

*Єременко Володимир Станіславович
Еременко Владимир Станиславович
Yeremenko Vladimir*

*Мокийчук Валентин Михайлович
Мокийчук Валентин Михайлович
Mokiychuk Valentin*

*Редько Олександр Олександрович
Редько Александр Александрович
Redko Oleksandr*

МЕТОД ВСТАНОВЛЕННЯ МІЖКАЛІБРУВАЛЬНИХ ІНТЕРВАЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ
ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖКАЛИБРОВОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

METHOD FOR THE DETERMINATION OF CALIBRATION
INTERVALS OF MEASURING INSTRUMENTS OF THE TESTING LABORATORY

Анотація

На даний час існує велика кількість керівних документів, які допоможуть випробувальній лабораторії визначити міжкалібрувальний інтервал для кожного засобу вимірювальної техніки. Авторами пропонується метод встановлення міжкалібрувальних інтервалів, який полягає у використанні даних калібрувань та проміжних перевірянь вимірювального устаткування. Розроблено програмний продукт, який реалізує запропонований метод, буде корисний у застосуванні випробувальними лабораторіями різних сфер діяльності.

Аннотация

В настоящее время существует большое количество руководящих документов, которые помогут испытательной лаборатории определить межкалибровочный интервал для каждого средства измерительной техники. Авторами предлагается метод установления межкалибровочных интервалов, который заключается в использовании данных калибровок и промежуточных проверок измерительного оборудования. Разработано программный продукт, реализующий предложенный метод, будет полезен в применении испытательными лабораториями различных сфер деятельности.

Abstract

There are currently a large number of guidance documents that will help the testing laboratory determine the calibration interval for each measuring instrument. In the article the analysis of existing normative documents and scientific-methodical publications concerning the establishment of the calibration interval is carried out. The results of the analysis substantiate the necessity of developing a method for determining the calibration interval for measuring instruments of a test laboratory. The proposed regression model of drift of informative parameters of metrological characteristics of measuring instruments, which allowed to consider several variants of the definition of calibration interval. Software developed in the MS Office Excel package that allows to determine the calibration interval, taking into account calibration data and intermediate checks of measuring equipment, and to prevent inconsistencies associated with false measurements. The algorithm of the method of installation and correction of the of the calibration interval for measuring instruments, which may be useful in the application and creation of the corresponding standard operating procedure by accredited testing laboratories, is proposed. A

software product that implements the proposed method is developed, will be useful in the application of testing laboratories in various fields of activity.

Ключові слова: міжкалібрувальний інтервал, засіб вимірювань, акредитовані лабораторії, проміжні перевіряння, метрологічне забезпечення, ISO/IEC 17025

Ключевые слова: межкалибровочный интервал, средство измерений, аккредитованные лаборатории, промежуточные проверки, метрологическое обеспечение, ИСО/МЭК 17025

Keywords: calibration interval, measuring instrument, accredited laboratories, intermediate checks, metrological support, ISO/IEC 17025

Вступ.

Відповідно до політики ІЛАС з простежуваності результатів вимірювань Р10 розд. 3 [1], ступінь обов'язковості калібрування, що регламентується у п.5.6.2.1 ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [2], залежить від внеску невизначеності калібрування у загальну невизначеність випробування. Якщо калібрування є домінуючим фактором, то вимірювальне устаткування необхідно калібрувати з метою оцінки цього впливу. Акредитовані випробувальні лабораторії (ВЛ) згідно з вимогами п.5.5.5 f стандарту [2] реєструють дані про устаткування до яких відноситься планова дата чергового калібрування. У п.5.10.4.4 цього стандарту зазначається, що калібрувальні лабораторії не повинні зазначати у свідоцтва про калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) рекомендацій про періодичність проведення їх калібрувань, за винятком тих випадків, коли це узгоджено із замовником. Тому ВЛ повинні самі встановлювати міжкалібрувальні інтервали (МКІ) ЗВТ. У додатку А проекту ISO/IEC FDIS 17025 зазначається, що лабораторія може підтримувати простежуваність шляхом запровадження ефективної програми калібрувань. Програма калібрувань повинна містити встановлені інтервали калібрування, а також участь у відповідних міжлабораторних звіреннях, керування процесом і проміжні перевіряння.

У п.7.1.5.2 ДСТУ ISO 9001:2015 [3] зазначається, що якщо організація вважає простежуваність вимірювань суттєвим елементом гарантування впевненості у достовірності результатів вимірювань, то вимірювальне устаткування потрібно калібрувати та/чи перевіряти з установленною періодичністю або перед використанням, із застосуванням еталонів з наявними доказами простежуваності останніх.

Згідно п. 7.1.2. ДСТУ ISO 10012:2005 [4], методи, що використовуються для визначення чи змінювання періодичності метрологічного підтвердження, потрібно описати в задокументованих методиках. Періодичність потрібно аналізувати.

Метою коригування МКІ є забезпечення знаходження метрологічних характеристик (МХ) ЗВТ, які належать ВЛ, в межах допустимих значень протягом встановленого періоду часу.

Мета статті і постановка досліджень

Метою статті є розробка методу встановлення та корегування МКІ ЗВТ на основі використання інформації з протоколів свідоцтв калібрування або повірки, проміжних перевірянь отриманих на одному рівні вимірюваної величини.

Постановка завдань досліджень:

- аналіз існуючих нормативних документів та науково-методичних публікацій щодо встановлення МКІ;
- побудова регресійних моделей з метою прогнозування дрейфу МХ в часі;
- порівняння способів оцінювання значень МКІ за результатами регресійного аналізу;
- використання підходу вимірювання з попереднім градуванням у завданні прогнозування МКІ;
- обґрунтування критеріїв прийняття рішень про корегування МКІ;
- розробка алгоритму встановлення та корегування МКІ ЗВТ;
- створення програмного продукту в пакеті MS Office Excel, який реалізує запропонований алгоритм.

Основний текст статті.

До введення в дію ДСТУ ІЛАС-G24/OIML D10:2013 (01.07.2014р.) [5] єдиним документом, який встановлював МКІ, був ДСТУ-Н РМГ 74:2009 [6], використання якого можливе лише за умов наявної інформації, зокрема про:

- результати випробувань ЗВТ або його окремих блоків;
- нестабільність елементів ЗВТ, що визначають стан метрологічної придатності ЗВТ;
- показники надійності ЗВТ, нормовані або підтверджені випробуваннями;
- МКІ аналогів ЗВТ, підтверджені досвідом їх експлуатації;
- індивідуальну метрологічну надійність ЗВТ;
- ймовірність та середній час напрацювання до відмови ЗВТ або до першої відмови ЗВТ, про границі допустимої похибки в реальних умовах експлуатації, допускаючи випадковий процес дрейфу похибки лінійним та закон розподілу похибки ЗВТ нормальним;
- результати вимірювання в протоколах проведення повірки для подальшого оцінювання систематичної та випадкової складової похибки результатів вимірювання, у разі наявності в лабораторії груп однотипних ЗВТ.

