

УДК 006.91 (083.131)

И.П. Захаров, С.В. Водотыка

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ: ЭВОЛЮЦИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ И ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ

Проведен анализ состояния и перспектив развития нормативной базы и основных подходов, используемых для оценивания неопределенности измерений в испытательных и калибровочных лабораториях. Анализируются способы реализации модельного подхода через закон распространения неопределенности и закон распространения распределений. Приводится описание подходов к оцениванию вкладов неопределенности. Проводится анализ основных способов оценивания расширенной неопределенности. Анализируются способы реализации эмпирического подхода по результатам внутрिलाбораторных и межлабораторных испытаний.

Ключевые слова: стандартная неопределенность, расширенная неопределенность, модельный подход, эмпирический подход.

Введение

Международная стандартизация оценивания качества измерений является одной из задач обеспечения их единства. Индикатором решения этой задачи является состояние нормативной базы концепции неопределенности. С момента опубликования первой редакции “Руководства по выражению неопределенности измерений” (GUM) [1] прошло уже более 15 лет. За это время было выпущено множество нормативных документов, относящихся как к конкретным разновидностям измерений, так и к различным видам метрологических работ. При анализе этих документов оказалось, что реализация модельного подхода, описанного в GUM, не только имеет ограничения по достоверности и диапазону применимости, но и в ряде случаев (например, измерения при количественном химическом анализе) затруднена из-за большой трудоемкости.

Целью данной статьи является анализ нормативной базы и основных подходов, используемых в настоящее время для оценивания неопределенности в измерениях.

1. Анализ нормативной базы концепции неопределенности

Формирование нормативной базы концепции неопределенности на международном и европейском уровнях осуществлялось параллельно и отчасти независимо несколькими организациями: BIPM, CIPM, IEC, ISO, IFCC, ILAC, IUPAP, IUPAC, OIML, IPCC, CITAC, EURANIM, EUROLAB, NORDTEST и др.

Ведущей в этом направлении, безусловно, является Рабочая Группа №1 Объединенного Комитета по Руководствам в Метрологии (JCGM), работающего под председательством директора BIPM.

Разрабатываемая ею нормативная база развивалась целенаправленно и достаточно последовательно (рис. 1). Первым документом, выпущенным этой группой, были Рекомендации INC-1 (1980 г.) “Выражение экспериментальных неопределенностей” [2], заложившие основные принципы модельного подхода оценивания неопределенности в измерениях.

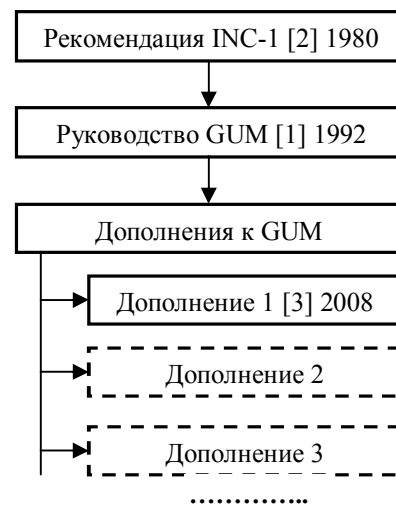


Рис. 1. Основные этапы развития нормативной базы концепции неопределенности JCGM

На базе этого документа было выпущено Руководство GUM (1992 г.), в котором подробно рассматривались основные приемы оценивания неопределенности измерений на основе модельного подхода. С тех пор без существенных изменений GUM претерпел 2 редакции (1995 и 2008 г – JCGM 100:2008 [3]). Недостатки GUM, отмеченные в многочисленных публикациях, в частности связанные с линеаризацией моделей, использованием числа степеней свободы при оценивании расширенной неопределенности и др., привели к необходимости раз-

работки JCGM семи дополнительных документов, два из которых уже опубликованы:

JCGM 101:2008. Дополнение 1. Распространение распределений с использованием метода Монте-Карло [4];

JCGM 102. Дополнение 2. Модели с несколькими выходными величинами;

JCGM 103. Дополнение 3. Моделирование;

JCGM 104: 2008. Неопределенность измерений. Часть 1: Введение к выражению неопределенности в измерениях [5] (GUIDE 98-1);

JCGM 105. Концепции и основные принципы;

JCGM 106. Роль неопределенности измерений в оценке соответствия;

JCGM 107. Применение метода наименьших квадратов.

