УДК 681.5.08
DOI: https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-119-125

І.А. Омельчук, стр. викл.
Житомирський державний технологічний університет

Використання статистичних методів для прогнозування часу збереженняметрологічної справності та оцінення міжкалібрувальних інтервалів ЗВТ

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 виміряних 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 юстувані та покращення якості продукції за рахунок зменшення браку

Ключові слова: *калібрування; невизначеність; правильність; збіжність; відтворюваність; між калібрувальний інтервал.*

Постановка проблеми дослідження. 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. З введенням в експлуатацію новітніх технологічних ліній та сучасного лабораторного обладнання все більш гостро постає проблема недостатньої ефективності прийнятих традиційних методів контролю якості вимірювання промислових та лабораторних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), а також технологічного обладнання. Таким контролем є випробування, повірка та калібрування ЗВТ.

Згідно з ДСТУ\ISO 17025, калібрування є добровільним і проводиться лише за замовленням власника ЗВТ, який зацікавлений в підтриманні справного стану вимірювального обладнання та несе відповідальність за якість вимірювань параметрів, які ним контролюються. В таких умовах, метрологічні центри та калібрувальні лабораторії є не тільки контролюючими органами, а виступають в якості експертно - сервісних підприємств, що надають не просто послуги з контролю, а й співпрацюють з виробником та бізнесом для покращеннях технічного стану обладнання, та сприяючи їх розвитку. Залишившись при цьому контрольним органом для законодавчо регульованої метрології. Оцінкою роботи метрологічного центру, чи калібрувальної лабораторії повинно стати кількість підприємств, які з їх допомогою вийшли на ринки, затвердили свої позиції, та розширили виробництво. Саме задоволення цих потреб, втілення нових методів та алгоритмів оцінення метрологічних характеристик ЗВТ та їх надійності, орієнтованих на європейські стандарти, є особливо актуальним. Також питання частоти проведення градуювання обладнання стоїть гостро в галузі аналітичної хімії, та випробувальних лабораторій. Зазвичай, періодичність градуювання чітко прописується в алгоритмах та процедурах системи якості, та виконується, незважаючи на показники обладнання, що призводить до перевитрати як реагентів, так і часу лабораторії на повторні та занадто часті градуювання обладнання. 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.

Стандартизовані підходи до контролю метрологічних характеристик зазвичай оперують з певним типом ЗВТ і зовсім частково охоплюють одиночний прилад, з урахуванням особливостей його роботи в конкретних умовах. Основою загальноприйнятого підходу гарантування метрологічної надійності ЗВТ є призначення одного міжкалібрувального та міжповірочного інтервалу для всіх ЗВТ одного типу розв'язанням задачі оптимізації міжкалібрувального інтервалу за критерієм мінімізації сукупних витрат [1]. Як наслідок, рекомендовані, проміжки часу для проведення повторного калібрування, котрі дає виробник, можуть бути звужені, для *гарантованого охоплення всіх однотипних приладів*, що працюють в найрізноманітніших режимах. Тобто рекомендовані виробником часові інтервали для окремого типу ЗВТ є мінімально необхідними для забезпечення якості та стабільності роботи за найважчих умов його застосування. Часто, в реальних умовах експлуатації, робоче навантаження на окремий прилад є меншим ніж те, що було враховано при розрахунку між калібрувального інтервалу, тому розробка методів оптимізації міжкалібрувального інтервалу, що включає показники ЗВТ, що працюють в умовах конкретної лабораторії, або технологічного процесу є актуальною задачею сьогодення.

Аналіз досліджень та публікацій. На сьогоднішній день багато науковців працює над розробкою методів оцінювання метрологічних характеристик та метрологічної надійності.

© І.А. Омельчук, 2017

Також існують рекомендації та стандарти європейських розробників щодо визначення та коригування міжкалібрувальних інтервалів. Одним з таких стандартів є ILAC-G 24/OIML D10:2007 [2].

Метою цього стандарту є надання лабораторіям настанов, щодо оцінення міжкалібрувальних інтервалів. Згідно ILAC-G 24/OIML D10:2007 – визначення міжкалібрувальних інтервалів є комплекс математичних та статистичних процесів, який потребує точних і повних даних, отриманих під час калібрування. Відсутність єдиних універсальних практичних рекомендацій щодо встановлення та коригування міжкалібрувальних інтервалів призвело до необхідності розроблення настанов щодо визначення міжкалібрувального інтервалу. Тому в цьому стандарті, у зв'язку з відсутністю єдиного методу, який оптимально підходить для цілого ряду ЗВТ, наведено кілька простих методів для оцінювання та коригування міжкалібрувальних інтервалів, та їх придатності для різних типів ЗВТ [2].

