

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

Дипломна робота

бакалавра

Аналізування вимог до розроблення нестандартних методик
калібрування

Завідувач кафедри, д-р техн. наук, проф.



О . І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук



М. В. Москаленко

Консультант, канд. техн. наук, проф.



О. І. Богатов

Керівник, канд. техн. наук, доцент



Н. В. Діденко

Студент гр. ММ-41-19



С.Ю. Товкун

Харків – 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Механічний

Кафедра: Метрології та безпеки життєдіяльності

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Метрології та БЖД

_____ **О. І.**

Богатов

« 31 » березня 2023 р

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Товкун Сергій Юрійович

1. Тема роботи: «Аналізування вимог до розроблення нестандартних методик калібрування»

Керівник роботи Діденко Н. В, к.т.н., доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від « 31 » березня 2023 року № 31



2. Строк подання студентом роботи 30 травня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1 Загальні вимоги до методик калібрування. 2 З'ясування умов для розроблення методики калібрування. 3 Загальні вимоги до оцінки невизначеності під час калібрування. 4 Розроблення макету нестандартизованої методики калібрування. 5.Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Не передбачено.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	проф. Богатов О. І.		

7. Дата видачі завдання 1 квітня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд вимог до методики калібрування	01.04.2023	
2	Аналізування вимог до розроблення стандартизованої та нестандартизованої методики калібрування	08.04.2023	
3	Розроблення макету нестандартизованої методики калібрування	20.04.2023	
4	Формування висновків по роботі. Оформлення дипломної роботи	15.05.2023	
5	Підготовка презентації та доповіді	30.05.2023	

Студент



(підпис)

Товкун С. Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Діденко Н.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 43 с., 1 рис., 1 таблиця, 1 додаток, 12 джерел.

ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, КАЛІБРУВАННЯ, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, НЕСТАНДАРТИЗОВАНА МЕТОДИКА, НОРМАТИВНИЙ ДОКУМЕНТ, СТАНДАРТИЗОВАНА МЕТОДИКА.

Метою роботи є розроблення макету нестандартизованої методики калібрування.

Об'єкт дослідження – методика калібрування.

Методи – теоретичні, що базуються на фундаментальних положеннях метрології щодо забезпечення єдності вимірювань та методи аналізу.

У технологічному процесі існування системи вимірювань дозволяє контролювати його точність та стабільність, а також оцінювати відповідність метрологічних характеристик обладнання та продукції встановленим вимогам. Оптимальним вирішенням цієї проблеми, а також інструментом підвищення якості калібрувальних робіт у лабораторіях є розробка на підприємствах власних методик калібрування.

Актуальність розробки методик калібрування обумовлена також тим, що калібрування, що є одним із найпоширеніших видів метрологічних робіт, являє собою один із факторів, що забезпечують довіру до результатів вимірювань та випробувань продукції, що відіграє значну роль у забезпеченні її конкурентоспроможності.

Проведено огляд вимог до стандартизованих та нестандартизованих методик калібрування та аналізування нормативних та законодавчих документів щодо процесу калібрування взагалі. Наведені приклади стандартизованих методик калібрування. Результатом роботи є розроблений макет нестандартизованої методики калібрування.

Розроблений макет нестандартизованої методики калібрування може бути використаний як основа для розроблення нестандартної методики калібрування для конкретного ЗВТ та може бути корисним для випробувальних та

калібрувальних лабораторій, підприємств, які використовують даний ЗВТ для калібрування.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Загальні вимоги до методик калібрування.....	8
1.1 Стандартизовані методики.....	9
1.1.1 Приклади стандартизованих методик калібрування.....	10
1.2 Нестандартизовані методики калібрування.....	13
2.Оцінка невизначеності під час калібрування.....	16
2.1 Терміни.....	16
2.2 Загальні вимоги до оцінки невизначеності під час калібрування.....	16
2.3 Аналіз рівнянь вимірювань	22
2.3.1 Калібрування портативного цифрового мультиметра в точці діапазону 100 В.....	22
2.3.2 Калібрування калібратора температур за температури 180 °С.....	24
2.3.3 Калібрування побутового лічильника води.....	27
3 Розроблення макету нестандартизованої методики калібрування.....	30
3.1 Назва методики.....	30
3.2 Склад вступної та основної частин нестандартизованої методики калібрування.....	31
4 Інструкція з охорони праці.....	36
4.1 Загальні вимоги охорони праці.....	36
4.2 Вимоги охорони праці перед початком робіт.....	37
4.3 Вимоги охорони праці під час роботи.....	38
4.4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях.....	40
4.5 Вимоги охорони праці після закінчення робіт	40
Висновки.....	41
Перелік посилань.....	42
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи	45

