

# МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ У СТАТИЧНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

<sup>1</sup>Міністерство освіти і науки України

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

*Запропоновано метрологічне забезпечення, що дозволяє з урахуванням міжнародних стандартів оцінювати характеристики точності вимірювань з вираження невизначеностей вимірювань в електротехнічній галузі, визначати міжповірочний інтервал засобів вимірювань та забезпечує міжнародну єдність вимірювань параметрів руху електромоторів.*

**Ключові слова:** метрологічне забезпечення, єдність вимірювань, точність вимірювань, параметри руху електромоторів, невизначеність вимірювань, міжповірочний інтервал.

## Вступ і постановка проблеми

Світовий розвиток науки і технологій приводить до того, що наявне на сьогодні метрологічне забезпечення методів і засобів вимірювань параметрів руху електромоторів не відповідає міжнародним стандартам, що діють у сфері оцінювання характеристик точності вимірювань і якості електротехнічної продукції, подання результатів вимірювань і визначення міжповірочного інтервалу засобів вимірювань. Цей факт унеможливило проведення сертифікації технологічного процесу, продукції чи послуги на відповідність міжнародним нормативно-технічним вимогам (документам), системі якості та системі управління якістю, і знижує їх конкурентоспроможність. Тому, розробка сучасного метрологічного забезпечення методів і засобів вимірювань параметрів руху електромоторів є актуальною науковою проблемою на шляху України до інтеграції існуючих стандартів, нормативно-технічної документації та технологічних процесів у європейські норми і правила, вирішення цієї проблеми дозволить порівнювати отримані результати вимірювань і випробувань з результатами, отриманими провідними країнами світу, забезпечити міжнародну єдність вимірювань та конкурентоспроможність вітчизняної продукції.

З огляду на вищевикладене, *метою статті* є вдосконалення основ метрологічного забезпечення методів і засобів вимірювань параметрів руху електромоторів з урахуванням міжнародних стандартів, які діють у сфері оцінювання характеристик точності вимірювань та якості електротехнічної продукції [1—3], що дозволять забезпечити міжнародну єдність вимірювань і сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних розробок на світовому ринку.

## Аналіз стану досліджень і публікацій

Для вимірювання параметрів руху електромоторів необхідно: вибрати відповідні методи і засоби вимірювань, що дозволять досягти необхідної точності; забезпечити готовність засобів вимірювань виконувати свої функції за допомогою прив'язки цих засобів до відповідних еталонів чи зразкових засобів вимірювань шляхом їх періодичної повірки чи калібрування; забезпечити встановлення необхідних умов для проведення вимірювань, опрацювання результатів вимірювань, оцінювання характеристик точності вимірювань та міжповірочних інтервалів засобів вимірювань. Якщо задовольняються вищепераховані вимоги, то метрологічним забезпеченням вимірювань параметрів руху електромоторів є встановлення та застосування теоретичних і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення міжнародної єдності та необхідної точності вимірювань параметрів руху електромоторів з урахуванням міжнародних стандартів оцінювання і вираження характеристик якості вимірювань [1, 4—5]. Основною метою метрологічного забезпечення є підвищення якості продукції, ефективності управління виробництвом і рівня автоматизації виробничих процесів.

Методи та засоби вимірювань параметрів руху електромоторів, що дозволяють досягти необхідної точності, детально розглянуті в роботах [6—14]. До параметрів руху електромоторів відносяться: кутова швидкість, момент інерції, крутильний момент, пусковий момент та динамічний момент. Способи перевірки або калібрування засобів вимірювань параметрів руху електромоторів розглянуті в роботах [4, 13, 15, 16]. Загальні питання опрацювання результатів вимірювань параметрів руху електромоторів детально розглянуті в роботах [13, 16—21]. Однак, для того щоб говорити про комплексне метрологічне забезпечення вимірювань параметрів руху електромоторів, необхідно також мати методологію оцінювання характеристик точності вимірювань та міжповірочних інтервалів засобів вимірювань, яка б відповідала міжнародним стандартам з оцінки якості електротехнічної продукції [1—3].

На сьогоднішній день відомі роботи, в яких ґрунтовно розглядаються теоретичні підходи до оцінювання міжповірочних інтервалів на основі допустимих меж нестабільності метрологічних характеристик, критерію метрологічної надійності (нестабільності), дрейфу метрологічних характеристик, що базуються на теорії похибок вимірювання і надійності технічних засобів [22—27]. Також окремо існують роботи, в яких розглядаються способи оцінювання і подання невизначеностей вимірювань, що ґрунтуються на міжнародних вимогах [10, 17, 20, 21, 28—31]. Однак, єдиного підходу до оцінювання характеристик точності вимірювань з урахуванням міжнародних стандартів [1—3] і визначення на їх основі міжповірочних інтервалів засобів вимірювань не існує. Тому виникає необхідність у розробці метрологічного забезпечення вимірювань параметрів руху електромоторів, на основі якого можна оцінювати характеристики точності таких вимірювань, відповідно до міжнародних стандартів з оцінювання точності та якості вимірювань [1—3], і визначати на їх основі міжповірочний інтервал засобів вимірювань для встановлення терміну чергової метрологічної атестації чи перевірки.

### Викладення основного матеріалу

Однією із невирішених проблем метрологічного забезпечення вимірювань параметрів руху електромоторів є створення методології оцінювання характеристик точності вимірювань і міжповірочного інтервалу засобів вимірювань на основі концепції невизначеності вимірювань. Методологія оцінювання точності вимірювань та міжповірочного інтервалу засобів вимірювань складається з основних етапів:

*Етап 1.* Для експериментального оцінювання характеристик точності вимірювань необхідно провести серію вимірювань на нижній та верхній межі вимірювання засобів вимірювання (ЗВ) параметрів руху електромоторів (оцифрованих відмітках). Для цього на вході ЗВ задаються зразкові значення вимірюваної величини, що відповідають пронормованому діапазону вимірювання ЗВ [4, 32]. Тобто, експериментальні дослідження проградуєваних меж вимірювань виконують за допомогою методу зразкових мір, зразкових сигналів, зразкових приладів чи методу зіставлення. Потім необхідно вилучити аномальні результати вимірювань із результатів спостережень і внести відповідні поправки. На основі отриманих експериментальних даних визначаються стандартні невизначеності типу  $A$  для нижньої та верхньої межі вимірювання за формулою

$$u_A(\bar{x}_K) = \sqrt{\sum_{i=1}^q (x_{i,K} - \bar{x}_K)^2 [(q-1)q]^{-1}}, \quad (1)$$

де  $x_{i,K}$  — кількість значень, отриманих в  $K$ -й групі спостережень, відповідно, на нижній та верхній межах вимірювання;  $K$  — кількість груп спостережень в проградуєваних відмітках діапазону вимірювань;  $\bar{x}_K$  — середнє арифметичне значення  $K$ -ї групи спостережень;  $q$  — кількість значень в  $K$ -й групі спостережень [28—30].