Параллельно с разработками JCGM издаются стандарты ISO и нормативные документы других международных и европейских организаций для различных разновидностей измерений и видов метрологических работ: ISO/TS 14253-2:999. Руководство для оценки неопределенности геометрических измерений, при калибровке измерительного оборудования и верификации продукции [6]; ISO/TS 21748:2004. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценивании неопределенности измерений [7]; IEC 60359:2002. Аппаратура измерительная электрическая и электронная – Выражение рабочих характеристик [8]; GPG-2000. Руководство лучшей практики и менеджмент неопределенности для национальной инвентаризации парниковых газов [9];

Руководство EURACHEM/CITAC “Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях” [10]; EA-4/02:1999. Выражение неопределенности измерений при калибровках [11]; EA4/16:2003. EA Руководство по выражению неопределенности в количественных испытаниях [12]; Технический отчет EUROLAB 1/2006 “Руководство по оцениванию неопределенности результатов количественных испытаний” [13]; Технический отчет EUROLAB 1/2007 “Пересмотр неопределенности измерения: Альтернативные подходы к оцениванию неопределенности” [14]; Совместное руководство EURACHEM, CITAC, EUROLAB и NORDTEST “Неопределенности измерений, возникающие при отборе проб – руководство по методам и подходам” [15] и др.

Анализ этих документов показывает, что в настоящее время, кроме общепринятого закона распространения неопределенности, лежащего в основе философии GUM и являющегося одной из реализаций модельного подхода, существуют альтернативные методы оценивания неопределенности, которые имеют свою достоверность и диапазоны применимости. Ниже приведена классификация и анализ этих подходов и различных способов их реализации.

2. Классификация основных подходов к оцениванию неопределенности измерений

Основные подходы оценивания неопределенности измерений можно разделить на два больших класса: модельный и эмпирический (рис. 2).



Рис. 2. Классификация подходов к оцениванию неопределенности измерений

Модельний (восходящий) підхід подразумеває складання модельного рівняння і вичислення результату вимірювання (вихідної величини) і його неопределенності через значення і неопределенності входних величин. Емпіричний (нисходящий) підхід оснований на аналізі результатів вимірювань при проведенні внутрिलाбораторних і міжлабораторних випробувань.

2.1. Реалізації модельного підходу

Достоїнством модельного підходу є можливість аналізу вкладів неопределенності, що дозволяє в подальшому здійснити менеджмент вимірювального процесу в напрямку підвищення достовірності отримуваних результатів. Важливим елементом модельного підходу є бюджет неопределенності, що сприяє урахуванню складових, їх аналізу і, при необхідності, слугує основою для автоматизації оцінювання неопределенності.

В залежності від застосованого способу комбінування складових в основі реалізації модельного підходу може використовуватися закон розповсюдження неопределенності або закон розповсюдження розподілів. Закон розповсюдження неопределенності використовується в базовій процедурі GUM і ґрунтується на принципі суммування дисперсій і коваріацій, закладеному в INC-1. Математично цей підхід випливає з апроксимації модельного рівняння членами ряду Тейлора першого порядку і має витікаючі звідси недоліки: застосування такого підходу при суттєво нелінійній залежності дає зміщену оцінку результату вимірювань і недостовірну оцінку суммарної стандартної неопределенності [4].

INC-1 і базова процедура GUM передбачає окреме оцінювання неопределенності входних величин статистичним (по типу А) і нестатистичним (по типу В) методами з наступним розрахунком вкладів неопределенності через коефіцієнти чутливості. Процедура обчислення коефіцієнтів чутливості часто викликає труднощі у метрологів-практиків. Полегшити цей процес дозволяє застосування методу частних приращень [16], який крім того дозволяє автоматизувати процес обчислення вкладів неопределенності і може бути використаний при створенні програмного засобу.

Суть методу частних приращень полягає в обчисленні безпосередньо вкладів неопределенності $u_j(y)$ по формулі:

$$u_j(y) = \frac{1}{2} \left\{ f \left[\bar{x}_1, \dots, (\bar{x}_j + u(x_j)), \dots, \bar{x}_m \right] - f \left[\bar{x}_1, \dots, (\bar{x}_j - u(x_j)), \dots, \bar{x}_m \right] \right\},$$

де x_1, x_2, \dots, x_m – входні величини; y – вихідна величина; $u(x_j)$ – неопределенність j -ї входної величини; f – модельне рівняння.

