

ISSN 2307-2180

# МЕТРОЛОГІЯ ТА ПРИЛАДИ



НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

5

2017

Вимірюйте  
усе доступне вимірюванню  
й робіть недоступне вимірюванню  
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

# Метрологія



# та прилади

№ 5-I(67), 2017

Науково-виробничий журнал

## Засновники:

Академія метрології України,  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки (ХНУРЕ),  
Державне підприємство  
«Всеукраїнський державний  
науково-виробничий центр  
стандартизації, метрології, сертифікації  
та захисту прав споживачів»  
(ДП «Укрметрестандарт»),  
ТОВ Виробничо-комерційна  
фірма «Фавор ЛТД»

Видається з березня 2006 року  
Рік випуску дванадцятий  
Передплатний індекс 92386

## Редакційна колегія:

Большаков В. Б., д. т. н., с. н. с.  
Варша З., д. т. н., Польща  
Величко О. М., д. т. н., проф.  
Віткін Л. М., д. т. н., проф.  
Володарський Є. Т., д. т. н., проф.  
Грищенко Т. Г., д. т. н., с. н. с.  
Гудрун В., д. т. н., Німеччина  
Жагора М. А., д. т. н., проф., Білорусь  
Захаров І. П., д. т. н., проф.  
Зенкін А. С., д. т. н., проф.  
Коломієць Л. В., д. т. н., проф.  
Косач Н. І., д. т. н., проф.  
Кошева Л. О., д. т. н., проф.  
Крюков О. М., д. т. н., проф.  
Кузьменко Ю. В., к. т. н.  
Кухарчук В. В., д. т. н., проф.  
Мачехін Ю. П., д. т. н., проф.  
Назаренко Л. А., д. т. н., проф.  
Народницький Г. Ю., д. т. н., с. н. с.  
Неежмаков П. І., д. т. н. доц.  
Петришин І. С., д. т. н., проф.  
Пістун Є. П., д. т. н., проф.  
Радєв Х., д. т. н., проф., Болгарія  
Рожнов М. С., к. х. н., с. н. с.  
Руженцев І. В., д. т. н., проф.  
Самойленко О. М., д. т. н., проф.  
Скубіс Т., д. т. н., проф., Польща  
Сурду М. М., д. т. н., проф.  
Туз Ю. М., д. т. н., проф.  
Хакімов О., д. т. н., проф., Узбекистан  
Чалий В. П., к. т. н., с. н. с.  
Черепков С. Т., к. т. н., доц.  
Чуновкіна А. Г., д. т. н., Росія

## Редакційна група:

Головний редактор Фісун В. П.  
Науковий редактор — відповідальний  
секретар Винокуров Л. І.  
Дизайнер-верстальник Зайцев Ю. О.

Журнал **рекомендовано до друку**  
вченою радою ХНУРЕ  
(протокол №14 від 30.10.2017)

## Адреса редакції:

61002, Харків, вул. Куликівська, 11;  
Тел.: (057) 706-00-36; (095) 00-68-665  
E-mail: metrolog-prylady@ukr.net  
http://www.amu.in.ua/journal1

## Видавець та виготовлювач:

ВКФ «Фавор ЛТД»  
61140, Харків, пр-т. Гагаріна, 94-А, кв. 35;  
Свідоцтво про внесення  
до Держреєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції  
серія ХК № 90 від 17.12.2003.

Підписано до друку 29.12.2017.  
Формат 60×84/8. Папір крейдований.  
Ум. друк. арк. 16,86. Обл.-вид. арк. 14,26.  
Друк офсетний. Тираж 400 прим.  
Замовлення № 41.

© «Метрологія та прилади», 2017

Журнал **зареєстровано**  
у Міністерстві юстиції України,  
свідоцтво  
серія **КВ № 22796-12696ПР**  
від **03.07.2017**;  
**включено** до Переліку наукових  
фахових видань України, наказ  
Міністерства освіти і науки України  
№ 747 від 13.07.2015

Журнал **включено** до Міжнародної  
наукометричної бази даних  
**Index Copernicus**, лист від **08.03.2013**

**4 липня 2017 року видатному українському вченому в галузі метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, Лауреату Державної премії України у галузі науки і техніки, доктору технічних наук, професору Петру Петровичу Орнатському виповнилося би 100 років.**

**3 нагоди такого ювілею в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», в якому П.П. Орнатський протягом 28 років очолював кафедру інформаційно-вимірювальної техніки, відбулася наукова конференція. Краці з виголошених її учасниками наукових доповідей редакційна комісія конференції у складі докторів технічних наук, професорів Ю.В. Куца, В.С. Єременка, К.Л. Шевченка (НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»), Д.П. Орнатського (Національний авіаційний університет, м. Київ), Л.М. Щербака (Київський міжнародний університет) і кандидата технічних наук, доцента В.І. Синиці (НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського») рекомендувала до публікації в журналі «Метрологія та прилади». Всі ці доповіді представлені в цьому випуску журналу.**

**ДО ЮВІЛЕЮ ВЧЕНОГО**

Яремчук Н.

До 100-річчя Петра Павловича Орнатського..... 4 .....To the 100th anniversary of Peter Pavlovich Ornatsky

Орнатский Д.П., Орнатский Е.П.

К 100-летию Петра Павловича Орнатского .....9 .....To the 100th anniversary of Peter Pavlovich Ornatsky

**TO JUBILEE OF SCIENTIST**

Yaremchuk N.

Ornatskyi D.P., Ornatskyi E.P.

**ЕТАЛОННА БАЗА**

Бабак В., Декуша Л., Ковтун С.

Концептуальна модель еталона  
поверхневої густини теплового потоку .....11 ..... of the Heat Flux Surface Density Standard**MEASUREMENT STANDARD BASE**

Babak V., Dekusha L., Kovtun S.

Conceptual Model

**МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ**

Квасніков В., Галицький В.

Метод балансування резонатора вібраційного гіроскопа.  
Основні технічні вказівки ..... 15 ..... Method of Balancing of a Vibration Gyroscope Resonator.  
Basic Technical Instructions

Граняк В., Кухарчук В.

