

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ КРУТНОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ З УРАХУВАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ НЕПЕВНОСТІ

Запропоновано метрологічне забезпечення вимірювань крутного моменту, що дозволяє виконувати оцінювання характеристик точності вимірювань з урахуванням концепції непевності вимірювань та встановлювати (коригувати) інтервал між метрологічними перевірками.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, крутний момент, непевність вимірювань, характеристики точності.

O. M. VASILEVSKYI
Vinnitsia National Technical University

METROLOGICAL ASSURANCE OF MEASUREMENTS TORQUE ELECTRIC MOTORS BASED ON THE CONCEPT OF UNCERTAINTY

A metrological assurance of measurement torque, allowing for evaluation of performance measurement accuracy based on the concept of uncertainty of measurement and set (adjust) the interval between inspections metrological.

Keywords: metrological assurance, torque, uncertainty of measurement, accuracy characteristics.

Вступ

При поданні результатів вимірювань потрібно зазначати кількісне значення якості експерименту так, щоб можна було порівняти їх з іншими результатами виконаними різними лабораторіями у різних країнах світу [1 - 4]. Тому під час наукових дослідження якості результатів вимірювань доцільно використовувати прийняту міжнародними організаціями з метрології та стандартизації концепцію непевності. Крім того, на сьогоднішній день не запропоновано методики визначення міжповірного інтервалу засобів вимірювання (ЗВ) з урахуванням концепції непевності, яка б відповідала міжнародним вимогам до оцінювання характеристик якості вимірювань. Розробка метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту електродвигунів (ЕМ) на основі концепції непевності, що дозволить встановлювати (або коригувати) міжкалібрувальні (міжповірочні) інтервали ЗВ *актуальною науковою проблемою*, вирішення якої дозволить забезпечити єдність вимірювань.

Отже, *метою статті* є створення метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту ЕМ та розробка на його основі методики визначення міжповірного інтервалу з урахуванням концепції непевності, а також апробація запропонованих теоретичних підходів під час виконання робіт з метрологічної атестації ЗВ крутного моменту ЕМ.

Аналіз стану досліджень та публікацій

В літературних джерелах [1 - 4] розглядаються способи оцінювання та представлення непевностей вимірювань. Однак єдиного підходу до метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту ЕМ із встановленням міжповірного інтервалу на основі концепції непевності в існуючих літературних джерелах не існує. Тому доцільно запропонувати і описати методику оцінювання непевності вимірювань крутного моменту із встановленням міжповірного інтервалу на прикладі метрологічної атестації ЗВ крутного моменту.

Викладення основного матеріалу

Рівняння перетворення ЗВ крутного моменту в статичному режимі роботи описується виразом

$$M_B = 4U_a^{-1} U_m^{-1} (2^m - 1)^{-1} R S_T U_o \Delta U N g l, \quad (1)$$

де U_m – напруга, якою живиться мостова схема сенсора зусилля ($U_m = 6,5 \text{ В} \pm 0,25 \text{ мВ}$); R – опір мостової схеми тензорезисторів ($R = 3,25 \pm 0,01 \text{ кОм}$); l – довжина вимірювального важеля, що з'єднує вал випробовуваного ЕМ із сенсором зусилля ($l = 1 \text{ м}$); ΔU – напруга на виході сенсора зусилля (вхідна напруга масштабного перетворювача); U_a – напруга на виході масштабного перетворювача (операційного підсилювача); k – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача ($k = U_a / \Delta U = 10^3$); S_T – чутливість сенсора зусилля; U_o – опорна напруга АЦП ($U_o = 3 \text{ В}$); m – розрядність АЦП ($m = 16$); N – кількість імпульсів на виході АЦП, що відповідає значенню вимірюваного моменту і виводиться на дисплей [5, 6].

