

І. Б. Демків

**ВИМОГИ ЩОДО ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ПОХИБОК
(НЕПЕВНОСТЕЙ) ВИМІРЮВАННЯ МАСИ СКРАПЛЕНИХ
НАФТОВИХ ГАЗІВ ТА ЇХ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Висвітлено основні засади, які стосуються вимог щодо процедур оцінки характеристик похибок (непевності) вимірювання маси скраплених нафтових газів та їх інтегральних характеристик. Це стосується зокрема процедур під час здійснення державної метрологічної атестації, метрологічної перевірки та нагляду і контролю за методиками виконання вимірювань (МВВ), які реалізуються вимірювальними каналами (ВК) поліметричних вимірювальних інформаційних систем (ПС), створених на основі методу імпульсної рефлектрометрії, зокрема запропоновані вимоги щодо уточнення моделей похибок вимірювань маси та відповідних аргументів — (фізичних величин) відповідної функціональної залежності. Висвітлені питання рекомендується враховувати під час розробки відповідних нормативних та методичних документів.

Вступ

На сьогоднішній день у метрологічній практиці концепція похибок і концепція невизначеності (непевності) є рівноправними. Для протиставлення концепції невизначеності та концепції похибки немає ніяких підстав [1–3].

Відомо [4], що оцінюючи невизначеності (непевності), вводяться два типи оцінок:

— оцінка невизначеності за типом А — це метод оцінювання невизначеності шляхом статистичного аналізу рядів спостережень, отриманих під час експерименту, що приводить до класичних в математичній статистиці оцінок: оцінка математичного очікування, оцінка дисперсії, кореляційного моменту.

— оцінка невизначеності за типом В — метод оцінювання невизначеності іншим способом, ніж статистичний аналіз, рядів спостережень.

Стандартну невизначеність за типом А отримують із функції щільності ймовірностей спостережуваного розподілу за частістю. Стандартну невизначеність за типом В отримують із передбачуваної функції щільності ймовірностей, заснованої на впевненості в тому, що подія відбудеться. Ця ймовірність часто називається суб'єктивною ймовірністю.

Оцінки за типом В стандартної невизначеності можуть бути такі ж вірогідні, як і оцінки за типом А, особливо у вимірювальних ситуаціях, де оцінка за типом А основана на порівняно малій кількості статистично незалежних спостережень.

Таким чином, оцінки обох типів основані на розподілі ймовірностей, і складові невизначеності для того або іншого типу кількісно визначаються дисперсіями або стандартними (середніми квадратичними) відхиленнями.

У відповідності до [5] оцінку вимірюваної величини у обчислюють як функцію оцінок вхідних величин x_1, \dots, x_m після внесення поправок на всі відомі систематичні ефекти.

Розрахунок стандартної невизначеності враховує як оцінки за типом А, так і оцінки за типом В. Вихідними даними для розрахунку стандартної невизначеності за типом А є результати багаторазових спостережень, а вихідними даними для оцінки стандартної невизначеності за типом В є апріорна інформація. Фонд такої інформації може включати: дані раніше проведених вимірювань; дані, отримані на підставі наявного досвіду, або загальні дані про поведінку й властивості відповідних матеріалів і приладів; специфікації виготовлювача; дані про перевірку, калібрування, відомості виготовлювача про прилад, сертифікати тощо; невизначеності, приписувані довідковим даним.

Під час оцінювання за типом В, якщо не відомий закон розподілу ймовірностей, найчастіше використовується для апроксимації рівномірний закон розподілу, і кількість ступенів свободи $\nu = \infty$, що відповідає теоретичному значенню.

Під час оцінювання за типом А концепція невизначеності припускає нормальний закон розподілу вхідних величин, а сумарна стандартна невизначеність результату через обмеже-

ний обсяг даних визначається на підставі розподілу Стюдента з ефективною кількістю ступенів свободи, розрахованою за формулою Велча-Сатерсвейта. Але припущення щодо нормальності закону результуючого розподілу не справедливо у випадку невиконання умов центральної граничної теореми, тобто у випадку наявності якоїсь домінанти або малої кількості складових, або наявності залежності між ними (не обов'язково кореляційної).