Безконтактний метод вимірювання  
осьового зміщення ротора електричної машини ..... 18 ..... Contactless Method of Measuring the Axial Displacement  
of the Electric Machine Rotor

Маєвський С.

Фазовий метод ультразвукового вимірювання  
концентрації розчинів ..... 22 ..... Phase method of ultrasonic measurement  
concentration of solutions

Воробіов Л.

Динамічний метод вимірювання  
імпульсу тепловиділення  
у калориметрі теплового потоку ..... 26 ..... Dynamic Method  
of the Heat Pulse Measuring  
in a Heat Flux Calorimeter**METHODS AND PROCEDURES**

Kvasnikov V., V. Halitskiy

Hraniak V., Kukharchuk V.

Maievskiy S.

Vorobiov L.

**ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА ПРИСТРОЇ**

Левіцький А., Новік А., Зайцев Є.

Ємнісний сенсор відстаней до заземленої поверхні  
з концентричними компланарними електродами ..... 30 ..... Capacitive Sensor of Distance to Grounded Surface  
with Concentric Coplanar Electrodes

Приміський І.

Структурні схеми димомірів відпрацьованих газів  
дизельних двигунів ..... 34 ..... Structural Diagrams for the Smoke Meter  
of Diesel Engines Exhaust Gases

Корнієнко Д.

Структурна схема оптико-гравіметричного пиломіра ..... 40 ..... The Structural Scheme of the Optical-Gravimetric Dust Meter

**MEASURING INSTRUMENTS AND DEVICES**

Levytskiy A., Novik A., Zaitsev I.

Primiskiy I.

Kornienko D.

**КОМП'ЮТЕРНІ ПРИЛАДИ**

Романов В., Брайко Ю.

Комп'ютерні прилади та сенсорні мережі  
для сільського господарства, екології та медицини ..... 45 ..... Computer Instruments and Sensor Networks  
for Agriculture, Ecology and Medicine**COMPUTER INSTRUMENTS**

Romanov V., Brayko Yu.

**ДИСТАНЦІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ**

Орнатський Д., Осмоловський О.

Інтерфейс типу «аналогова шина»  
для дистанційних вимірювань  
сигналів параметричних датчиків ..... 49 ..... Interface Type «Analog Bus»  
for Distance Measurements  
of Parametric Sensor Signals

Ганєва Т.

Моделювання аналогового інтерфейсу  
для дистанційних вимірювань  
за допомогою резистивних тензодатчиків ..... 53 ..... Simulation of the Analogue Interface  
for Distance Measurements  
by a Resistant Tensor**DISTANCE MEASUREMENTS**

Ornatskyi D., Osmolovskiy O.

Ganyeva T.

**ШКАЛИ ВИМІРЮВАНЬ**

Яремчук Н., Семенюк Р.

Опрацювання вербальних даних  
за побудови контрольних карт ..... 58 ..... Working out Verbal Data  
for Constructing Control Cards**MEASURING SCALES**

Yaremchuk N., Semeniyuk R.

**МІЖКАЛІБРУВАЛЬНІ ІНТЕРВАЛИ**

Володарський Є., Потоцький І.

Розроблення методів визначення необхідності  
проведення повторних калібрувань  
еталонів та засобів вимірювальної техніки ..... 62 ..... Development of methods for determining  
the need for re-calibration of standards  
and measuring equipment

Єременко В., Мокійчук В., Редько О.

Метод установаження міжкалібрувальних інтервалів  
засобів вимірювань випробувальної лабораторії ..... 68 ..... Method for the Determination of Calibration Intervals  
of Measuring Instruments of the Testing Laboratory

Кучерук В., Омельчук І.

Прогнозування часу збереження метрологічної  
справності та оцінювання міжкалібрувальних  
інтервалів ЗВТ .....78 ..... Forecasting of the Time of Metrological Service Maintenance  
and Estimation of the Measuring Equipment  
Intercalibration Intervals**INTER-CALIBRATION INTERVALS**

Volodarsiy E. Pototsiy I.

Yeremenko V., Mokiychuk V., Redko O.

Kucheruk V., Omelchuk I.

**НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ**

Богачев І.

Удосконалення системи ультразвукового контролю  
з малоапертурними магнітострикційними  
перетворювачами ..... 82 ..... Improvement of Ultrasonic  
Control System with Smallaperture  
Magnetostrictive Transducers**NONDESTRUCTIVE CONTROL**

Bogachev I.

