А) — погрешности, связанные с колебаниями параметров излучателя УЗ в допустимых пределах, смещением излучателя и приемника при повторных его установках в точку измерения, колебаниями толщины прослойки контактной жидкости вследствие неравномерного прижима преобразователей к изделию, неточностью считывания результата измерения и др.

Из теории измерений известно, что влияние случайной ошибки на результат измерения уменьшается с увеличением числа измерений. На практике для получения удовлетворительного значения погрешности при наименьших трудозатратах достаточно выполнить 5 (реже 7) измерений в контролируемой точке.

Вторая группа ошибок (для оценки неопределенности по типу В) связана с погрешностью измерения перемещения приемника УЗ волн средством измерительной техники  $\theta_1$ ; считывания результата со шкалы  $\theta_2$ , а также вызванной отклонением от соосности источника и приемника  $\theta_3$ .

После анализа причин возникновения погрешностей следует приступить к обработке результатов измерений перемещения приемника ультразвуковых волн. На основе полученных значений определяется среднее арифметическое значение перемещения  $l$  (мм):

$$\bar{l} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}. \quad (2)$$

Стандартная неопределенность  $u_A$  измерения перемещения приемника УЗ волн (стандартная неопределенность по типу А — СКО среднего арифметического значения) вычисляется как

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}. \quad (3)$$

В рассматриваемом случае для расчета неопределенностей типа В — неопределенности, обусловленные источниками, имеющими систематический характер, используются границы погрешностей  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ . Суммарное значение стандартной неопределенности по типу В составит

$$u_B = \sqrt{\frac{\theta_1^2}{3} + \frac{\theta_2^2}{3} + \frac{\theta_3^2}{3}}. \quad (4)$$

При этом неопределенности этих данных представляют в виде границ отклонения значения величины от ее оценки [1]. Наиболее распространенный способ формализации неполного знания о значении величины заключается в постулировании равномерного закона распределения возможных значений этой величины в указанных (нижней и верхней) границах.

Суммарная неопределенность  $u_C$  рассчитывается как

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (5)$$

В рассматриваемом практическом случае, при вычислении неопределенности результата измерения перемещения приемника ультразвуковых волн принимается нормальный закон распределения возможных значений этой измеряемой величины.

В этом случае коэффициент охвата  $k = 2$  при  $P \sim 0,95$  [1]. Тогда расширенная неопределенность для уровня доверия  $P=0,95$  представляется в виде

$$u_{0,95} = k \cdot u_C = 2 \cdot u_C. \quad (6)$$

В случае принятия равномерного закона распределения измеряемой величины при расчете расширенной неопределенности полагаем  $k = 1,65$  при  $P \sim 0,95$ .

Применение равномерного (прямоугольного) закона распределения является предпочтительным в случае, если нормальность распределения не подтверждается.

Результат измерения перемещения приемника ультразвуковых волн для нормального закона распределения может быть представлен в виде

$$l = (\bar{l} \pm u_{0,95}) \text{ мм при } P \sim 0,95.$$

#### Выводы.

Рассмотрен поход к оцениванию качества измерений, включающий в себя единые в международной практике правила выражения неопределенностей измерений и их суммирования.

На основе анализа причин возникновения ошибок измерений составлен бюджет неопределенностей ультразвукового метода контроля качества изделий из синтегра.

#### Литература

1. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”. — Минск: ИПК “Изд-во стандартов”, 2002. — 20 с.

2. ГОСТ Р 54500.1-2011 Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009 Неопределенность измерения. — Ч. 1: Введение в руководства по неопределенности измерения. — М.: Стандартиформ, 2012. — 17 с.
3. Голофеева, М.А. Акустический метод контроля синтетических изделий // Проблемы техники. — 2013. — № 3. — С. 119 — 124.

### References

1. RMG 43-2001 GSI. Primenenie “Rukovodstva po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniy” [Application of “Guide to the expression of uncertainty in measurement”]. — Minsk: IPK “Izdatel’stvo standartov” [“Publishing house of standards”], 2002. — 20 p.
2. GOST R 54500.1-2001 / Rukovodstvo ISO/IEC 98-1:2009 neopredelennost’ izmereniya — Chast’ 1. Vvedenie v rukovodstva po neopredelennosti izmereniya [ISO/IEC Guide 98-1:2009 Uncertainty of measurement — Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement]. — Moscow, 2012. — 17 p.
3. Golofeyeva, M.A. Akusticheskiy metod kontrolya sintegranovykh izdeliy [Acoustic method of control of sintegran wares] // Problemy tekhniki [Problems of Engineering]. — 2013. — # 3 — pp. 119 — 124.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Становский А.Л.

Поступила в редакцию 20 октября. 2013 г.