

НОВИЙ ПІДХІД ДО ВСТАНОВЛЕННЯ НОРМАТИВНОГО ЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТА ВИПРОБУВАНЬ

А. Коробко, О. Костовський, К. Суржко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна,

Анотація

В статті розроблено метод встановлення нормативних (номінальних) значень характеристик властивостей об'єкта при розробці нових методів випробувань базується на використанні похибок і невизначеності вимірювання. Введено поняття метрологічного допуску, суть якого інтервал в межах якого вважається, що показник відповідає певному рівню. Окремого дослідження потребують питання обґрунтування взаємозв'язку точності і невизначеності вимірювання та фактичних числових значень результатів вимірювання та обґрунтування показників валідації методу

Ключові слова: нормування показника, метод випробування, метрологічний допуск, невизначеність вимірювання, стандартизація, оціна відповідності, попередня серія вимірювань, основна серія вимірювань, допустиме значення, допустимий інтервал.

1. Вступ

Однією з основних (першочергових) задач в умовах технічного регулювання є розробка нових (сучасних) методів випробувань. Ця умова витікає із умов науково-технічного прогресу та сучасного розвитку техніки і засобів контролю її технічного стану. Існуючі методи випробувань є надійними. Проте, в деяких випадках, застосовувані засоби вимірювальної техніки, випробувальне устаткування і сама методика випробувань не відповідають об'єкту випробувань. Тому особливу увагу необхідно приділяти розробці нових методів і методик випробувань. Науково-технічний прогрес зумовлює появу нових показників, що характеризують якість продукції. Зокрема, [1], [2] та інші. А це в свою чергу вимагає розробки нових методів випробувань і проектування відповідного випробувального устаткування. В тому числі, актуальним є питання нормування визначуваних показників, тобто встановлення їхніх номінальних значень, а також метрологічного допуску на ці значення та допуску за величиною якого випробувальні лабораторії зможуть приймати рішення про відповідність продукції вимогам [3].

В статті запропоновано метод встановлення нормативних (номінальних) значень показників об'єкту випробувань при розробці нових методів випробувань, з урахуванням метрологічного допуску на похибку і невизначеність вимірювання.

2. Аналіз останніх публікацій

При розробці нових методів випробувань і, відповідно, розробці нових показників ефективності, за якими буде оцінюватись фактичний стан об'єктів випробувань, постає питання встановлення інтервалу значень в якому значення показника, що контролюється буде відповідати певному рівню [4].

Ця задача стає актуальною, оскільки усі вимірювання супроводжуються певними похибками і невизначеністю.

З введенням в дію Технічного регламенту [5] та імплементацією Україною Регламенту Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 167/2013 [6] постає питання розробки нових методів випробувань машин, а також розробки прискорених методів випробування (діагностування) які дозволять без втручання у конструкцію машини дати попередній висновок про технічний стан її вузлів і надати рекомендації про направлення машини на подальше конкретне обстеження. Іншим аспектом цього питання є те, що методи випробувань мають «іти в ногу з часом» щодо розвитку самої техніки [7]. Крім цього, в галузі випробувань набувають популярності так звані «фокус-тести». Це випробування з визначення конкретного показника (погодженого із замовником), з метою висвітлення споживчих якостей машини або її безпечності. Актуальність цього напрямку розвитку випробувань підтверджується і Тематичним планом науково-випробувальних робіт Українського науково-дослідного інституту прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого «Наукові засади повоєнного відновлення та євроінтеграції агропромислового комплексу України» на 2023-2025 роки, затвердженим Міністерством аграрної політики України. Слід зауважити, що фокус-тести, здебільшого, проводяться за незастандартизованими методами і методиками.

На сьогоднішній день перспективним напрямком розвитку випробувань машин є метод парціальних прискорень [8]. Цей метод відносно простий у використанні і базується на принципах кінемодинаміки. Крім цього реалізація методу парціальних прискорень проводиться із використанням сучасних засобів вимірювальної техніки на основі MEMS-технологій [9, 10].

У відомій літературі приділяється увага питанню оцінювання відповідності теоретичної моделі вимірювань експериментальній, що застосовується при розробці нових методів випробувань [11, 12] та питанню розробки альтернативних показників оцінювання співпадіння результатів випробувань [13] на основі невизначеності вимірювання [14]. В роботах [15], [16] зроблено акцент на тому, що невизначеність вимірювання є ефективним інструментом для розробки правил прийняття рішень як у лабораторній діяльності, так і під час дослідження якості виробничих технологічних процесів. Тому невизначеність вимірювання може бути ефективним інструментом і під час встановлення нормативного значення характеристик властивостей об'єкта випробувань.

Метою дослідження є розробка методу встановлення нормативних значень характеристик властивостей об'єкта випробувань і метрологічного допуску на їх величину з урахування похибки і невизначеності вимірювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити алгоритм нормування показника і встановлення метрологічного допуску на його величину з урахуванням похибки і невизначеності вимірювання.

3. Алгоритм встановлення нормативного значення показника і метрологічного допуску

Експлуатація мобільних машин в різних галузях супроводжується високими затратами на підтримання їх працездатного стану протягом усього терміну служби. Для підвищення ефективності використання мобільних машин розроблені методи і засоби випробувань, які застосовують як при технічному обслуговуванні і після ремонту, так і в якості самостійного технологічного процесу при підтвердженні відповідності.

Важливим етапом розробки системи підтвердження відповідності шляхом випробувань є обґрунтування і визначення нормативних значень показників технічного стану машини в цілому і її окремих елементів, що забезпечують «постановку діагнозу» технічного стану. До нормативних значень відносять номінальні, граничні і допустимі значення [17]. Номінальні значення відповідають новим, технічно-справним машинам, агрегатам, вузлам, елементам. Граничне значення параметра відповідає такому стану, коли подальша експлуатація стає технічно неможливою або економічно недоцільною. Допустимі значення являють собою граничне значення, за якого забезпечується заданий або економічно оптимальний рівень ймовірності відмови за міжконтрольного напрацювання. Номінальні і граничні значення структурних параметрів

елементів машин встановлюються виробниками в галузевій нормативній документації.

Кожне вимірювання супроводжується певною похибкою і невизначеністю. Причини їх виникнення достатньо добре описані у відомій літературі. Невизначеність вимірювання – це параметр вимірювання, що характеризує інтервал значень показника, що вимірюється, які обґрунтовано можуть, з певною ймовірністю, бути приписані величині, що вимірюється [14] (рис. 1).

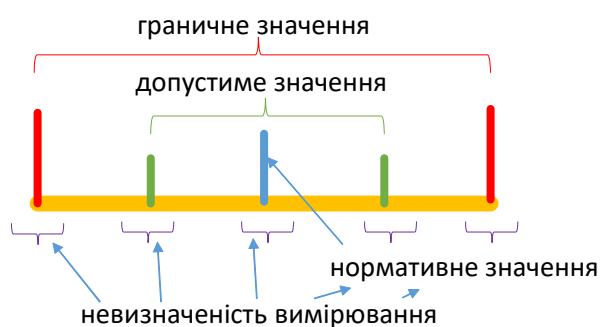


Рис. 1. Невизначеність вимірювання і значення показника, що контролюється

Під час встановлення нормативного значення характеристик властивостей об'єкта випробувань, необхідно жадати, щоб невизначеність була якнайменшою. Проте, в силу дію випадкових об'єктивних і суб'єктивних причин, невизначеність завжди залишається. Суб'єктивною основною причиною невизначеності (розкиду вимірених значень від досліду до досліду), при проведенні випробувань є «випробувач». Тобто людина, що здійснює випробування зі своїми індивідуальними фізіологічними можливостями й досвідом під час приведення в дію органів керування машини. Менш впливовим фактором на невизначеність під час динамічних випробувань мобільних машин є дорога або фон на яких проводяться випробування та стан коліс машини. Обґрунтувати вимоги до дороги і коліс можливо, проте не завжди можливо забезпечити повну відтворюваність цих вимог.