<u>Здоренко В., Барилко О., Барилко С.</u> Технологічний контроль текстильних матеріалів ..... 86 .....	<u>Zdorenko V., Barylko O., Barylko S.</u> Technological Control of Textile Materials
<u>Кузьмич Л.</u> Аналіз наявних методів та засобів вимірювання механічних напружень складних технічних систем на прикладі гідротехнічних споруд..... 89 .....	<u>Kuzmych L.</u> The Analysis of Existing Methods and Means of Measuring Mechanical Stresses of Complex Technical Systems on an Example of Hydraulic Structures
<b>ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА</b>	<b>TECHNICAL DIAGNOSTICS</b>
<u>Герцик С., Мислович М.</u> Моделі формування навчальних сукупностей для діагностування електротехнічного обладнання з урахуванням режимів його роботи..... 94 .....	<u>Hertsyk S., Myslovych M.</u> Models of Training Sets Formation for Electrical Equipment Diagnosing, with Account Its Operating Modes
<b>ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ</b>	<b>APPLICATION AND EXPLOITATION</b>
<u>Куц Ю.</u> Застосування модулярної арифметики у багатоскальних фазових вимірюваннях..... 98 .....	<u>Kuts Yu.</u> Application Modular Arifmetics in Multiscale Phase Measurements
<u>Дуднік А.</u> Застосування датчиків вимірювання механічних величин в комп'ютерній мережі «Розумний дім»..... 106 .....	<u>Dudnik A.</u> Sensors of Mechanical Values Application in the Computer Network «Smart House»
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>EXPERIMENTAL RESEARCHES</b>
<u>Запорожець А.</u> Експериментальні дослідження системи контролю спалювання палива у котлоагрегатах ..... 111 .....	<u>Zaporozhets A.</u> Experimental Researches of the Control System of Fuel Combustion in Boilers
<b>МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ</b>	<b>MODELS AND MODELING</b>
<u>Щербак Л.</u> Функція невизначеності й міри у задачах вимірювань..... 115 .....	<u>Scherbak L.</u> The Function of Uncertainty and Measure in Measuring Tasks
<u>Волков С., Кисельова О.</u> Dual-V процесна модель якості штучного об'єкта ..... 119 .....	<u>Volkov S., Kiseleva O.</u> Dual-V Process Model of Quality of Artificial Object
<u>Здоренко В., Лісовець С., Барилко С., Ківа І.</u> Дослідження поширення акустичних хвиль через трикотажні та текстильні матеріали методом FDTD ..... 123 .....	<u>Zdorenko V., Lisovets S., Barylko S., Kiva I.</u> Research of Acoustic Waves Propagation Through Knitted and Textile Materials Using Method FDTD
<b>СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ</b>	<b>MONITORING SYSTEMS</b>
<u>Кучірка Ю., Чеховський С., Баран С.</u> Автономна система екологічного моніторингу річок та прогнозування повеней..... 126 .....	<u>Kuchirka Yu., Chekhovskii S., Baran S.</u> Autonomous System of Rivers Ecological Monitoring and Flooding Forecasting
<u>Щербань А.</u> Необхідність використання та елементна база системи моніторингу стану літій-полімерного акумулятора..... 131 .....	<u>Shcherban A.</u> Necessarity of Use And Element Base of the Monitoring System of the Litium-Polymer Battery
<b>АНАЛІТИЧНІ ОГЛЯДИ</b>	<b>ANALYTICAL REVIEWS</b>
<u>Петров Ю.</u> Аналітичний огляд комп'ютерних поліграфів та методів опрацювання біологічних сигналів людини ..... 135 .....	<u>Petrov Yu.</u> Analytical Reviev of Computer Poligraphs and Methods of Processing of the Person Biological Signals
<b>ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ</b>	<b>ENVIRONMENT PROTECTION</b>
<u>Івасенко В., Люлевич А., Старовіт В., Штифорук Є., Манзюк Л.</u> Вплив автозаправних станцій на навколишнє середовище ..... 140 .....	<u>Ivasenko V., Lulevich A., Starovit V., Shtiforuk E., Manzyuk L.</u> Evaluation of Petrol Stations on the Environment

# МЕТОД УСТАНОВЛЕННЯ МІЖКАЛІБРУВАЛЬНИХ ІНТЕРВАЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

**В. Єременко**, доктор технічних наук, професор кафедри інформаційно-вимірювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»,  
**В. Мокійчук**, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних систем,  
**О. Редько**, асистент кафедри,  
Національний авіаційний університет, м. Київ

*На сьогодні існує велика кількість керівних документів, які допоможуть випробувальній лабораторії визначити міжкалібрувальний інтервал для кожного засобу вимірювальної техніки. Пропонується метод установлення міжкалібрувальних інтервалів, який полягає у використанні даних калібрувань та проміжних перевірок вимірювального встаткування. Розроблено програмний продукт, який реалізує запропонований метод і буде корисним у застосуванні випробувальними лабораторіями різних сфер діяльності.*

*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 перевірки, метрологічне забезпечення, ISO/IEC 17025.

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

Відповідно до політики ІЛАС із простежуваності результатів вимірювань (Р10, розд. 3) [1], ступінь обов'язковості калібрування, що регламентується 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 встаткування необхідно калібрувати з метою оцінення цього впливу. Акредитовані випробувальні лабораторії (ВЛ), згідно з вимогами п.5.5.5 *f* стандарту [2], реєструють дані стосовно встаткування, 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 щодо періодичності 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 запроваджен-

ня ефективної програми калібрувань. Така програма повинна містити встановлені інтервали калібрування, а також участь у відповідних міжлабораторних звіреннях, керування процесом і проміжні перевірки.

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

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

Метою коригування МКІ є забезпечення отримання метрологічних характеристик (МХ) ЗВТ, які належать ВЛ, у межах допустимих значень протягом установленого періоду часу.

*Мета статті* — розроблення методу встановлення та коригування МКІ ЗВТ на основі використання інформації із протоколів свідочств про калібрування або повірку, проміжних перевірень, отриманих на одному рівні вимірюваної величини.

Постановка завдань досліджень:

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

#### ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

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

- результатів випробувань ЗВТ або його окремих блоків;
- нестабільності елементів ЗВТ, що визначають стан метрологічної придатності ЗВТ;
- показників надійності ЗВТ, нормованих або підтверджуваних випробуваннями;
- МКІ аналогів ЗВТ, підтверджених досвідом їх експлуатації;
- індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ;
- ймовірності та середнього часу напрацювання до відмови ЗВТ або до першої відмови ЗВТ, границі допустимої похибки за реальних умов експлуатації, припускаючи випадковий процес дрейфу похибки лінійним та закон розподілу похибки ЗВТ нормальним;
- результатів вимірювання в протоколах проведення повірки для подальшого оцінювання систематичної та випадкової складової похибки результатів вимірювання, у разі наявності в лабораторії груп однотипних ЗВТ.

Найбільш бажані вихідні дані — результати випробування партії ЗВТ або їх комплектувальних елементів для оцінювання їх нестабільності. У цій

Настанові представлено методику оцінювання первинного МКІ за наявності в технічній документації на ЗВТ інформації стосовно його ймовірності безвідомної роботи і частки метрологічних відмов у загальному потоці відмов ЗВТ. Також у нормативному документі наведено методи коригування МКІ груп однотипних ЗВТ на етапі експлуатації за результатами повірок.

Згідно з ДСТУ *ILAC-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 із методів залежно від завдань вимірювань, економічної доцільності та доступної вихідної інформації. Пропонується використання п'яти методів та їх комбінацій: автоматичного регулювання, контрольної діаграми, часу експлуатування, перевіряння під час експлуатування, інших статистичних підходів. У стандарті не прописано конкретної методики або алгоритму розрахунку чи правила застосування критеріїв прийняття рішень щодо коригування або визначення МКІ ЗВТ.

