

ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСУ ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ СПРАВНОСТІ ТА ОЦІНЕННЯ МІЖКАЛІБРУВАЛЬНИХ ІНТЕРВАЛІВ ЗВТ

Анотація. У даній роботі розглянуто основні напрямки та принципи оцінки якості роботи обладнання з точки зору метрологічних характеристик. Також запропоновано метод прогнозування метрологічної справності, заснований на обмеженому об'ємі вимірених даних, який дозволить провести попередню оцінку кількості вимірювань конкретного приладу до першого виходу похибки вимірювань за встановлені межі з метою отримання користувачем реального часу напрацювання, без потреби в повторному юстуванні та покращення якості продукції за рахунок зменшення браку.

Аннотация. В данной работе рассмотрены основные направления и принципы оценки качества работы оборудования с точки зрения метрологических характеристик. Также предложен метод прогнозирования метрологической исправности, основанный на ограниченном объеме измеренных данных, который позволит провести предварительную оценку количества измерений конкретного прибора к первому выходу погрешности измерений за установленные пределы с целью получения пользователем реального времени наработки без необходимости в повторной юстировке и улучшения качества продукции за счет уменьшения брака.

Annotation. In this paper, the main directions and principles for assessing the quality of the operation of equipment in terms of metrological characteristics are considered. A method for predicting metrological service is also proposed based on a limited amount of measured data that will allow a preliminary estimation of the measurements number of a particular instrument to the first output of the measurement error beyond the specified limits in order to obtain a real operating time by the user without the need for re-aligning and improving the product quality by reducing marriage.

The use of forecasting methods, parameters of measuring equipment and requirements to measurement accuracy, allows to calculate the number of measurement cycles that a measuring instrument can do without recalibration with the help of a reference base available in calibration laboratories. So, following the calculated calibration time with the help of predictable behavior data of the measuring instrument, the laboratory can provide a regulated quality of research.

Вступ

На сьогоднішній день багато науковців працює над розробкою методів оцінювання метрологічних характеристик та метрологічної надійності. Існують рекомендації та стандарти європейських розробників щодо визначення та коригування міжкалібрувальних інтервалів [1-3] та рекомендації та стандарти провідних корпорацій, наприклад [4-5].

Відсутність єдиних універсальних практичних рекомендацій щодо встановлення та коригування міжкалібрувальних інтервалів призвело до необхідності розроблення настанов щодо визначення міжкалібрувального інтервалу.

Над проблемою міжкалібрувальних інтервалів працюють також і українські науковці. Так, в Національному університеті “Львівська політехніка” (кафедра метрології, стандартизації та сертифікації) розроблено алгоритм оцінювання метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на основі коефіцієнта метрологічного запасу та середньої частоти метрологічних відмов однотипних ЗВТ [6-7].

В монографії [8] дано алгоритми і програми в математичних редакторах MathCAD і EXCEL, що направлені на вирішення проблем управління масивами даних, що формуються в різних сферах професійної діяльності та способи прогнозування їх поведінки в часі. Одним з напрямків є керування надійністю засобів вимірювання в відповідності з міжнародними вимогами щодо контролю якості вимірювального обладнання. До методів вирішення таких проблем відноситься

ймовірнісна оцінка метрологічної справності приладів по мірі виконання первинних та періодичних повірок (калібрувань), а також обґрунтування чи коригування міжповірочних інтервалів.

При проведенні процедури калібрування часто виникає ситуація, коли результати деяких вимірювань суттєво відрізняються від інших («промахи»). Тому слід користуватись методами оцінки та усунення таких результатів вимірювань. Як приклад таких методів можна навести [9], де представлені два надійних методи оцінки вартості та невизначеності вимірюваної величини з зразків невеликої кількості експериментальних даних. Вони дозволяють встановлювати достовірні статистичні параметри вимірювань з використанням всіх експериментальних даних.

Актуальність даної теми полягає в узагальненні та адаптації статистичних методів оброблення результатів калібрувань, з метою розробки способу оцінювання міжкалібрувального інтервалу який задовольняв би вимогам калібрувальних лабораторій щодо простоти та універсальності.