Найбільш бажаними вихідними даними є результати випробування партії ЗВТ або їх комплектуючих елементів для оцінки їх нестабільності. В цій Настанові представлена методика оцінки первинного МКІ при наявності інформації в технічній документації на ЗВТ про його ймовірність безвідмовної роботи і частки метрологічних відмов в загальному потоці відмов ЗВТ. Також в нормативному документі наведено методи корегування МКІ груп однотипних ЗВТ на етапі експлуатації за результатами повірок.

Згідно з ДСТУ ІЛАС-G24/OIML D10:2013 кожна конкретна лабораторія повинна прийняти рішення щодо вибору та застосування будь-якого методу, описаного в цьому стандарті, враховуючи її конкретні потреби та оцінки ризиків, або не використовувати жодного. Для розрахунку характеристик похибки ЗВТ рекомендується використовувати один з методів, в залежності від завдань вимірювань, економічної доцільності та доступної вихідної інформації. Пропонується використання п'ятиох методів та їх комбінацій: автоматичне регулювання, контрольна діаграма, час експлуатування, перевіряння під час експлуатування, інші статистичні підходи. У стандарті не прописано конкретної методики або алгоритму розрахунку чи правила застосування критеріїв прийняття рішень щодо корегування або визначення МКІ ЗВТ.

У рекомендації [7], окрім викладення методів з [5], наводяться приклади вибору первинних МКІ з рекомендацій МЕК, NIST GMP 11 та пропонуються три підходи встановлення МКІ, які базуються на:

- результатах контролю точності ЗВТ лабораторії та результатах повірки або попереднього калібрування;
- аналізі інтенсивності та умов застосування;
- рекомендаціях виробника.

Автори рекомендацій пропонують для корегування МКІ використовувати дані калібрувань, і зазначають, що вартість калібрування відіграє важливу роль при визначенні інтервалів калібрування і, як правило, її потрібно враховувати. Збільшені невизначеності вимірювань, або більш високі ризики щодо якості надання послуг з вимірювань виникають внаслідок збільшення інтервалів калібрування, хоча вони безумовно і пом'якшують високу вартість калібрування. Але конкретних пропозицій щодо кількісного визначення МКІ на основі отриманої інформації про ЗВТ, не наведено. Також не вказано, як досягається впевненість ВЛ у достовірності результатів вимірювань при збільшенні МКІ. Якщо, наприклад, за результатом п'яти калібрувань з МКІ 1 рік, було визначено, що МХ не виходять за допустимі границі, і користувачем встановлено МКІ 3 роки, то, протягом корегованого МКІ, існують ризики не успішної участі у міжлабораторних порівняннях ВЛ та отримання не достовірних результатів випробувань.

Запропонований у статті [8] метод розрахунку МКІ, що заснований на рекомендаціях розділу А.5 [6], не можна назвати універсальним, оскільки у користувача ЗВТ, як правило, відсутня інформація про наступні характеристики: середню частку метрологічних відмов, ймовірність безвідмовної роботи за час напрацювання та середньоквадратичного відхилення (СКВ) розподілу похибок градування ЗВТ під час випуску з виробництва.

У статті [9] пропонується використовувати підхід оцінювання значень відхилення від номінального у кожній точці калібрування. Вихідні дані отримують зі свідочств про калібрування ЗВТ. Критерієм корегування МКІ слугує співставлення значення суми отриманого зміщення за останнього калібрування та СКВ повторних калібрувань, з максимально допустимою похибкою ЗВТ. Цей підхід також не можна назвати універсальним, оскільки в період МКІ існують ризики невідповідної роботи ЗВТ, що призводить до використання недостовірних результатів вимірювань, і, в результаті, необхідності відзивання наданих замовникам результатів випробувань (калібрувань) за весь час від останнього метрологічного підтвердження, що впливає на імідж лабораторії. В статті не обґрунтовано обрана періодичність збільшення/зменшення МКІ – 3 місяці, і не враховано, що похибка оцінки СКВ за трьома результатами калібрування складатиме близько 40%.

У джерелі [10] зазначається, що зазвичай прилади та інші засоби вимірювань вважаються справними та допускаються до роботи, якщо при перевірці їх фактична похибка не виходить за межі допустимого значення (границі похибки). Але правильність прийняття такого рішення в більшості залежить від коректності оцінки фактичної похибки. В інструкціях з повірки ряду ЗВТ вказані такі варіанти її розрахунку: по одноразовим вимірюванням, по середній величині 3...5 вимірювань, по максимальній величині з трьох вимірювань та ін. Загальним недоліком цих способів є те, що враховується лише факт перевищення або не перевищення граници похибки. Тому ЗВТ може визнаватися справним навіть у випадку співпадіння фактичної похибки з її границею або близькістю з нею, хоча цей стан може бути порушено одразу після проведення повірки, що призводить до негативних наслідків.

Процес встановлення МКІ за своєю суттю схожий на один з етапів повірки ЗВТ, оскільки в першому випадку необхідно спрогнозувати через який час фактична похибка перевищить встановлену користувачем границю, а в другому – необхідно визначити перевищує фактична похибка встановлену у методиці повірки границю. В обох випадках приймають рішення про придатність до подальшого застосування ЗВТ протягом МКІ або міжповірочного інтервалу (МПІ).

Авторами пропонується використовувати комбінований метод, який об'єднує в собі метод контрольної діаграми (за календарем) та метод тестування «чорний ящик». З методу автоматичного регулювання [5] та зауважень викладених у [10], було запозичено підхід до контролювання відхилення обраної МХ в границях 80% від інтервалу допустимої похибки.

Вихідними даними слугують дані калібрувань та проміжних перевірянь для одного рівня вимірюваної величини (точки калібрування), а саме покази ЗВТ або відхилення показів ЗВТ від дійсного значення. Така вимірювальна інформація наявна у акредитованій ВЛ, оскільки у відповідності до п.5.6.1 [2] усе устаткування, що має істотний вплив на точність результатів випробувань повинно бути відкаліброване (ВЛ зобов'язана обґрунтувати необхідність калібрування) та згідно п.5.6.3.3 проводяться проміжні перевіряння, які необхідні для підтримування довіри до статусу калібрування.