У роботах [6–7] показано, що у випадках наявності двох складових невизначеності результату вимірювання, які розподілені за рівномірним законом (визначено за типом В), доцільно використовувати інтервальний підхід, оцінюючи границі інтервалів розширеної невизначеності. У випадку, коли кількість складових за типом В більше п'яти, то доцільно застосовувати підхід, що базується на центральній граничній теоремі.

Стандартну невизначеність результату вимірювань, отриманого зі значень низки інших величин, називають сумарною стандартною невизначеністю. Вона є оціненим стандартним відхиленням, пов'язаним з результатом, і дорівнює додатному квадратному кореню із сумарної дисперсії, отриманої зі всіх складових дисперсії й коваріації, і обчислена шляхом використання так званого закону поширення невизначеності.

Закон поширення невизначеності являє собою оцінку дисперсії сумарної стандартної невизначеності $u_c(y)$ вихідної величини (або стандартного відхилення) у вигляді зваженої суми дисперсій $u^2(x_i)$ і коваріацій $u(x_i, x_j)$ вхідних величин при непрямих вимірюваннях. Підсумовування в законі поширення здійснюється не за факторами, що впливають, і не за етапами вимірювального процесу, а за вхідними величинами.

В подальшому по тексту будемо використовувати замість «невизначеність вимірювання» термін «*непевність вимірювання*».

Основна частина

Особливості оцінок характеристик похибок або непевностей вимірювання маси продукту зумовлені типами та методами як вимірювань самої маси, так і фізичних величин — аргументів відповідної функціональної залежності, а саме: густини, температури, тиску та інших притаманних цьому продукту аргументів. Згадані фізичні величини, як правило, вимірюються за прямим методом із застосуванням відповідних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) або вимірювальних каналів (ВК) систем. На підставі вимірюваних величин, за відомою функціональною залежністю непрямих вимірювань, визначається маса продукту.

Зауважимо, що аргументи функції визначення маси (рівень h , густина p , температура t) можуть набувати довільних поточних значень в заданому діапазоні вимірювання, за одночасної дії впливних величин (ВВ), а в залежності від методів вимірювання, виконання окремих операцій в режимах зберігання, транспортування та перекачування продукту із однієї ємності в іншу необхідні індивідуальні підходи щодо визначення оцінок похибок або непевностей.

Нижче зупинимося на основних використаних теоретичних засадах, які необхідно врахувати під час складання процедур оцінок характеристик похибок (непевностей) в залежності від методу вимірювання (ваговому, об'ємному) та непрямих вимірюваннях маси продукту.

На сьогодні, згідно з [8–10], встановлено такі точкові та інтегральні характеристики результатів вимірювання:

- середнє квадратичне відхилення (СКВ) похибки результату вимірювання, або стандартна непевність (точкові характеристики якості вимірювання);
- межі інтервалу, в якому похибка вимірювання знаходиться із заданою ймовірністю, або розширена невизначеність вимірювання (інтегральні характеристики якості вимірювань).

Згідно з вимогами рекомендації [10] СКВ похибки еквівалентні стандартній непевності або сумарній стандартній непевності. Межі інтервалу, в якому похибка знаходиться із заданою ймовірністю, еквівалентні розширеній невизначеності.

СКВ похибки або стандартну непевність (точкові характеристики) треба визначати, оцінюючи характеристики похибок (непевності), під час розрахунків характеристик якості вимірювань величин, функціонально пов'язаних з результатами вимірювань (наприклад, для непрямих вимірювань маси СНГ тощо).

Межі інтервалу, в якому похибка знаходиться із заданою ймовірністю, або розширену не-

визначеність (інтегральні характеристики), застосовують для оцінки кінцевого результату вимірювань. Ці характеристики не призначені для сумісного використання з іншими результатами вимірювання у розрахунках маси СНГ.

Оформлюючи результати вимірювань, пов'язаних з міжнародними роботами, необхідно використовувати оцінки непевності вимірювань відповідно до вимог Рекомендації [10].

Під час оформлення результатів вимірювань, що використовуються в Україні, можна використовувати характеристики похибок вимірювань згідно з [9], а результати оцінок похибок треба подавати іменованим числом з відповідною кількістю значущих цифр.

Визначаючи розширену непевність, зазначаються умови, за яких виконувалося вимірювання, наприклад, діапазон вимірювання, зовнішня температура навколишнього середовища, вологість тощо.