З отриманих за формулою (1) експериментальних стандартних невизначеностей типу  $A$  береться найбільша за значенням (максимальна) стандартна невизначеність типу  $A$   $u_{A\max}(\bar{x})$ , яка в подальшому буде використовуватися для оцінювання комбінованої та розширеної невизначеностей, а також для оцінювання міжповірочного інтервалу ЗВ.

*Етап 2.* На другому етапі необхідно виконати оцінювання стандартних невизначеностей типу  $B$  на основі фонду доступної інформації про невилучені залишки систематичних похибок, які теоретично можуть проявлятися в процесі виконання вимірювань. При цьому слід брати до уваги інформацію про раніше проведені вимірювання, допустимі робочі умови експлуатації ЗВ, фізичні

властивості вимірюваної величини, паспортні дані ЗВ або довідники [2, 29, 31]. Стандартні невизначеності типу  $B$  можна обчислювати через верхні і нижні межі  $[a_-; a_+]$  в припущенні про ймовірний закон розподілу чи проміжок  $U_p$ , що має заданий довірчий рівень  $P$ . Якщо значення вхідних величин  $(x_i, x_j)$  пов'язані між собою (попарно корельовані), то необхідно розрахувати коефіцієнт кореляції [31].

*Етап 3.* Після оцінки теоретично можливих складових стандартних невизначеностей типу  $B$  необхідно оцінити комбіновану (сумарну) стандартну невизначеність типу  $B$   $u_{cB}$  на основі відомих форм подання комбінованих невизначеностей [2, 31].

*Етап 4.* На основі вищевизначених максимальної стандартної невизначеності типу  $A$  та комбінованої невизначеності типу  $B$ , оцінюється комбінована невизначеність результату вимірювання. За відсутності кореляційного зв'язку між вхідними величинами вона розраховується за формулою

$$u_c(y) = \sqrt{[u_{A\max}(\bar{x})]^2 + [u_{cB}]^2}, \quad (2)$$

де  $y = f(x, \bar{\eta})$  — функціональна залежність між вхідною  $x$ , вихідною  $y$  та впливними  $\bar{\eta}$  величинами.

В загальному випадку, якщо відома інформація про дію впливних величин  $\bar{\eta}$  на результат вимірювання, то комбіновану невизначеність розраховують за формулою

$$u_c(y) = \sqrt{u_{A\max}^2(\bar{x}) + \sum_{z=1}^Z (\partial f / \partial \eta_z)^2 u^2(\eta_z)}, \quad (3)$$

де  $\partial f / \partial \eta_z = c_z$  — коефіцієнт чутливості за функцією перетворення ЗВ;  $u(\eta_z)$  — стандартні невизначеності, оцінені за типом  $B$ ,  $z$  — кількість впливних величин.

Якщо вимірюваних вхідних величин декілька, тобто  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_K, \bar{\eta})$ , то комбіновану невизначеність результату вимірювання розраховують за формулою

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{k=1}^K (\partial f / \partial x_k)^2 u^2(x_k)}, \quad (4)$$

де  $\partial f / \partial x_k = c_k$  — коефіцієнти чутливості за функцією перетворення ЗВ;  $u(x_k)$  — стандартні невизначеності, які можуть бути оцінені як за типом  $A$ , так і за типом  $B$ ,  $k$  — кількість оцінок стандартних невизначеностей вимірювань.

Якщо вхідні величини корельовані, то вираз для знаходження комбінованої невизначеності результату вимірювання буде мати вигляд

$$u_c(x_k, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K (\partial f / \partial x_k) u(x_k) (\partial f / \partial x_j) u(x_j) r(x_k, x_j)}, \quad (5)$$

де  $r(x_k, x_j) = \frac{\sum_{l=1}^{K_{kj}} (x_{k_l} - \bar{x}_k)(x_{j_l} - \bar{x}_j)}{\left[ \sum_{l=1}^{K_{kj}} (x_{k_l} - \bar{x}_k)^2 \sum_{l=1}^{K_{kj}} (x_{j_l} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2}}$  — коефіцієнт кореляційного

зв'язку ( $-1 \leq r(x_k, x_j) \leq +1$ );  $l$  — кількість пар вимірюваних значень вхідних величин  $x_k$  та  $x_j$ .

*Етап 5.* Відповідно до міжнародних стандартів [1—3], у випадках коли результати вимірювань використовуються у торгівлі, промисловості, а також коли їх використання стосується здоров'я і безпеки, необхідно додатково визначати розширену невизначеність вимірювання. Розширену невизначеність отримують шляхом добутку комбінованої невизначеності результату вимірювання на коефіцієнт охоплення за формулою:

$$U_H = k_p u_c(y), \quad (6)$$

де  $k_p$  — коефіцієнт охоплення, що визначається на підставі інформації про довірчу ймовірність  $P$  та ефективне число ступенів свободи  $\nu_{eff}$ .

Довірча ймовірність  $P$ , як правило, вказується в технічних умовах на ЗВ. Якщо в технічній документації не вказано довірчу ймовірність, то вона визначається експериментальним шляхом (виконується випробування ЗВ шляхом фіксації відмов (їх відсутності) компонентів ЗВ через кожні 100 годин його роботи, викликаних будь-яким фактором), або встановлюється апріорно [22—27].