Зменшити вплив нелінійності модельного рівняння при обчисленні суммарної неопределенності типу А і здійснити урахування спостережуваної кореляції між оцінками входних величин без обчислення значень коефіцієнтів кореляції можна шляхом застосування методів редукції і трансформації [17].

Метод редукції застосовується при наявності спостережуваної кореляції між результатами багаторазових спостережень входних величин. Він може бути схематично представлений у вигляді таблиці, що складається з однакової кількості n узгоджених результатів спостережень входних величин (табл. 1). Спочатку, відповідно до модельного рівняння, обчислюються окремі значення вихідної величини y_q ($q = 1, 2, \dots, n$), а потім результат вимірювання \bar{y} обчислюється як середнє арифметичне отриманих значень y_q . Після цього неопределенність типу А результату вимірювання $u(\bar{y})$ знаходиться за відомою формулою. Таким чином, косвенні вимірювання приводяться до прямих з відповідною їм обробкою. Саме тому в національній нормативній документації цей метод називається методом приведення.

Таблиця 1

Схема реалізації методу редукції

Входні величини				Вихідна величина
x_1	x_2	...	x_m	
x_{11}	x_{21}	...	x_{m1}	y_1
x_{12}	x_{22}	...	x_{m2}	y_2
...
x_{1n}	x_{2n}	...	x_{mn}	
Результат вимірювання				\bar{y}
Стандартна суммарна неопределенність типу А				$u_A(\bar{y})$

Метод трансформації застосовується при відсутності кореляції між результатами багаторазових спостережень входних величин і різном їх кількості n_j ($j = 1, 2, \dots, m$). Для його реалізації в відповідності до модельного рівняння розраховуються m груп значень вихідної величини (по n_j значень в кожній групі) по формулі:

$$y_{ji} = f(\bar{x}_1, \dots, x_{ji}, \dots, \bar{x}_m), \quad i = 1, 2, \dots, n_j.$$

Для кожної групи знаходиться середнє арифметичне і дисперсія. Після цього результат вимірювання і його неопределенність визначаються як середньваженна оцінка m неравноточних результатів вимірювань і її неопределенність.

В результаті застосування цих методів можна одразу отримати суммарний вклад від складових неопределенності типу А (без обчислення коефіцієнтів чутливості), який потім суммується.

руется с вкладами типа В, в соответствии с законом распространения неопределенности.

После получения суммарной стандартной неопределенности u_c в базовом алгоритме производится оценивание расширенной неопределенности. Его можно осуществлять различными способами. GUM рекомендует производить расчет расширенной неопределенности как произведение суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата k , представляющий собой коэффициент Стьюдента для эффективного числа степеней свободы, вычисляемого по формуле Велча-Саттерсвейта [1]:

$$v_{\text{eff}} = u_c^4(y) \left/ \sum_{j=1}^m \frac{u_{jA}^4(y)}{n_j - 1} \right.$$

Такой подход дает недостоверные оценки неопределенности при малом числе наблюдений n_j и не работоспособен при наличии корреляции между входными величинами.

Оценить расширенную неопределенность можно, зная закон распределения измеряемой величины. В литературе для нахождения вида закона распределения измеряемой величины используют различные методы: метод свертки распределений (которую можно осуществлять аналитически через интеграл Дюамеля или численно методом дискретной свертки), метод эксцессов распределений [18], а также использование закона распространения расширенной неопределенности [19].

Аналитический метод свертки можно осуществить далеко не во всех практических случаях, поэтому чаще используют метод дискретной свертки [20]. К сожалению, оба эти метода не применимы при коррелированных входных величинах.

Метод эксцессов [21] основан на однозначном соответствии между коэффициентом охвата и эксцессом распределения. При этом эксцесс суммарного распределения E двух входных величин определяется в соответствии с правилом суммирования эксцессов:

$$E = \left(u_1^4 E_1 + u_2^4 E_2 \right) / \left[u_1^2 + u_2^2 \right]^2,$$

в котором $u_{1,2}$ и $E_{1,2}$ – неопределенность и эксцесс суммируемых распределений. В работе [22] получена зависимость $k(E)$ для коррелированных величин.

Реализация всех перечисленных способов дает приближенную оценку расширенной неопределенности. Математическое моделирование, проведенное авторами, позволило сделать вывод, что наиболее достоверную оценку расширенной неопределенности с учетом наблюдаемой корреляции обеспечивает закон распространения расширенной неопределенности [19], суть которого описывается выражением:

$$U(y) = \sqrt{U_A^2 + U_B^2},$$

где U_A , U_B и U – соответственно расширенная неопределенность, рассчитанная по типам А и В, и расширенная неопределенность результата измерения.

Следует отметить, что этот метод, как и все вышеописанные методы оценивания расширенной неопределенности, дают достоверную оценку расширенной неопределенности только при линеаризованных моделях.

Устранить недостатки закона распространения неопределенности при использовании модельного подхода можно за счет применения закона распространения распределений, реализация которого методом Монте-Карло описана в Приложении 1 к GUM [4]. Алгоритмы реализации метода Монте-Карло и программных средств на его основе подробно описаны в [23]. Следует отметить, что, несмотря на очевидные достоинства метода Монте-Карло, ему присущи все недостатки модельного подхода: сложность в учете составляющей неопределенности, обусловленной неадекватностью модельного уравнения объекту и реальным условиям измерения, а также низкая достоверность получаемых оценок расширенной неопределенности, обусловленная неизбежными упрощениями и ограничениями при учете исходных данных о законах распределения и степени корреляции оценок входных величин.

2.2. Реализации эмпирического подхода

Эмпирический подход позволяет не только учесть неадекватность модельного уравнения объекту и реальным условиям измерения при оценивании неопределенности измерений, но и оценить систематическую составляющую (правильность) получаемых результатов. Недостатком эмпирического подхода является невозможность анализа вкладов неопределенности, которая в дальнейшем позволила бы оптимизировать измерительный процесс.

Внутрилабораторные испытания, проводимые при разработке и оценке пригодности метода, сводятся к определению характеристик эффективности. При оценивании неопределенности на основе полученных при этом данных используют [10]: наиболее достоверную из имеющихся оценок общей прецизионности; наиболее достоверную оценку общего смещения и его неопределенности; оценки любых неопределенностей, связанные с теми факторами, которые недостаточно полно отражены в установленных характеристиках эффективности (например, неопределенность пробоотбора [15]).

Оценка прецизионности должна охватывать длительный период времени и учитывать естественное варьирование всех факторов, влияющих на результаты и может представлять собой: стандартное отклонение результатов для типичной пробы, проанализированной, насколько возможно, разными аналитиками на разных приборах в течение определенного периода времени; стандартное отклонение,

полученное по результатам измерений, выполненных на каждой из нескольких проб в существенно разное время; оценки дисперсии для каждого из влияющих факторов, получаемых с применением планов многофакторного эксперимента методами дисперсионного анализа (ANOVA) [10].

Исследование смещения и его неопределенности осуществляется несколькими методами: на основе анализа стандартного образца, проведенного по полной методике измерения (неопределенность значения образца и неопределенность смещения); путем сравнения полученных результатов с результатами референтного метода (неопределенность референтного метода и неопределенность смещения); с помощью добавки определяемого компонента в предварительно анализируемую пробу; путем сравнения результата, полученного по данной методике со значением, найденным методом стандартных добавок. Для проверки значимости смещения вычисляют параметр t по формуле:

$$t = \frac{|1 - \overline{\text{Rec}}|}{u(\overline{\text{Rec}})},$$

где $\overline{\text{Rec}}$ – оценка степени извлечения. Полученное значение t сравнивается с критическим значением t_{crit} из таблицы распределения Стьюдента. Если $t \geq t_{\text{crit}}$, в уравнение измерения вводится поправочный множитель $1/\overline{\text{Rec}}$.

При оценке неопределенности неисследованных факторов во внимание принимают чистоту образца, нелинейность градуировочной характеристики средства измерения (например, хроматографа), неоднородность пробы. Чистота образца определяется по данным производителя. Для оценивания нелинейности градуировочной характеристики применяют метод наименьших квадратов [24]. Руководство [15] рассматривает два основных подхода к оцениванию неопределенности пробоотбора: модельный и эмпирический. В нем приведено четыре способа реализации эмпирического подхода: дубликатный (один отборщик пробы многократно использует один метод отбора), протокольный (один отборщик пробы многократно использует несколько методов отбора), метод совместных испытаний (несколько отборщиков используют один метод отбора), профессиональный (несколько отборщиков используют несколько методов отбора). В ходе межлабораторных испытаний определяются показатели правильности и прецизионности [25]. Количественными характеристиками правильности являются: систематическая погрешность лаборатории (при реализации методики анализа) – разность между средним значением результатов измерений в отдельной лаборатории X_{ml} и опорным значением измеряемой величины $\Delta^* = X_{ml} - X_{\text{ref}}$; систематическая погрешность методики анализа – разность между средним значением результатов анализа, полученных во всех лабораториях, применяющих данную методи-

ку, и опорным значением измеряемой величины $\Delta_c^* = X_m - X_{\text{ref}}$; лабораторная составляющая систематической погрешности – разность между средним значением результатов единичного анализа, полученных в отдельной лаборатории при реализации методики анализа и средним значением результатов анализа, полученных во всех лабораториях, применяющих данную методику анализа:

$$\Delta_{Lc}^* = X_{ml} - X_m = \Delta^* - \Delta_c^*.$$

Количественными характеристиками прецизионности являются:

- стандартное отклонение повторяемости – СКО результатов единичного анализа, полученных по методике в условиях повторяемости:

$$S_{rm} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L S_{ml}^2},$$

где $S_{ml} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_{mli} - X_m)^2}$ – выборочное

СКО результатов единичного анализа, полученных в l -й лаборатории;

- стандартное отклонение воспроизводимости – СКО результатов анализа, полученных в условиях воспроизводимости:

$$S_{Rm} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^L (X_{ml} - X_m)^2}{L-1} + \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N-1}\right) S_{rm}^2},$$

$m = 1, 2, \dots, M,$

где $X_m = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L X_{ml}$ – среднее арифметическое результатов анализа, полученных в L лабораториях;

- предел воспроизводимости – допускаемое для принятой вероятности 95 % абсолютное расхождение между двумя результатами анализа, полученными в условиях воспроизводимости: $R_m = Q(P, 2) \cdot k \cdot S_{Rm}$, для $P = 0,95$, $Q(P, n) = 2,77$, где коэффициент $k = 1,2 \dots 2,0$, учитывающий условия проведения эксперимента.

Пересчет характеристик этих оценок в характеристики неопределенности осуществляется с помощью процедур, описанных в [8].

Выводы

При реализации программы международной стандартизации оценивания качества измерений необходимо, чтобы процесс оценивания неопределенности был не только единообразным, но и давал максимально достоверные оценки. Это требует дальнейшего совершенствования нормативной базы в этой области, что, с учетом многообразия подходов к оцениванию неопределенности, возможно только при объединении усилий теоретических и практических работников высокой квалификации.

