

УДК 621.317

<sup>1,2</sup>О. М. Васілевський, к.т.н., доц.**ГРАДУЮВАЛЬНИЙ СПОСІБ МЕТРОЛОГІЧНОЇ АТЕСТАЦІЇ ЗАСОБУ  
ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ З УРАХУВАННЯМ  
МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ**<sup>1</sup>Міністерство освіти і науки України, м. Київ,<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет, wasilevskiy@mail.ru

*Досліджено точність вимірювання частоти обертання електромоторів з урахуванням міжнародних стандартів до оцінювання характеристик точності та якості електротехнічної продукції.*

**Ключові слова:** метрологічна атестація, засіб вимірювання, частота обертання, невизначеність вимірювання, міжповірочний інтервал.

**Вступ та постановка проблеми.** Розвиток науки і технологій приводить до того, що існуючі способи представлення результатів вимірювань на основі теорії похибок не враховують сучасні вимоги міжнародних стандартів, що діють у сфері оцінювання характеристик точності вимірювань і якості електротехнічної продукції. Цей факт унеможливує проведення сертифікації технологічного процесу, продукції чи послуги на відповідність міжнародним стандартам, системі якості та системі управління якістю, і знижує їх конкурентоспроможність. Тому, розробка нового способу метрологічної атестації засобів вимірювань (ЗВ), який враховував би вимоги міжнародних стандартів та дозволяв оцінювати міжповірочний інтервал ЗВ на основі концепції невизначеності вимірювань є актуальною науковою проблемою на шляху України до інтеграції існуючих стандартів, нормативно-технічної документації та технологічних процесів під міжнародні та європейські норми і правила.

З огляду на вищевикладене, *метою статті* є викладення градуювального способу метрологічної атестації засобів вимірювань з можливістю оцінювання міжповірочного інтервалу ЗВ на основі концепції невизначеності вимірювання на прикладі метрологічної атестації ЗВ частоти обертання електромоторів (ЕМ), що дозволить забезпечити міжнародну єдність вимірювань обертаючих параметрів ЕМ.

**Аналіз стану досліджень та публікацій.** Методи та засоби вимірювання частоти обертання ЕМ, спосіб і схема повірки (метрологічної атестації), що дозволяють досягти необхідну точність детально розглянуті в роботах [1 - 5]. Однак в зазначених роботах оцінювання характеристик точності вимірювань виконувалося на основі теорії похибок, що не дозволяє виконати порівняння отриманих результатів, з результатами, що отримані різними лабораторіями чи організаціями провідних країн світу. Крім того, не існує способу оцінювання і встановлення міжповірочного інтервалу (терміну чергової атестації) на основі характеристик невизначеностей вимірювань, який задовільняв би вимоги міжнародних стандартів [6 - 8].

**Викладення основного матеріалу**

Рівняння перетворення ЗВ частоти обертання ЕМ описується виразом [4, 9]:

$$n = 60r^2 U_0 N_{\omega} \left[ k S_0 R_{33} I_0 \beta a \pi t^2 \right]^{-1} - 15 \beta [\pi t]^{-1}, \quad (1)$$

де  $n$  – частота обертання ротора електромотора (в об./хв.);  $R_{33}$  – опір кола зворотного зв'язку ( $R_{33} = 1 \text{ МОм} \pm 10 \text{ Ом}$ );  $k$  – коефіцієнт пропорційності;  $r$  – відстань від джерела світла до поверхні, що освітлюється ( $r = 0,02 \pm 0,001 \text{ м}$ );  $S_0$  – інтегральна струмова чутливість фотодіода ( $S_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ А/Лм} \pm 10 \%$ );  $m$  – розрядність АЦП ( $m = 12$ );  $t$  – час вимірювання;  $\beta$  – кут, що характеризує конфігурацію діафрагми тахометричного перетворювача ( $\beta = \pi/90 \pm 0,1\pi/180$ );  $R_0$  – радіус кола в центрі модулятора ( $R_0 = 19 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ );  $a = h(2R_0 + h)/(2\pi)$  – коефіцієнт, що визначає геометричні розміри прорізи модулятора, який входить до складу тахометричного перетворювача ( $a = 0,034 \pm 0,001 \text{ м/рад}$ );  $h$  – висота прорізи модулятора з початком на колі радіуса  $R_0$  ( $h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ );  $U_0$  – опорна напруга АЦП ( $U_0 = 5 \text{ В} \pm 0,25 \text{ мВ}$ );  $I_0$  – сила світла ( $I_0 = 0,1 \text{ кд} \pm 2,5 \%$ );  $N_{\omega}$  – кількість двійкових імпульсів, що підраховуються лічильником.

Для оцінювання характеристик точності вимірювань виконуємо серію вимірювань частоти обертання ЕМ на нижній та верхній межі вимірювання. При цьому для встановлення зразкового значення частоти обертання використовуємо метод зразкових сигналів, що реалізований за схемою, робота якої детально описана в роботах [4, 10]. З результатів попередніх досліджень відомо, що відносна похибка вимірювання, яка обумовлена обмеженою точністю встановлення зразкового

значення частоти обертання ЕМ не перевищує  $\tilde{u}_n = 0,07\%$ . Таке значення відносної похибки вимірювання також обумовлене вимогами до зразкових засобів вимірювання [10].

Задавши зразкове значення частоти обертання на нижній межі вимірювання 20 об/хв виконано серію вимірювань частот обертання ЕМ, значення яких занесено до 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) розрахуємо стандартну невизначеність типу А на нижній межі вимірювання за формулою

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

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

На основі отриманих експериментальних даних частот обертання ЕМ на верхній межі вимірювання (табл. 2) розрахуємо стандартну невизначеність вимірювання типу А за формулою

$$u_A(\bar{n}_{\max}) = \sqrt{\sum_{i=1}^q (n_i - \bar{n}_{\max})^2 [q(q-1)]^{-1}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{21} (n_i - 3004,67)^2 [21(21-1)]^{-1}} = 2,69 \text{ об/хв.} \quad (3)$$

Для подальшого оцінювання характеристик точності вимірювань та міжповірочного інтервалу ЗВ із отриманих експериментальних шляхом стандартних невизначеностей типу А (2) – (3) беремо найбільшу за значенням (максимальну) експериментальну невизначеність вимірювання  $u_{A_{\max}}(\bar{n}) = 2,69 \text{ об/хв.}$

Далі переходимо до оцінювання складових невизначеностей типу В, що обумовлені невилученими залишками систематичних ефектів і обмежених властивостей складових елементів ЗВ частоти обертання.

Невизначеність вимірювання типу В, що обумовлена обмеженою точністю встановлення зразкового значення частоти обертання ЕМ розрахуємо за формулою

$$u_{Bz} = n_{\max} \tilde{u}_n / [100\% \sqrt{3}] = 0,07 \cdot 3000 / [100 \cdot 1,73] = 1,21 \text{ об/хв.} \quad (4)$$

Невизначеність вимірювання типу В, що обумовлена обмеженою точністю визначення відстані джерела світла до поверхні, яка освітлюється, в припущенні про рівномірний розподіл похибки вимірювання відстані до джерела світла  $\Delta r = \pm 0,001 \text{ м}$ , розрахуємо за формулою

$$u_{Br} = \Delta r / \sqrt{3} = 0,001 / 1,73 = 0,58 \text{ мм.} \quad (5)$$

Невизначеність вимірювання типу В, що обумовлена допустимим відхиленням опорної напруги АЦП оцінимо за формулою

$$u_{B_{U_0}} = \Delta U_0 / \sqrt{12} = \pm 0,25 / \sqrt{3} = 0,14 \text{ мВ.} \quad (6)$$

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

$$u_{B_m} = q/\sqrt{24} = 1/[(2^m - 1)\sqrt{24}] = 1/[(2^{12} - 1)4,9] = 0,05 \cdot 10^{-3}. \quad (7)$$