Ефективне число ступенів свободи розраховується за формулою Велча–Саттерсвейта

$$v_{eff} = (n-1)u_c^4(y) [u_{Amax}(\bar{x})]^{-4}. \quad (7)$$

На основі інформації про довірчу ймовірність  $P$  та ефективне число ступенів свободи  $v_{eff}$  з таблиці Стюдента вибирають коефіцієнт охоплення  $k_P$ .

Якщо ефективне число ступенів свободи більше 30 ( $v_{eff} > 30$ ), то для ймовірності  $P = 0,9$  коефіцієнт охоплення  $k_{0,9} = 1,64$ , для  $P = 0,95$  коефіцієнт охоплення  $k_{0,95} = 1,96$ , для  $P = 0,99$  коефіцієнт охоплення  $k_{0,99} = 2,58$  і для  $P = 0,9973$  коефіцієнт охоплення  $k_{0,9973} = 3$ .

Розраховане за формулою (6) значення розширеної невизначеності прописують як нормовану величину в технічній документації на ЗВ.

*Етап 6.* На основі інформації про інтенсивність експлуатації ЗВ та значення середнього напруження до відмови ЗВ визначають календарну тривалість  $t$  експлуатації ЗВ [22, 27].

*Етап 7.* Для оцінювання міжповірного інтервалу ЗВ його потрібно деякий час експлуатувати в реальних умовах (при певній температурі та впливах інших впливних факторів), за дотримання яких будуть постійно здійснюватись вимірювання.

Після тривалої дослідної експлуатації ЗВ потрібно виконати перерахунок складових значень комбінованої невизначеності вимірювання та розширеної невизначеності з урахуванням реальних умов експлуатації, при дії впливних величин та інших параметрів, що оцінюються під час визначення точності вимірювань. При цьому під час розрахунків враховують робочі умови експлуатації. Тобто виконують перерахунок стандартних невизначеностей вимірювань відповідно до етапів 2—5. В результаті отримують значення розширеної невизначеності вимірювань  $U_E$  за реальних умов експлуатації, яке в подальшому буде використане для оцінювання міжповірного інтервалу ЗВ.

*Етап 8.* Використовуючи отримані оцінки характеристик точності вимірювань, що відповідають міжнародним стандартам щодо подання якості вимірювань [1—3], на етапах 1—7, а також припустивши, що закони розподілу невизначеностей вимірювань є симетричними, першу оцінку міжповірного інтервалу ЗВ  $T_1$  пропонується розрахувати за формулою

$$T_1 = t \ln \left( \frac{U_E}{k_{2P-1} u_{Amax}(\bar{x})} \right) \ln^{-1} \left( \frac{U_H}{k_P u_{Amax}(\bar{x})} \right), \quad (8)$$

де  $k_{2P-1}$  — коефіцієнт охоплення, що відповідає довірчій ймовірності  $2P-1$  (ймовірності метрологічної справності — метрологічній надійності);  $t$  — календарна тривалість експлуатації ЗВ.

Коефіцієнт охоплення  $k_{2P-1}$  визначається з таблиці Стюдента на основі інформації про довірчу ймовірність  $2P-1$  та ефективне число ступенів свободи  $v_{eff}$ , що розраховується за формулою (7).

*Етап 9.* Другу оцінку міжповірного інтервалу ЗВ  $T_2$ , в припущенні про симетричність законів розподілу невизначеностей вимірювань, пропонується розрахувати за формулою

$$T_2 = t (U_E - k_{2P-1} u_{Amax}(\bar{x})) [U_H - k_P u_{Amax}(\bar{x})]^{-1}. \quad (9)$$

*Етап 10.* На основі отриманих оцінок міжповірочних інтервалів ЗВ  $T_1$  і  $T_2$  визначається нормований міжповірочний інтервал ЗВ, який приймається рівним мінімальному значенню між значеннями  $T_1$  і  $T_2$

$$T_{ЗВ} = \min[T_1, T_2]. \quad (10)$$

Таким чином, запропоноване метрологічне забезпечення дозволяє виконувати оцінювання характеристик точності вимірювань та встановлювати міжповірочний інтервал ЗВ на основі міжнародних стандартів, що діють у сфері оцінювання показників якості електротехнічної продукції. Використання запропонованого метрологічного забезпечення дозволить забезпечити міжнародну єдність вимірювань і сприятиме забезпеченню конкурентоспроможності вітчизняних розробок на світовому ринку.

Для перевірки працездатності запропонованих теоретичних тверджень, розглянемо практичне застосування запропонованого метрологічного забезпечення на прикладі метрологічної атестації засобу вимірювання кутової швидкості електромоторів.

### Метрологічна атестація засобу вимірювання параметрів руху

Принцип роботи, математична модель ЗВ параметрів руху та схема за допомогою якої виконують дослідження характеристик точності вимірювання параметрів руху електродвигунів (ЕМ) розглянуті в роботах [13, 16]. Для встановлення нормованих метрологічних характеристик, використання ЗВ параметрів руху електродвигунів в промисловій експлуатації, а також для забезпечення можливості порівняння отриманих результатів вимірювань, з результатами отриманими різними лабораторіями провідних країн світу — забезпеченні єдності вимірювань, потрібно виконати його метрологічну атестацію та встановити термін чергової перевірки метрологічних характеристик встановленим під час метрологічної атестації нормам. Для цього виконаємо поетапні експериментальні дослідження характеристик точності вимірювань, відповідно до запропонованої вище методології.

В роботах [8, 13, 16, 33] запропоновано та детально описано принцип роботи ЗВ кутової швидкості, що дозволяє виконувати вимірювання параметрів руху ЕМ з достатньою точністю. Рівняння перетворення розробленого ЗВ кутової швидкості описується виразом

$$\omega(t) = 2r^2 U_0 N_\omega / [k S_0 R_{zz} I_0 \beta a t 2^m] - \beta / [2t], \quad (11)$$

де  $\omega(t)$  — кутова швидкість;  $r$  — відстань від джерела світла до поверхні, що освітлюється ( $r = 0,02 \pm 0,001$  м);  $R_{zz}$  — опір кола зворотного зв'язку ( $R_{zz} = 1$  МОм  $\pm 10$  Ом);  $k$  — коефіцієнт пропорційності;  $S_0$  — інтегральна струмова чутливість фотодіоду ( $S_0 = 2 \cdot 10^{-3}$  А/Лм  $\pm 10$  %);  $m$  — розрядність АЦП ( $m = 12$ );  $t$  — час вимірювання;  $\beta$  — кут, що характеризує конфігурацію діафрагми тахометричного перетворювача ( $\beta = \pi/90 \pm 0,1\pi/180$ );  $a = h(2R_0 + h)/(2\pi)$  — коефіцієнт, що визначає геометричні розміри прорізи модулятора, який входить до складу тахометричного перетворювача ( $a = 0,034 \pm 0,001$  м/рад);  $R_0$  — радіус кола в центрі модулятора ( $R_0 = 19 \cdot 10^{-3}$  м);  $h$  — висота прорізи модулятора з початком на колі радіуса  $R_0$  ( $h = 5 \cdot 10^{-3}$  м);  $U_0$  — опорна напруга АЦП ( $U_0 = 5$  В  $\pm 0,25$  мВ);  $I_0$  — сила світла ( $I_0 = 0,1 \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$  кд);  $N_\omega$  — кількість двійкових імпульсів, що підраховуються лічильником.

Оскільки, і в стандартах, відповідно до яких проводять випробування електродвигунів, і в технічній документації на електродвигуни, зазначається в якості номінальних параметрів не кутова швидкість в рад/с, а частота обертання в об/хв, то для зручності рівняння (11) зведемо до вигляду:

$$n = 60r^2 U_0 N_\omega [k S_0 R_{zz} I_0 \beta a \pi t 2^m]^{-1} - 15\beta [\pi t]^{-1}, \quad (12)$$

де  $n$  — частота обертання ротора електродвигуна (в об./хв.).

Відповідно до першого етапу потрібно виконати серію вимірювань кутової швидкості ЕМ на нижній та верхній межі вимірювання. При цьому для встановлення зразкового значення кутової швидкості використовується метод зразкових сигналів, що реалізований за схемою, робота якої детально описана в роботах [13, 32]. З результатів попередніх досліджень відомо, що відносна похибка вимірювання, яка зумовлена обмеженою точністю встановлення зразкового значення частоти обертання ЕМ не перевищує  $\tilde{y}_n = 0,07$  %. Таке значення відносної похибки вимірювання також обумовлене вимогами до зразкових засобів вимірювання [4, 13].

Встановивши зразкове значення частоти обертання на нижній межі вимірювання 20 об/хв, виконано серію вимірювань частот обертання розробленим засобом вимірювання параметрів руху ЕМ, значення яких занесені у табл. 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань частоти обертання на нижній межі вимірювання

№	Значення частоти обертання $n$ , об/хв	№	Значення частоти обертання $n$ , об/хв	№	Значення частоти обертання $n$ , об/хв
1	23	8	25	15	31
2	28	9	29	16	21
3	25	10	32	17	24
4	19	11	27	18	32
5	25	12	35	19	27
6	29	13	22	20	34
7	21	14	26	21	29

На основі отриманих результатів вимірювання частоти обертання ЕМ (табл. 1) за формулою (1) розраховано стандартну невизначеність типу А на нижній межі вимірювання:

$$u_A(\bar{n}_{\min}) = \sqrt{\sum_{i=1}^q (n_i - \bar{n}_{\min})^2 [q(q-1)]^{-1}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{21} (n_i - 32,38)^2 [21(21-1)]^{-1}} = 1,13 \text{ об/хв.} \quad (13)$$

Встановивши значення частоти обертання, що відповідає верхній межі вимірювання 3000 об/хв, виконано серію вимірювань частот обертання. Отримані результати занесені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати вимірювань частоти обертання на верхній межі вимірювання

№	Значення частоти обертання $n$ , об/хв	№	Значення частоти обертання $n$ , об/хв	№	Значення частоти обертання $n$ , об/хв
1	3019	8	3005	15	3009
2	3014	9	3010	16	2988
3	3027	10	3008	17	2994
4	2990	11	3012	18	3007
5	3000	12	2995	19	3018
6	2985	13	2992	20	3021
7	2987	14	3002	21	3015

За формулою (1) з урахуванням отриманих експериментальних даних частот обертання ЕМ на верхній межі вимірювання (табл. 2) розрахуємо стандартну невизначеність вимірювання типу А

$$u_A(\bar{n}_{\max}) = \sqrt{\sum_{i=1}^q (n_i - \bar{n}_{\max})^2 [q(q-1)]^{-1}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{21} (n_i - 3004,67)^2 [21(21-1)]^{-1}} = 2,69 \text{ об/хв.} \quad (14)$$

Отже, відповідно до прикінцевих положень етапу 1, вибираємо із отриманих стандартних невизначеностей типу А (13), (14) найбільшу за значенням (максимальну експериментальну невизначеність)  $u_{A_{\max}}(\bar{n}) = 2,69$  об/хв, яка буде використовуватися для оцінювання міжповірочного інтервалу ЗВ параметрів руху ЕМ.

Далі, відповідно до другого етапу, виконаємо оцінювання найвпливовіших складових невизначеностей типу В, зумовлених невилученими залишками систематичних ефектів і обмежених властивостей складових елементів засобу вимірювання параметрів руху ЕМ.