Введемо поняття – метрологічний допуск – це інтервал в межах якого вважається, що показник відповідає певному рівню.

Алгоритм встановлення нормативного значення показника і метрологічного допуску його визначення наступний:

- обґрунтування методу й методики його реалізації;

- попередня серія вимірювань: експериментальне встановлення попередніх даних щодо характеристик точності методу (оцінка результату вимірювання, невизначеність вимірювання, похибка, середньоквадратичне відхилення результату вимірювання і його похибка, коефіцієнт варіації) шляхом здійснення серії випробувань за розробленою методикою, аналітичне визначення необхідного числа вимірювань для

встановлення нормативного значення із заданою невизначеністю;

– основна серія вимірювань: експериментально-аналітичне визначення нормативного значення показника, визначення метрологічного допуску показника, що контролюється;

– коригування (за необхідності) вимог до методу випробувань в частині похибки (невизначеності) засобу вимірювальної техніки. Що використовується при випробуваннях.

4. Обґрунтування методу й методики його реалізації

Обґрунтування методу випробувань й методики його здійснення проводиться шляхом наукових досліджень та аналізування закономірностей зміни технічного стану за досліджуванним параметром. На цьому етапі встановлюється рівняння вимірювання, залежність зміни вихідної величини від зміни вхідної. Проводяться аналітичні розрахунки з використанням теорії чутливості. На основі цих розрахунків встановлюються орієнтовні значення довірчого інтервалу й невизначеності вимірювання.

5. Попередня серія вимірювань

Попередня серія вимірювань здійснюється з метою встановлення попередніх даних про метод, його чутливість до випадкових впливаючих факторів. Дані про характеристики точності методу визначаються шляхом проведення серії випробувань за розробленою методикою. Випробування проводяться на технічно-справному (новому) об'єкті, що підтверджено результатами випробувань іншими (стандартизованими) методами (з використанням відомих показників). На цьому етапі нормування, в наявності у випробувача є лише дані щодо похибки засобу вимірювальної техніки, яким проводиться вимірювання, або про невизначеність його калібрування.

Попередня серія вимірювання складається з одного або декількох етапів. На кожному етапі отримується певна група даних. Кількість вимірювань на першому етапі залежить від кількості перемінних факторів, що призводять до випадкової похибки вимірювання, які можна врахувати. Орієнтовно на першому етапі проводиться 10-20 вимірювань. Результати вимірювання перевіряються на наявність викидів. Критерієм придатності попередньої серії є виконання умови, за якої похибка середньоарифметичного значення показника повинна бути меншою систематичної похибки вимірювання Δ_c :

$$\Delta \bar{x}_{i1} < \Delta_c, \quad (1)$$

де

$$\Delta \bar{x}_{i1} = \pm t \frac{\sigma_{i1}}{\sqrt{n_{i1}}}, \quad (2)$$

t – коефіцієнт Стюдента, що залежить від числа вимірювань за довірчої ймовірності $P=0,95$; σ_{i1} , n_{i1} – середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань і число вимірювань в попередній серії на першому етапі, відповідно.

Умова (1) буде виконана, якщо $\Delta \bar{x}_{i1} = 1/3 \Delta_c$. У разі невиконання умови (1), необхідно здійснити ще один етап вимірювань в кількості $n_{i2}=10...20$. Провести розрахунки за (1) і (2) з урахуванням вимірювань першої групи. Такий критерій є допустимим, оскільки в результаті вимірювання контрольованого параметра об'єкта випробувань переважає випадкова похибка.

На наступному етапі проводяться розрахунки коефіцієнту варіації v_n та розширеної невизначеності U_n . Коефіцієнт варіації використовується в якості додаткової перевірки. Його значення не повинно перевищувати 15 %. У разі перевищення коефіцієнтом варіації допустимого значення, проводять нові вимірювання попередньої серії випробувань.

У разі виконання умови (1) та відповідності коефіцієнту варіації v_n , робиться висновок про те, що запропонований метод випробувань є дієвим і дає надійні результати.

6. Основна серія вимірювань

Нормативне значення показника, розраховане за попередньою серією вимірювань, з однаковою ймовірністю може знаходитись в інтервалі $\pm U_n$. За номінального значення нормованого показника, формулювання висновку щодо рівня об'єкту випробувань не викликає ніяких труднощів. Проте, із наближенням його значення до допустимого або граничного значення, виникають певні труднощі із формулюванням висновку. Для звуження інтервалу, в якому може знаходитись нормативне значення показника необхідно провести основну серію вимірювань.

Кількість вимірювань n_o в основній серії визначається виходячи із значень середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту варіації за довірчої ймовірності $P=0,99$ (таке посилення вимог до точності дає змогу звужити інтервал у якому буде знаходитись нормативне значення показника).

Визначимо із (2) необхідну кількість вимірювань основної серії

$$n_i = \frac{t^2 \sigma_i^2}{\Delta \bar{x}_i^2}, \quad (3)$$

де σ_n , $\Delta \bar{x}_i$ – середньоквадратичне відхилення і похибка визначення середнього значення показника у попередній серії вимірювань, відповідно.

Провівши основну серію вимірювань в кількості n_o , результати перевіряються на наявність викидів. Потім розраховується розширена невизначеність вимірювання основної серії U_o .

Метрологічний допуск на контрольований параметр доцільно встановити в межах $\pm 2U_0$, але не більше ніж $\pm U_{\text{п}}$. Це забезпечить врахування невизначеності від факторів, що змінюються від досліду до досліду. За реалізації нового методу, невизначеність вимірювання не повинна перевищувати U_0 .

7. Коригування вимог до методу випробувань

Коригування вимог до методу випробувань проводиться за необхідності. Наприклад, якщо в результаті вимірювання показника даним засобом вимірювальної техніки не може бути отримане значення невизначеності U_0 , то необхідно обґрунтувати вибір нового засобу вимірювальної техніки з меншим значенням систематичної похибки, що в свою чергу зменшить невизначеність

вимірювання типу В і, як наслідок, зменшить значення розширеної невизначеності.

За результатами нормування складається звіт.

8. Висновки

Розроблений метод встановлення нормативних (номінальних) значень характеристик властивостей об'єкта при розробці нових методів випробувань базується на використанні похибок і невизначеності вимірювання. Введено поняття метрологічного допуску, суть якого інтервал в межах якого вважається, що показник відповідає певному рівню. Окремого дослідження потребують питання обґрунтування взаємозв'язку точності і невизначеності вимірювання та фактичних числових значень результатів вимірювання та обґрунтування показників валідації методу.

Література

1. Коробко А., Назарько О., Радченко Ю. Удосконалення методів діагностування рульового керування шарнірно-зчленованих машин. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. 2015. 19 (33). 136-141.
2. Лебедев С., Коробко А., Балабай Т., Назарько О., Радченко Ю. Розроблення експрес-методу випробувань гальмівних систем мобільних сільськогосподарських машин. Техніка і технології АПК. Науково-виробничий журнал. 2016. 7 (82) липень. 30-34.
3. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). [Чинний від 2021-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ» – VI, 24 с. (Національний стандарт України).
4. Лебедев С., Коробко А. Оцінювання придатності методів випробувань мобільних машин. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. 2015. 19 (33). 127-135.
5. Постанова КМУ Про затвердження Технічного регламенту щодо складових частин і характеристик сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів від 28.12.2011 № 1368.
6. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 167/2013 від 5 лютого 2013 р. про затвердження сільськогосподарських і лісогосподарських транспортних засобів та ринкового нагляду щодо них.
7. Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Коробко А. І. Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів / Під ред. А. Т. Лебедева. Х. : Вид-во «Міськдрук», 2018. 394 с.
8. Метод парціальних прискорень та його застосування в динаміці мобільних машин / [М.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подрігалю, О.С. Полянський та інші]. Х. : «Міськдрук», 2012. 220 с.
9. Status of the MEMS industry 2007 Edition. Sample of the analysis. 2007, Yole Développement SARL.
10. Going beyond silicon MEMS with EFAB technology. White paper. 2004. Microfabrica. Inc.
11. Korobko A. Measurement Uncertainty as a Test Model Assessment Tool. Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL*2019 : 2019 IEEE 8th International Conference with XVI Scientific Workshop "Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects" UM*2019 : Conference Proceedings. Sozopol, Bulgaria 06-08 September 2019. P. 707–710. DOI: 10.1109/CAOL46282.2019.9019418.
12. Podrigalo M., Verbitskiy V., Korobko A., Baidala V. Researches Obtained by Different Methods and their Assessment of Adequacy (in order of discussion). Perspective Technologies and Devices. 2019. 15. 63–67.
13. Korobko A., Kotova Yu. An alternative method for assessing the agreement between test results. Український метрологічний журнал (Ukrainian Metrological Journal). 2024. № 1. 4–10. DOI: 10.24027/2306-7039.1.2024.300868 .
14. Захаров І. П. Порівняльний аналіз характеристик точності вимірювань. Український метрологічний журнал. 2022. 4. 49-55.
15. Volodarsky E.T., Kosheva L.O., Klevtsova M.O. Approaches to the Evaluation of Conformity Taking into Account the Uncertainty of the Value of the Monitored Parameter. Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL*2019 : 2019 IEEE 8th International Conference with XVI Scientific Workshop "Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects" UM 2019: Conference Proceedings. Sozopol, Bulgaria 06-08 September 2019. P. 648–652. doi: 978-1-7281-1814-7/19/31.00.
16. Volodarsky E., Kosheva L., Klevtsova M. Formation of the rule decision-making about suitability products on the basis of the adaptive algorithm. 28th International Scientific Symposium Metrology And Metrology Assurance. 2018. 331–335.
17. Alvarez I., Huet S. Automatic diagnosis of engine of agricultural tractors: The BED experiment. Biosystems Engineering. 100. 3. 2008. 362-369 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.04.003.

Надійшла (Received) 15.10.2024

Прийнята до друку (accepted for publication) 27.10.2024

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ/ABOUT THE AUTHORS

Коробко Андрій – доктор технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: korobkoani@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>;

Korobko Andrii – Doctor of Eng. Science, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology and Machine Repair, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: korobkoani@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>.

Костовський Олександр, магістрант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: kostovski@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5240-2231>;

Kostovski Oleksandr, master's student, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: kostovski@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5240-2231>.

Суржко Карина, студентка, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: surzko.karina,2069@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2095-642X>;

Surzhko Karina, student, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: surzko.karina,2069@gmail.com, , ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2095-642X>.

A New Approach to Establishing Normative Values for the Properties of a Test Object

Korobko A.I, Kostovski O.A., Surzhko K.A.

Abstract

The article develops a method for establishing normative (nominal) values of characteristics of object properties when developing new testing methods, based on the use of errors and measurement uncertainty. The concept of metrological tolerance is introduced, the essence of which is the interval within which it is considered that the indicator corresponds to a certain level. A separate study is necessary in the issue of substantiating the relationship between the accuracy and uncertainty of measurement and the actual numerical values of the measurement results and substantiating the validation indicators of the method.

Key words: standardization of the indicator, testing method, metrological tolerance, non-significance of vibrating, standardization, assessment of applicability, advanced series of vibrating, main series of vibrating, permissible values, permissible interval.