ВСТУП

З 2014 р. в Україні здійснюється гармонізація системи технічного регулювання з європейською системою. Зміни стосуються також метрології та метрологічної діяльності. Зміни у визначеннях метрологічних термінів та законодавчих вимог у цій сфері привели до виникнення проблем для підприємств України щодо проведення калібрування засобів вимірювальної техніки після надання чинності Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» з січня 2016 р.

На великих підприємствах застосовуються декілька тисяч засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) для проведення вимірювань з метою контролю та випробування продукції. Тому забезпечення єдності вимірювань залишається основним завданням метрологічної діяльності на будь-якому підприємстві, як основа досягнення необхідної точності результатів вимірювань і їх достовірності.

При цьому проведення калібрування засобів вимірювальної техніки (далі - ЗВТ) є одним з чинників, що забезпечують довіру до результатів вимірювань і випробувань продукції [1]. Калібрування ЗВТ здійснюється відповідно до методик калібрування. Тому питання, які стосуються розроблення методик калібрування ЗВТ, є досить актуальними на даний час.

1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО МЕТОДИК КАЛІБРУВАННЯ

Калібруванням називають сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу.

Калібрування за Законом [1] суттєво відрізняється від калібрівання, яке проводилося до 2016 р. Нажаль, деякі підприємства до цього часу проводять саме таке калібрівання, при цьому посилаючись на свідоцтво про атестацію на проведення калібрівання. Слід звернути увагу на те, що дія таких свідоцтв про атестацію припинилась 31.12.2015 р. Це виходить з того, що на відміну від свідоцтв про атестацію вимірювальних лабораторій, у прикінцевих положеннях Закону [1] немає ніяких вказівок щодо калібрівальних лабораторій, та з того, що термін «калібрівання» змінив визначення.

Перелік установ, уповноважених на проведення калібрівання ЗВТ представлено на рисунку 1.1

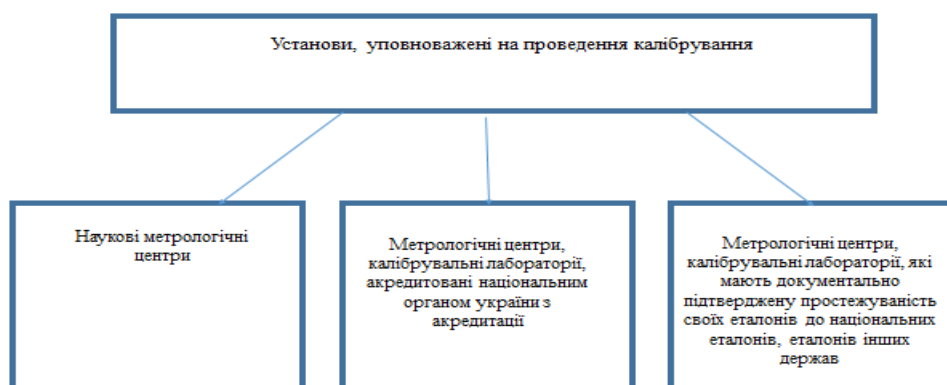


Рисунок 1.1 – Установи, уповноважені на проведення калібрівання

Калібруванню в добровільному порядку можуть підлягати засоби вимірювальної техніки, які застосовуються у сфері та/або поза сферою законодавчо регульованої метрології. Калібруванню також підлягають вторинні та робочі еталони.

1.1 Стандартизовані методики

Вимоги до стандартизованих методик визначені в ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [2], в якому говориться, що лабораторія має використовувати прийнятні методи та процедури для всієї лабораторної діяльності, а також там, де це доречно, для оцінювання невизначеності вимірювання і вибору статистичних методів для аналізування даних.