Оцінку характеристик похибок або непевності треба виконувати в два етапи.

На першому етапі оцінюють наявність і/або суттєвість значень випадкової складової похибки та кореляції на підставі результатів попередніх даних метрологічної атестації маси продукту та її інтегральних характеристик.

На другому – оцінку характеристик похибок (непевності), тобто критеріїв якості вимірювань маси СНГ, а суттєвість випадкової складової похибки оцінюється за вимогами [11].

Наявність кореляції між окремими показами необхідно визначати згідно з методикою [12] за окремою процедурою. Зазначимо, що оцінка суттєвості кореляційних зв'язків між окремими результатами та похибками вимірювань важлива, оскільки вона дає підстави для коректного вирішення низки питань, пов'язаних з вибором дослідних точок в діапазоні вимірювання, кількості спостережень в цих точках, а також питань, які стосуються оцінки характеристик похибок та непевності.

Примітка 1. Значення заданої ймовірності приймають $P = 0,95$. Можливі випадки, коли задану вірогідність приймають рівною одиниці. В цьому випадку жодна з реалізацій похибки не виходить за межі інтервалу похибки вимірювань або, що одне і теж, значення вимірюваної величини завжди знаходиться у межах розширеної невизначеності.

В залежності від методів вимірювання, виконання окремих операцій в режимах зберігання, перекачування і транспортування продукту із однієї ємності в іншу, необхідні індивідуальні підходи щодо визначення оцінок похибок або непевностей.

У разі використання вагового методу доцільно визначати непевність, виходячи із поточних значень вимірювання маси та джерел непевностей, які мають випадковий та систематичний характер.

Процедура визначення непевності відповідно до [1–3] подана в табл. 1.

Таблиця 1

Процедура визначення непевності

Модель непевності	η – випадкова величина з щільністю розподілу ймовірностей $p(x, y, u^2, \dots)$, де y – математичне очікування u^2 – дисперсія		
Непевність (кількісна міра)	Стандартна u	Сумарна $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2}$	Розширена $u_p = k \cdot u_c$
Вихідні дані для обчислення невизначеності	1. Модель об'єкта дослідження 2. Експериментальні дані x_{iq} , де $q = 1, \dots, n_i$; $i = 1, \dots, m$ 3. Інформація щодо законів розподілу 4. Відомості щодо джерел невизначеності та інформація про значення невизначеності 5. Стандартні довідкові дані та інші матеріали		
Методи обчислення невизначеності	Вихідні формули		
1. За типом А	Одиничні		Багаторазові
	$u_{A,i} = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i - 1}} \quad (1)$		$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i \cdot (n_i - 1)}} \quad (2)$

Продовження табл. 1

2. За типом В	$u_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}} \quad (3)$
3. Розширена непевність	$U_p = t_p(v_{eff}) \cdot u_c, \quad (4)$ <p>де $v_{eff} = u_c^4 / \sum_{i=1}^m \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i)\right)^4}{v_i}$; $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i)\right)^2}$; (5)</p> <p>$U_{p=0,95} = 2u_c$; $U_{p=0,99} = 3u_c$ — для нормального закону; $U_{p=0,95} = 1,65u_c$; $U_{p=0,99} = 1,71u_c$ — для рівномірного закону</p>
Представлення невизначеності	u_c, U_p, k, u_i, v_i
Інтерпретація отриманих результатів	Інтервал $(y - U_p, y + U_p)$ вміщує більшу частку (p) розподілу значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині

Процедуру розрахунку (див. табл. 1) проілюструємо на прикладі вимірювання маси скраплених нафтових газів, виходячи з таких даних.

Вихідне рівняння вимірювання (функція перетворення)

$$m_{ОВР} = f(\{m_i\}), \quad (6)$$

де $\{m_i\}$ — масив поточних результатів i -х вимірювань $i = 1, 2, \dots, n$.

Поточні значення вимірювань з внесеними поправками на систематичні похибки подані в табл. 2.