У рекомендації [7], окрім викладення методів із [5], наведено приклади вибору первинних МКІ з рекомендаціями *MEK*, *NIST GMP 11* та запропоновано 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 коригування МКІ використовувати дані калібрувань і зазначають, що вартість калібрування відіграє важливу роль у процесі визначення інтервалів калібрування і, як правило, її потрібно враховувати. Збільшені невизначеності вимірювань або більш високі ризики щодо якості надання послуг із 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 стосовно ЗВТ не наведено. Також не вказано, як досягається впевненість ВЛ у достовірності результатів вимірювань за збільшення МКІ. Якщо, наприклад, за результатом п'яти калібрувань із МКІ 1 рік, визначено, що МХ не виходять за допустимі границі, і користувачем встановлено МКІ 3 роки, то протягом коригованого МКІ існують ризики

неуспішної участі у міжлабораторних порівняннях ВЛ та отримання недостовірних результатів випробувань.

Запропонований у статті [8] метод розрахунку МКІ, заснований на рекомендаціях розділу А.5 [6], не можна назвати універсальним, оскільки у користувача ЗВТ, як правило, відсутня інформація щодо таких характеристик: 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] запропоновано використовувати підхід оцінювання значень відхилення від номінального у кожній точці калібрування. Вихідні дані отримують зі свідочств про калібрування ЗВТ. Критерієм коригування 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, як наслідок, необхідності відкликання наданих замовникам результатів випробувань (калібрувань) за весь час від останнього метрологічного підтвердження, що впливає на імідж лабораторії. У статті необґрунтовано обрано періодичність збільшення/зменшення МКІ — 3 місяці і не враховано, що похибка оцінювання 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 за перевірки їх фактична похибка не виходить за межі допустимого значення (границі похибки). Але правильність прийняття такого рішення у більшості залежить від коректності оцінювання фактичної похибки. В інструкціях з перевірки ряду ЗВТ указано такі варіанти її розрахунку: за одноразовими вимірюваннями, за середньою величиною (3...5) вимірювань, за максимальною величиною із трьох вимірювань тощо. Загальний недолік цих способів — те, що враховується лише факт перевищення або не перевищення границі похибки. Тому ЗВТ може визнаватися справним навіть у випадку збігу фактичної похибки з її границею або близькістю з нею, хоча цей стан може бути порушено одразу після проведення перевірки, що призводить до негативних наслідків.

Процес установлення МКІ за своєю суттю схожий на один із етапів перевірки ЗВТ, оскільки у першому випадку необхідно спрогнозувати, через який час фак-

тична похибка перевищить установлену користувачем границю, а в другому — необхідно визначити чи перевищила фактична похибка встановлену у методиці перевірки границю. В обох випадках приймають рішення відносно придатності до подальшого застосування ЗВТ протягом МКІ або міжпіврічного інтервалу (МПП).

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

Вихідними даними слугують дані калібрувань та проміжних перевірок для одного рівня вимірюваної величини (точки калібрування), а саме, показання ЗВТ або їх відхилення від дійсного значення. Така вимірвальна інформація наявна в акредитованій ВЛ, оскільки у відповідності до п.5.6.1 [2] все встаткування, що має істотний вплив на точність результатів випробувань, повинно бути відкаліброваним (ВЛ зобов'язана обґрунтувати необхідність калібрування), та згідно з п.5.6.3.3 проводяться проміжні перевірки, необхідні для підтримання довіри до статусу калібрування.

Стабільність у часі цих характеристик визначається аналізуванням їх дрейфу та прогнозуванням імовірного часу виходу значень за допустимі границі із застосуванням регресійного аналізу. Коефіцієнти побудованої лінійної регресійної моделі визначалися 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 перевірок необхідно в кожній обраній точці діапазону провести не менше 5 (п'яти) вимірювань [11].

Для проведення проміжних перевірок, 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 цій статті, як приклад 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 перевірок. Пунктиром зображено побудовану лінійну регресію між ІІ МХ ( $y$ ) та часом ( $x$ ), точковими лініями — розрахований довірчий інтервал. Суцільною лінією зображено нижню

границю (196 г), яка становить 80 % від допустимої похибки, встановленої користувачем ( $200 \pm 5$ ) г (рис. 4). Коефіцієнт лінійної регресії  $k$  в цьому випадку є статистично значимим. На рис. 1 б) зображено випадок, коли значення обраного інформативного параметру (ІП) МХ стабільні в часі, відповідно коефіцієнт  $k$  не є статистично значимим і прогнозоване значення МКІ ЗВТ значно завищене.

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

\* значення  $x$  у точці перетину граничного значення ЗВТ  $y_{гр}$  з  $y_{рег} = y(x)$  (рис. 2, МКІ\_1);

\* значення  $x$  у точці перетину граничного значення ЗВТ  $y_{гр}$  з довірчим інтервалом побудованої регресійної моделі  $y_{дов}$  (рис. 2, МКІ\_2). МКІ визначається розв'язком відносно  $x$  рівняння [13]:

$$y_{гр} = y_{дов}, \text{ звідки:}$$

$$y_{гр} \pm 0,8 \cdot \Delta_{ЗВТ} =$$

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

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

$y_{ет}$  — значення СЗ або внутрішнього еталона, калібратора;

$\bar{x}$  — середнє значення  $x$ , дні;

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

$n$  — кількість повторних вимірювань;

$m$  — кількість точок вимірювань (кількість проміжних перевірень та калібрувань);

$s_y$  — СКВ випадкової складової похибки (стандартна невизначеність)  $y$

$$s_y = \sqrt{(1/(m-2)) \sum_{j=1}^m (y_j - y_{рег})^2};$$

$t_{\alpha}$  — квантиль розподілу Стюдента для довірчої ймовірності  $P = 1 - \alpha$ ,  $v = n - 2$ .