Список літератури

1. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. – Geneva: ISO, 1993. – 101 p.
2. Giacomo P. *The expression of Experimental Uncertainties (Recommendation INC-1)*, BIPM / P. Giacomo // *Metrologia*. – 1981. – №11. – P. 73.
3. JCGM 100:2008. *Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. – JCGM, 2008. – 120 p.
4. JCGM 101:2008. *Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method*. – BIPM, 2008. – 88 p.
5. JCGM 104:2008. *Uncertainty of measurement. Part 1: Introduction to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUIDE-98)*. ISO/IEC, 2008 – 28 p.
6. ISO/TS 14253-2 1999. *Geometrical Product Specifications (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment - Part 2 Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification*. ISO, 1999. – 73 p.
7. IEC 60359:2001. *Electrical and Electronic measurement equipment – Expression of performance*. IEC, 2001. – 70 p.
8. ISO/TS 21748:2004. *Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation*. ISO, 2004. – 30 p.
9. GPG-2000. *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC. Switzerland, 2000.
10. *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Second Edition*. EURACHEM. LGC, 2000. – 120 p.
11. EA-4/02:1999. *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*. EA, 1999. – 79 p.
12. EA4/16:2003. *EA guidelines on the expression on uncertainty in quantitative testing*. EA, 2003. – 79 p.
13. *Guide to the Evaluation of Measurement Uncertainty for Quantitative Test Results*. EUROLAB Technical Report No. 1/2006. – 50 p.
14. *Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation*. EUROLAB Technical Report No. 1/2007. – 62 p.
15. Eurachem, CITAC, Eurolab, Nordtest and the Analytical Methods Committee *Guide: Measurement uncertainty arising from sampling—a guide to methods and approaches*, 2007. – 102 p.
16. *Оценивание неопределенности первичного акустического эталона численными методами* / В.П. Чальый, В.В. Паракуда, А.А. Костеров и др. // *Измерительная техника*. – 2005. – № 5. – С. 15-19.
17. Rabinovich S.G. *Measurement errors and uncertainty: theory and practice, 3rd edn* / S.G. Rabinovich. – New York: Springer. 2005. – 308 p.
18. Циделко В.Д. *Исследование методов оценивания расширенной неопределенности* / В.Д. Циделко, Н.А. Яремчук, М.В. Галевская // *Системи обробки інформації: зб. наук. пр.* – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 4. – С. 49-54.
19. *Методика оценивания неопределенности при выполнении метрологических работ* / И.П. Захаров, М.П. Сергиенко, О.Н. Величко, В.Н. Чепела // *Системи обробки інформації: зб. наук. пр.* – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 7. – С. 32-36.
20. Захаров И.П. *Теоретическая метрология* / И.П. Захаров. – Х.: ХНУРЭ, 2000. – 176 с.
21. Тойберт П. *Оценка точности результатов измерений* / П. Тойберт. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 88 с.
22. Захаров И.П. *Вычисление коэффициента охвата композиции коррелированных и некоррелированных составляющих неопределенности измерения* / И.П. Захаров // *Зб. наук. пр. ХУПС*. – Х., 2005. – Вип. 6(6). – С. 61-63.
23. Zakharov Igor P. *Application of Monte Carlo simulation for the evaluation of measurements uncertainty* / Igor P. Zakharov, Sergey V. Vodotyka // *Metrology and Measurement systems*. – 2008. – Vol. XV, Number 1. – P. 118-123.
24. ISO 8466-1:1990. *Water quality; calibration and evaluation of analytical methods and estimation of performance characteristics; part 1: statistical evaluation of the linear calibration function*. ISO, 1990. – 11 p.
25. ISO 5725-2:1994. *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*. ISO, 1994. – 42 p.

Поступила в редколлегию 18.07.2009

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, с.н.с. А.В. Прокопов, Национальный научный центр «Институт метрологии», Харьков.

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ: ЕВОЛЮЦІЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ І ОСНОВНИХ ПІДХОДІВ

І.П. Захаров, С.В. Водотика

Проведений аналіз стану і перспектив розвитку нормативної бази і основних підходів, що використовуються для оцінювання невизначеності вимірювань у випробувальних і калібрувальних лабораторіях. Аналізуються способи реалізації модельного підходу через закон поширення невизначеності і закон поширення розподілів. Приводиться опис підходів до оцінювання вкладів невизначеності. Проводиться аналіз основних способів оцінювання розширеної невизначеності. Аналізуються способи реалізації емпіричного підходу за результатами внутрішньолабораторних і міжлабораторних випробувань.

Ключові слова: стандартна невизначеність, розширена невизначеність, модельний підхід, емпіричний підхід.

EVALUATION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENTS: EVOLUTION OF NORMATIVE BASE AND BASIC APPROACHES

I.P. Zakharov, S.V. Vodotyka

The analysis of the state and prospects of development of reference base and basic approaches used for the measurement uncertainty evaluation in test and calibrating laboratories was conducted. The methods of realization of model approach are analysed through the law of uncertainty distribution and law of distribution propagation. Approaches of uncertainty contributions estimation are resulted by the coefficients of sensitiveness, by the method of partial increments, methods of reduction and transformation. The analysis of basic methods of expanded uncertainty estimation is conducted. The methods of realization of empiric approach are analysed by the results of laboratory and interlaboratory tests.

Keywords: standard uncertainty, expanded uncertainty, model approach, empiric approach.