Невизначеність вимірювання типу В, що обумовлена 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

$$u_{B_a} = \Delta a/k_p = \pm 0,001/1,96 = 0,51 \text{ мм/рад}, \quad (8)$$

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

Невизначеність вимірювання типу В, що обумовлена допустимим відхиленням сили світла ( $\Delta I_0 = \pm 2,5$  %), в припущенні про нормальний закон розподілу довірчих меж визначимо за формулою

$$u_{B_I} = \Delta I_0/k_p = \pm 0,0025/1,96 = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ кд}. \quad (9)$$

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

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

Невизначеність вимірювання типу В, що обумовлена 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

$$u_{B_\beta} = \Delta \beta/\sqrt{12} = \pm 0,1\pi/[180\sqrt{3}] = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ рад}. \quad (11)$$

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

$$u_{B_S} = \Delta S_0/k_p = \pm 0,2 \cdot 10^{-3}/1,96 = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ А/Лм}. \quad (12)$$

Комбіновану стандартну невизначеність типу В із врахуванням розрахованих вище складових стандартних невизначеностей типу В, знайдемо як квадратний корінь з комбінованої дисперсії типу В, що описується формулою

$$u_{B_c}^2 = u_{B_z}^2 + u_{B_r}^2 (\partial n/\partial r)^2 + u_{B_{U_0}}^2 (\partial n/\partial U_0)^2 + u_{B_m}^2 (\partial n/\partial m)^2 + u_{B_a}^2 (\partial n/\partial a)^2 + u_{B_I}^2 (\partial n/\partial I_0)^2 + u_{B_R}^2 (\partial n/\partial R_{\Sigma})^2 + u_{B_\beta}^2 (\partial n/\partial \beta)^2 + u_{B_S}^2 (\partial n/\partial S_0)^2, \quad (13)$$

$$\text{де } \partial n/\partial r = 120rU_0N_\omega / (kS_0I_0\beta R_{\Sigma} a \pi 2^m) = 29,88 \cdot 10^3 \hat{a}' / (\delta \hat{a} \cdot \hat{i});$$

$$\partial n/\partial U_0 = 60r^2 N_\omega / (kS_0I_0\beta R_{\Sigma} a \pi 2^m) = 99,62 \hat{a}' / (\delta \hat{a} \cdot \hat{A});$$

$$\partial n/\partial m = -60r^2 U_0 N_\omega \ln(2) / (kS_0I_0\beta R_{\Sigma} a \pi 2^m) = -207,15 \hat{a}' / \delta \hat{a};$$

$$\partial n/\partial a = -60r^2 U_0 N_\omega / (kS_0I_0\beta R_{\Sigma} a^2 \pi 2^m) = -8,79 \cdot 10^3 \hat{a}' \cdot \delta \hat{a} / (\delta \hat{a} \cdot \hat{i});$$

$$\partial n/\partial I_0 = -60r^2 U_0 N_\omega / (kS_0I_0^2 \beta R_{\Sigma} a \pi 2^m) = -29,88 \cdot 10^3 \hat{a}' / (\delta \hat{a} \cdot \hat{e});$$

$$\partial n/\partial R_{\Sigma} = -60r^2 U_0 N_\omega / (kS_0I_0\beta R_{\Sigma}^2 a \pi 2^m) = -0,29 \cdot 10^{-3} \hat{a}' / (\delta \hat{a} \cdot \hat{R});$$

$$\partial n/\partial \beta = -60r^2 U_0 N_\omega / (kS_0I_0\beta^2 R_{\Sigma} a \pi 2^m) - 15/(\pi) = -8,57 \cdot 10^3 \hat{a}' / (\delta \hat{a} \cdot \delta \hat{a});$$

$$\partial n/\partial S_0 = -60r^2 U_0 N_\omega / (kS_0^2 I_0 \beta R_{\Sigma} a \pi 2^m) = -1,49 \cdot 10^5 \hat{a}' \cdot \hat{e} / (\delta \hat{a} \cdot \hat{A}) \quad - \quad \text{коефіцієнти}$$

чутливості.

Підставляючи розраховані значення коефіцієнтів чутливості та стандартних невизначеностей типу В у рівняння (13), отримаємо значення комбінованої стандартної невизначеності типу В, що складає  $u_{B_c} = 45,49$  об/хв.

Комбіновану невизначеність результату вимірювання із врахуванням максимальної експериментальної невизначеності типу А та комбінованої невизначеності типу В розрахуємо за

формулою

$$u_c = \sqrt{u_{Amax}^2(\bar{n}_{max}) + u_{Bc}^2} = 45,57 \text{ об/хв.} \quad (14)$$

Для розрахунку розширеної невизначеності, що буде нормуватися в технічній документації на ЗВ, розрахуємо ефективно число ступенів свободи за формулою [11]

$$v_{eff} = u_c^4 \left( \frac{\sum_{i=1}^N u_i^4}{\sum_{i=1}^N v_i} \right)^{-1} = (n-1) u_c^4 [u_{Amax}^4(\bar{n}_{max})]^{-1} = 1,65 \cdot 10^6. \quad (15)$$

Далі знаючи ефективно число ступенів свободи (15) та задавшись довірчою ймовірністю  $P=0,95$  знаходимо коефіцієнт охоплення, який дорівнює  $k_p=1,96$ .

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

$$U_i = k_p u_c = 89,32 \text{ об/хв.} \quad (16)$$

Щоб оцінити міжповірочний інтервал (термін чергової атестації) розрахуємо інтенсивність експлуатації ЗВ. Якщо ЗВ планується експлуатувати 7 годин на добу при напрацьованні 3500 годин, то календарна тривалість експлуатації ЗВ  $t$ , відповідає 2-м календарним рокам [12 - 14].

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

Після дослідної експлуатації, яка склала 2 роки, було повторно виконано вимірювання відстані від джерела світла до поверхні, що освіплюється, яка склала  $r = 18,5$  мм. Як видно з результатів вимірювань відхилення від номінального значення склало  $\Delta r = 1,5$  мм. Невизначеність вимірювання, що вноситься за рахунок відхилення відстані перерахуємо за формулою (5), і вона буде рівною  $u_{Bre} = 0,87$  мм.

Інші складові невизначеностей типу В залишилися без змін. Однак комбіновану невизначеність типу В потрібно перерахувати з урахуванням зміненої невизначеності вимірювання, що обумовлена відхиленням відстані від джерела світла до поверхні та без врахування невизначеності вимірювання, що обумовлена обмеженою точністю встановлення зразкового значення частоти обертання ЕМ. Підставляючи нове значення невизначеності вимірювання відстані у формулу (13), отримуємо після дослідну комбіновану невизначеність типу В, яка складає  $u_{Bce} = 49,43$  об/хв.

Комбіновану після дослідну невизначеність результату вимірювання перерахуємо за формулою (14) з урахуванням після дослідної комбінованої невизначеності типу В за формулою

$$u_{ce} = \sqrt{u_{Amax}^2(\bar{n}_{max}) + u_{Bce}^2} = 49,51 \text{ об/хв.} \quad (17)$$

Ефективно число ступенів вільності перерахуємо за формулою (15) з урахуванням формули (17). Це значення дорівнює  $v_{eff} = 2,29 \cdot 10^6$ .

Коефіцієнт охоплення виберемо з урахуванням значення ймовірності, що відповідає в іррегулярності метрологічної справності ЗВ в реальних умовах експлуатації 2P-1 (при  $P = 0,95$ ,  $2P-1 = 2 \cdot 0,95 - 1 = 0,9$ ). Для цього визначимо із таблиці Стюдента 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

$$U_E = k_{2P-1} u_{ce} = 81,19 \text{ об/хв.} \quad (18)$$

Враховуючи оцінені характеристики розширених невизначеностей вимірювань (теоретичної (16) і після дослідної (18) – отриманої після тривалої експлуатації в реальних умовах) виконаємо оцінювання міжповірочного інтервалу (терміну чергової атестації) ЗВ частоти обертання ЕМ.

Першу оцінку міжповірочного інтервалу  $T_1$  ЗВ частоти обертання ЕМ розрахуємо за формулою

$$T_1 = t \ln \left( \frac{U_E}{k_{2P-1} u_{Amax}(\bar{n})} \right) \ln^{-1} \left( \frac{U_i}{k_p u_{Amax}(\bar{n})} \right) = 2,06 \text{ р.} \quad (19)$$

Другу оцінку міжповірочного інтервалу ЗВ  $T_2$  розрахуємо за формулою

$$T_2 = t \frac{U_E - k_{2P-1} u_{Amax}(\bar{n})}{U_i - k_p u_{Amax}(\bar{n})} = 1,83 \text{ р.} \quad (20)$$

Таким чином, міжповірочний інтервал ЗВ частоти обертання ЕМ приймемо рівним мінімальному

значенню між значеннями  $T_1$  і  $T_2$

$$T_{3B} = \min[T_1, T_2] = \min[2,17; 2,07] = 1,83 \text{ р.} = 21,96 \text{ міс.} \quad (21)$$

Значення міжповірного 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 міжповірного інтервалу (періоду чергової атестації) ЗВ частоти обертання ЕМ вибираємо із стандартного ряду, що наведений вище, і для даного ЗВ, відповідно до формули (21) приймаємо рівним  $T_{3B} = 21$  місяцю. Це значення міжповірного інтервалу (періоду чергової атестації) приписується в нормативній документації на ЗВ.

Для зручності сприйняття отриманих характеристик точності вимірювання частоти обертання ЕМ розрахуємо відносну комбіновану і відносну розширену невизначеності за формулами [28, 30]:

$$\tilde{u}_C = \frac{u_{ce}}{\bar{n}} 100\% = \frac{49,51}{3005} 100\% = 1,65\% \quad (22)$$

$$\tilde{U} = \frac{U_E}{\bar{n}} 100\% = \frac{81,19}{3005} 100\% = 2,7\% \quad (23)$$

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

**Висновки.** В статті розглянуто градувальний спосіб метрологічної атестації засобу вимірювання частоти обертання ЕМ, який враховує вимоги міжнародних стандартів з оцінювання характеристик точності вимірювань та забезпечує міжнародну єдність вимірювань. На основі отриманих характеристик невизначеностей вимірювань вперше запропоновано спосіб визначення міжповірного інтервалу (періоду чергової атестації) ЗВ.

#### Список літературних джерел

1. 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.
2. Васілевський О. М. Система вимірювального контролю кутової швидкості п'єзоелектричних електромеханічних перетворювачів / О. М. Васілевський, П. М. Сопрунок, О. А. Войтов // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика - 2006). – Вінниця. – 2006. – С. 156.
3. 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.
4. Васілевський О. М. Елементи теорії підвищення точності вимірювання та синхронізації кутових швидкостей роторів взаємозв'язаних електромоторів : [ монографія ] / О. М. Васілевський, П. І. Кулаков. – Вінниця: ВНТУ. – 2011. – 176 с. – ISBN 978-966-641-420-8.
5. Васілевський О. М. Методика перевірки вимірювальних каналів кутової швидкості / О. М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – № 3 (16). – 2009. – С. 126–129.
6. 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.
7. IEC GUIDE 115-2007 «Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector». – Geneva (Switzerland): IEC. – 2007. – 54 p.
8. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – Switerland: ISO, 1993. – 101 p.
9. Васілевський О. М. Дослідження статичних метрологічних характеристик засобу вимірювання кутової швидкості / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 6. – С. 26–30.
10. Васілевський О. М. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : [ навчальний посібник ] / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 214 с. – ISBN 978-966-641-348-5.
11. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань : [навчальний посібник] / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук. – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 224 с. – ISBN 978-966-2393-86-6 (2-ге видання).
12. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів : [навчальний посібник] / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 160 с. – ISBN 978-966-641-535-9.
13. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – М.: Стандартинформ, 2005.
14. Васілевський О. М. Нормування показників метрологічної надійності / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 4. – С. 9–13.