Стабільність в часі цих характеристик визначається аналізуванням їх дрейфу та прогнозуванням ймовірного часу виходу значень за допустимі границі із застосуванням регресійного аналізу. Коефіцієнти побудованої лінійної регресійної моделі визначались за методом найменших квадратів. Залежною змінною регресійної моделі (y) можуть бути оцінки систематичної похибки (правильності, *accuracy*) або випадкової похибки (повторюваності, *random error*), а незалежною (x) – час. Для достовірного оцінювання дрейфу зумовленого випадковими факторами, під час проведення проміжних перевірянь необхідно в кожній обраній точці діапазону провести не менше 5 (п'яти) вимірювань [11].

Для проведення проміжних перевірянь, з періодичністю встановленою лабораторією, використовують внутрішні еталони або стандартні зразки (СЗ). У випадку неможливості придбання чи застосування високостабільних СЗ чи еталонів, до розгляду беруться дані лише зовнішніх калібрувань.

У даній статті, у якості прикладу прогнозування МКІ, використовуються дані зважування на вагах еталонної гирі з дійсним значенням маси 200 г. На рис. 1, а) трикутниками зображено значення вимірювань за результатами калібрувань та проміжних перевірянь. Пунктиром зображено побудовану лінійну регресію між ПІ МХ (y) та часом (x), точковими лініями – розрахований довірчий інтервал. Суцільною лінією зображено нижню границю (196 г), яка

становить 80% від допустимої похибки, що встановлена користувачем (200 ± 5 г) (див. рис. 5). Коефіцієнт лінійної регресії k в даному випадку є статистично значущим. На рис. 1 б) зображений випадок, коли МХ стабільні в часі, відповідно коефіцієнт k не є статистично значущим, і прогнозоване значення МКІ ЗВТ значно завищене.

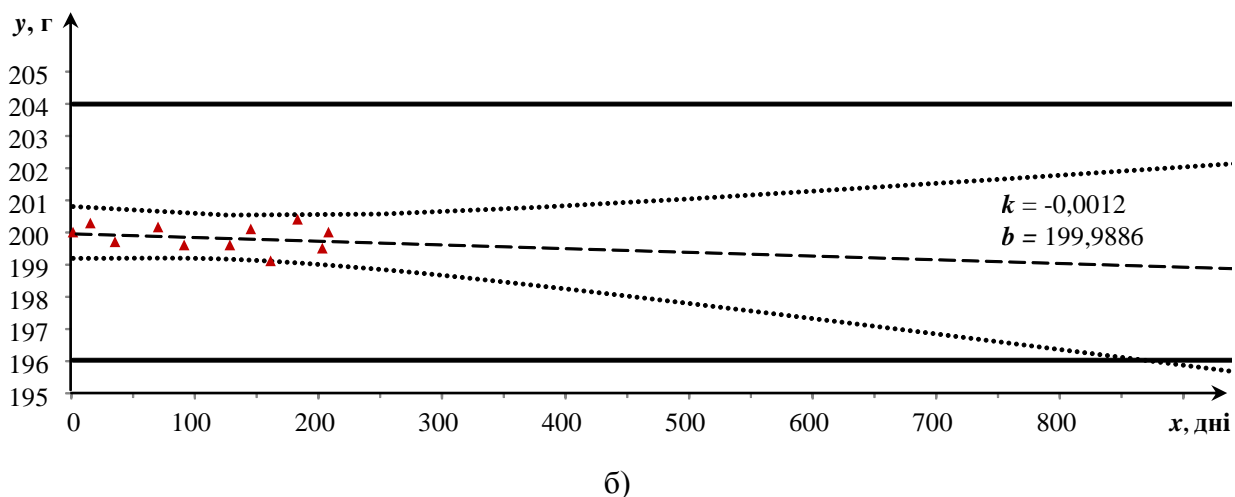
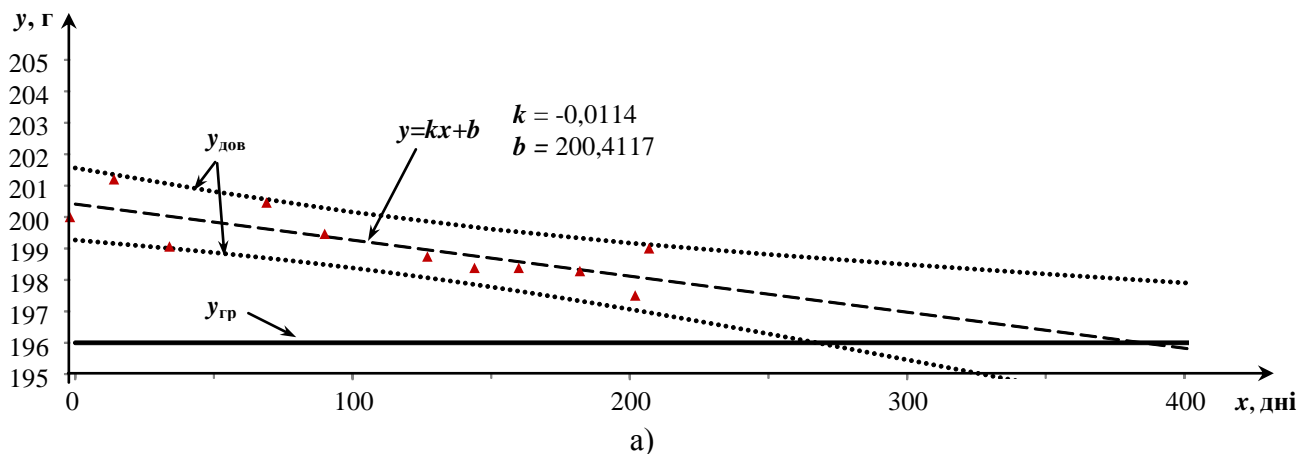


Рис. 1. Градувальна характеристика побудована за результатами калібрувань та проміжних перевірянь, де інформативним параметром слугують покази вагів: а) коефіцієнт k статистично значущий, б) коефіцієнт k статистично не значущий

За прогнозоване значення МКІ, використовуючи один з трьох підходів, пропонується брати [12]:

- значення x в точці перетину граничного значення ЗВТ $y_{гр}$ з $y_{рег} = y(x)$ (рис. 2, МКІ_1);
- значення x в точці перетину граничного значення ЗВТ $y_{гр}$ з довірчим інтервалом побудованої регресійної моделі $y_{дов}$ (рис. 2, МКІ_2). МКІ визначається розв'язком рівняння (1) відносно x [13].

$$y_{гр} = y_{дов}, \text{ звідки: } y_{ет} \pm 0,8 \cdot \Delta_{ЗВТ} = k \cdot x + b \pm s_y \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \cdot t_{\alpha}, \quad (1)$$

де $y_{рег} = y(x)$ – залежність між ІП МХ ЗВТ та часом, визначена за допомогою регресійного аналізу;

$y_{ет}$ – значення СЗ або внутрішнього еталону, калібратора;

\bar{x} – середнє значення x , дні;

$\Delta_{ЗВТ}$ – значення допустимої похибки ЗВТ;

n – кількість повторних вимірювань;

m – кількість точок вимірювань (кількість проміжних перевірянь та калібрувань);

s_y – СКВ випадкової складової похибки (стандартна невизначеність) y

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{m-2} \sum_{j=1}^m (y_j - y_{\text{перп}})^2};$$

t_α – квантиль розподілу Стюдента для довірчої ймовірності $P=1-\alpha$, $\nu=n-2$.