Мета статті і постановка досліджень

В умовах спрямування України до Європейського союзу, перед промисловістю постає ряд нових цілей, щодо модернізації та вдосконалення виробництва. Однією з таких цілей є впровадження європейських стандартів, підходів до контролю якості роботи обладнання, як випробувального так і лабораторного і технологічного. Одним з актуальних питань підтримання справної роботи обладнання є підтримання його метрологічних характеристик в межах, що задекларовані технологією. Тож питання частоти проведення градування обладнання стоїть гостро в галузі аналітичної хімії, технологічного обладнання та випробувальних лабораторій. Тому розроблення методів контролю якості роботи ЗВТ в *реальних умовах експлуатації* та оцінювання показників метрологічної надійності конкретних промислових ЗВТ є гострою потребою підвищення якості вимірювальних процесів у сучасних виробництвах, лабораторній та медичній практиці.

Метою розробки є узагальнення існуючих методів, що існують на сьогоднішній день, та адаптація їх до умов використання в метрологічній практиці.

На сьогоднішній день методи статистичного моделювання широко використовуються в економічних розрахунках та прогнозах. Статистичні методи обробки результатів є більш гнучким щодо можливості оцінювання конкретного ЗВТ та їх використання дозволяє провести аналіз якості результатів вимірювань, приладу, навіть за умови обмеженої можливості використання еталонної бази, та з невеликим масивом вхідних даних.

Викладення основного матеріалу

Виходячи з трактування [10], часовий ряд - це множина спостережень, одержуваних послідовно в часі. Якщо час змінюється дискретно, часовий ряд називається дискретним. Перехід від моменту одного спостереження до моменту наступного спостереження прийнято називати кроком. Якщо значення членів тимчасового ряду точно визначене якою-небудь математичною функцією, то часовий ряд називається детермінованим. Якщо ці значення можуть бути описані тільки за допомогою розподілу ймовірностей, часовий ряд називається випадковим. Явище, що розвивається в часі згідно закону теорії ймовірностей, називається стохастичним процесом. У подальшому його буде названо просто процесом. Аналізований відрізок часового ряду може розглядатися як одна часткова реалізація (вибірка) досліджуваного стохастичного процесу, що генерується прихованим імовірнісним механізмом [10]. Також в [10] представлені методи прогнозування часових рядів різного типу, та алгоритми оцінювання рядів за допомогою адаптивних методів. Представлені адаптивні методи мають наступні властивості:

- застосовні для широкого кола завдань;
- адаптивне прогнозування не вимагає великого обсягу інформації, воно базується на аналізі інформації, що містяться в окремих часових рядах;
- модель, що описує структуру показника і його динаміку, як правило, відрізняється ясністю й простотою математичного формулювання.

На часовий ряд впливають у різний час різні фактори. Одні з них по тим або іншим причинам послаблюють свій вплив, інші впливають активніше. Таким чином, реальний процес протікає в

мінливих умовах, що становлять його зовнішнє середовище, до якого він пристосовується, адаптується. А модель, у свою чергу, адаптується до ряду, що представляє цей процес.

Як видно з вищенаведеного визначення, результати вимірювань, отримані за допомогою будь-якого ЗВТ, можуть бути розглянуті як дискретний стохастичний часовий ряд, з певним кроком, який в умовах конкретної лабораторії також є різним і визначає частоту вимірювань за допомогою даного ЗВТ. Очевидно, що для кожної лабораторії цей показник є індивідуальним.

Для опису часових рядів використовуються математичні моделі.

Представляючи, часовий ряд x_t , що генерується деякою моделлю, можна представити у вигляді двох компонентів

$$x_t = \xi_t + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де величина ε_t генерується випадковим неавтокорельованим процесом з нульовим математичним очікуванням і кінцевою (не обов'язково постійною) дисперсією, а величина ξ_t може бути генерована або детермінованою функцією, або випадковим процесом, або якою-небудь їхньою комбінацією. Величини ξ_t і ε_t різняться характером впливу на значення наступних членів ряду. Змінна ε_t впливає тільки на значення синхронного їй члена ряду, у той час як величина ξ_t певною мірою визначає значення декількох або всіх наступних членів ряду. Через величину ξ_t здійснюється взаємодія членів ряду; таким чином, у ній утримується інформація, необхідна для одержання прогнозів. Найпростіша адаптивна модель ґрунтується на обчисленні так званої експонентної середньої.

Виявлення й аналіз тенденції динамічного ряду часто проводиться за допомогою його вирівнювання або згладжування. Експонентне згладжування - один з найпростіших і розповсюджених прийомів вирівнювання ряду. У його основі лежить розрахунки експонентних середніх.

Експонентне згладжування ряду здійснюється за рекурентною формулою

$$S_t = \alpha \cdot x_t + \beta \cdot S_{t-1}, \quad (2)$$

де S_t - значення експонентної середньої в момент часу t ; α - параметр згладжування ($\alpha = \text{const}$, $0 < \alpha < 1$); $\beta = 1 - \alpha$.

Вираз (2) можна переписати як

$$S_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) S_{t-1} = S_{t-1} + \alpha(x_t - S_{t-1}). \quad (3)$$

Експонентна середня на момент часу t виражена як експонентна середня попереднього моменту плюс частка в різниці поточного спостереження й експонентної середньої минулого моменту.

Якщо послідовно використовувати рекурентне співвідношення (2), то експонентну середню S_t можна виразити через значення часового ряду x

$$\begin{aligned} S_t &= \alpha x_t + \beta S_{t-1} = \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \beta^2 S_{t-2} = \dots \\ &= \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \alpha \beta^2 x_{t-2} + \dots + \alpha \beta^{l-1} x_{t-l} + \dots + \beta^N S_0 = \alpha \sum_{i=0}^{N-l} \beta^i x_{t-i} + \beta^N S_0, \end{aligned} \quad (4)$$

де N - кількість членів ряду; S_0 - деяка величина, що характеризує початкові умови для першого застосування формули (2) при $t=1$.

Отже,

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i x_{t-i}. \quad (5)$$

Таким чином, величина S_t виявляється зваженою сумою всіх членів ряду. Причому вага падає експоненційно залежно від давнини («віку») спостереження. Це й пояснює, чому величина S_t названа експонентною середньою.

Як видно з наведеного вище, експонентна середня може бути успішно застосована для оцінювання даних калібрування.

В такому випадку моделлю можуть служити вимірні дані, або оцінена невизначеність, яка включає в себе всі складові які впливають на результат вимірювання.

Для прикладу було взято дані калібрування термостату ТС-802 (свідоцтво про калібрування №1692 від 30.03.17 року), який являє собою низькотемпературний рідинний термостат. При проведенні розрахунків прогнозних даних було взято вибірку з 20 послідовних замірів температури. При цьому 10 перших замірів було взято як дані для побудови поліному експонентного згладжування ряду здійснюється за рівнянням (4). Результати розрахунків наведено в табл. 1.

Табл. 1. Результати калібрування термостату ТС-802

№ вимірювань	Температура, °С			Похибка, °С	
	установлена	виміряна	прогнозована	вимірювання	прогнозування
1	37,00	37,70	-	-	-
2	37,00	38,40	-	-	-
3	37,00	40,20	-	-	-
4	37,00	39,20	-	-	-
5	37,00	38,10	-	-	-
6	37,00	37,10	-	-	-
7	37,00	36,90	-	-	-
8	37,00	37,00	-	-	-
9	37,00	37,60	-	-	-
10	37,00	37,90	-	-	-
11	37,00	37,40	37,01	0,40	0,01
12	37,00	37,50	37,21	0,50	0,21
13	37,00	37,60	37,60	0,60	0,60
14	37,00	37,60	37,62	0,60	0,62
15	37,00	37,70	37,13	0,70	0,13
16	37,00	36,90	37,33	0,10	0,33
17	37,00	37,70	37,55	0,70	0,55
18	37,00	37,60	37,48	0,60	0,48
19	37,00	37,30	37,23	0,30	0,23
20	37,00	37,30	37,39	0,30	0,39
21	37,00	37,30	37,49	0,30	0,49
22	37,00	37,40	37,41	0,40	0,41
23	37,00	37,40	38,29	0,40	0,29
24	37,00	37,50	37,41	0,50	0,41
25	37,00	37,40	37,45	0,40	0,45
26	37,00	37,40	37,39	0,40	0,39

Як видно з вище вказаних даних, прогнозовані дані є корельовані з дійсними вимірними значеннями, та повторюють коливальний характер зміни температури в камері термостату. Також, похибка прогнозування є незначною, що дає змогу застосовувати даний метод розрахунків в вимірювальних системах виробництв, та для прогнозування поведінки виробничих та лабораторних засобів вимірювальної техніки. Графічне відображення результатів розрахунків наведено на рис. 1-3.

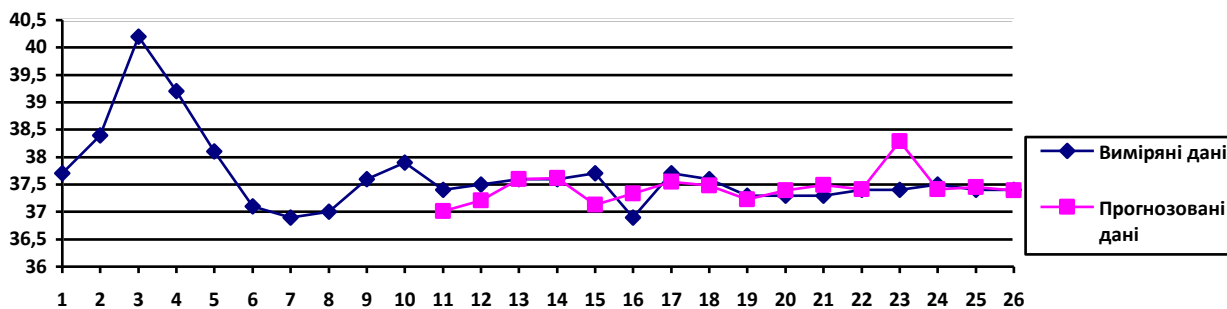


Рис. 1. Графічне відображення вимірних та прогнозованих даних

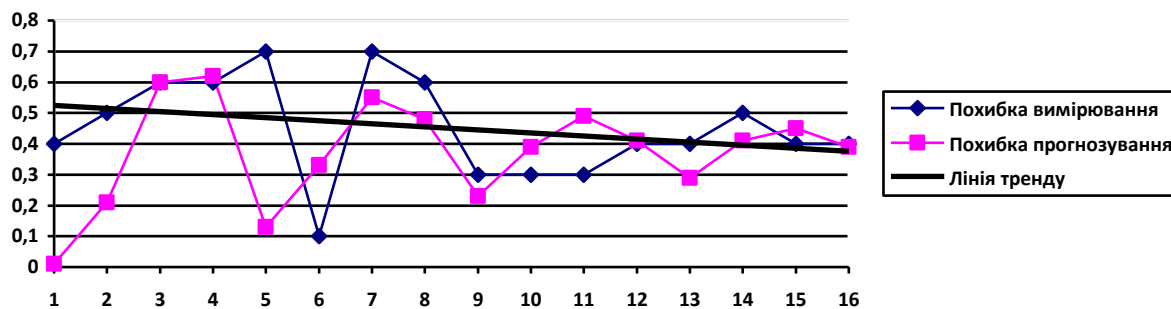


Рис. 2. Графічне відображення вимірної та прогнозованої абсолютної похибки

Як видно з графіків, прогнозна модель описує розвиток процесу в часі, з певною затримкою, що є наслідком використання ретроспективних даних.

Висновки та перспективи подальших розробок.

Таким чином, застосовуючи методи прогнозування, і знаючи параметри ЗВТ, що застосовується в лабораторії, та вимоги до точності вимірювань, що регламентується в даній лабораторії, можна з розрахувати ту кількість циклів вимірювання, яку може зробити ЗВТ без перекалібрування – повторного юстування за допомогою еталонної бази, що наявна в лабораторії, або в калібрувальних лабораторіях.

Отже, дотримуючись розрахованих термінів юстування за допомогою прогнозованих даних поведінки ЗВТ – лабораторія може забезпечити регламентовану якість досліджень.

Перелік літературних джерел.

1. Рекомендации EUROLAB–Украина по внедрению требований ISO/IEC 17025: 2005 в практику испытательных и калибровочных лабораторий.
2. EA-4/02 M Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration. – 2013.
3. ILAC-G24:2007 / OIML D 10:2007 Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments // International Laboratory Accreditation Cooperation. – 2007.
4. The SAC Accreditation Programme “Calibration intervals of measuring instruments. Specific Requirements for Calibration and Measurement Laboratories” // Technical Notes MET 001. – Feb. 2010.
5. ESYD GA 1 /01/06/20-06-2007 Guidance on the application of the laboratory accreditation criteria. Measurement and calibration systems // Hellenic Accreditation System S.A.
6. Микийчук М.М. Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення: дис. д-ра техн. наук / М.М. Микийчук. – Львів, 2012. – С. 292.
7. Микийчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості: наук.-техн. журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу. – 2009. – № 23. – С. 126–129.
8. Ефремов Л.В. Вероятностная оценка метрологической надежности средств измерений: алгоритмы и программы. – СПб: Нестор-история, 2011. – 200 с.
9. E. Volodarsky, Z.L. Warsza Examples of Robust Estimation with Small Number of Measurements // Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques. Volume 3 Measuring Techniques and Systems. – 2015. – pp. 285-291.
10. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2003.-416 с.