

УДК 621.317.08:53.08

## ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ЕТАЛОННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТИСКУ

Козлов Ю.В., Унгер В.М.

e-mail: [yurii.kozlov@nure.ua](mailto:yurii.kozlov@nure.ua), [viktor.unher@nure.ua](mailto:viktor.unher@nure.ua)

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

The procedure for estimating the measurement uncertainty during the calibration of reference pressure transducers is considered. The measurement model is defined as the deviation of the transducer readings from the pressure set by the reference. The measurement model takes into account corrections for the resolution of the pressure transducer, the zero error, and the deviation of the temperature at the calibration site from the normalized temperature. The full standard uncertainty and the expanded uncertainty are calculated taking into account the kurtosis of the input values. A calculated measurement uncertainty budget.

Еталонні перетворювачі тиску застосовуються при калібруванні та повірці вимірювальних перетворювачів тиску та манометрів у лабораторних, промислових та польових умовах як високоточний (еталонний) засіб вимірювальної техніки.

Калібрування еталонних перетворювачів тиску може проводитися із застосуванням калібраторів тиску, манометрів поршневих або інших еталонів згідно з ДСТУ 4007. Калібрування здійснюється методом безпосереднього звірення вимірних значень перетворювача тиску з вимірними значеннями еталона, що має простежуваність до державного первинного еталону.

У кожній точці калібрування проводилося по дві серії вимірювань, при збільшені і знижені тиску, виконуючи по п'ять відліків показань в кожній серії.

Відхилення показів перетворювача тиску, що калібрується  $\Delta$  має наступний вигляд [1]:

$$\Delta = \bar{P} - P_s + \Delta P_s + \Delta_c + \Delta_z + \Delta_t$$

де:

$\bar{P}$  – середнє значення результатів вимірювання (для пари серій) при збільшені і знижені тиску;

$P_s$  – тиск, заданий еталоном;

$\Delta P_s$  – поправка, що враховує точність еталона із сертифіката калібрування;

$\Delta_c$  – поправка, що враховує роздільну здатність перетворювача тиску, що калібрується;

$\Delta_z$  – поправка, що враховує похибку нуля;

$\Delta_t$  – поправка, що враховує відхилення температури на місці калібрування від нормованої.

Розглянуто процедуру оцінки невизначеності вимірювань при калібруванні еталонних перетворювачів тиску. Визначена модель вимірювання як відхилення показів перетворювача від тиску, заданого еталоном [2]. Модель вимірювання враховує поправки на роздільну здатність перетворювача тиску, похибку нуля, а також відхилення температури на місці калібрування від нормованої.

Оцінювання стандартної невизначеності вхідних величин за типом А, пов'язаної з розсіянням показань перетворювача тиску, що калібрується, проводилася за формулою:

$$u(\bar{P}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}$$

$S_{r_{np}} = S_{r_{max}} \cdot K_{ат} \cdot \cos \cos \beta$ , де:

$P_i$  – окремі показники результату вимірювання;

$\bar{P}$  – середнє значення результатів вимірювання (для пари серій) при збільшені і знижені тиску;

$n$  – кількість вимірювань.

Оцінка вхідних значень та їх стандартних невизначеностей вимірюваної величини проводилася за формулою:

$$u(\Delta) = \sqrt{u^2(\bar{P}) + u^2(\Delta P_s) + u^2(\Delta_c) + u^2(\Delta_z) + u^2(\Delta_t)}$$

$S_{r_{np}} = S_{r_{max}} \cdot K_{ат} \cdot \cos \cos \beta$ , де:

$u(\bar{P})$  – стандартна невизначеність типу А показань перетворювача тиску;

$u(\Delta P_s)$  – стандартна невизначеність типу В із сертифіката калібрування на еталон тиску;

$u(\Delta_c)$  – стандартна невизначеність типу В поправки на роздільну здатність;

$u(\Delta_z)$  – стандартна невизначеність типу В поправки, що враховує похибку нуля;

$u(\Delta_t)$  – стандартна невизначеність типу В поправки, що враховує відхилення температури на місці калібрування від нормованої.

Розрахунок сумарної стандартної невизначеності та розширеної невизначеності здійснюється з урахуванням ексцесу вхідних величин. Оцінка розширеної невизначеності вимірювання при калібруванні еталонного перетворювача тиску проводилася методом ексцесів [3].

Звіт представляє бюджет невизначеності, який наведено у табл. 1 та може слугувати основою для створення програмного засобу і тим самим автоматизувати рутинний процес оцінювання невизначеності, зменшуючи час розрахунків та підвищуючи їх достовірність.

Таблиця 1 - Бюджет невизначеності вимірювання при калібруванні еталонних перетворювачів тиску при реалізації методу ексцесів

Вхідна величина	Значення вхідної величини	Стандартна невизначеність вхідної величини	Ексцес вхідної величини	Коефіцієнт чутливості	Внески невизначеності
$P_x$	$\bar{P}$	$u(\bar{P})$	$\eta_x$	1	$u(\bar{P})$
$\Delta P_s$	$\Delta \hat{P}_s$	$u(\Delta \hat{P}_s)$	$\eta_s$	-1	$u(\Delta \hat{P}_s)$
$\Delta_c$	0	$u(\Delta_c)$	$\eta_c$	1	$u(\Delta_c)$
$\Delta_z$	0	$u(\Delta_z)$	$\eta_z$	1	$u(\Delta_z)$
$\Delta_t$	0	$u(\Delta_t)$	$\eta_t$	1	$u(\Delta_t)$
<i>Вимірювана величина</i>	<i>Значення вимірюваної величини</i>	<i>Стандартна невизначеність вимірюваної величини</i>	<i>Ексцес вимірюваної величини</i>	<i>Коефіцієнт охоплення</i>	<i>Розширена невизначеність</i>
$\Delta$	$\hat{\Delta}$	$u(\hat{\Delta})$	$\eta$	$k$	$U(\hat{\Delta})$

Запропонована процедура була валідована методом Монте-Карло [4], який показав, що вона придатна для використання за призначенням.

#### Список використаних джерел:

1. Kozlov Yu.V., Novoselov O.A., Unger V.M. Measurement uncertainty evaluation at liquid micromanometers calibration by kurtosis method // XXI International Scientific and Technical Seminar “Uncertainty in Measurement: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects”, Dec.04-05, 2024, P. 73.
2. DKD-R 6-1 Calibration of Pressure Gauges. Edition 03/2014.
3. Zakharov, I.P., Botsyura, O.A. Calculation of Expanded Uncertainty in Measurements Using the Kurtosis Method when Implementing a Bayesian Approach // Measurement Techniques, 2019, Volume: 62, Issue: 4, P. 327-331.
4. Zakharov I.P., Vodotyka S.V. Application of Monte Carlo simulation for the evaluation of measurements uncertainty // Metrology and Measurement Systems, 2008, Vol. XV, № 1. – P. 118-123.