\* значення  $x$ , за якого виконується рівність  $y_{рег-и}(x_{МКІ-1}) = y(x)$ . Тобто таке значення, за якого значення ІП дорівнюватиме граничному значенню довірчого інтервалу  $y_{дов}$  у точці перетину граничного значення допустимої похибки ЗВТ  $y_{гр}$  з  $y_{рег}$  у точці  $y(x_{МКІ-1})$  (рис. 2, МКІ\_3). Границі інтервалу

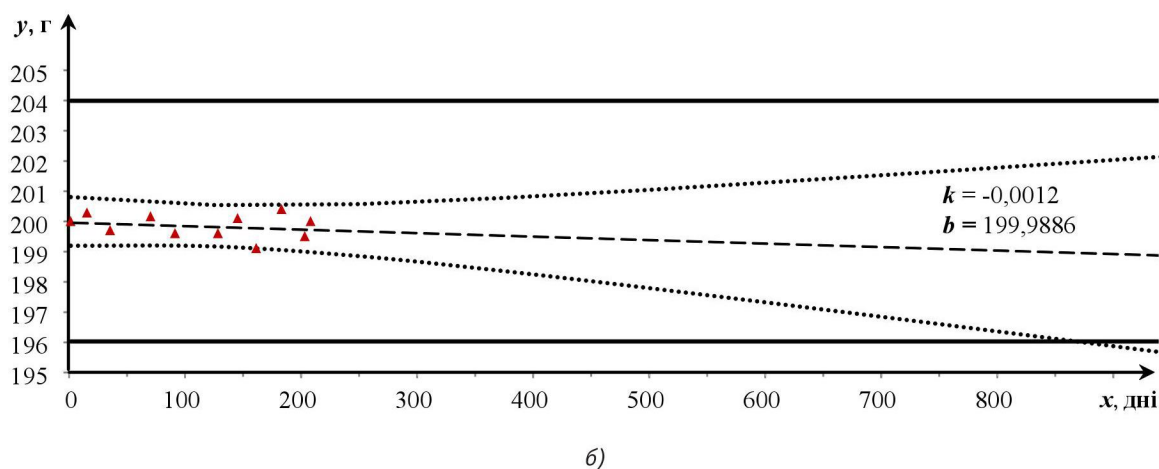
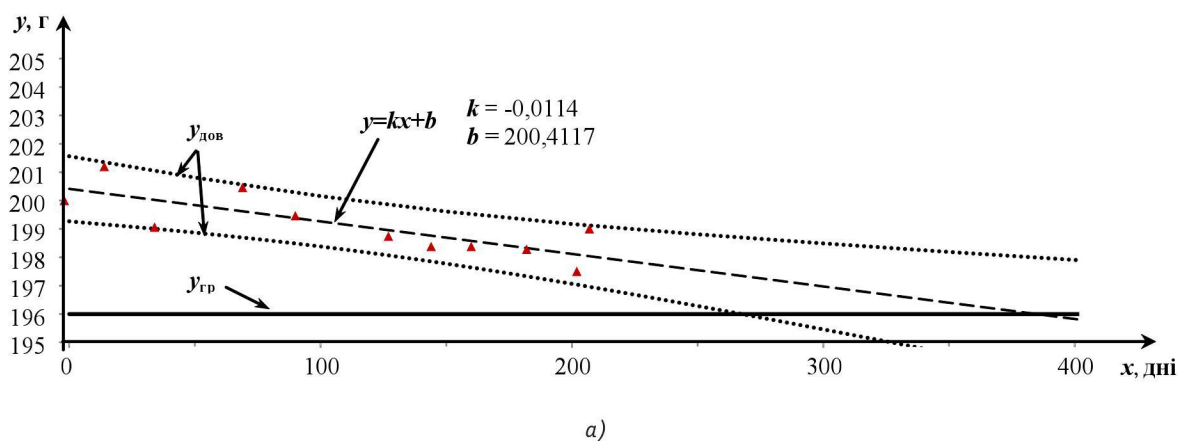


Рис. 1. Градувальна характеристика побудована за результатами калібрувань та проміжних перевірень, де інформативним параметром слугують показання вагів: а) коефіцієнт  $k$  статистично значимий, б) коефіцієнт  $k$  статистично не значимий

Fig. 1. The calibration characteristic is constructed from the results of calibrations and intermediate checks, where the indication of weights is the informative parameter: a) the coefficient  $k$  is statistically significant, b) the coefficient  $k$  is not statistically significant



значень МКІ визначаються за рівнянням [14]:

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

де  $\bar{y}$  — середнє значення  $n$  повторних вимірюваних величин у конкретній  $i$ -ій точці;

$\bar{\bar{y}}$  — середнє значення вихідної величини (ІІІ) за всім діапазоном.

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 достатньо громіздким процесом. Для прикладу отримано один із коренів рівняння верхньої границі довірчого інтервалу  $z(x)$  отриманої функціональної залежності  $y(x)$

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

матиме вид:

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

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 отриманні значення  $x$ , яке відповідає перетину лінії регресії  $y(x) = k \cdot x + b$  з  $y_{гр}$  із 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 (рис. 4), дорівнює «0» та не враховується за регресійного аналізу. На рис. 2, за значеннями ІІІ — СКВ повторних вимірювань, отримано МКІ\_1 = 252,5 дня, МКІ\_2 = 183,7 дня, МКІ\_3 = 164,1 дня. Значення меншої границі отриманого інтервалу за вісею часу буде шуканим МКІ ЗВТ.

На рис. 3 представлено розроблений авторами алгоритм установлення та коригування МКІ ЗВТ, який описує запропонований метод. У методі розглядаються 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 стосовно наявності 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 указати рекомендований МКІ. Якщо уповноважена організація не може встановити рекомендований МКІ, тоді МКІ приймається рівним МПІ. Якщо відсутня інформація стосовно МПІ, то направляється

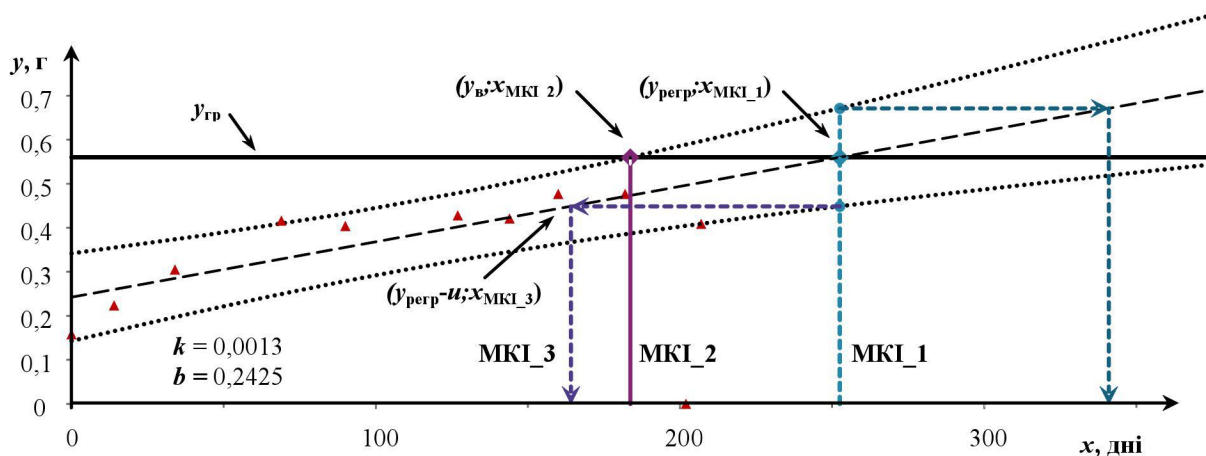


Рис. 2. Ілюстрація встановлення МКІ ЗВТ за значеннями СКВ  
 Fig. 2. Illustration of the establishment of the calibration interval from the value of standard deviation

відповідний запит виробнику ЗВТ щодо зазначення первинного МКІ або МПІ.

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

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

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

Для оцінювання стабільності (дрейфу) основних метрологічних характеристик ЗВТ рекомендовано проводити проміжні перевірки з інтервалом, не більшим за 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 перевірок і приймається рішення щодо коригування МКІ: збільшити або зменшити МКІ на 3 міс., або як скоригований 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 міститься на перетині межі допустимого значення і довірчого інтервалу побудованої лінійної регресії.

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

### 2. Для ЗВТ, які були в експлуатації:

Якщо не проводилися проміжні перевірки ЗВТ, то, з моменту впровадження цього методу у ВЛ, необхідно визначити значення точок вимірювального діапазону ЗВТ і частоту проведення проміжних пе-

ревірок. Згідно із затвердженою періодичністю починають проводити проміжні перевірки ЗВТ. У разі використання ЗВТ протягом трьох МКІ і наявності у ВЛ свідоцтв стосовно відповідних чотирьох послідовних калібрувань уповноваженими організаціями, уповноваженою особою виконується аналіз цих калібрувань. Якщо ІІ МХ ЗВТ стабільні у часі, то приймається рішення щодо збільшення МКІ.

Якщо обрані для аналізу ІІІ, отримані за результатами проміжних перевірок, стабільні у часі, то МКІ може бути скоригований 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 у ВЛ проводилися проміжні перевірки ЗВТ протягом не менше двох МКІ і наявні свідоцтва про не менш як три послідовних калібрувань за відповідний період експлуатації, то допустимо встановлення прогнозованого значення МКІ.

### 3. Дії за виходу ЗВТ з ладу

У разі поломки або виникнення невідповідної роботи ЗВТ його виводять з експлуатації та проводять ремонт з подальшим налаштуванням.

Якщо встановлений до поломки МКІ дорівнював або був меншим від 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 ІІІ отримані до ремонту ЗВТ дані стосовно його калібрувань і перевірок не використовуються.

Потрібно відзначити, що дрейф не завжди наявний, зважаючи на обмежений час аналізу (до 1 МКІ), тому, якщо коефіцієнт нахилу ( $k$ ) регресійної моделі визнано незначимим (рис.1 б), то пропонується збільшувати МКІ на подвоєний проміжок часу, протягом якого проводилися проміжні перевірки. Також потрібно розуміти, що аналізування МКІ не завжди призводить до його коригування в більшу сторону. Це залежить від встановленого у ВЛ рівня контрольних границь допустимої похибки та метрологічної надійності використовуваного ЗВТ.

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

Авторами розроблено програмний продукт у MS Office Excel з припущенням щодо нормального закону розподілу даних та вибором лінійної моделі

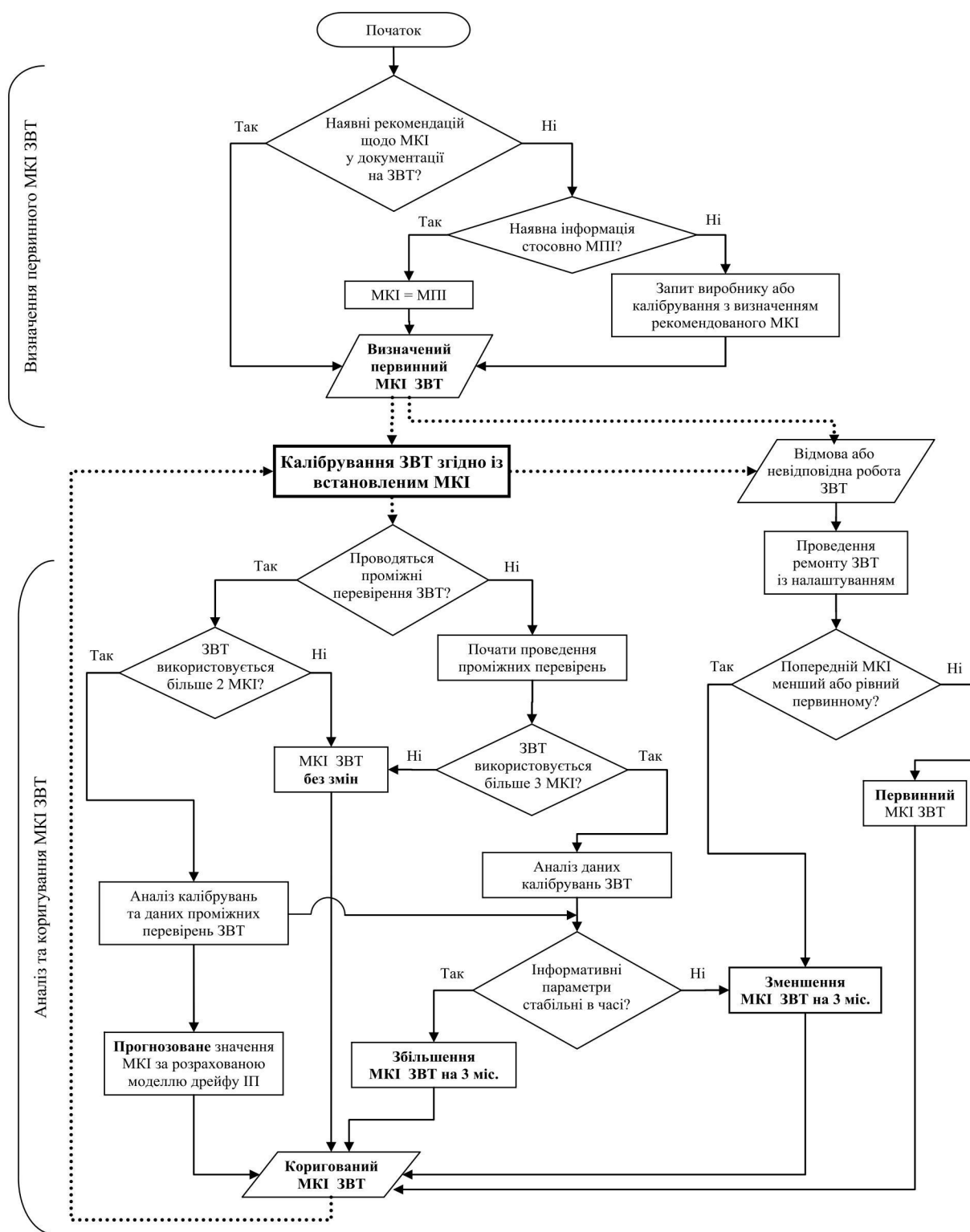


Рис. 3. Алгоритм встановлення та коригування МКІ ЗВТ.

Fig. 3. Algorithm of setting and adjusting the calibration interval of the measuring equipment

залежності ПП МХ ЗВТ від часу. Програмне забезпечення має такі функціональні можливості:

- ▶ відповідні поля для введення інформації стосовно ЗВТ (найменування, типу, заводського та інвентарного номерів, граничних значень допустимої похибки);
- ▶ реєстрування даних дійсного значення еталона

(СЗ) та відповідних результатів і дат проведення проміжних перевірок та калібрувань;

- ▶ відображення результатів регресійного аналізу за методом найменших квадратів, перевірка значимості коефіцієнтів регресії, відображення значень розрахованої функціональної залежності ПП від часу та її довірчих інтервалів;

Параметри ЗВТ		Параметри лінійної регресії $kx+b$ для:						Значень СКВ							
Номінал. знач., г	200	Вимірних значень	$k$	-0,0114	$k$ - статистично значущий		$K_{СКВ}$	0,0013	$k$ - статистично значущий						
Границя допустимої похибки, ±	5	$b$	200,4117	$b$ - статистично значущий		$b_{СКВ}$	0,2425	$b$ - статистично значущий							
Границя СКВ	0,7	Залишки	$s_{yx}$	0,69	Коef. Стюд.		$s_{yx}$	0,06	Коef. Стюд.						
Одиниця вимірювання	г	СКВ	$s_k$	74,93	$t_k$	3,939	$P$	0,95	$s_k$	0,000	$t_k$	4,9231	$P$	0,95	
Контрольні границі для МКІ, %	80%		$s_b$	0,38	$t_b$	520,7	$t_{p.}$	2,262	$s_b$	0,03	$t_b$	7,162	$t_{p.}$	2,262	
Прогнозований МКІ, міс.		03.01.2018													
Наступна дата калібрування		03.01.2018													

Вимірні значення, г		$m$	11	$n_{op}$	4,636																			
Дата	1	2	3	4	5	СКВ	$Y_{cp}$	Дні	Ном. знач.	Гран. ном. зн. нижч.	Гран. ном. зн. верх.	$(X_i - X_{ip})^2$	$S_{ycp}$	$U$	$Y_{рег}$	$Y-U$	$Y+U$	$S_{ycp}$ СКВ	$U$ СКВ	$Y_{рег}$ СКВ	$Y-U$ СКВ	$Y+U$ СКВ	Гран. зн. СКВ	Калібрування
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	ж
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 уведення даних

Fig. 4. Interface of the developed software product. Data Entry Letter

► візуалізація даних вимірювань, розрахованої функціональної залежності з довірчим інтервалом, контрольних границь допустимої похибки;

► можливість прогнозування значень з довірчим інтервалом ( $y$ ) за введеним оператором дискретним значенням ( $x$ ) і навпаки;

► розрахунок та візуалізація прогнозованого значення МКІ ЗВТ, отриманого за трьома підходами для ІІ оцінень систематичної та випадкової похибок результатів вимірювань;

► автоматизоване прийняття рішень щодо вибору оптимального МКІ ЗВТ із 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 отримано такі прогнозовані значення МКІ ЗВТ:

▲ ІІ — показання вагів: МКІ<sub>1</sub> = 386 днів; МКІ<sub>2</sub> = [262; 748] днів; МКІ<sub>3</sub> = [211; 561] днів;

▲ ІІІ — СКВ показань вагів: МКІ<sub>1</sub> = 253 дні; МКІ<sub>2</sub> = [186; 385] днів; МКІ<sub>3</sub> = [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 ІІІ оцінки випадкової похибки МКІ = 164 дні. Програмний продукт рекомендує здійснити наступне калібрування через 164 дні (5,3 місяці), та виводить дату наступного калібрування 03.01.2018, орієнтуючись на дату попереднього (23.07.2017).

На прикладі даних та розрахунків довірчих інтервалів, відображених на рис.1 б, за незначимого

коефіцієнта  $k$ , отримано такі прогнозовані значення МКІ ЗВТ для оцінення зміщення від дійсного значення: МКІ<sub>1</sub> = 9,3 роки; МКІ<sub>2</sub> до 2,4 роки; МКІ<sub>3</sub> неможливо визначити. Дані СКВ не враховувалися, оскільки у більшості проводилися одноразові вимірювання. У такому випадку метролог ВЛ приймає рішення на свій розсуд або збільшує МКІ на подвійний інтервал, за якого значення ІІ МХ були стабільними у часі, або, відповідно до алгоритму коригування МКІ ЗВТ, залишає інтервал без змін, оскільки дані проміжних перевірок отримані за час, менший від 2 МКІ (рис. 3). Якщо проміжні перевірки проводилися би протягом 2 МКІ і залишалися би стабільними у часі, то МКІ можна було б збільшити на 3 місяці.

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 перевірок дозволяє не лише прогнозувати МКІ, але й вчасно попередити невідповідності, зумовлені виходом МХ ЗВТ із інтервалу допустимих значень, встановлених у методиках випробувань.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз наявних нормативних документів та науково-методичних публікацій щодо встановлення МКІ, який обґрунтовує необхідність розроблення універсальної методики визначення МКІ для ЗВТ ВЛ.

2. Запропоновано регресійну модель дрейфу ІІ МХ ЗВТ, яка дозволила розглянути декілька варіантів визначення МКІ.

3. Розроблено програмний продукт у пакеті *MS Office Excel*, який дозволяє визначати МКІ ЗВТ з урахуванням даних калібрувань та внутрішньолабораторного контролю вимірювального встаткування (проміжних перевірень) та попереджати невідпо-

відності, зумовлені недостовірними вимірюваннями.

4. Запропоновано алгоритм методу встановлення та коригування МКІ ЗВТ ВЛ, який може бути корисним у застосуванні та створенні відповідної стандартної операційної процедури акредитованими ВЛ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

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 (National standard of Ukraine. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2005, IDT): DSTU ISO/IEC 17025:2006. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny), — 2007. — 26 с./р. — (Національний стандарт України).
3. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT): ДСТУ ISO 9001:2015. — [Чинний з 2016-07-01]. — К.: ДП «УкрНДНЦ» (National standard of Ukraine. Quality management systems — Requirements (ISO 9001:2015, IDT): DSTU ISO 9001:2015. Kyiv: DP «UkrNDNTS»), — 2016. — 31 с./р. — (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 (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), — 2007. — 25 с./р. — (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 (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), — 2014. — 6 с./р. — (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 (National standard of Ukraine. (2009). Metrolohiya. Metody vyznachennya mizhpovirkovoho ta mizhkalibrvalnoho intervaliv zasobiv vymiryuvannya (RMH 74-2004, IDT): DSTU-N RMH 74: 2009. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny), — 2009. — 27 с./р. — (Настанова).
7. Рекомендації. Встановлення та коригування інтервалів калібрування засобів вимірювальної техніки та випробувального обладнання. — Асоціація «УкрАО» — Київ (Recommendations. Vstanovlennya ta korehuvannya intervaliv kalibruvannya zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniki ta vyprobuvalnoho obladnannya. Kyiv: Asotsiatsiya UkrAO), 2015. — 18 с./р.
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 (Volkov, O.F., Volkov, R.O., Kolobov, K.S., Lesyk, O.S. & Richok, S.O. Rozrakhunok mizhkalibrvalnikh intervaliv zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniki. Avtomobilnyy transport). — 2015. — №5 (247). — С./Р. 11—13.
9. Косарева О. Коригування міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання / О. Косарева, О. Дзябенко // Метрологія та прилади (Kosaryeva O. & Dzyabenko, O. Koryhuvannya mizhkalibrvalnikh intervaliv vymiryuvalnoho obladnannya. Metrolohiya ta prylady). — 2017. — №3. — С./Р. 33—35.
10. В.Л. Ефремов. Вероятностная оценка метрологической надежности средств измерений: алгоритмы и программы. — СПб.: Нестор-История (Yefremov V.L. Veroyatnostnaya otsenka metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmereniy: algoritmy i programmy. Spb. Nestor-Istoriya). — 2011. — 200 с./s.
11. Єременко В.С. Етапи створення універсального алгоритму обробки вимірювальної інформації при побудові градувальних 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 (Yeremenko V.S. & Redko O.O. Etagy stvorennya universalnoho alhorytmu obrobky vymiryuvalnoyi ynformatsyy pry pobudovi hraduyovalnykh kharakterystyk (pp. 27-30). Report at the Ukrainian scientific-technical conference Kompyuterni tekhnolohiyi: innovatsiyi, problemy, reshenye. Zhitomir. ZHDTU), — 2015. — С./S. 27—30.
12. Мокійчук В.М. Вимірювання з попереднім градуванням ЗВТ. Оцінювання невизначеності результату / В.М. Мокійчук, О.О. Редько // Інтегровані

- інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017): матер. X міжнар. наук.-практ. конф. 16–17 травня 2017 р., м.Київ. — К.:НАУ (Mokiychuk, V.M. & Redko O.O. Vymiryuvannya z porerednim hraduyuvanniam ZVT. Otsinyuvannya nevznachenosti rezultatu (pp. 123–124) Report presented at the X International scientific-practical conference Intehrovani intelektualni robototekhnichni kompleksi, Kyiv. NAU), — 2017. — С./S. 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»» (Yeremenko V.S., Mokiychuk V.M. & Redko O.O. Metod koryhuvannya mizhkalibrvalnikh intervaliv zasobiv vymiryuvan (pp. 34—35). Report at the IV International scientific conference Vymiryuvannya, kontrol ta diahnostyka v tekhnichnykh systemakh, Vinnytsya. «TD «Edelveys i K»»), — 2017. — С./S. 34—35.
14. Якість води. Визначення градуовальної характеристик методик кількісного хімічного аналізу. Частина 1. Статистичне оцінювання лінійної градуовальної характеристики (ISO 8466-1-1990, IDT): ДСТУ ISO 8466-1-2001. — [Чинний від 2003-01-01]. — Київ: Держспоживстандарт України (National standard of Ukraine. 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 Ukrainy), — 2003. — 15 с./s. — (Національний стандарт України).
15. Метрологія. Міжпівірочний інтервал засобів вимірювальної техніки. Основні положення і вимоги установлення: ДСТУ 6044:2008. — [Чинний від 2009-05-01]. — Київ: Держспоживстандарт України (National standard of Ukraine. Metrolohiya. Mizhpovirochniy interval zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniky. Osnovni polozhennya u vymohy ustanovlennya: DSTU 6044:2008. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy), — 2009. — 9 с./s. — (Національний стандарт України). 