Невизначеність вимірювання, зумовлену обмеженою точністю встановлення зразкового значення частоти обертання ЕМ, розрахуємо за формулою

$$u_{Bz} = n_{\max} \tilde{u}_n / [100\% \sqrt{3}] = 0,07 \cdot 3000 / [100 \cdot 1,73] = 1,21 \text{ об/хв.} \quad (15)$$

Невизначеність вимірювання, зумовлену обмеженою точністю визначення відстані джерела світла до поверхні, що освітлюється, в припущенні про рівномірний розподіл похибки вимірювання відстані до джерела світла  $\Delta r = \pm 0,001$  м, розрахуємо за формулою

$$u_{Br} = \Delta r / \sqrt{3} = 0,001 / 1,73 = 0,58 \text{ мм.} \quad (16)$$

Невизначеність вимірювання, зумовлену допустимим відхиленням опорної напруги АЦП, оцінимо за формулою

$$u_{B_{U_0}} = \Delta U_0 / \sqrt{12} = \pm 0,25 / \sqrt{3} = 0,14 \text{ мВ.} \quad (17)$$

Невизначеність вимірювання, зумовлену обмеженою розрядністю АЦП послідовного наближення (наявністю зони нечутливості АЦП)  $q = 1 / (2^m - 1)$ , за опорного значення напруги живлення  $U_0 = 5$  В і розрядності  $m = 12$ , в припущенні про трикутний закон розподілу похибки квантування, визначимо за формулою

$$u_{Bm} = q / \sqrt{24} = 1 / [(2^m - 1) \sqrt{24}] = 1 / [(2^{12} - 1) 4,9] = 0,05 \cdot 10^{-3}. \quad (18)$$

Невизначеність вимірювання, зумовлену відхиленням коефіцієнта, який визначає геометричні розміри прорізи модулятора ( $\Delta a = \pm 0,001$  м/рад), в припущенні про випадковий закон розподілу

похибки вимірювання його складових параметрів, розрахуємо за формулою

$$u_{B_a} = \Delta a / k_p = \pm 0,001 / 1,96 = 0,51 \text{ мм/рад}, \quad (19)$$

де  $k_p$  — коефіцієнт охоплення, який для нормального закону і вірогідності  $p = 0,95$  дорівнює 1,96.

Невизначеність вимірювання, зумовлену допустимим відхиленням сили світла ( $\Delta I_0 = \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$  кд), в припущенні про нормальний закон розподілу довірчих меж, визначимо за формулою

$$u_{B_I} = \Delta I_0 / k_p = \pm 0,0025 / 1,96 = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ кд}. \quad (20)$$

Невизначеність вимірювання, зумовлену допустимим відхиленням опору зворотного зв'язку  $\Delta R_{zz} = \pm 10$  Ом, в припущенні про рівномірний закон розподілу довірчих меж похибки, оцінимо за формулою

$$u_{B_I} = \Delta R_{zz} / \sqrt{12} = \pm 10 / \sqrt{3} = 5,77 \text{ Ом}. \quad (21)$$

Невизначеність вимірювання, що зумовлена обмеженою точністю визначення кутової ширини діафрагми  $\Delta \beta = \pm 0,1\pi / 180$ , в припущенні про рівномірний закон розподілу довірчих меж похибки оцінимо за формулою

$$u_{B_\beta} = \Delta \beta / \sqrt{12} = \pm 0,1\pi / [180\sqrt{3}] = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ рад}. \quad (22)$$

Невизначеність вимірювання, зумовлену 10 % допустимим відхиленням інтегральної струмової чутливості фотодіоду від свого номінального ( $\Delta S_0 = \pm 0,2 \cdot 10^{-3}$  А/Лм), в припущенні про нормальний закон розподілу похибки вимірювання, оцінимо за формулою

$$u_{B_S} = \Delta S_0 / k_p = \pm 0,2 \cdot 10^{-3} / 1,96 = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ А/Лм}. \quad (23)$$

Комбіновану стандартну невизначеність типу  $B$  з урахуванням вищерозрахованих складових стандартних невизначеностей типу  $B$ , знайдемо як квадратний корінь з комбінованої дисперсії типу  $B$ , що описується формулою:

$$u_{B_c}^2 = u_{B_z}^2 + u_{B_r}^2 (\partial n / \partial r)^2 + u_{B_{U_0}}^2 (\partial n / \partial U_0)^2 + u_{B_m}^2 (\partial n / \partial m)^2 + u_{B_a}^2 (\partial n / \partial a)^2 + \\ + u_{B_I}^2 (\partial n / \partial I_0)^2 + u_{B_{R_{zz}}}^2 (\partial n / \partial R_{zz})^2 + u_{B_\beta}^2 (\partial n / \partial \beta)^2 + u_{B_S}^2 (\partial n / \partial S_0)^2, \quad (24)$$

$$\text{де } \partial n / \partial r = 120r U_0 N_\omega / (k S_0 I_0 \beta R_{zz} a \pi t 2^m) = 29,88 \cdot 10^3 \text{ об / (хв} \cdot \text{м)};$$

$$\partial n / \partial U_0 = 60r^2 N_\omega / (k S_0 I_0 \beta R_{zz} a \pi t 2^m) = 99,62 \text{ об / (хв} \cdot \text{В)};$$

$$\partial n / \partial m = -60r^2 U_0 N_\omega \ln(2) / (k S_0 I_0 \beta R_{zz} a \pi t 2^m) = -207,15 \text{ об / хв};$$

$$\partial n / \partial a = -60r^2 U_0 N_\omega / (k S_0 I_0 \beta R_{zz} a^2 \pi t 2^m) = -8,79 \cdot 10^3 \text{ об} \cdot \text{рад / (хв} \cdot \text{м)};$$

$$\partial n / \partial I_0 = -60r^2 U_0 N_\omega / (k S_0 I_0^2 \beta R_{zz} a \pi t 2^m) = -29,88 \cdot 10^3 \text{ об / (хв} \cdot \text{кд)};$$

$$\partial n / \partial R_{zz} = -60r^2 U_0 N_\omega / (k S_0 I_0 \beta R_{zz}^2 a \pi t 2^m) = -0,29 \cdot 10^{-3} \text{ об / (хв} \cdot \text{Ом)};$$

$$\partial n / \partial \beta = -60r^2 U_0 N_\omega / (k S_0 I_0 \beta^2 R_{zz} a \pi t 2^m) - 15 / (\pi t) = -8,57 \cdot 10^3 \text{ об / (хв} \cdot \text{рад)};$$

$$\partial n / \partial S_0 = -60r^2 U_0 N_\omega / (k S_0^2 I_0 \beta R_{zz} a \pi t 2^m) = -1,49 \cdot 10^5 \text{ об} \cdot \text{Лм / (хв} \cdot \text{А)} \text{ — коефіцієнти чутливості.}$$

Підставляючи розраховані значення коефіцієнтів чутливості та стандартних невизначеностей типу  $B$  у рівняння (24), отримуємо значення комбінованої стандартної невизначеності типу  $B$ , що складає  $u_{B_c} = 45,49$  об/хв.

Комбіновану невизначеність результату вимірювання, з урахуванням максимальної експериментальної невизначеності типу  $A$  та комбінованої невизначеності типу  $B$ , розрахуємо за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_{A_{\max}}^2 (\bar{n}_{\max}) + u_{B_c}^2} = 45,57 \text{ об/хв}. \quad (25)$$

Для розрахунку розширеної невизначеності, що буде нормуватися в технічній документації на ЗВ параметрів руху ЕМ, розрахуємо ефективне число ступенів свободи за формулою

$$v_{eff} = u_c^4 \left( \sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{v_i} \right)^{-1} = (n-1)u_c^4 \left[ u_{Amax}^4 (\bar{n}_{max}) \right]^{-1} = 1,65 \cdot 10^6. \quad (26)$$

Далі, знаючи ефективне число ступенів свободи (26) та задавшись довірчою ймовірністю  $P = 0,95$ , знаходимо коефіцієнт охоплення, який дорівнює  $k_P = 1,96$ .

Знаючи коефіцієнт охоплення та комбіновану невизначеність результату вимірювання, отримаємо розширену невизначеність, що нормуватиметься в технічній документації на досліджуваний ЗВ параметрів руху ЕМ, яка дорівнює

$$U_H = k_P u_c = 89,32 \text{ об/хв.} \quad (27)$$

Відповідно до етапу 6 запропонованої методики, в припущенні про інтенсивність експлуатації ЗВ 7 годин на добу та напрацюванні 3500 годин, визначимо календарну тривалість експлуатації  $t$ , яка відповідає двом календарним рокам.

Далі розроблений ЗВ параметрів руху ЕМ передається в експлуатацію. Після тривалої експлуатації в реальних умовах виконуємо перерахунок складових невизначеностей вимірювань.

При цьому повторно виконано вимірювання відстані від джерела світла до поверхні, що освітлюється, яка складала  $r = 18,5$  мм. Як видно з результатів вимірювань, відхилення від номінального значення складало  $\Delta r = 1,5$  мм. Невизначеність вимірювання відстані перерахуємо за формулою (16), і вона буде становити  $u_{Bre} = 0,87$  мм.

Інші складові невизначеностей типу В залишилися без змін. Однак комбіновану невизначеність типу В потрібно перерахувати з урахуванням зміненої невизначеності вимірювання відстані від джерела світла до поверхні та, виключивши невизначеність вимірювання, зумовлену обмеженою точністю встановленням зразкового значення частоти обертання ЕМ, відповідно до формули (24). Підставляючи змінене значення невизначеності вимірювання відстані, отримуємо післядослідну комбіновану невизначеність типу В, яка складає  $u_{Bce} = 49,43$  об/хв.

Комбіновану післядослідну невизначеність результату вимірювання перерахуємо за формулою (25) з урахуванням післядослідної комбінованої невизначеності типу В за формулою:

$$u_{ce} = \sqrt{u_{Amax}^2 (\bar{n}_{max}) + u_{Bce}^2} = 49,51 \text{ об/хв.} \quad (28)$$

Ефективне число ступенів вільності перерахуємо за формулою (26) з урахуванням формули (28). Це значення становитиме  $v_{eff} = 2,29 \cdot 10^6$ .

Коефіцієнт охоплення виберемо з урахуванням значення ймовірності, що відповідає вірогідності метрологічної справності ЗВ в реальних умовах експлуатації  $2P-1$  (коли  $P = 0,95$ ,  $2P-1 = 2 \cdot 0,95 - 1 = 0,9$ ). Для цього визначимо із таблиці Стьюдента за ефективним числом ступенів вільності  $v_{eff} > 30$  та довірчою ймовірністю метрологічної справності  $P_{м.с.} = 0,9$  коефіцієнт охоплення, який складає  $k_{2P-1} = 1,64$ .

Значення розширеної невизначеності вимірювань  $U_E$  в реальних умовах експлуатації складає

$$U_E = k_{2P-1} u_{ce} = 81,19 \text{ об/хв.} \quad (29)$$

Враховуючи оцінені характеристики розширених невизначеностей вимірювань (теоретичної (27) і післядослідної (29), отриманої після тривалої експлуатації в реальних умовах) виконаємо оцінювання міжповірочного інтервалу ЗВ параметрів руху ЕМ. Першу оцінку міжповірочного інтервалу  $T_1$  ЗВ параметрів руху ЕМ розрахуємо за формулою (8), взявши за основу розраховану календарну тривалість напрацювання  $t = 2$  роки

$$T_1 = t \ln \left( \frac{U_E}{k_{2P-1} u_{Amax} (\bar{n})} \right) \ln^{-1} \left( \frac{U_H}{k_P u_{Amax} (\bar{n})} \right) = 2,06 \text{ р.} \quad (30)$$

Другу оцінку міжповірочного інтервалу ЗВ  $T_2$  розрахуємо за формулою (9)

$$T_2 = t \frac{U_E - k_{2P-1} u_{Amax} (\bar{n})}{U_H - k_P u_{Amax} (\bar{n})} = 1,83 \text{ р.} \quad (31)$$



Таким чином, міжповірочний інтервал ЗВ параметрів руху ЕМ приймемо рівним мінімальному значенню між значеннями  $T_1$  і  $T_2$  відповідно до формули (10), а саме

$$T_{ЗВ} = \min [T_1, T_2] = \min [2,17; 2,07] = 1,83 \text{ р.} = 21,96 \text{ міс.} \quad (32)$$

Значення міжповірочного інтервалу ЗВ доцільно вибирати в місяцях з ряду натуральних чисел [24, 26]: 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.

Отже, значення міжповірочного інтервалу ЗВ параметрів руху ЕМ вибираємо зі стандартного ряду, що наведений вище, і для певного ЗВ, відповідно до формули (32) приймаємо рівним  $T_{ЗВ} = 21$  місяцю. Це значення міжповірочного інтервалу прописується в нормативній документації.

На основі отриманих характеристик точності вимірювання параметрів руху ЕМ складемо бюджет невизначеностей, показаний в табл. 3. Ці складові невизначеностей вимірювань відповідають нормованим значенням метрологічних характеристик ЗВ частоти обертання електромоторів, що прописуються в нормативних документах (технічній документації) на ЗВ.

Таблиця 3

Бюджет невизначеностей вимірювань частоти обертання

Вхідні величини	Оцінка вхідних величин	Стандартні невизначеності	Коефіцієнти чутливості	Вклади невизначеностей
$n_i$	3005 об/хв	2,69 об/хв	1	$u_{A_{\max}}(\bar{n}_{\max})$
$r$	0,02 м	0,58 мм	$29,88 \cdot 10^3 \text{ об}/(\text{хв} \cdot \text{м})$	$u_{B_r} \partial n / \partial r$
$U_0$	5 В	0,14 мВ	$99,62 \text{ об}/(\text{хв} \cdot \text{В})$	$u_{B_{U_0}} \partial n / \partial U_0$
$m$	12	$0,05 \cdot 10^{-3}$	$-207,15 \text{ об}/\text{хв}$	$u_{B_m} \partial n / \partial m$
$a$	0,034 м/рад	0,51 мм/рад	$-8,79 \cdot 10^3 \text{ об} \cdot \text{рад}/(\text{хв} \cdot \text{м})$	$u_{B_a} \partial n / \partial a$
$I_0$	0,1 кд	$1,27 \cdot 10^{-3}$ кд	$-29,88 \cdot 10^3 \text{ об}/(\text{хв} \cdot \text{кд})$	$u_{B_I} \partial n / \partial I_0$
$R_{zz}$	1 МОм	5,77 Ом	$-0,29 \cdot 10^{-3} \text{ об}/(\text{хв} \cdot \text{Ом})$	$u_{B_R} \partial n / \partial R_{zz}$
$\beta$	$\pi/90$ рад	$1,01 \cdot 10^{-3}$ рад	$-8,57 \cdot 10^3 \text{ об}/(\text{хв} \cdot \text{рад})$	$u_{B_\beta} \partial n / \partial \beta$
$S_0$	$2 \cdot 10^{-3}$ А/Лм	$1,02 \cdot 10^{-4}$ А/Лм	$-1,49 \cdot 10^5 \text{ Лм} \cdot \text{об}/(\text{хв} \cdot \text{А})$	$u_{B_S} \partial n / \partial S_0$
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Комбінована невизначеність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
$\bar{n}$	3005 об/хв	49,51 об/хв	1,64	81,19 об/хв

Для зручності сприйняття отриманих характеристик точності вимірювання частоти обертання ЕМ розрахуємо відносно комбіновану і відносно розширену невизначеності за формулами:

$$\tilde{u}_C = \frac{u_{ce}}{\bar{n}} 100 \% = \frac{49,51}{3005} 100 \% = 1,65 \% . \quad (33)$$

$$\tilde{U} = \frac{U_E}{\bar{n}} 100 \% = \frac{81,19}{3005} 100 \% = 2,7 \% . \quad (34)$$

Таким чином, встановлено, що відносна комбінована невизначеність вимірювання не перевищує 1,65 %, відносна розширена невизначеність вимірювання складає 2,7 % в діапазоні вимірювань частот обертання ЕМ від 20 до 3005 об/хв, а значення міжповірочного інтервалу (терміну наступної атестації) досліджуваного ЗВ частоти обертання ЕМ відповідає 21 місяцю.

### Висновки

Запропоноване метрологічне забезпечення вимірювань параметрів руху ЕМ дозволяє розраховувати показники точності вимірювання і оцінювати міжповірочний інтервал ЗВ з урахуванням міжнародних стандартів з оцінювання характеристик якості вимірювань електротехнічної продукції — концепції невизначеності вимірювання. Таке метрологічне забезпечення сприяє забезпеченню єдності вимірювань та конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світовому ринку. Апробація метрологічного забезпечення вимірювань параметрів руху ЕМ під час метрологічної атестації засобу вимірювання частоти обертання ЕМ підтвердила коректність та ефективність викладених методологічних засад.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO/IEC 17025:2005 «General requirements for the competence of testing and calibration laboratories». — Geneva (Switzerland): ISO. — 2005. — 28 p.
2. 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.
3. IEC GUIDE 115-2007 «Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector». — Geneva (Switzerland): IEC. — 2007. — 54 p.
4. Васілевський О. М. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : [ навч. посіб. ] / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 214 с. — ISBN 978-966-641-348-5.
5. Васілевський О. М. Метрологічне забезпечення методів та засобів вимірювань обертаючих параметрів електромоторів / О. М. Васілевський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-13-2014) : XIII Міжнародна науково-технічна конференція : тези доп. — Одеса, 2014. — С. 16.
6. Васілевський О. М. Метрологічне забезпечення засобу вимірювання кутової швидкості та моменту інерції електромоторів / О. М. Васілевський // Вісник інженерної академії України. — Київ. — 2012. — № 1. — С. 211—215.
7. Васілевський О. М. Система вимірювального контролю кутової швидкості п'єзоелектричних електромеханічних перетворювачів / О. М. Васілевський, П. М. Сопрунок, О. А. Войтов // Автоматика — 2006 : XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління : тези доп. — Вінниця. — 2006. — С. 156.
8. Сопрунок П. М. Підвищення точності вимірювання кутових швидкостей силових електромеханічних перетворювачів під час їх синхронізації / П. М. Сопрунок, Ю. А. Чабанюк, О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук // Відбір і обробка інформації. — 2006. — № 25 (101). — С. 72—78.
9. Кучерук В. Ю. Розвиток частотних методів визначення моментних характеристик електричних машин / В. Ю. Кучерук, О. М. Наталіч, О. М. Васілевський // Вісник інженерної академії України. — 2007. — № 3—4. — С. 149—154.
10. Васілевський О. М. Засіб вимірювання динамічного моменту електромоторів та аналіз його точності / О. М. Васілевський // Вимірювальна техніка та метрологія. — № 73. — 2012. — С. 52—56.
11. Кухарчук В. В. Елементи теорії контролю динамічних параметрів електричних машин : моногр. / В. В. Кухарчук. — Вінниця : «Універсум-Вінниця», 1998. — 125 с.
12. Кучерук В. Ю. Підвищення точності вимірювання моментних характеристик електричних машин з використанням моделей самогальмування / В. Ю. Кучерук, О. М. Наталіч, А. В. Поджаренко, О. М. Васілевський // Вісник Хмельницького національного університету. — 2007. — Т. 2, № 2. — С. 137—139.
13. Васілевський О. М. Елементи теорії підвищення точності вимірювання та синхронізації кутових швидкостей роторів взаємозв'язаних електромоторів : моногр. / О. М. Васілевський, П. І. Кулаков. — Вінниця : ВНТУ. — 2011. — 176 с. — ISBN 978-966-641-420-8.
14. Васілевський О. М. Удосконалена математична модель засобу вимірювання пускового моменту електродвигунів // Технічна електродинаміка. — 2013. — № 6. — С. 76—81.
15. Васілевський О. М. Методика перевірки вимірювальних каналів кутової швидкості / О. М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2009. — № 3 (16). — С. 126—129.
16. Васілевський О. М. Методика оцінювання невизначеності результатів вимірювань під час перевірки тахометричних перетворювачів / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, В. М. Севастьянов, О. А. Войтов // Відбір і обробка інформації. — 2007. — № 26 (102). — С. 88—94.
17. Васілевський О. М. Оцінка невизначеності вихідних сигналів засобів вимірювальної техніки в динамічних режимах роботи / О. М. Васілевський // Системи обробки інформації. — Харків. — 2010. — № 4 (85). — С. 81—84.
18. Васілевський О. М. Статистичні методи виявлення систематичних похибок вимірювань / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 1. — С. 9—12.
19. Васілевський О. М. Математична модель оцінювання та вираження динамічної чутливості засобів вимірювальної техніки / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 1. — С. 7—11.
20. Васілевський А. Н. Способ выражения динамической неопределенности средств измерений / А. Н. Васілевський. — Приборы и методы измерений. — Минск. — 2013. — № 2 (7). — С. 109—113.
21. Васілевський О. М. Дослідження якості результатів вимірювань обертаючих параметрів електромоторів на основі концепції невизначеності / О. М. Васілевський, Т. М. Мельник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 2. — С. 11—15.
22. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. — М. : Стандартинформ, 2005.
23. Матвеевский В. Р. Надежность технических средств управления / В. Р. Матвеевський. — М. : МГИЭМ, 1993. — 92 с.
24. Яковлев М. Ю. Забезпечення метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем на етапі експлуатації / М. Ю. Яковлев // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. — 2007. — Вип. 3 (15). — С. 136—141.
25. Васілевський О. М. Нормування показників метрологічної надійності / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 4. — С. 9—13.
26. Яковлев М. Ю. Оцінка метрологічної нестабільності метрологічних характеристик при визначенні первинного міжповірного інтервалу засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем / М. Ю. Яковлев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. — 2008. — № 2 (29). — С. 40—44.
27. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів : навч. посіб. / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 160 с. — ISBN 978-966-641-535-9.
28. Dorozhovets M. Evaluation of the uncertainty type A of autocorrelated measurement observations / M. Dorozhovets, Z. Warsza // Measurement Automation and Monitoring. — 2007. — № 2. — Pp. 20—24.
29. Васілевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт / О. М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2006. — № 3 (7). — С. 147—151.

30. Васілевський О. М. Оцінювання невизначеності вимірювання моменту інерції ротора за амплітудою крутильних коливань / О. М. Васілевський, А. В. Поджаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2009. — № 4. — С. 5—9.

31. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань : навч. посіб. / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук. — 2-ге вид. — Херсон : Олді-плюс, 2013. — 224 с. — ISBN 978-966-2393-86-6.

32. Васілевський О. М. Повірка вимірювальних каналів кутової швидкості призначених для контролю несинхронності обертання роторів / О. М. Васілевський // Вісник інженерної академії України. — 2011. — № 1. — С. 253—256.

33. Васілевський О. М. Дослідження статичних метрологічних характеристик засобу вимірювання кутової швидкості / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 6. — С. 26—30.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.09.2014

**Васілевський Олександр Миколайович** — канд. техн. наук, доцент, начальник відділу інформаційно-технічного забезпечення та закупівель Міністерства освіти і науки України, Київ; професор кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: wasilevskiy@mail.ru

**O. M. Vasilevskiy**<sup>1,2</sup>

## **Methodological basics of metrological assurance of measurements of parameters of motion of electric motors in static operation**

<sup>1</sup>Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

*There has been suggested the metrological assurance which allows both to evaluate the characteristics of the measurement accuracy in accordance with international standards for the expression of uncertainty of measurement in electrical engineering industry, determine the calibration interval of measurement and ensures international traceability of measurement of motion parameters of electric motors.*

**Keywords:** metrology assurance, unity of measuring, accuracy of measuring, parameters of motion of electromotors, vagueness of measuring, recalibration interval.

**Vasilevskiy Olexandr M.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Head of the Chair of Information and Technical Support of the Ministry of Education and Science of Ukraine; Professor of the Chair of Metrology and Industrial Automation of Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: wasilevskiy@mail.ru

**A. H. Василевский**<sup>1,2</sup>

## **Методологические основы метрологического обеспечения измерений параметров движения электродвигателей в статическом режиме работы**

<sup>1</sup>Министерство образования и науки Украины, Киев

<sup>2</sup>Винницкий национальный технический университет

*Предложено метрологическое обеспечение, которое позволяет с учетом международных стандартов оценивать характеристики точности измерений по выражению неопределенностей измерений в электротехнической отрасли, определять межповерочный интервал средств измерений и обеспечивает международное единство измерений параметров движения электродвигателей.*

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, единство измерений, точность измерений, параметры движения электродвигателей, неопределенность измерений, межповерочный интервал.

**Василевский Александр Николаевич** — канд. техн. наук, доцент, начальник отдела информационно-технического обеспечения и закупок Министерства образования и науки Украины; профессор кафедры метрологии и промышленной автоматики Винницкого национального технического университета, e-mail: wasilevskiy@mail.ru