- значення x , при якому виконується рівність $y_{\text{перп-}u}(x_{\text{МКІ}_1})=y(x)$. Тобто таке значення, при якому значення ІІ буде рівним граничному значенню довірчого інтервалу $y_{\text{дов}}$ в точці перетину граничного значення допустимої похибки ЗВТ $y_{\text{р}}$ з $y_{\text{перп}}$ у точці $y(x_{\text{МКІ}_1})$ (рис. 2, МКІ_3). Границі інтервалу значень МКІ визначається за рівнянням (2) [14].

$$x_{\text{Н,В}} = \frac{y-b}{k} \pm \left(\frac{s_y \cdot t_\alpha}{k} \cdot \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{\bar{y} - \bar{\bar{y}}}{k^2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \right), \quad (2)$$

де \bar{y} – середнє значення n повторних вимірювань величин у конкретній i -ій точці;

$\bar{\bar{y}}$ – середнє значення вихідної величини (ІІ) по всьому діапазону.

Розрахунок вхідної величини (x) за значенням вихідної величини (y) зводиться до пошуку оберненої функції $x = f^{-1}(y)$. Визначення аналітичного виразу для оберненої функції довірчого інтервалу навіть лінійних регресійних моделей, є доволі громіздким процесом. Для прикладу було знайдено один з коренів рівняння верхньої границі довірчого інтервалу $z(x)$ знайденої функціональної залежності $y(x)$

$$z(x) = k \cdot x + b + s_y \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \cdot t_\alpha,$$

матиме вигляд

$$x_1 = \frac{- \left[-z + b + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{s_y}{-n \cdot m \cdot s_y^2 \cdot t_\alpha^2 + n \cdot m \cdot \Sigma \cdot k^2} \right) \cdot \left[2 \cdot n \cdot m \cdot b \cdot s_y \cdot t_\alpha - 2 \cdot n \cdot m \cdot z \cdot s_y \cdot t_\alpha + \right. \right.}{k} \\ + \frac{2 \cdot n \cdot m \cdot \nabla \cdot k \cdot s_y \cdot t_\alpha + 2 \cdot \left(-n \cdot m^2 \cdot s_y^2 \cdot t_\alpha^2 \cdot \Sigma \cdot k^2 - n^2 \cdot m \cdot s_y^2 \cdot t_\alpha^2 \cdot \Sigma \cdot k^2 + n^2 \cdot m^2 \cdot k^2 \cdot z^2 - \right.}{k} \\ \left. \left. - \frac{2 \cdot n^2 \cdot m^2 \cdot \Sigma \cdot k^2 \cdot z \cdot b + n \cdot m^2 \cdot \Sigma^2 \cdot k^4 + n^2 \cdot m \cdot \Sigma^2 \cdot k^4 + n^2 \cdot m^2 \cdot \Sigma \cdot k^4 \cdot \nabla^2 + \right.}{k} \right. \\ \left. \left. + 2 \cdot n^2 \cdot m^2 \cdot \Sigma \cdot k^3 \cdot \nabla \cdot b - 2 \cdot n^2 \cdot m^2 \cdot \Sigma \cdot k^3 \cdot \nabla \cdot z + n^2 \cdot m^2 \cdot \Sigma \cdot k^2 \cdot b^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \cdot t_\alpha}{k},$$

де введено позначення $\nabla = (x - \bar{x})^2$, $\Sigma = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$.

Альтернативний метод розрахунку прогнозованого значення МКІ ґрунтується на знаходженні значення x , яке відповідає перетину лінії регресії $y(x) = k \cdot x + b$ з $y_{гр}$ з урахуванням оцінки довірчого інтервалу для x .

Для СКВ маємо лише одне граничне значення, на наведеному прикладі воно становить 0,7 г. Передостанній результат СКВ, який відповідає одиночному значенню вимірювання отриманому за результатом калібрування (див. рис. 4), рівний «0» та не враховується при регресійному аналізі. На рис. 2, за значеннями ПП – СКВ повторних вимірювань, було отримано МКІ_1=252,5 днів, МКІ_2=183,7 днів, МКІ_3=164,1 днів. Значення меншої границі знайденого інтервалу по вісі часу буде шуканим МКІ ЗВТ.

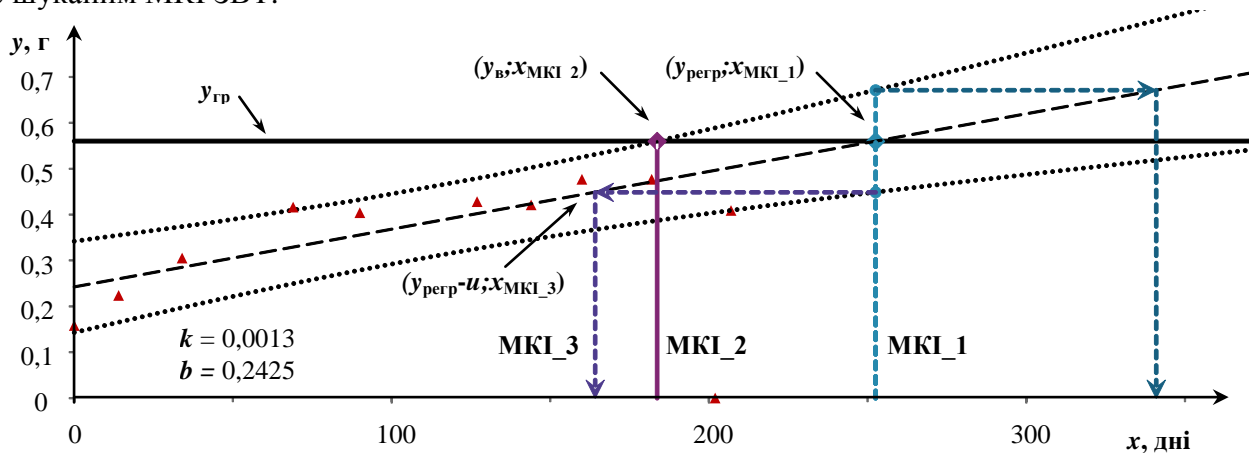


Рис. 2. Ілюстрація встановлення МКІ ЗВТ за значеннями СКВ

На рис.3 представлено розроблений авторами алгоритм встановлення та корегування МКІ ЗВТ, який описує запропонований метод. У методі розглядається три випадки:

1. Для ЗВТ які не були в експлуатації:

До введення в експлуатацію ЗВТ у ВЛ, необхідно перевірити наявність свідчення про калібрування та інформацію про наявність рекомендованого МКІ в ньому або у супровідних документах виробника.