Оскільки, до складових елементів ЗВ крутного моменту входить сенсор зусилля, тому доцільно оцінити складову непевності типу В, що вноситься сенсором зусилля за рахунок його обмежених властивостей, що обумовлені класом точності $\gamma = 0,15$ при дії максимального зусилля $Q_n = 20 \text{ кг}$ за формулою [5]

$$u_{C3} = \frac{\gamma Q_n}{\sqrt{12} 100\%} = 0,15\% \frac{20}{3,46 \cdot 100\%} = 8,67 \cdot 10^{-3} \text{ кг}. \quad (2)$$

Враховуючи те, що температура робочих умов застосування складових елементів ЗВ крутного моменту знаходиться в межах від + 15 до + 40 °С, тобто максимально можлива зміна температури складає Δt

= 25 °C. А із специфікації на масштабний перетворювач (операційний підсилювач), який є складовим елементом вимірювального каналу засилення, відомо, що дрейф напруги зміщення нуля операційного підсилювача складає $U_{зм} = 9 \text{ нВ/}^\circ\text{C}$, то теоретично можливу (максимальну) стандартну непевність типу В обумовлену дрейфом напруги зміщення нуля операційного підсилювача в припущенні про рівномірність закону розподілу оцінимо за формулою

$$u_{B,t} = \frac{k\Delta t}{\sqrt{12}} U_{зм} = 10^3 \frac{25}{3,46} 9 \cdot 10^{-9} = 65,03 \text{ мкВ.} \quad (3)$$

Непевність типу В, що обумовлена обмеженою розрядністю АЦП послідовного наближення, який підсумовує кількість імпульсів, що надходять від генератора тактових імпульсів (наявності зони нечутливості АЦП) $h = U_o / (2^m - 1)$, при опорному значенні напруги $U_o = 3 \text{ В}$ і розрядності $m = 16$, в припущенні про трикутний закон розподілу похибки квантування, визначимо за формулою

$$u_{B,m} = \frac{h}{\sqrt{24}} = \frac{U_o / (2^m - 1)}{\sqrt{24}} = \frac{3}{(2^{16} - 1) 4,9} = 9,34 \text{ мкВ.} \quad (4)$$

Також із специфікації відомо, що допустиме відхилення напруги джерела живлення сенсора зусилля складає $\Theta_{U_m} = \pm 0,25 \text{ мВ}$, а непевність типу В, що обумовлена таким відхилення напруги від номінального значення, в припущенні про його рівномірний розподіл, можна оцінити за формулою [18]

$$u_{B,\Theta_u} = \frac{\Theta_{U_m}}{\sqrt{12}} = \frac{\pm 0,25}{\sqrt{3}} = 0,14 \text{ мВ.} \quad (5)$$

Оскільки, із технічної документації на сенсор зусилля відомо, що допустиме відхилення опору мостової схеми складає $\Theta_R = \pm 0,01 \text{ кОм}$, то непевність типу В, що виникає за рахунок невилученого залишку систематичного ефекту, пов'язаного з можливим відхиленням опору, складає

$$u_{B,R} = \frac{\Theta_R}{\sqrt{12}} = \frac{\pm 10}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ Ом.} \quad (6)$$

Непевність типу В, що обумовлена температурною похибкою опору тензорезисторів при максимально можливій зміні температури оточуючого повітря $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ та відомому температурному коефіцієнту опору, що складає $\alpha_t = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, можна визначити на основі рівняння, яке виражає залежність опору від температури $R = R_0 \alpha_t \Delta t$, за формулою

$$u_{B,R_t} = \frac{\alpha_t |\Delta t|}{\sqrt{12}} R = 2,5 \cdot 10^{-6} \frac{50}{3,46} 3,25 \cdot 10^3 = 117,41 \text{ мОм.} \quad (7)$$

Непевність типу В, що обумовлена наявністю невилученого систематичного ефекту пов'язаного із наявністю похибки визначення довжини вимірювального важеля, яка дорівнює $\Delta l = \pm 0,01 \text{ мм}$, складає

$$u_{B,l} = \frac{\Delta l}{\sqrt{12}} = \frac{\pm 0,01}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ мкм.} \quad (8)$$