Як видно з самого документу – проблема розробки певного універсального методу оцінення міжкалібрувального інтервалу є актуальоню та до кінця не вирішеною.

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 ЗВТ на основі коефіцієнта метрологічного запасу та середньої частоти метрологічних відмов однотипних ЗВТ, що створює додаткові можливості оперативного виявлення метрологічних відмов та забезпечує підвищення обґрунтованості встановлення міжкалібрувальних інтервалів [3].

Також, в монографії проф. Ефремова Л.В. під назвою «Вероятностная оценка метрологической надежности средств измерений: алгоритмы и программы.» 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 [4]. Дана монографія була опублікована в місті Санкт-Петербург.

Проблемним до сьогодні залишається розроблення універсального методу, який дозволяє проводити попереднє оцінювання метрологічної надійності, міжкалібрувального інтервалу одиничного засобу вимірювальної техніки, що працює за конкретних умов експлуатації, та навантаження.

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

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

Мета і завдання дослідження. Метою розробки є узагальнення існуючих методів, що існують на сьогоднішній день, та адаптація їх до умов використання в метрологічній практиці, впровадження в метрологічну практику новітніх методів оцінювання якості роботи обладнання як лабораторного, так і технологічного, Європейських підходів по індивідуальному оцінюванню метрологічних характеристик з урахуванням специфіки роботи конкретного приладу.

На сьогоднішній день методи статистичного моделювання широкро 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.

Так, навчальний посібник «Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов» автора Лукашина Ю.П [18]. присвячений побудові статистичних моделей зі змінним параметрам для прогнозування нестаціонарних часових рядів. В ньому розглянуті адаптивні моделі поліноміальних й стохастичних трендів, сезонних і циклічних коливань.

Викладення основного матеріалу. Виходячи з трактування [18], часовий ряд – це множина спостережень, одержуваних послідовно в часі. Якщо час змінюється дискретно, часовий ряд називається дискретним. В посібнику розглянуто дискретні часові ряди, у яких спостереження робляться через фіксовані інтервали часу, прийняті за одиницю обрахунку. 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 [18]. Також в книзі

Лукашина Ю.П. представлені методи прогнозування часових рядів різного типу, та алгоритми оцінювання рядів за допомогою адаптивних методів

Представлені в [18] адаптивні методи мають наступні властивості:

- вони 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 послабляють 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.

По тому, наскільки добре модель піддається «навчанню», можна судити про її здатність адекватно відображати закономірності даного часового ряду.

Після вибору параметра адаптації самонавчання моделі відбувається в процесі переробки нових статистичних даних.

Як видно з вище сказанного 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 індівідуальним. Для опису часових рядів використовуються математичні моделі.

Представляючи, часовий ряд *xt*, що генерується деякою моделлю, можна представити у вигляді двох компонентів:

$$x_t = \xi_t + \varepsilon_t \tag{1}$$

де величина ε_t генерується випадковим неавтокорельованым 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 приймань вирівнювання ряду. У його основі лежить розрахунки експонентних середніх.

Експонентне згладжування ряду здійснюється по рекуррентной формулі:

$$S_t = \alpha x_t + \beta S_{t-1} \tag{2}$$

де *St* – значення експонентної середньої в момент *t;*

α – параметр згладжування, α – const, 0<α<1;

ß = 1-α

Вираз (2) можна переписати в такий спосіб:

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

Експонентна середня на момент *t* тут 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 *St* можна виразити через значення часового ряду *x*

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

де *N* – кількість членів ряду;

So – деяка величина, що характеризує початкові умови для першого застосування формули (2) при t = 1.

Отже

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i x_{i-t} \,. \tag{5}$$

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

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

В такому випадку моделлю можуть служити виміряні 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 обрахунків 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 обрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Температура установлена	37,0	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00	37,00
Температура виміряна	34,70	38,40	40,20	39,20	38,10	37,10	36,90	37,00	37,60	37,90	37,40	37,50	37,60	37,60	37,70	36,90	37,70	37,60	37,30	37,30	37,30	37,40	37,40	37,50	37,40	37,40
Температура прогнозована											37,01	37,21	37,60	37,62	37,13	37,33	37,55	37,48	37,23	37,39	37,49	37,41	37,29	37,41	37,45	37,39
Δвим											0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	-0,10	0,70	0,60	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,40	0,40
Δпрогноз											0,01	0,21	0,60	0,62	0,13	0,33	0,55	0,48	0,23	0,39	0,49	0,41	0,29	0,41	0,45	0,39

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

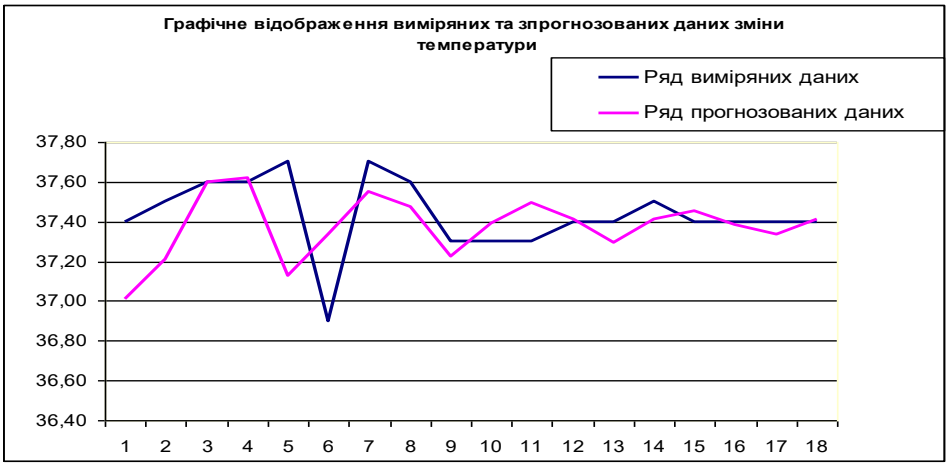

Рис. 1 Графічне відображення виміряних та зпрогнозованих даних

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

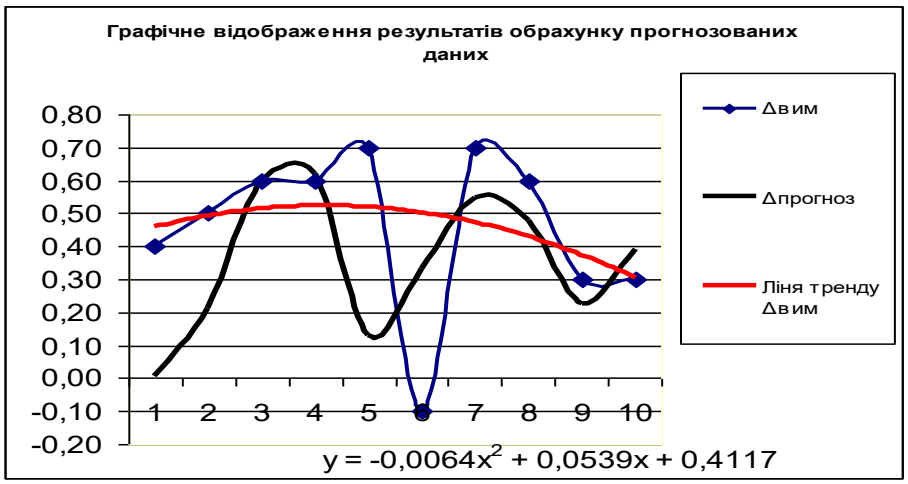

Рис. 2. Графічне відображення виміряної та зпрогнозованої абсолютної похибки

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 обрахованих термінів юстування за допомогою прогнозованих даних поведінки ЗВТ – лабораторія може забезпечити регламентовану якість досліджень. Оскільки, знаючи кількість циклів вимірювання ЗВТ, до виходу за межі допустимого відхилення, можна провести його повторне юстування до моменту виходу за установлені межі похибок.

Зазвичай, частота побудови градуювальних графіків – юстування ЗВТ прописується в процедурах системи якості, та виконується набагато частіше, аніж того потребує прилад.

Але в разі застосування дороговартісних стандартних розчинів, або в умовах складного та тривалого процесу самого юстування занадто часте його проведення може стати економічно недоцільним, і призвести до перевитрати коштів.

Застосовуючи вище приведений метод обрахунку, можна підібрати таку періодичність юстувань та калібрувань ЗВТ, що буде оптимальною для конкретної лабораторії, та точності досліджень, що нею задекларована.

Таким чином – застосування методу статистичної обробки результатів вимірювань дозволить провести попередній прогноз поведінки окремого конкретного взятого ЗВТ в часі, за даними отриманих результатів, що дасть змогу оцінити інтервал, на протязі якого зберігається його робота з заданою точністю без повторного юстування.

Отже – маючи значення метрологічних характеристик конкретного ЗВТ, що працює в умовах даної лабораторії з усіма впливними чинниками саме цієї лабораторії, будь – то температура, живлення мережі, контрольні зразки, що застосовувались при побудові градуювальної характеристики, кваліфікація персоналу, та ін., можна розрахувати прогнозоване значення циклів вимірювання, з певною імовірністю, які цей ЗВТ зможе зробити, зберігаючи задані метрологічні характеристики, та не потребуючи повторного градуювання.

Таким чином – можна виконати лабораторії замовнику не тільки розрахунок невизначеності, збіжності та відтворюваності, а й надати рекомендації щодо між градуювального інтервалу, який буде оптимальним для конкретного ЗВТ в умовах сме цієї лабораторії, що значно покращить режим роботи обладнання, та дозволить суттєво підняти якість вимірювань за рахунок більш оптимального використання як самого обладнання – вчасно проводити повторне градуювання, так і реактивів, стандартних розчинів та часового ресурсу – відпадає потреба в занадто частому градуюванні обладнання, для збереження заданої точності та якості.

Використання методів статистичної обробки результатів покращить процес метрологічного контролю в лабораторіях та на підприємствах, за рахунок отримання між контрольного інтервалу, розрахованого індивідуально для кожного приладу, що працює в конкретних умовах.

Отримання користувачем реального часу напрацювання, без потреби в повторному юстувані сприятиме формуванню більш гнучкого графіка калібрування та юстування того, чи іншого ЗВТ, що контролює певні параметри технологічного процесу, та призведе до покращення якості продукції за рахунок зменшення браку.

Загалом – впровадження в практичну діяльність запропонованого методу, дасть значний економічний ефект на підприємствах за рахунок зменшення проценту браку, та оптимізацію витрат на метрологічне забезпечення.

Список використаної літератури:

1. Верховна рада України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1314-18.
2. Рекомендации EUROLAB–Украина по внедрению требований ISO/IEC 17025: 2005 в практику испытательных и калибровочных лабораторий.
3. ЕА – 4/02 Выражение неопределенности измерения при калибровках.
4. *Новицкий П.В*. Динамика погрешностей средств измерений / *П.В. Новицкий, И.А. Зограф, В.С. Лабунец*. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
5. *Микийчук М.М*. Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення : дис. … д-ра техн. наук / *М.М. Микийчук*. – Львів, 2012. – 292 с.
6. *Фридман А.Э.* Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики : дис. … д-ра техн. наук / *А.Э. Фридман* // Вимірювальна техніка та метрологія. – № 74. – М., 1994. – 423 с.
7. *Данилевич С.Б.* Метрологическое обеспечение производства и качество продукции / *С.Б. Данилевич, С.С. Колесников* // Законодательная и прикладная метрология. – 2007. – № 2. – С. 6–9.
8. Хорош ли продолжительный межповерочный интервал для теплосчётчиков при расширенном диапазоне измерения расхода / *А.Е. Данилов, И.Н. Бригаденко, Г.Н. Иванова, Е.Ю Парамонова* // Энерго-сбережение, 2003. – № 5. – С. 17.
9. РМГ 74 – 2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
10. ГОСТ 8.565–99. ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов.
11. *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.
12. ILAC-G24:2007 / OIML D 10:2007 (E) Рекомендації по визначенню частоти калібрувань вимірювальних приладів.
13. The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics : EURACHEM Guide / EURACHEM.
14. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results : NIST Technical Note 1297 / NIST. – 1994.
15. Center for Drug Evaluation and Research : Reviewer Guidance Validation of Chromatographic Methods / CDER.
16. ДСТУ 5725:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Ч. 1–6.
17. ISO 3534-1:2006. Статистика. Словарь и условные обозначения. Ч. 1 : Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятности.
18. *Лукаши Ю.П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов : учеб. пособие / *Ю.П. Лукаши*. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
19. Система управління. Загальний документ «Оцінка відповідності. Основні вимоги до проведення перевірки кваліфікації» : наказ НААУ : від 29 липня : N 200-Я [відп. до ISO/IEC 17043:2010] / Національне агентство з акредитації України. – 2015.

References:

1. Verhovna rada Ukrai'ny, available at: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1314-18
2. EUROLAB–Ukraina (2005), *ISO/IEC 17025:2005: Praktika ispytatel'nyh i kalibrovochnyh laboratorij* [Practice of executive and calibration laboratories], prakticheskie rekomendacii po vnedreniju trebovanij.
3. *EA – 4/02: Vyrazhenie neopredelennosti izmerenija pri kalibrovkah* [Expression of measurement uncertainty during calibration], tehnicheskoe opisanie.
4. Novickij, P.V., Zograf, I.A. and Labunec, B.C. (1990), *Dinamika pogreshnostej sredstv izmerenij*, 2nd ed., pererab. i dop, Jenergoatomizdat, L., 192 p.
5. Mykyjchuk, M.M. (2012), *Metrologichne zabezpechennja jakosti produkcii' na stadii' vygotovlennja*, Abstract of d-ra tehn. nauk dissertation, L'viv, 292 p.
6. Fridman, A.Je. (1994), «Teorija metrologicheskoj nadezhnosti sredstv izmerenij i drugih tehnicheskih sredstv, imejushhih tochnostnye harakteristiki», Abstract of d-ra tehn. nauk dissertation, *Vimirjuval'na tehnika ta metrologija*, No. 74, M., 423 p.
7. Danilevich, S.B. and Kolesnikov, S.S. (2007), «Metrologicheskoe obespechenie proizvodstva i kachestvo produkcii», *Zakonodatel'naja i prikladnaja metrologija*, No. 2, pp. 6–9.
8. Danilov, A.E., Brigadenko, I.N., Ivanova, G.N. and Paramonova, E.Ju. (2003), «Horosh li prodolzhitel'nyj mezhpoverochnyj interval dlja teploschjotchikov pri rasshirennom diapazone izmerenija rashoda», *Jenergo-sberezhenie*, No. 5, p. 17.
9. Mezhgosstandart (2004), *RMG 74 GSI: Metody opredelenija mezhpoverochnyh i mezhkalibrovochnyh intervalov sredstv izmerenij* [Methods for determining the calibration and intercalibration intervals of measuring instruments], rekomendacii, Rosijskaja Federacija.

10. GSI (1999), *GOST 8.565-99: Porjadok ustanovlenija i korrektirovki mezhpoverochnyh intervalov jetalonov* [The procedure for establishing and adjusting calibration intervals for standards].
11. Mikijchuk, M.M. (2009), «Aktual'ni pitannja metrologichnoї nadijnosti promislovih ZVT», *Metodi ta priladi kontrolju jakosti, nauk.-tehn. zhurnal Ivano-Frankivs'kogo nacional'nogo tehnichnogo universitetu nafti ta gazu*, No. 23, pp. 126–129.
12. OIML D 10 (E) (2007), *ILAC-G24:2007: Rekomendacii' po vyznachennju chastoty kalibruvan' vymirjuval'nyh pryladiv* [Recommendations for determining the calibration frequency of measuring instruments].
13. EURACHEM, *The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*, EURACHEM Guide.
14. NIST (1994), *NIST Technical Note 1297: Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*.
15. CDER – Center for Drug Evaluation and Research, *Reviewer Guidance Validation of Chromatographic Methods*.
16. Nacional'nyj standart Ukrai'ny (2005), *DSTU 5725:2005: Tochnist' (pravyl'nist' i precyzijnist') metodiv ta rezul'tativ vymirjuvannja* [Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results].
17. Mezhdunarodnaja organyzacyja po standartyzacyy (2006), *ISO 3534-1:2006: Statistika. Slovar' i uslovnye oboznachenija* [Statistics. Vocabulary and conventions], Part 1 *Obshhie statisticheskie terminy i terminy, ispol'zuemye v teorii verojatnosti* [General statistical terms and terms used in probability theory].
18. Lukashi, Ju.P. (2003), *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov*, Finansy i statistika, M., 416 p.
19. Nacional'ne agentstvo z akredytacii' Ukrai'ny (2015), *Systema upravlinnja. Zagal'nyj dokument «Ocinka vidpovidnosti. Osnovni vymogy do provedennja perevirky kvalifikacii*'», nakaz NAAU, vid 29 lypnja, N 200-Ja, vidpovidno do ISO/IEC 17043:2010.

Омельчук Ігор Анатолійович – заступник начальника відділу метрологічного забезпечення, вимірювань та наукової діяльності, старший викладач кафедри «Біомедичної інженерії та телекомунікації Житомирського державного технологічного університету».

Наукові інтереси:

- калібрування;
- статистичні методи обробки даних вимірювань;
- математичне прогнозування.

Стаття надійшла до редакції 04.10.2017.