У випадку відсутності свідчення про калібрування, проводять калібрування в уповноваженій організації (відповідно до п.2 ст.27 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність»), із запитом вказати рекомендований МКІ. Якщо уповноважена організація не може встановити рекомендований МКІ, тоді МКІ приймається рівним МПІ. Якщо відсутня інформація про МПІ, то направляється відповідний запит виробнику ЗВТ щодо зазначення первинного МКІ або МПІ.

МПІ є обґрунтованою величиною, оскільки, згідно ДСТУ 6044-2008 [15], для його встановлення, насамперед, застосовують метод «технічної інтуїції», який базується на досвіді роботи та знаннях фахівців-експертів у галузі відповідного виду вимірювання або розробників цього типу ЗВТ, а також аналітичний метод та метод екстремальних умов експлуатації. Установлене значення МПІ документують в описі типу, експлуатаційних документах, свідочстві про метрологічну атестацію або повірку та методиці повірки.

Після проведення калібрування і встановлення первинного МКІ, ЗВТ вводять в експлуатацію.

З моменту введення в експлуатацію визначають значення точок вимірювального діапазону ЗВТ і частоту проведення проміжних перевірок. Згідно із затвердженою періодичністю починають проводити проміжні перевіряння ЗВТ і калібрування з встановленим первинним МКІ.

Для оцінювання стабільності (дрейфу) основних метрологічних характеристик ЗВТ рекомендовано проводити проміжні перевіряння з інтервалом не більше ніж 2 тижні протягом МКІ. Тоді, якщо МКІ становить 1 рік, то для побудови лінійної апроксимації матимемо від 24 значень.

Через 2 МКІ, після проведення чергового калібрування ЗВТ, протягом одного місяця аналізуються результати калібрувань і проміжних перевірянь і приймається рішення щодо коригування МКІ: збільшити або зменшити МКІ на 3 міс., або в якості скоригованого МКІ

використовувати прогнозоване значення кількості днів, через яке МХ ЗВТ вийде за гранично-допустиме значення відповідної фізичної величини.

Прогнозоване значення МКІ, визначається за розрахованою моделлю дрейфу обраного ІІ і знаходиться на перетині межі допустимого значення і довірчого інтервалу побудованої лінійної регресії.

Період на який збільшують або зменшують МКІ ЗВТ шляхом прогнозування вибирають з ряду 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 21, 24 місяців. МКІ цих ЗВТ після коригування не повинен перевищувати 3 роки (36 міс.). Авторами пропонується крок зміни МКІ на рівні 25% (3 місяці) від первинного МКІ, який, з огляду на МПІ в більшості складає 1 рік.

2. Для ЗВТ, які були в експлуатації:

Якщо не проводилися проміжні перевіряння ЗВТ, то, з моменту впровадження цього методу у ВЛ, необхідно визначити значення точок вимірювального діапазону ЗВТ і частоту проведення проміжних перевірок. Згідно із затвердженою періодичністю починають проводити проміжні перевіряння ЗВТ. У разі використання ЗВТ протягом трьох МКІ і наявності свідочств у ВЛ відповідних чотирьох послідовних калібрувань уповноваженими організаціями, уповноваженою особою виконується аналіз даних калібрувань. Якщо ІІ МХ ЗВТ стабільні в часі, то приймається рішення про збільшення МКІ.

Якщо обрані для аналізу ІІ отримані за результатами проміжних перевірянь стабільні в часі, то МКІ може бути скорегований у більшу сторону на 3 місяці, але не повинен складати після коригування більше 3 років (36 міс.). У разі нестабільності МХ, МКІ зменшується на 3 місяці.

Якщо, до моменту впровадження цієї методики в ВЛ, проводилися проміжні перевіряння ЗВТ протягом не менше двох МКІ, і є в наявності свідочства про не менш як три послідовних калібрування за відповідний період експлуатації, то допустимо встановлення прогнозованого значення МКІ.

3. Дії при виході ЗВТ з ладу.

У разі поломки або виникнення невідповідної роботи ЗВТ, його виводять з експлуатації і проводять ремонт з наступним налаштуванням.

Якщо встановлений до поломки МКІ дорівнював або був менше первинного, то МКІ встановлюють меншим на 3 місяці. В іншому випадку МКІ встановлюють рівним первинному.

Після встановлення МКІ проводять калібрування ЗВТ уповноваженою організацією. В подальшому аналізі ІІ, отримані дані до ремонту ЗВТ про його калібрування і перевіряння не використовуються.

Потрібно відмітити, що дрейф не завжди наявний, з огляду на обмежений час аналізу (до 1 МКІ), тому, якщо коефіцієнт нахилу (k) регресійної моделі визнано незначущим (рис.1 б), то пропонується збільшувати МКІ на подвоєний проміжок часу, протягом якого проводились проміжні перевіряння. Також, слід розуміти, що аналізування МКІ не завжди призводить до його корегування в більшу сторону. Це залежить від встановленого у ВЛ рівня контрольних границь допустимої похибки та метрологічної надійності використовуваного ЗВТ.

Подібний запропонованому метод був впроваджений в діяльність акредитованого випробувального центру ПАТ «Миронівський хлібопродукт» у 2015 році та акредитованої лабораторії «АВІАТЕСТ» Національного авіаційного університету у 2017 році.