Таблиця 2

Результати вимірювань

Номер i -го вимірювання	1	2	3	4	5
Поточне значення маси, кг	60019	60029	59975	60025	59970

На підставі цих результатів вимірювань (див. табл. 2) за послідовністю, вказаною в табл. 1, розраховуємо:

— середнє значення виміряної маси за формулою

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i; \quad (7)$$

$$\bar{m} = \frac{60019 + 60029 + 59975 + 60025 + 59970}{5} = 60004 \text{ (кг)};$$

— стандартну непевність за типом А, обумовлену джерелами непевностей, які мають випадковий характер згідно з формулою (3):

$$u_A(\bar{m}) = \sqrt{\frac{(60019 - 60004)^2 + (60029 - 60004)^2 + (59975 - 60004)^2 + (60025 - 60004)^2 + (59970 - 60004)^2}{5 \cdot (5-1)}} =$$

$$= u_A(\bar{m}) = \sqrt{\frac{225 + 625 + 841 + 441 + 1156}{20}} = 12,8 \text{ (кг)};$$

— стандартну непевність за типом В, обумовлену джерелами непевностей, які мають систематичний характер. Закон розподілу в середині границь прийнято рівномірним. В нашому випадку для непевностей, які мають систематичний характер є довірчі границі абсолютної основної та додаткової похибки ваги, зумовленої зміною температури навколишнього середовища. За свідцтвом про метрологічну перевірку вони відповідно рівні $\Delta_0 = \pm 25$ кг та $\Delta_d = \pm 12$ кг. За цих значень згідно з (4) ці складові відповідно рівні:

$$u_B(k) = \frac{\Delta_0}{\sqrt{3}} = \frac{25}{1,73} = 14,5 \text{ (кг)};$$

$$u_B(t) = \frac{\Delta_d}{\sqrt{3}} = \frac{12}{1,73} = 6,9 \text{ (кг)};$$

— сумарну стандартну непевність за формулою (5)

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{12,8^2 + 14,5^2 + 6,9^2} = 20,16 \text{ (кг)};$$

— ефективне число ступенів свободи за формулою (6), яка трансформується до такого вигляду:

$$v_{eff} = (n-1) \left[1 + \frac{u_B^2}{u_A^2} \right]^2;$$

$$v_{eff} = (5-1) \left[1 + \frac{14,5^2 + 6,9^2}{12,8^2} \right]^2 = 26,4;$$

— за довідковою таблицею розподілу Стюдента знаходимо значення коефіцієнта обхвату $t_p(v_{eff})$ для заданого числа ступенів свободи. В нашому випадку $t_p(v_{eff}) = 2$;

— розширену непевність згідно з формулою (6):

$\bar{U}_{0,95} = 2 \cdot 20,1 = 40,2 \text{ (кг)}$, що для 60000 кг у відсотках рівна

$$\bar{U}_{0,95} = \frac{40,2 \cdot 100}{60000} = 0,067 \text{ \%}.$$

Алгоритм процедури розрахунку непевності результату вимірювання маси продукту враховує:

— *формування* та складання бюджету вихідних даних непевностей щодо джерел, які мають випадковий та систематичний характер;

— *аналіз* вихідних даних, необхідних для розрахунку непевності визначення конкретного параметра продукту та оцінка кількісних непевностей вимірювань.

При вимірюванні маси продукту основними джерелами непевностей є:

1. Методичні складові:

а) складова, обумовлена неадекватністю вибраної моделі об'єкта вимірювання його властивостям та станом;

б) складова, обумовлена відхиленням від номінальних значень параметрів функції, що пов'язує вимірювану величину з величиною на вході засобу вимірювання;

в) складова, зумовлена квантуванням за рівнем (у разі використання ЗВТ з аналого-цифровим перетворенням);

г) складова, обумовлена обчислювальним алгоритмом.

2. Інструментальні складові:

а) основна похибка засобу вимірювань (ваги);

б) додаткові похибки засобу вимірювань (ваги);

в) складова, зумовлена варіацією засобу вимірювань;

г) складова, зумовлена взаємодією засобу вимірювань з об'єктом вимірювань;

д) динамічна складова, зумовлена інерцією засобу вимірювань;

3. Складові, зумовлені діями оператора (суб'єктивні складові):

а) складові, зумовлені неточністю відліків результатів вимірювань зі шкали або діаграми засобу вимірювань;

б) складові, зумовлені дією оператора на об'єкт та на засоби вимірювань.

Примітка. Вихідні дані, необхідні для розрахунку непевності, отримують з настанови щодо експлуатування (НЕО конкретного ЗВТ, проектів технологічних процесів тощо).

За використання об'ємного методу доцільно визначати характеристики похибок, виходячи з її функціональної (8) залежності від вимірюваного об'єму V турбінним лічильником, густини продукту ρ , різниці температур Δt

$$\Delta_{mv} = f(V, \rho, \Delta t). \quad (8)$$

Складові похибок (8) оцінюємо на підставі прямих вимірювань аргументів за відомим рівнянням функціональної залежності маси продукту від згаданих аргументів та результатами опрацювання вихідних даних результатів вимірювань згідно з методикою [9, 13] для багаторазових вимірювань або за методикою [14] — для одноразових.

Використовуючи об'ємний метод, за модель похибки обирається такий вираз:

$$\delta_{mv} = \pm 1,1 \sqrt{\delta_V^2 + \delta_p^2 + \delta_t^2 + \delta_M^1}, \quad (9)$$

де δ_{mv} — відносна похибка вимірювання маси продукту, %; δ_V — відносна похибка вимірювання об'єму продукту, %; δ_p — відносна похибка вимірювання густини, %; δ_t — відносна похибка вимірювання різниці температур, %; δ_M — відносна похибка обчислення, %.

Відносну похибку вимірювання об'єму продукту у відсотках приймають за свідомством на турбінний лічильник газу.

Відносну похибку вимірювання густини оцінюють за таким рівнянням:

$$\Delta_{\rho t} = \Delta_{\rho 0}(1 + \beta \Delta t) + \rho_0 \beta \Delta t, \quad (10)$$

де $\Delta_{\rho t}$ — абсолютна похибка для поточного значення густини, кг/м^3 ; $\Delta_{\rho 0}$ — абсолютна похибка значення густини за нормальних умов, кг/м^3 ; β — коефіцієнт об'ємного розширення; Δt — різниця температур $t_2 - t_1$ під час вимірювання об'єму та густини відповідно, $^{\circ}\text{C}$; Δ_t — абсолютна похибка вимірювання температури, $^{\circ}\text{C}$, розрахована за формулою для заданого класу точності — зведеної похибки γ :

$$\Delta_{t1} = \gamma \Delta_{t(\max)}, \quad (11)$$

а, відповідно, відносні похибки густини та температури розраховуються за формулами

$$\delta_p = \frac{\bar{\Delta}_{\rho 0}}{\bar{\rho}_{t(\min)}} \cdot 100 \%; \quad (12)$$

$$\delta_t = \beta \frac{\Delta_t}{1 + \beta(t_2 - t_1)} \cdot 100 \%, \quad (13)$$

де $\bar{\Delta}_{\rho 0}$ — допустима абсолютна похибка визначення густини в нормальних умовах, кг/м^3 , регламентованої у відповідному свідомстві про метрологічну перевірку; $\bar{\rho}_{t(\min)}$ — мінімальне можливе значення сумарної густини суміші продукту, визначене за поточного вимірювання маси продукту, кг/м^3 .

Відносну похибку обчислення приймаємо за настановою щодо експлуатації ПЕОМ. Процедуру розрахунку проілюструємо на прикладі вимірювання маси СНГ, виходячи з такого:

- вихідне рівняння вимірювання — (8);
- відносна похибка δV вимірювання об'єму продукту згідно зі свідомством про метрологічну перевірку складає $\pm 0,2 \%$;
- відносна похибка δp вимірювання густини, розрахована за формулою (10) за відомим значенням абсолютної похибки визначення густини в нормальних умовах. Її значення за свідомством про метрологічну перевірку, складає $\pm 0,4 \text{ кг/м}^3$; мінімальне поточне середнє значення густини, виміряне за допомогою ВК за температури -10°C , дорівнює $578,33 \text{ кг/м}^3$ (за умови наявності в суміші продукту 19% пропану та 81% бутану).

За цими даними

$$\delta_p = \left| \frac{0,4}{578,33} \right| \cdot 100 = 0,07 \%;$$

— відносна похибка δt вимірювання різниці температур, розрахована за формулою (12) для заданого класу точності — зведеної похибки γ . В нашому випадку зведена похибка складає $0,5 \%$. За максимальної різниці температур -10°C та діапазоні вимірювання 50°C абсолютна похибка дорівнює $\Delta_t = 0,005 \cdot 50 = 0,25^{\circ}\text{C}$, а відносна для β -коефіцієнта об'єм-

ного розширення, рівного 0,0003:

$$\delta_t = 0,0003 \frac{0,25}{1 + 0,0003(-10)} \cdot 100 = 0,0075 \%;$$

— відносно похибку δM обчислення приймаємо рівною 0,1 %.

Для визначених значень δ_{mv} відносна похибка вимірювання маси продукту буде рівна

$$\delta_{mv} = \pm 1,1 \sqrt{0,2_V^2 + 0,07_\rho^2 + 0,0075_t^2 + 0,1^2} = 0,26 \%.$$

Для непрямих вимірювань за об'ємнотатичним методом оцінку характеристик похибок у режимах транспортування, перекачування, здійснення торговельних операцій необхідно виконувати за методикою [15].

Висновок

1. Проаналізовано загальні положення та викладено теоретичні обґрунтування щодо моделей характеристик похибок та непевності результату вимірювання.
2. Встановлено, що непевності результату вимірювань характеризуються ймовірністю знаходження значень контрольованої величини у межах інтервалів непевності, і є функціоналом параметрів закону розподілу можливих значень $f(x)$, симетричністю розташування x_H та x_B по відношенню до метрологічних характеристик ЗВТ та довжини інтервалу $(x_B - x_H)$.
3. Розроблено процедури визначення непевності маси скраплених нафтових газів за використання вагового та об'ємного методів вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дойников А. С. Методические рекомендации по применению понятий «погрешность» и «неопределенность в различных метрологических задачах» / А. С. Дойников // Законодательная и прикладная метрология. — 2006. — № 1. — С. 43—46.
2. Брюханов В. А. Загадки отечественной метрологии / В. А. Брюханов, В. И. Калмановский // Законодательная и прикладная метрология. — 2004. — № 5. — С. 50—55.
3. Кузнецов В. П. Сопоставительный анализ погрешности и неопределенности измерений / В. П. Кузнецов // Общие вопросы метрологии и измерительной техники. — 2003. — № 8. — С. 21—27.
4. Володарський Є. Т. Невизначеність (непевність) результатів ВІС / Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева, Б. Д. Колпак // Метрологія, стандартизація, сертифікація : матер. наук.-техн. конф. «Системи-2008». — Львів : НДІ «Система». — 2008. — С. 7—9.
5. Руководство по выражению неопределенности измерения / под ред. В. А. Слава. ; пер. с англ. — СПб. : ГП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 1999. — 126 с.
6. Карпенко О. М. «Розвиток інтервальних методів та підвищення точності оцінки результатів вимірювань з використанням концепції невизначеності» : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація, метрологічне забезпечення» / О. М. Карпенко. — К., 2009. — 21 с.
7. Володарський Є. Т. Неопределенности при замене результирующего распределения нормальным / Е. Т. Володарский, А. Н. Карпенко // Системы обработки информации, 2008. — № 4(71) — С. 27—29.
8. МИ 2083-90 ГСИ. Рекомендация. Измерения косвенные. Определение результатов измерения и оценивание их погрешностей / Комитет стандартизации и метрологии СССР. — М. : Издательство стандартов. — 1991. — 31 с.
9. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений / Комитет стандартизации и метрологии СССР. — М. : Издательство стандартов. — 1976. — 27 с.
10. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». — Минск : Издательство стандартов. — 2001. — 23 с.
11. ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. — М. : Издательство стандартов. — 1986. — 37 с.
12. Гурман В. Е. Теория вероятностей и математической статистики / В. Е. Гурман. — М. : Высшая школа, 1977. — 421 с.
13. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань : навч. пос. / М. Дорожовець. — Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. — 624 с.
14. МИ 1552-86 Методические указания. ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей результатов измерений / Комитет стандартизации и метрологии СССР. — М. : Издательство стандартов, 1987. — 27 с.
15. ДСТУ 7094: 2009 Метрологія. Маса нафти та нафтопродуктів. Загальні вимоги до методик виконання вимірювань. — К. : Держспоживстандарт України. — 2009. — 32 с.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Стаття надійшла до редакції 23.10.12
Рекомендована до друку 16.11.12

Демків Ігор Богданович — інженер.

Кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів