

## ПРИЛАДИ І МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ РЕЧОВИНИ

УДК 621.317

О. М. ВАСІЛЕВСЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет м. Вінниця

### МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДОВІРЧОГО РІВНЯ ПРИ ОЦІНЮВАННІ РОЗШИРЕНОЇ НЕПЕВНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВІБРОПРИСКОРЕННЯ

**Анотація.** Запропоновано методику визначення довірчого рівня при оцінюванні розширеної непевності вимірювання віброприскорення з урахуванням метрологічних ризиків виробника та споживача, яка дає змогу обґрунтовано встановити інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, що можуть бути приписані вимірюваній величині. Отримано характеристики зміни метрологічних ризиків виробника і споживача в залежності від співвідношення між значеннями СКВ похибки, що має розроблений засіб вимірювання віброприскорення і встановленим споживачем значенням СКВ. На основі отриманих характеристик зміни метрологічних ризиків можна графічним способом встановлювати значення довірчого рівня.

**Ключові слова:** довірчий рівень, ймовірність, розширена непевність, метрологічні ризики.

**Аннотация.** Предложена методика определения доверительного уровня при оценке расширенной неопределенности измерения виброускорения с учетом метрологических рисков производителя и потребителя, которая позволяет обоснованно установить интервал вокруг результата измерения, в пределах которого вероятно расположено большинство распределения значений, которые могут быть приписаны измеряемой величине. Получены характеристики изменения метрологических рисков производителя и потребителя в зависимости от соотношения между значением СКО погрешности, которую имеет разработанное средство измерения виброускорения и установленным потребителем значением СКО. На основе полученных характеристик изменения метрологических рисков можно графическим способом устанавливать значение доверительного уровня.

**Ключевые слова:** доверительный уровень, вероятность, расширенная неопределенность, метрологические риски.

**Abstract.** The technique of determining the confidence level in the evaluation of the expanded uncertainty of measurement of vibration acceleration in view of the risks of metrological producer and consumer, that can reasonably set the interval around the measurement result within which most probably located the distribution of values that can be attributed to the measurand. The characteristics of the changes meteorological risks producers and consumers, depending on the ratio between the value of standard deviation error, which has developed means of measuring of vibration acceleration and established consumer MSE value. Based on the metrological characteristics of the changes risk can be graphically set the value of the confidence level.

**Key words:** confidence level, probability, expanded uncertainty, metrological risks.

#### Вступ

Рекомендація INC-1 (1980) робочої групи з упорядкування звіту щодо непевності, яка на сьогоднішній день є фактично стандартом вираження якості вимірювань у міжнародній практиці та Рекомендація 1 (МК-1981) «Оцінка експериментальних непевностей» і Рекомендація 1 (МК-1986) «Оцінка непевностей у роботах, проведених МКМВ», підтримують використання комбінованої непевності  $u_c(y)$  як параметр для кількісного вираження непевності результату вимірювання.

Хоча комбінована непевність може повсюдно використовуватися для представлення точності результату вимірювання, проте у окремих випадках: у торгівлі, промисловості і регулювальних актах, а також коли справа стосується здоров'я і безпеки, доцільно додатково вказувати інтервальну міру непевності, що визначає інтервал для результату вимірювання. Існування такої вимоги було визнано робочою групою і призвело до появи додаткового п'ятого розділу Рекомендації INC-1 (1980) «Вираження експериментальних непевностей». Додаткова міра непевності, що відповідає інтервальній оцінці результату називається розширеною непевністю. Тому задача обґрунтованого визначення довірчого рівня при оцінюванні розширеної непевності вимірювання на сьогоднішній день є актуальною.

**Метою статті** є розробка методики для обґрунтованого визначення довірчого рівня при оцінюванні розширеної непевності вимірювання віброприскорення на основі метрологічних ризиків виробника (розробника засобу вимірювання) та споживача, яка дасть змогу встановлювати інтервал навколо результату вимірювань віброприскорення, в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, які можуть бути приписані вимірюваній величині.

#### Аналіз стану досліджень та публікацій

Відомі роботи [1-5], в яких описано способи встановлення довірчого рівня при оцінюванні розширеної непевності вимірювання. Однак ці способи базуються на використанні апріорного припущення про значення ймовірності отриманих результатів. Науково обґрунтованої методики визначення довірчого рівня в концепції непевності вимірювань не описано. Тому пропонується методика визначення довірчого рівня на основі метрологічних ризиків виробника та споживача, що дозволяє обґрунтовано встановлювати значення ймовірності результату вимірювання для оцінювання інтервальної міри непевності.

**Викладення основного матеріалу**

Довірчий рівень пропонується встановлювати на основі метрологічних ризиків виробника та споживача за формулою:

$$D = 1 - P_n = 1 - (\alpha + \beta), \tag{1}$$

де  $\alpha$  – метрологічний ризик виробника;  $\beta$  – метрологічний ризик споживача;  $P_n$  – загальне значення метрологічного ризику.

На базі розробленого засобу вимірювання (ЗВ) віброприскорення електродвигунів [6, 7], опишемо процедуру визначення довірчого рівня.

З літературних джерел [6-9] відомо, що загальний закон розподілу похибки вимірювання віброприскорення залежить від багатьох причин, таких як ексцентриситет валу ротора і механізмів, що обертаються, технологічної неточності виготовлення ротору, крутильних коливань ротору, співвідношення моментів на валу електродвигуна (ЕД), серед яких важко виділити домінуючу. Це дозволяє прийняти закон розподілу центрованого значення похибки вимірювання віброприскорення ЕД за нормальний, який опишемо виразом:

$$p(\Delta a) = \frac{1}{\sigma_{\Delta a} \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(\Delta a)^2}{2\sigma_{\Delta a}^2}\right]}, \tag{2}$$

де  $\Delta a$  – центроване значення похибки вимірювання віброприскорення ЕД;  $\sigma_{\Delta a}$  - середньоквадратичне відхилення (СКВ) центрованого значення віброприскорення.

Сумісну двовимірну щільність довірчого рівня при вимірюванні віброприскорення ЕД з урахуванням допустимого відхилення сумарної похибки вимірювання  $\delta_{\Delta a}$ , яка розраховується виробником (розробником) ЗВ, опишемо виразом [10]:

$$\begin{aligned} p(\Delta a, \delta_{\Delta a}) &= p(\Delta a)p(\delta_{\Delta a}) = p(\Delta a)[p(\delta_a)p(\delta_k)p(\delta_n)p(\delta_s)] = \\ &= \frac{1}{\sigma_{\Delta a} \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(\Delta a)^2}{2\sigma_{\Delta a}^2}\right]} [p(\delta_a)p(\delta_k)p(\delta_n)p(\delta_s)]. \end{aligned} \tag{3}$$

Враховуючи вираз (3), метрологічний ризик виробника  $\alpha$  оцінимо за формулою:

$$\alpha = \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\infty}^{-\Delta-\Delta a} p(\Delta a, \delta_{\Delta a}) d\delta_{\Delta a} d\Delta a + \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{\Delta-\Delta a}^{\infty} p(\Delta a, \delta_{\Delta a}) d\delta_{\Delta a} d\Delta a, \tag{4}$$

а метрологічний ризик споживача  $\beta$  оцінимо за формулою:

$$\beta = \int_{-\infty}^{-\Delta} \int_{-\Delta-\Delta a}^{\Delta-\Delta a} p(\Delta a, \delta_{\Delta a}) d\delta_{\Delta a} d\Delta a + \int_{\Delta}^{\infty} \int_{-\Delta-\Delta a}^{\Delta-\Delta a} f(\Delta a, \delta_{\Delta a}) d\delta_{\Delta a} d\Delta a. \tag{5}$$

Контрольні прирости полів допуску  $\Delta$  за нижньою та верхньою межами приймемо рівними нулю ( $\Delta=0$ ), а поле допуску значення вимірюваної величини  $\Delta a$ , в даному випадку це віброприскорення ЕД ( $a$ ), розрахуємо за формулою [10, 11]:

$$\Delta a = \frac{\bar{a}}{100} \delta_{\text{оmax}}, \tag{6}$$

де  $a$  – середньоарифметичне значення віброприскорення ЕД;  $\delta_{\text{оmax}}$  – максимально допустима відносна похибка вимірювання, що встановлюється споживачем (або нормативними документами на вимірюване значення фізичної величини) – для ЗВ віброприскорення ЕД це значення складає 0,4% [11].

Отже, для розрахунку метрологічних ризиків виробника та споживача поле допуску  $\Delta a$  розрахуємо за формулою (6), яке при підставленні відповідних числових значень дорівнює 0,05 м/с<sup>2</sup>.

Підставляючи розраховані поля допусків у формули для оцінювання метрологічних ризиків виробника (4) та споживача (5) та розв'язуючи їх за допомогою математичного пакету Maple, отримуємо такі числові значення:  $\alpha=0.078$ ,  $\beta=0.0028$ . Загальне значення метрологічного ризику складає  $P_n = 0.078+0.0028=0.081$ , а довірчий рівень для розрахунку розширеної непевності вимірювання віброприскорення, відповідно до формули (1) буде дорівнювати  $D=1-P_n=1-0.081=0.92$ . Такі значення метрологічних ризиків виробника та споживача отримані за умови коли СКВ розробленого ЗВ віброприскорення ЕД є більшим за СКВ допустимого відхилення похибки, що встановлені споживачем (або нормативними документами).

Характеристики зміни метрологічних ризиків виробника і споживача в залежності від параметра  $\mu = \sigma_{\Delta a} / \sigma_{\delta_0}$ , що встановлює співвідношення між значенням СКВ  $\sigma_{\Delta a}$ , що встановлено виробником (розробником) ЗВ віброприскорення ЕД [11, 12] та значенням СКВ  $\sigma_{\delta_0}$  допустимої похибки вимірювання віброприскорення, що задано споживачем (або нормативними документами, в яких прописується допустимі відхилення вимірюваних величин) при  $\sigma_{\delta_0} < \sigma_{\Delta a}$ ,  $\sigma_{\Delta a} \approx \sigma_{\delta_0}$  і  $\sigma_{\delta_0} > \sigma_{\Delta a}$  наведені на рис.1.

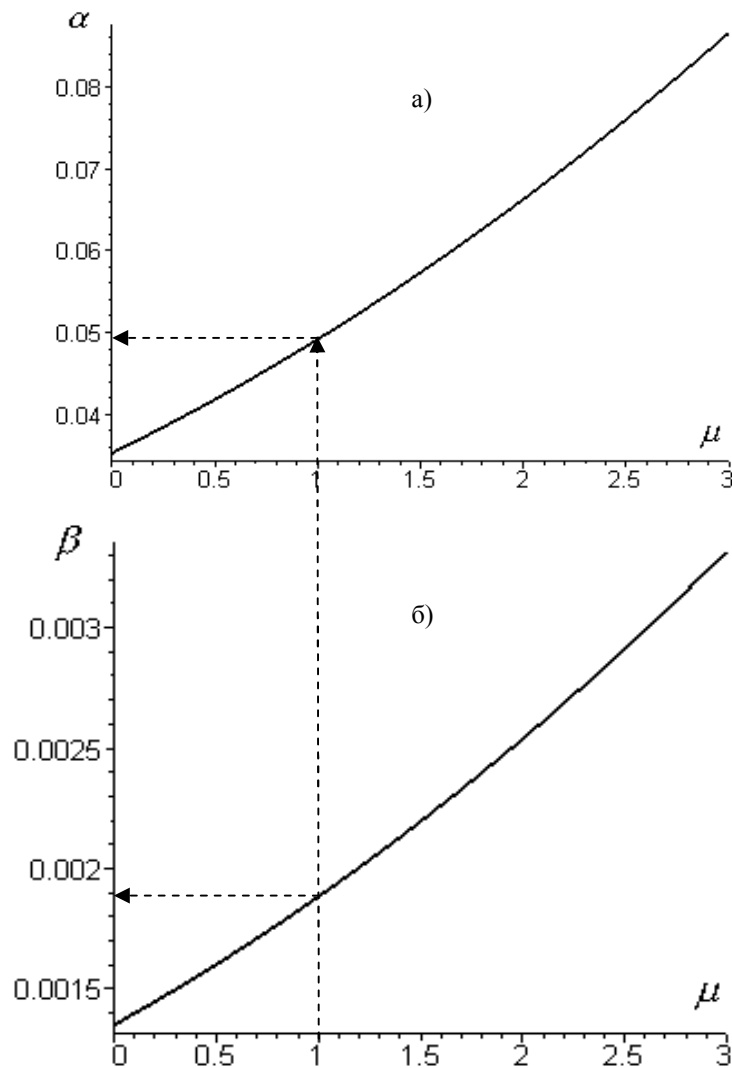


Рисунок 1 – Характеристики зміни метрологічних ризиків: а) – виробника; б) – споживача

Таким чином, на основі відношення значення СКВ, що експериментально встановлено виробником засобу вимірювання до значення СКВ допустимого споживачем відхилення (встановленого нормативними документами допуску) та отриманих характеристик зміни метрологічних ризиків виробника (рис. 1, а) споживача (рис. 1, б) можна обґрунтовано графічним шляхом визначати значення довірчого рівня для оцінювання розширеної непевності вимірювання віброприскорення ЕД. Тобто, наприклад, якщо параметр  $\mu$ , який характеризує відношення СКВ виробника до допустиме СКВ споживача дорівнює 1, то провівши перпендикулярну лінію від встановленого значення параметру  $\mu=1$  до перетину з отриманими характеристиками зміни метрологічних ризиків  $\alpha$  та  $\beta$  (штрихова лінія на рис. 1), можна встановити значення довірчого рівня на основі виразу (1)  $D=1-\alpha-\beta=1-0,049-0,00158=0,95$ . Отже, якщо значення СКВ виробника (розробника ЗВ) відповідає вимогам, які встановлені споживачем (дорівнює значенню СКВ, що задане споживачем), то довірчий рівень буде рівним 0,95 (рис. 1).

З отриманих характеристик зміни метрологічних ризиків виробника  $\alpha$  та споживача  $\beta$  можна зробити висновок, що при збільшенні в 3 рази сумарного значення СКВ розробленого засобу вимірювання віброприскорення ЕД від допустимого споживачем СКВ довірчий рівень, в межах якого ймовірно роз-

ташована більшість розподілу значень віброприскорення буде не гіршим за 90 % ( $D=1-0,088-0,0037=0,9$ ).

### Висновки

В статті запропоновано методику визначення довірчого рівня для оцінювання розширеної непевності вимірювання віброприскорення електродвигунів на основі отриманих характеристик зміни метрологічних ризиків виробника та споживача. Така методика дає змогу визначити графічним способом довірчий рівень в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, що отримуються при використанні розробленого засобу вимірювання віброприскорення електродвигунів.

Побудовано характеристики зміни метрологічних ризиків виробника та споживача в залежності від співвідношення між значенням СКВ розробленого ЗВ та значенням допустимого СКВ споживача.

### Список літератури

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, Є. 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. 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.
6. Васілевський О.М. Система вимірювального контролю параметрів взаємозв'язаних роторних машин : [монографія] / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. - Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2007. – 156 с. – ISBN 978-966-641-213-6.
7. Поджаренко В.О. Аналіз похибок вимірювального каналу вібрації / В.О. Поджаренко, О.М. Васілевський, Л.І. Івахова // Вісник Хмельницького національного університету. – Ч.1, Т.1. – 2005. – № 4. - С. 118 – 122.
8. Поджаренко В.О. Оцінка статичних метрологічних характеристик вимірювальних каналів вібрації / В.О. Поджаренко, О.М. Васілевський, В.М. Севастьянов // Український метрологічний журнал. – 2005. - № 2. - С. 60-65.
9. Васілевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів : [навчальний посібник] / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013.–160с. – ISBN 978-966-641-535-9.
10. Васілевський О.М. Оцінювання вірогідності контролю несинхронності обертання силових електромеханічних перетворювачів / О.М. Васілевський, Ю.А. Чабанюк, Л.І. Івахова // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2006. - № 66. - С. 138-141.
11. Васілевський О.М. Інформаційно-вимірювальна система оцінювання віброметричних параметрів роторних систем / О.М. Васілевський, В.Ю. Кучерук, О.Г. Ігнатенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: „Обчислювальна техніка та автоматизація”. – 2006. - №107. - С. 154 – 158.
12. Сопрунок П.М. Неопределенность результатов измерений при контроле асинхронности вращения электромеханических преобразователей / П.М. Сопрунок, А.Н. Василевский, Ю.А. Чабанюк // Системи обробки інформації. – 2006. – №7 (56). – С. 72 – 75.

### Відомості про авторів

**Васілевський Олександр Миколайович**, д.т.н., доцент, професор кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, завідувач відділу інформаційно-технічного забезпечення та захисту інформації Міністерства освіти і науки України.

### ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу <http://itce.vntu.edu.ua/index.php/itce/about/submissions#onlineSubmissions>