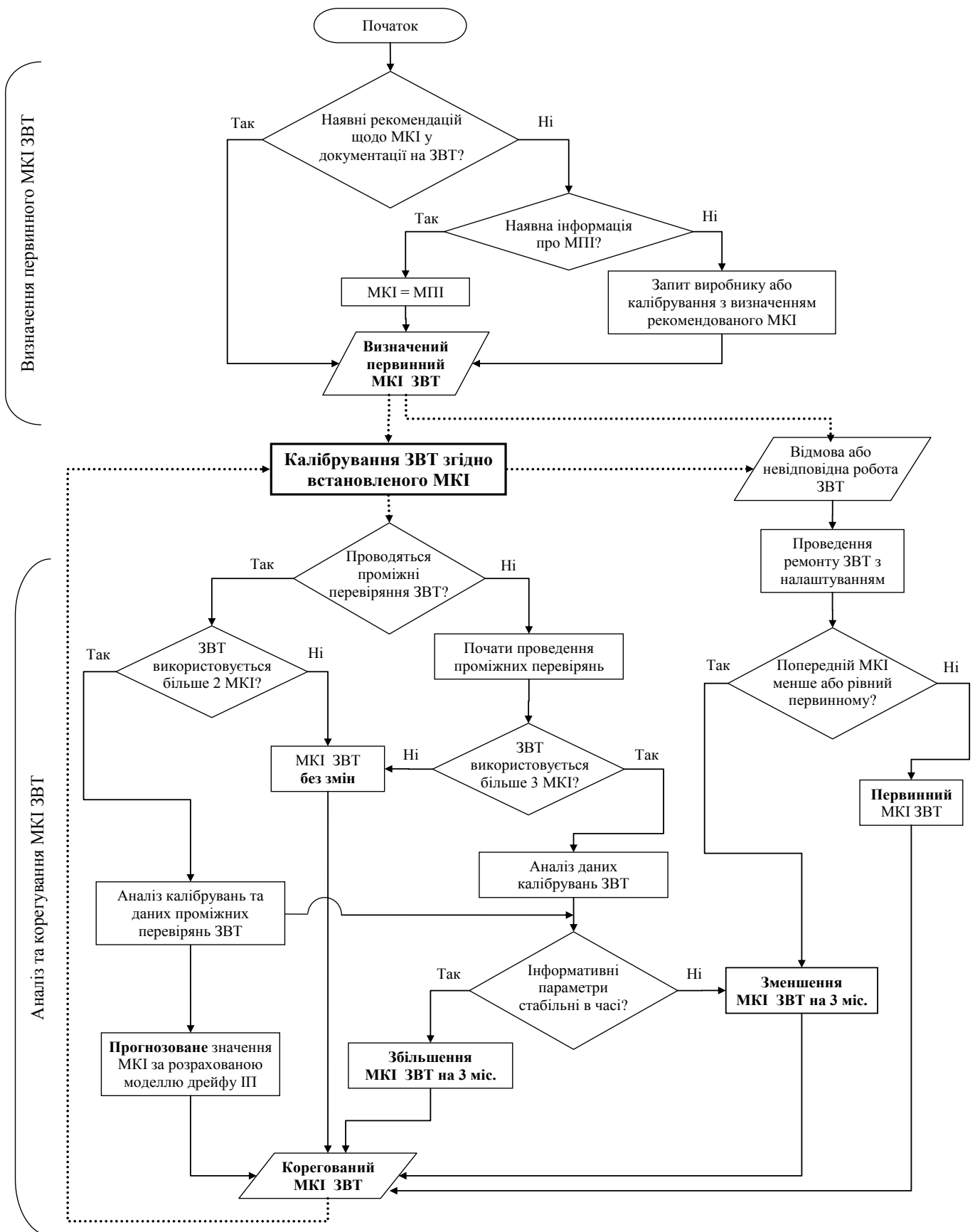


Рис. 3. Алгоритм встановлення та корегування МКІ ЗВТ

Авторами був розроблений програмний продукт у MS Office Excel з припущенням про нормальний закон розподілу даних та вибором лінійної моделі залежності ПІ МХ ЗВТ від часу. Програмне забезпечення має наступні функціональні можливості:

- відповідні поля для вводу інформації про ЗВТ (найменування, тип, заводський та інвентарні номери, граничні значення допустимої похибки);
- реєстрування даних дійсного значення еталону (СЗ) та відповідних результатів і дат проведення проміжних перевірянь та калібрувань;
- відображення результатів регресійного аналізу за методом найменших квадратів, перевірка значущості коефіцієнтів регресії, відображення значень розрахованої функціональної залежності ІІ від часу та її довірчих інтервалів;
- візуалізація даних вимірювань, розрахованої функціональної залежності з довірчим інтервалом, контрольних границь допустимої похибки;
- можливість прогнозування значень з довірчим інтервалом (у) за введеним оператором дискретним значенням (х), і навпаки;
- розрахунок та візуалізація прогнозованого значення МКІ ЗВТ отриманого за трьома підходами для ІІ оцінки систематичної та випадкової похибки результатів вимірювань;
- автоматизоване прийняття рішень, щодо вибору оптимального МКІ ЗВТ з виведенням значення в днях і місяцях та дати наступного калібрування.

На прикладі даних вимірювань, відображених на рис.4, та візуалізації отриманих результатів на рис.1 а) та рис.2 були отримані наступні прогнозовані значення МКІ ЗВТ:

- ІІ – покази вагів: МКІ_1=386 днів; МКІ_2=[262; 748] днів; МКІ_3=[211; 561] днів;
- ІІ – СКВ показів вагів: МКІ_1=253 дні; МКІ_2=[186; 385] днів; МКІ_3=[164; 341] днів.

Програмним забезпеченням автоматично обирається прогнозоване значення МКІ, тобто те мінімальне значення днів (від початку ведення спостережень) за якого можливий вихід МХ ЗВТ за контрольні границі допустимої похибки. За даними ІІ оцінки систематичної похибки МКІ=211 днів, а за даними ІІ оцінки випадкової похибки МКІ=164 дні. Програмний продукт рекомендує здійснити наступне калібрування через 164 дні (5,3 місяці), та виводить дату наступного калібрування 03.01.2018р. орієнтуючись на дату попереднього (23.07.2017).

На прикладі даних та розрахунків довірчих інтервалів відображених на рис.1 б, за не значущого коефіцієнта k , були отримані наступні прогнозовані значення МКІ ЗВТ для оцінки зміщення від дійсного значення: МКІ_1=9,3 роки; МКІ_2 до 2,4 роки; МКІ_3 не можливо визначити. Дані СКВ не враховувались, оскільки в більшості проводились одноразові вимірювання. В такому випадку метролог ВЛ приймає рішення на свій розсуд, або збільшує МКІ на подвоєний інтервал в якому значення ІІ МХ були стабільними в часі, або, відповідно до алгоритму коригування МКІ ЗВТ, залишає інтервал без змін, оскільки дані проміжних перевірянь отримані за час менший ніж 2 МКІ (див. рис.3). Якщо проміжні перевіряння проводились би протягом 2 МКІ, і залишались би стабільними в часі, то МКІ можна було б збільшити на 3 місяці.

Параметри ЗВТ		Параметри лінійної регресії $kx+b$ для:		Значень СКВ	
Номинал. знач., г	200	Виміряних значень		$k_{СКВ}$	0,0013
Границя допустимої похибки, ±	5	k	-0,0114	$b_{СКВ}$	0,2425
Границя СКВ	0,7	b	200,4117	k - статистично значущий b - статистично значущий	
Одиниця вимірювання	г	Залишки	S_{yx}	S_{yx}	0,06
Контрольні границі для МКІ, %	80%	S_x	74,93	S_x	74,93
		СКВ	S_x	S_y	0,003
			S_y	t_k	3,939
			t_k	P	0,95
			t_p	t_p	2,262
			t_p	P	0,95
			t_p	t_p	2,262

Прогнозований МКІ, міс.		Параметри лінійної регресії $kx+b$ для:	
Прогнозований МКІ, міс.	5,3	Виміряних значень	
Наступна дата калібрування	03.01.2018	k	-0,0114
		b	200,4117
		Залишки	S_{yx}
		S_x	74,93
		СКВ	S_x
			S_y
			t_k
			t_k
			t_p
			t_p

Параметри ЗВТ		Параметри лінійної регресії $kx+b$ для:		Значень СКВ	
Номинал. знач., г	200	Виміряних значень		$k_{СКВ}$	0,0013
Границя допустимої похибки, ±	5	k	-0,0114	$b_{СКВ}$	0,2425
Границя СКВ	0,7	b	200,4117	k - статистично значущий b - статистично значущий	
Одиниця вимірювання	г	Залишки	S_{yx}	S_{yx}	0,06
Контрольні границі для МКІ, %	80%	S_x	74,93	S_x	74,93
		СКВ	S_x	S_y	0,003
			S_y	t_k	3,939
			t_k	P	0,95
			t_p	t_p	2,262
			t_p	P	0,95
			t_p	t_p	2,262

Дата	Виміряні значення, г					m	11	n _{пр}	4,636	Гран. ном. зн. ниж.	Гран. ном. зн. верх.	Гран. ном. зн. (X _i - X _{ср}) ²	S _{ср}	U	Y _{регр}	Y-U	Y+U	S _{ср} СКВ	U СКВ	Y _{регр} СКВ	Y-U СКВ	Y+U СКВ	Гран. зн. СКВ	Калібрування
	1	2	3	4	5																			
01.01.17	200,1	200,2	199,9	199,8	200,0	0,16	200,0	0	200	196	204	12483,0	0,500	1,13	200,4	199,3	201,5	0,044	0,10	0,24	0,14	0,34	0,56	
15.01.17	201,5	201,3	201,1	201,2	200,9	0,22	201,2	14	200	196	204	9550,6	0,475	1,07	200,3	199,2	201,3	0,042	0,10	0,26	0,16	0,36	0,56	
05.02.17	198,8	199,3	198,7	199,1	199,4	0,30	199,1	34	200	196	204	6041,5	0,443	1,00	200,0	199,0	201,0	0,039	0,09	0,29	0,20	0,37	0,56	
10.03.17	200,3	200,7	201,0	200,4	199,9	0,42	200,5	69	200	196	204	1825,6	0,400	0,91	199,6	198,7	200,5	0,036	0,08	0,33	0,25	0,41	0,56	
01.04.17	199,6	199,3	199,5	198,9	200,0	0,40	199,5	90	200	196	204	472,1	0,386	0,87	199,4	198,5	200,3	0,034	0,08	0,36	0,28	0,43	0,56	
08.05.17	198,6	198,3	198,9	199,4	198,5	0,43	198,7	127	200	196	204	233,3	0,383	0,87	199,0	198,1	199,8	0,034	0,08	0,40	0,32	0,48	0,56	
25.05.17	198,1	198,5	197,9	198,4	199,0	0,42	198,4	144	200	196	204	1041,5	0,392	0,89	198,8	197,9	199,7	0,035	0,08	0,42	0,34	0,50	0,56	
11.06.17	199,1	198,2	197,8	198,5	198,3	0,48	198,4	160	200	196	204	2330,3	0,406	0,92	198,6	197,7	199,5	0,036	0,08	0,44	0,36	0,53	0,56	
03.07.17	198,4	199,0	198,2	197,7	198,1	0,48	198,3	182	200	196	204	4938,3	0,432	0,98	198,3	197,4	199,3	0,038	0,09	0,47	0,38	0,56	0,56	
23.07.17	197,5						197,5	202	200	196	204	8149,2	0,462	1,05	198,1	197,1	199,1	0,041	0,09	0,50	0,40	0,59	0,56	к
28.07.17	198,6	199,3	198,6	199,1	199,5	0,41	199,0	207	200	196	204	9076,9	0,471	1,06	198,0	197,0	199,1	0,042	0,09	0,50	0,41	0,60	0,56	

Рис. 4. Інтерфейс розробленого програмного продукту. Лист вводу даних.

Отримані розрахункові дані мають рекомендаційний характер, оскільки метролог ВЛ приймає рішення щодо МКІ спираючись на ризики технічного та економічного характеру. Реєстрація та візуалізація результатів проміжних перевірянь дозволяє не лише прогнозувати МКІ, але і вчасно попередити невідповідності пов'язані з виходом МХ ЗВТ з інтервалу допустимих значень, встановлені у методиках випробувань.

Висновки.

1. Проведений аналіз існуючих нормативних документів та науково-методичних публікацій щодо встановлення МКІ обґрунтовує необхідність розробки універсальної методики визначення МКІ для ЗВТ ВЛ.

2. Запропонована регресійна модель дрейфу ПІ МХ ЗВТ, яка дозволила розглянути декілька варіантів визначення МКІ.

3. Розроблений програмний продукт в пакеті MS Office Excel, який дозволяє визначати МКІ ЗВТ з урахуванням даних калібрувань та внутрішньолабораторного контролю вимірювального устаткування (проміжних перевірянь) та попереджати невідповідності пов'язані з недостовірними вимірюваннями.

4. Запропонований алгоритм методу встановлення та корегування МКІ ЗВТ ВЛ, який може бути корисний у застосуванні та створенні відповідної стандартної операційної процедури акредитованими ВЛ.

Список використаних джерел

1. ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results: ILAC P10:01/2013. – 10 p. – <http://ilac.org/publications-and-resources/ilac-policy-series/>

2. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT): ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. – [Чинний з 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с. – (Національний стандарт України).

3. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT): ДСТУ ISO 9001:2015. – [Чинний з 2016-07-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с. – (Національний стандарт України).

4. Системи керування вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT): ДСТУ ISO 10012:2005. – [Чинний з 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 25 с. – (Національний стандарт України).

5. Метрологія. Настанови щодо визначення міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки (ILAC-G24/OIML D10:2007, IDT): ДСТУ ILAC-G24/OIML D10:2013. – [Чинний з 2014-07-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 6 с. – (Національний стандарт України).

6. Метрологія. Методи визначення міжповіркового та міжкалібрувального інтервалів засобів вимірювання (PMG 74–2004, IDT): ДСТУ-Н PMG 74:2009. – [Чинний з 2010-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 27 с. – (Настанова).

7. Рекомендації. Встановлення та корегування інтервалів калібрування засобів вимірювальної техніки та випробувального обладнання. – Асоціація «УкрАО» – Київ, 2015 – 18 с.

8. Волков О.Ф. Розрахунок міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки / О.Ф. Волков, Р.О. Волков, К.С. Колобов, О.С. Лесик, С.О. Ричок // Автомобільний транспорт. – 2015. – №5 (247). – С.11-13.

9. Косарева О. Коригування міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання / О. Косарева, О.Дзябенко // Метрологія та прилади. – 2017. – №3. – С.33-35.

10. В.Л.Ефремов. Вероятностная оценка метрологической надежности средств измерений: алгоритмы и программы. – СПб.: Нестор-История. 2011. – 200 с.

11. Єременко В.С. Етапи створення універсального алгоритму обробки вимірювальної інформації при побудові градуовальних характеристик /В.С. Єременко, О.О. Редько// Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення: всеукр. наук.-техн. конф., 17-18 квітня 2015 р.: тези допов. –Житомир, ЖДТУ, 2015. – С. 27-30.

12. Мокійчук В.М. Вимірювання з попереднім градуванням ЗВТ. Оцінювання невизначеності результату /В.М. Мокійчук, О.О. Редько// Інтегровані інтелектуальні

робототехнічні комплекси (ПРТК-2017): матер. X міжнар. наук.-практ. конф. 16–17 травня 2017 р., м.Київ. – К.:НАУ, 2017. – С. 123–124.

13. Єременко В.С. Метод коригування міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювань /В.С. Єременко, В.М. Мокійчук, О.О. Редько// Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2017): зб. тез допов. IV міжнар. наук. конф. 31 жовтня – 02 листопада 2017 р., м. Вінниця. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К»», 2017. – С.34-35.

14. Якість води. Визначення градувальних характеристик методик кількісного хімічного аналізу. Частина 1. Статистичне оцінювання лінійної градувальної характеристики (ISO 8466-1-1990, IDT): ДСТУ ISO 8466-1-2001. – [Чинний від 2003-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 15 с. – (Національний стандарт України).

15. Метрологія. Міжповірочний інтервал засобів вимірювальної техніки. Основні положення і вимоги установлення: ДСТУ 6044:2008. – [Чинний від 2009-05-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 9 с. – (Національний стандарт України).

1. ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results (ILAC P10:01/2013). Retrieved from URL <http://ilac.org/publications-and-resources/ilac-policy-series/>

2. National standard of Ukraine. (2007). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2005, IDT): DSTU ISO/IEC 17025:2006*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny.

3. National standard of Ukraine. (2016). *Quality management systems - Requirements (ISO 9001:2015, IDT): DSTU ISO 9001:2015*. Kyiv: DP «UkrNDNTS».

4. National standard of Ukraine. (2007). *Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment (ISO 10012:2003, IDT): DSTU ISO 10012:2005*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny.

5. National standard of Ukraine. (2014). *Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments (ILAC-G24 / OIML D10: 2007, IDT): DSTU ILAC-G24 / OIML D10:2013*. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrayiny.

6. National standard of Ukraine. (2009). *Metrolohiya. Metody vyznachennya mizhpovirkovoho ta mizhkalibruvalnoho intervaliv zasobiv vymiryuvannya (RMH 74-2004, IDT): DSTU-N RMH 74: 2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny.

7. Recommendations (2015). *Vstanovlennya ta korehuvannya intervaliv kalibruvannya zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniki ta vyprobuvalnoho obladdannya*. Kyiv: Asotsiatsiya UkrAO.

8. Volkov, O.F., Volkov, R.O., Kolobov, K.S., Lesyk, O.S. & Richok, S.O. (2015) Rozrakhunok mizhkalibruvalnikh intervaliv zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniki. *Avtomobilnyy transport*, 5(247), 11-13.

9. Kosaryeva, O. & Dzyabenko, O. (2017) Koryhuvannya mizhkalibruvalnikh intervaliv vymiryuvalnoho obladdannya. *Metrolohiya ta prylady*, 3, 33-35.

10. Yefremov, V.L. (2011) *Veroyatnostnaya otsenka metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmereniy: algoritmy i programmy*. SPb. Nestor-Istoriya.

11. Yeremenko, V.S. & Redko, O.O. (2015, April) *Etapy stvorennya universalnoho alhorytmu obrobky vymiryuvalnoyi ynformatsyy pry pobudovi hraduyuvalnykh kharakterystyk* (pp. 27-30). Report at the Ukrainian scientific-technical conference Kompyuterni tekhnolohiyi: innovatsiyi, problemy, reshenye. Zhitomir. ZHDTU.

12. Mokiychuk, V.M. & Redko, O.O. (2017, May) *Vymiryuvannya z poperednim hraduyuvannyam ZVT. Otsinyuvannya nevznachenosti rezultatu* (pp. 123-124) Report presented at the X International scientific-practical conference Intehrovani intelektualni robototekhnichni komplekxy, Kyiv. NAU.

13. Yeremenko, V.S., Mokiychuk, V.M. & Redko, O.O. (2017, November). *Metod koryhuvannya mizhkalibruvalnikh intervaliv zasobiv vymiryuvan* (pp. 34-35). Report at the IV International scientific conference Vymiryuvannya, kontrol ta diahnostryka v tekhnichnykh systemakh, Vinnytsya. «TD «Edelveys i K»».

14. National standard of Ukraine. (2003). *Water quality - Calibration and evaluation of analytical methods and estimation of performance characteristics - Part 1: Statistical evaluation of the linear calibration function (ISO 8466-1-1990, IDT): DSTU ISO 8466-1-2001*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny.

15. National standard of Ukraine. (2009). *Metrolohiya. Mizhpovirochniy interval zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniky. Osnovni polozhennya y vymohy ustanovlennya: DSTU 6044:2008*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny.