

УДК 543.08

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ РЕДУКЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ АНАЛІТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Захаров О.І.

e-mail: oleksandr.zakharov4@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІВТ
м. Харків, Україна

The problem of analytical measurements uncertainty evaluation in which the results of measurements of several input quantities are dependent is considered. It is proposed to use the method of reduction, which not only takes into account the correlation between these quantities, but also allows obtaining unbiased estimates of the measurand and its uncertainty for a nonlinear model equation. A procedure for measurement uncertainty evaluation for this case is given.

Аналітичні вимірювання полягають в експериментальному визначенні вмісту одного чи ряду компонентів у пробі речовини, яка досліджується. Оцінюванню невизначеності аналітичних вимірювань присвячений документ EURANIM/CITAC [1]. Однак його застосування на практиці викликає ряд питань, пов'язаних з їх особливостями.

Так, при проведенні аналітичних вимірювань часто доводиться стикатися з ситуацією, коли результати спостережень кількох вхідних величин є залежними, що заподіює кореляцію між ними. Неврахування цієї кореляції призводить до зміщення оцінки стандартної та розширеної невизначеності [2].

Вихід із цієї ситуації дає застосування методу приведення (редукції) [3], суть якого полягає в наступному.

Модель вимірювань подається у вигляді [4]:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N), \quad (1)$$

де Y – вимірювана величина; X_1, X_2, \dots, X_N – вхідні величини, серед яких є величини X_l, X_m , результати паралельних вимірювань яких $x_{l1}, x_{l2}, \dots, x_{ln}, x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}$ є залежними.

Оцінювання числового значення вимірюваної величини методом редукції будемо проводити за формулою:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n y_q, \quad (2)$$

де $y_q = f(x_{lq}, x_{2q}, \dots, x_{lq}, x_{mq}, \dots, x_{Nq})$ – числове значення q -го паралельного виміру величини Y ; x_{lq}, x_{mq} – результати q -го виміру величин X_l та X_m ; x_i – числові значення i -х вхідних величин, які отримані шляхом одноразових та

багаторазових вимірювань, або взяті із зовнішніх джерел, де $i=1,2,\dots,m$, причому $i \neq l, m$.

Стандартну невизначеність повторюваності вимірюваної величини $u_r(y)$, якій приписується число степенів свободи $\nu_r = (n-1)$, знаходять як:

$$u_r(\bar{y}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{q=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Стандартну невизначеність типу B вимірюваної величини знаходять за правилом підсумовування дисперсій, як:

$$u_B(y) = \sqrt{c_1^2 u_B^2(x_1) + c_2^2 u_B^2(x_2), \dots, c_N^2 u_B^2(x_N)}, \quad (4)$$

де $u_B(x_1), u_B(x_2), \dots, u_B(x_N)$ – стандартні невизначеності типу B вхідних величин; c_1, c_2, \dots, c_N – відповідні коефіцієнти чутливості, що визначаються як частинні похідні вимірюваної величини за відповідними вхідними $c_i = \partial y / \partial x_i$.

Сумарну стандартну невизначеність вимірюваної величини знаходять як:

$$u_c(y) = \sqrt{u_r^2(y) + u_B^2(y)}. \quad (5)$$

Цій невизначеності буде відповідати ефективне число степенів свободи, що визначається за формулою Велча-Саттерсвейта [2]:

$$\nu_{eff}(y) = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u_r^4(\bar{y})}{\nu_r} + \frac{c_1^4 u_B^4(x_1)}{n-1} + \frac{c_2^4 u_B^4(x_2)}{\nu_2} + \frac{c_N^4 u_B^4(x_N)}{\nu_N}}, \quad (6)$$

в якій $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N$ – числа степенів свободи, що приписуються стандартним невизначеності вхідних величин типу B .

Розширену невизначеність вимірюваної величини знаходять за формулою [4]:

$$U(y) = t_{p; \nu_{eff}} u_c(y), \quad (7)$$

де $t_{0,95; \nu_{eff}}$ – коефіцієнт Стюдента для рівня довіри p та ефективного числа степенів свободи ν_{eff} .

Список використаних джерел:

1. EURACHEM / CITAC Guide CG 4. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Third Edition. QUAM:2012, 141 p.
2. Zakharov I., Neyezhnikov P., Botsiura O. Expanded uncertainty evaluation taking into account the correlation between estimates of input quantities // Ukrainian Metrological Journal, 2021, No 1, 4-8. DOI:10.24027/2306-7039.1.2021.228134.
3. Rabinovich S.G. Evaluating measurement Accuracy. A practical

approach. New York: Springer, 2010, 278 p. DOI 10.1007/978-1-4419-1456-9.

4. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM, 134 p.