Враховуючи складові непевностей типу В, що описуються рівняннями (2) – (8), комбіновану непевність типу В розрахуємо як позитивний квадратний корінь з комбінованої дисперсії типу В, що описується виразом

$$u_{B_c}^2 = \left(\frac{\partial M_B}{\partial Q} \right)^2 u_{C_3}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial U_a} \right)^2 u_{B,t}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial m} \right)^2 u_{B,m}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial U_m} \right)^2 u_{B,\Theta_u}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial R} \right)^2 [u_{B,R}^2 + u_{B,R_t}^2] + \left(\frac{\partial M_B}{\partial l} \right)^2 u_{B,l}^2, \quad (9)$$

де $\frac{\partial M_B}{\partial Q} = gl = 9,81 \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \right)$; $\frac{\partial M_B}{\partial U_a} = -\frac{4RS_T U_o gl}{kU_M U_a (2^m - 1)} N = -3,33 \left(\frac{\text{ГМ}}{\text{В}} \right)$;
 $\frac{\partial M_B}{\partial m} = -\frac{4RS_T U_o gl}{kU_M (2^m - 1)^2} 2^m N \ln(2) = -6,93 \left(\frac{\text{ГМ}}{\text{В}} \right)$; $\frac{\partial M_B}{\partial U_m} = -\frac{4RS_T U_o gl}{kU_M^2 (2^m - 1)} N = -1,54 \left(\frac{\text{ГМ}}{\text{В}} \right)$;
 $\frac{\partial M_B}{\partial R} = \frac{4S_T U_o gl}{kU_M (2^m - 1)} N = 3,08 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{ГМ}}{\text{Ом}} \right)$; $\frac{\partial M_B}{\partial l} = \frac{4RS_T U_o g}{kU_M (2^m - 1)} N = 10(\text{Г})$ - коефіцієнти чутливості.

Підставляючи розраховані значення коефіцієнтів чутливості та стандартних непевностей типу В у рівняння (9), отримаємо значення комбінованої непевності типу В, що складає $u_{B_c} = 86,89 \cdot 10^{-3} \text{ Нм}$.

На основі проведених багаторазових вимірювань крутного моменту ЕМ отримано експериментальні

данні, що представлені в таблиці 1. На основі цих даних розраховується стандартна непевність типу А за формулою

$$u_A(\bar{M}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{(n-1)n}} = 19,27 \cdot 10^{-3} \text{ Нм.} \quad (10)$$

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

| № п. п. | Значення моменту, Нм | № п. п. | Значення моменту, Нм | № п. п. | Значення моменту, Нм |
|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| 1 | 10,09 | 8 | 10,18 | 15 | 10,04 |
| 2 | 10,11 | 9 | 10,06 | 16 | 10,05 |
| 3 | 10,05 | 10 | 9,849 | 17 | 10,03 |
| 4 | 10,07 | 11 | 9,908 | 18 | 9,879 |
| 5 | 10,13 | 12 | 10,07 | 19 | 10,11 |
| 6 | 10,08 | 13 | 9,919 | 20 | 10,06 |
| 7 | 10,12 | 14 | 10,11 | 21 | 9,964 |

На основі комбінованої непевності типу В та стандартної непевності типу А визначається комбінована непевність результату вимірювання крутного моменту за формулою

$$u_c = \sqrt{u_A^2(\bar{M}) + u_{Bc}^2} = 889,99 \cdot 10^{-4} \text{ Нм.} \quad (11)$$

Для розрахунку розширеної непевності вимірювання, що буде нормуватися в технічній документації на ЗВ крутного моменту, розраховується ефективне число ступенів вільності за формулою

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \frac{u_c^4}{u_A^4(\bar{M})} = 20 \frac{88,99^4}{19,27^4} = 9100. \quad (12)$$

Скориставшись таблицею Стьюдента визначимо коефіцієнт охоплення k_p на основі значень ефективного числа ступенів вільності та довірчої ймовірності, яка прийнята рівною $P = 0,95$, що дорівнює $k_p = 1,96$.

Знаючи коефіцієнт охоплення та комбіновану непевність результату вимірювання, отримаємо розширену непевність, що нормується в технічній документації на ЗВ крутного моменту, яка складає

$$U_n = k_p u_c = 1,96 \cdot 889,99 \cdot 10^{-4} = 0,17 \text{ Нм.} \quad (13)$$

На основі виконаного оцінювання непевності вимірювання крутного моменту складаємо бюджет непевності, що наведений в таблиці 2. Ці складові невизначеностей вимірювань відповідають нормованим метрологічним характеристикам ЗВ крутного моменту, які прописуються в нормативних документах на ЗВ.

Для встановлення або коригування міжповітряного інтервалу ЗВ, припустимо, що ЗВ крутного моменту експлуатується 7 годин на добу. Напрацювання даного ЗВ без метрологічних відмо складає 3500 годин. При такій інтенсивності експлуатації даного ЗВ – календарна тривалість експлуатації t відповідає 2-м календарним рокам.

Потім ЗВ передається в експлуатацію, і після деякого часу експлуатації, в реальних умовах експлуатації (за робочих температур) виконуємо перерахунок складових непевностей та розраховуємо експлуатаційну розширену непевність вимірювань крутного моменту за реальних умов експлуатації U_E .

Таблиця 2

Бюджет непевності вимірювання крутного моменту

| Вхідні величини | Оцінка вхідних величин | Стандартні невизначеності | Коефіцієнти чутливості | Вклади невизначеностей |
|-----------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| M_i | 10,04 Нм | $19,27 \cdot 10^{-3}$ Нм | 1 | $u_A(\bar{M})$ |
| γ | 0,15 | $8,67 \cdot 10^{-3}$ кг | $9,81 \text{ м}^2/\text{с}^2$ | $gl u_{c3}$ |
| U_{3M} | 9 нВ/°С | 130,06 мкВ | -3,33 Нм/В | $\frac{\partial M_B}{\partial U_a} u_{B,t}$ |
| m | 16 | 9,34 мкВ | -6,93 Нм/В | $\frac{\partial M_B}{\partial m} u_{B,m}$ |
| Θ_{UM} | $\pm 0,25$ мВ | 0,14 мВ | -1,54 Нм/В | $\frac{\partial M_B}{\partial U_M} u_{B,\Theta u}$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|--|
| Θ_R | $\pm 0,01$ кОм | 5,77 Ом | $3,08 \cdot 10^{-3}$ Нм/Ом | $\frac{\partial M_B}{\partial R} u_{B,R}$ |
| α_t | $2,5 \cdot 10^{-6}$ К ⁻¹ | 117,41 мОм | $3,08 \cdot 10^{-3}$ Нм/Ом | $\frac{\partial M_B}{\partial R} u_{B,Rt}$ |
| l | 1 м | 5,77 мкм | 10 Н | $\frac{\partial M_B}{\partial l} u_{B,l}$ |
| Вихідна величина | Оцінка вихідної величини | Комбінована невизначеність | Коефіцієнт охоплення | Розширена невизначеність |
| \overline{M} | 10,04 Нм | $88,99 \cdot 10^{-3}$ Нм | 1,96 | 0,17 Нм |

Оскільки робоча температура оточуючого повітря під час експлуатації складає $t_v = 25$ °С, атмосферний тиск та вологість знаходиться в допустимих межах, то непевність типу В, що вноситься за рахунок відхилення температури оточуючого середовища від нормальних умов $t_{н.у.} = 20$ °С при дрейфу напруги зміщення нуля операційного підсилювача $U_{зм} = 9$ нВ/°С, складатиме

$$u_{B,te} = \frac{k |t_{н.у.} - t_v|}{\sqrt{12}} U_{зм} = 10^3 \frac{|20 - 25|}{3,46} 9 \cdot 10^{-9} = 13,01 \text{ мкВ}. \quad (14)$$

Непевності типу В, що обумовлені:

- обмеженим класом точності сенсора зусилля (2) – залишається незмінним;
- обмеженою розрядністю АЦП залишається рівною значенню, що розраховане за формулою (4);
- відхиленням напруги живлення від номінального значення (5) – залишається незмінним;
- відхилення опору від номінального значення (6) – залишається незмінним;
- допустимим відхиленням точності визначення довжини вимірювального важеля (8) – залишається незмінним;
- температурною похибкою відхилення опору тензорезисторів при відхиленні робочої температури $t_v = 25$ °С від температури за нормальних умов $t_{н.у.} = 20$ °С, складе

$$u_{B,Rt} = \frac{\alpha_t |t_{н.у.} - t_v|}{\sqrt{12}} R = 2,5 \cdot 10^{-6} \frac{|20 - 25|}{3,46} 3,25 \cdot 10^3 = 11,74 \text{ мОм}. \quad (15)$$

Підставивши перераховані непевності у рівняння (9), отримаємо значення комбінованої непевності типу В, що складає $u_{Bce} = 86,88 \cdot 10^{-3}$ Нм.

Комбінована непевність результату вимірювання крутного моменту в реальних умовах експлуатації складає

$$u_{ce} = \sqrt{u_A^2(\overline{M}) + u_{Bce}^2} = 889,91 \cdot 10^{-4} \text{ Нм}. \quad (16)$$

Для розрахунку експлуатаційної розширеної непевності за реальних умов експлуатації, перераховується ефективне число ступенів вільності, що складає

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \frac{u_{ce}^4}{u_A^4(\overline{M})} = 2 \frac{88,99^4}{19,27^4} = 910. \quad (17)$$

Коефіцієнт охоплення K_{2P-1} , що відповідає довірчій ймовірності 2P-1, тобто значенню ймовірності, що відповідає вірогідності метрологічної справності ЗВ в реальних умовах експлуатації (при $P = 0,95$, $2P - 1 = 2 \cdot 0,95 - 1 = 0,9$), визначимо із таблиці Стюдента за ефективним числом ступенів вільності $v_{\text{eff}} > 30$ та довірчою ймовірністю $P_e = 0,9$, який дорівнює $K_{2P-1} = 1,64$ [7].

Значення експлуатаційної розширеної невизначеності вимірювання U_E складає

$$U_E = k_{2P-1} u_{ce} = 1,64 \cdot 889,91 \cdot 10^{-4} = 0,15 \text{ Нм}. \quad (18)$$

На основі розрахованих під час первинної метрологічної атестації значень непевності та значенні експлуатаційної розширеної непевності за реальних умов експлуатації ЗВ оцінимо значення міжповірного інтервалу ЗВ крутного моменту.

Взявши за основу календарну тривалість експлуатації ЗВ $t = 2$ роки, першу оцінку міжповірного інтервалу T_1 ЗВ крутного моменту розрахуємо за формулою [7, 8]

$$T_1 = t \frac{\ln\left(\frac{U_E}{k_{2P-1} u_A(\overline{M})}\right)}{\ln\left(\frac{U_H}{k_P u_A(\overline{M})}\right)} = 2 \frac{\ln\left(\frac{0,15}{1,64 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}}\right)}{\ln\left(\frac{0,17}{1,96 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}}\right)} = 2,1 \text{ р}. \quad (19)$$

Другу оцінку міжперевірочного інтервалу ЗВ T_2 , в припущенні про симетричність загального закону розподілу ймовірності, розрахуємо за формулою

$$T_2 = t \frac{U_E - k_{2p-1} u_A(\overline{M})}{U_H - k_p u_A(\overline{M})} = 2 \frac{0,15 - 1,64 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}}{0,17 - 1,96 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}} = 1,79 \text{ р.} \quad (20)$$

На основі отриманих двох оцінок міжповірочних інтервалів ЗВ крутного моменту за нормоване значення міжперевірочного інтервалу приймаємо мінімальне значення між оцінками T_1 і T_2 , тобто

$$T_{ЗВ} = \min[T_1, T_2] = \min[2,1, 1,79] = 1,79 \text{ р.} = 21 \text{ міс.} \quad (21)$$

Нормоване значення міжповірочного інтервалу ЗВ доцільно вибирати в місяцях з ряду натуральних чисел [7, 8]: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 15; 18; 21; 24; 30 і так далі через 6 міс.

Таким чином, на основі проведених оцінок непевностей вимірювань крутного моменту, встановлено значення міжповірочного інтервалу ЗВ крутного моменту, що відповідає 21 місяцю.

Висновки

Запропоноване метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту дозволяє виконувати оцінювання характеристик точності вимірювань з урахуванням міжнародних стандартів до оцінювання якості вимірювань, забезпечує єдність вимірювань крутного моменту та дозволяє встановлювати або коригувати міжповірочні (міжкалібрувальні) інтервали ЗВ на основі концепції непевності вимірювання.

Література

1. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement». – Geneva (Switzerland): ISO. – 2009. – 32 p.
2. Васілевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт / О. М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – № 3 (7). – 2006. – С. 147–151.
3. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань: [підручник] / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, С. Т. Володарський. - Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с. - ISBN 978-966-641-632-5.
4. IEC GUIDE 115-2007 «Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector». – Geneva (Switzerland): IEC. – 2007. – 54 p.
5. Васілевський О. М. Засіб вимірювання динамічного моменту електромоторів та аналіз його точності / О. М. Васілевський // Вимірювальна техніка та метрологія. - № 73. - 2012. - С. 52 – 56.
6. Васілевський О. М. Дослідження якості результатів вимірювань зусилля на основі концепції невизначеності // Вісник інженерної академії України. – Київ. – 2013. – № 3 – 4. – С. 229 – 232.
7. Vasilevskiy, O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 2014, 5.04: 403.
8. Васілевський О. М. Методика визначення міжповірочного інтервалу засобів вимірювання на основі концепції невизначеності / О.М. Васілевський // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 6. – С. 81-88.
9. Васілевський О. М. Метрологічна атестація засобу вимірювання моменту інерції електромоторів на основі міжнародних стандартів з оцінювання точності вимірювань / О. М. Васілевський // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – № 75. – С. 111 – 118.

References

1. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement». – Geneva (Switzerland): ISO. – 2009. – 32 p.
2. Vasilevskiy O. M. Algorithm evaluation of measurement uncertainty in the performance of metrological works / O. M. Vasilevskiy // *Informatsiyni tehnologiyi ta kompyuterna ingeneriya*. – № 3 (7). – 2006. – P. 147–151.
3. Vasilevskiy O. M. Fundamentals of the theory of uncertainty of measurement: [Tutorial] / O. M. Vasilevskiy, V. Y. Kucheruk, E. T. Volodarskiy. - Vinnitsa : VNTU, 2015. – 230 p. - ISBN 978-966-641-632-5.
4. IEC GUIDE 115-2007 «Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector». – Geneva (Switzerland): IEC. – 2007. – 54 p.
5. Vasilevskiy O.M. Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy / O. M. Vasilevskiy // *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*. – 2012. – № 73. – pp. 52–56.
6. Vasilevskiy O.M. Research efforts as a result of measurement based on the concept of uncertainty / O. M. Vasilevskiy // *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*. – 2013. – № 3–4. – pp. 229–232..
7. VASILEVSKYI, O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 2014, 5.04: 403.
8. Vasilevskiy O. M. Methods of determining the recalibration interval measurement tools based on the concept of uncertainty / O. M. Vasilevskiy // *Tekhnichna elektrodynamika*. – 2014. – № 6. – pp. 81 – 88.
9. Vasilevskiy O. M. Metrological certification of measuring the moment of inertia electric motors based on international standards of evaluation measurement accuracy / O. M. Vasilevskiy // *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*. – 2012. – № 75. – pp. 111–118.

Рецензія/Peer review : 28.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.10.2015 р.