Також в цьому документі зазначається, що термін "метод", може вважатися синонімом терміну "процедура вимірювання", як це визначено в ISO/IEC Guide 99 [3].

Усі методи, процедури та супровідні документи, такі як інструкції, стандарти, настанови та довідкові дані, що стосуються лабораторної діяльності, мають бути актуалізовані та бути легкодоступними для персоналу.

Лабораторія має забезпечити, що вона використовує останню чинну версію методу, тільки за винятком, якщо це є неможливим або є недоречним. І якщо необхідно, то застосування методу потрібно доповнювати додатковою інформацією для забезпечення його стабільного застосування.

У випадку, якщо замовник не зазначає метод для використання, то лабораторія має сама вибрати відповідний метод з обов'язковим інформуванням замовника про вибраний нею метод.

Рекомендовані такі методи, які опубліковані в міжнародних, регіональних чи національних стандартах, або ті, що рекомендують авторитетні технічні організації, або методи, що описані у відповідній науковій літературі чи журналах. Можна також обрати методику, що зазначає виробник обладнання.

Методи, розроблені або модифіковані лабораторією також можуть бути використані.

Перед тим, як метод буде використано, лабораторія ще до початку їх використання має переконатися в тому, що вони можуть бути правильно виконані, тобто верифікувати з доведенням того, що очікувані результати можуть бути досягнуті. Записи про верифікацію потрібно зберігати.

І верифікацію потрібно буде повторити в необхідному обсязі в тому випадку, якщо організація, яка видала метод, переглянула його.

1.1.1 Приклади стандартизованих методик калібрування.

– AUV – акустика, ультразвук, вібрація:

ДСТУ ISO 16063-21:2006 Методи калібрування давачів вібрації і удару. Частина 21. Калібрування давачів вібрації методом порівняння з еталонним давачем (ISO 16063-21:2003, IDT).

ДСТУ ISO 16063-22:2006 Методи калібрування давачів вібрації і удару. Частина 21 (може 22). Калібрування давачів удару методом порівняння з еталонним давачем (ISO 16063-22:2005, IDT).

– М – маса та пов'язані з нею величини:

ISO 376:2011 Metallic materials - Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines.

ISO 6789:2003 Assembly tools for screws and nuts -- Hand torque tools -- Requirements and test methods for design conformance testing, quality conformance testing and recalibration procedure.

ISO 148-2:2008 Metallic materials - Charpy pendulum impact test -- Part 2: Verification of testing machines. А этот уже 2016 г.)

ASTM E23-12c Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.

ISO 7500-1:2004 Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines -- Part 1: Tension/ compression testing machines - Verification and calibration of the force-measuring system.

ASTM E4 - 14 Standard Practices for Force Verification of Testing Machines.

EA-10/04 Uncertainty of Force Measurements. A. Sawla Uncertainty Scope of the Force Calibration Machines.

EA-2/03 (EAL-P7) EAL Interlaboratory Comparisons.

EURAMET cg-14 Guidelines on the Calibration of Static Torque Measuring Devices.

ДСТУ ISO 6506-2:2017 Металеві матеріали. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 2. Повірка та калібрування приладів для вимірювання твердості

ДСТУ ISO 6507-2:2007 Металеві матеріали. Визначення твердості за Віккерсом. Частина 2. Повірка та калібрування приладів для вимірювання твердості (ISO 6507-2:2005, IDT).

ISO 6507-2:2005 Metallic materials -- Vickers hardness test -- Part 2: Verification and calibration of testing machines.

ДСТУ EN ISO 6508-2:2017 Матеріали металеві. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 2. Повірка та калібрування приладів для вимірювання твердості (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-2:2016, IDT).

ISO 6508-2:2005 Metallic materials -- Rockwell hardness test -- Part 2: Verification and calibration of testing machines and indenters.

ISO 18898-2012 Rubber - Calibration and verification of hardness testers.

ДСТУ OIML R 111-1:2008 Гирі класів точності E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ і M₃. Частина 1. Загальні технічні вимоги та методи випробувань (OIML R 111-1:2004, IDT) (Додаток С)

EURAMET Calibration Guide № 18 Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments (Настанова з калібрування неавтоматичних зважувальних приладів).

ISO 7971-1:2009 Cereals -- Determination of bulk density, called mass per hectolitre -- Part 1: Reference method (ISO 7971-2:2009 Cereals -- Determination of bulk density, called mass per hectolitre -- Part 2: Method of traceability for measuring instruments through reference to the international standard instrument (Зернові. Визначення насипної густини зерна, яку називають «маса гектолітра». Частина 2. Метод простежуваності для засобів вимірювань до міжнародного еталона) Зернові. Визначення насипної густини зерна, так звану «масу гектолітра». Частина 1. Контрольний метод).

ДСТУ EN ISO 6789:2014 ISO 6789-2, ISO 6789-1

EURAMET cg-4 Машини силовимірювальні еталонні та установки прямого навантаження

EURAMET cg-14 Моментоміри та пристрої для вимірювання крутильного

ISO 8655-6: 2002 EURAMET cg-19. Version 2.1 Дозатори піпеткові та поршневі

ISO 4787:2011 EURAMET cg-19. Version 2.1 Міри місткості усіх типів

EURAMET cg-21. Version 1.0 Міри місткості усіх типів

EURAMET cg-21. Version 1.0 Мірники еталонні

ISO 7971-1:2009 Пурки

– L – довжина:

Calibration Guide EURAMET/cg-06/v.01 Кільця вимірювальні та установлювальні

Calibration Guide EURAMET cg-2 Version 2.0

Calibration Guide EURAMET/cg-10/v.01 Калібри різьбові

EAL-G20 Профілографи-профілометри

ДСТУ ISO 3310-2016 Сита. Технічні вимоги та випробування.

ДСТУ 7472:2013 Метрологія. Резервури сталеві циліндричні вертикальні з еліптичними днищами. Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів.

ДСТУ 7473:2016 Метрологія. Резервуари стаціонарні вимірювальні вертикальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів.

ДСТУ 7474:2016 Метрологія. Резервуари для скрапленого газу сталеві сферичні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів.

ДСТУ 7475:2016 Метрологія. Резервуари сталеві циліндричні горизонтальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів.

ДСТУ 7364:2016 Метрологія. Резервуари для скрапленого газу сталеві циліндричні горизонтальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом.

Відхилення від методик, для всіх видів лабораторних робіт має відбуватися лише, якщо ці відхилення задокументовано, технічно обґрунтовано та затверджено і прийнято замовником.

На цей час стандартизованих методик калібрування не так багато, та їх недостатньо для проведення калібрування. Тому в калібрувальних лабораторіях розроблюють нестандартизовані методики калібрування.

1.2 Нестандартизовані методики калібрування

У випадку необхідності розробити методику, розроблення має бути запланованою діяльністю, яку потрібно доручити компетентному персоналу, забезпеченому відповідними ресурсами.

У процесі розроблення методики потрібно здійснювати періодичний перегляд для підтвердження того, що вимоги замовника виконують. Також будь-які зміни до плану розроблення має бути схвалено та затверджено. Розроблення методики калібрування надається досвідченому фахівцю лабораторії разом із необхідними ресурсами.

Під час розроблення методики калібрування необхідно:

- встановити відсутність стандартизованої методики;
- розробити модель калібрування;
- встановити метод калібрування;
- визначитися із необхідними засобами калібрування та їх наявністю в лабораторії;
- визначити вимоги до фахівця, який буде проводити калібрування;
- встановити необхідні умови проведення калібрування;
- встановити вимоги щодо безпеки;
- визначити вимоги до проведення експериментальних досліджень під час калібрування;
- встановити як оцінювати невизначеності вимірювань під час калібрування.

Лабораторія має проводити валідацію нестандартизованих методик, методик, розроблених лабораторією, та стандартизованих методик, які застосовуються поза сферою їх використання, або модифікованих. Валідація має бути настільки повною, наскільки це необхідно для задоволення потреб цього застосування або сфери застосування.

У разі необхідності внесення змін до валідованої методики, вплив таких змін має бути визначено, та якщо вони впливають на первинну валідацію, має бути проведено нову валідацію методики.

Робочі характеристики валідованих методик, оцінених для належного застосування, мають відповідати потребам замовників та бути сумісними з визначеними вимогами.

Лабораторія обов'язково повинна зберігати наступні записи щодо валідації:

- процедуру валідації, що була використана;
- специфікацію вимог;
- визначення робочих характеристик методики;
- отримані результати;

- заяву про валідацію методики, що деталізує її придатність до застосування за призначенням.

Під час розроблення нестандартизованих методик калібрування особливою складністю є правильно скласти рівняння вимірювань та визначити складові невизначеності вхідних величин рівняння.

2 ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПІД ЧАС КАЛІБРУВАННЯ

2.1 Терміни

Найменша невизначеність вимірювання - це найменша невизначеність вимірювання, яку може досягти лабораторія для певної величини за ідеальних умов вимірювання в рамках своєї акредитації.

Стандартна невизначеність вимірювання - невизначеність вимірювання, що вказується з оцінкою, і виражена як стандартне відхилення.

Розширена невизначеність вимірювання - величина, що визначає інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого, можна очікувати, знаходиться більша частина розподілу значень, які з достатньою підставою могли бути приписані вимірюваній величині.

2.2 Загальні вимоги до оцінки невизначеності під час калібрування

Згідно Guide 98-3:2008 [4] невизначеність результату вимірювання відбиває відсутність точного знання значення вимірюваної величини, а результат вимірювання після внесення до нього поправки на відомі систематичні ефекти, залишається лише оцінкою значення вимірюваної величини, оскільки містить невизначеності, пов'язані з випадковими ефектами та неточністю виправлення результату на систематичні ефекти.

Різноманітність джерел невизначеності вимірювань включає:

- неповне визначення вимірюваної величини;
- недосконалу реалізацію визначення вимірюваної величини;
- нерепрезентативність вибірки (вимірювання проводять на зразку, що не становить вимірювану величину);
- неточне знання впливу умов навколишнього середовища на результат вимірювання або неточне вимірювання величин, що характеризують ці умови;

- суб'єктивна систематична похибка (внесена оператором під час зняття показань аналогових приладів);
- кінцеву роздільну здатність або поріг чутливості приладу;
- неточні значення, приписані еталонам та стандартним зразкам;
- неточні знання фізичних констант та інших параметрів, отриманих зі сторонніх джерел та використуваних при обробці даних;
- апроксимації та припущення, що використовуються у методі та методиці вимірювань (вимірювальній процедурі);
- мінливість у повторних спостереженнях за, здавалося б, незмінних умов вимірювань.

Якщо який-небудь систематичний ефект не був виявлений, то він не може бути врахований в оцінці невизначеності результату вимірювання, хоча і робить внесок у похибку вимірювання.

Що стосується оцінки найменшої невизначеності [5] вимірювання акредитованих калібрувальних лабораторій, то по-перше, вона повинна виходити з методів оцінки, а по-друге, підтверджуватися експериментально.

Як відомо, вказівка результату вимірювання є повною лише тоді, коли вона містить як значення, приписане вимірюваній величині за допомогою вимірювання, так і невизначеність вимірювання, що пов'язана з цим значенням. Вимірюваними величинами, в свою чергу, називають величини, значення яких можна визначити за допомогою вимірювання. При калібруваннях зазвичай мають справу тільки з однією вимірюваною величиною, званої також "*вихідною величиною* Y ", яка пов'язана з вхідними величинами X_i ($i=1, 2, \dots, N$) через відношення, яке має наступний вигляд:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (2.1)$$

та функція моделі f описує одночасно як метод вимірювання так і метод оцінювання.

Для випадкових змінних, що входять до моделі вимірювання в якості міри розсіювання значень, застосовується дисперсія або позитивний квадратний корінь з неї – званий стандартним відхиленням. Стандартна невизначеність $u(y)$, пов'язана з оцінкою y вимірюваної величини, є стандартним відхиленням вимірюваної величини Y . Вона отримується з оцінки x_i вхідної величини X_i і пов'язана з ними стандартними невизначеностями $u(x_i)$.

Невизначеність вимірювання, пов'язана з оцінками вхідних величин, визначається за методом оцінки типу А або типу Б. Метод А для оцінки стандартної невизначеності - це метод, при якому невизначеність вимірювання оцінюється за допомогою статистичного аналізу ряду спостережень. В цьому випадку стандартна невизначеність вимірювання є експериментальним стандартним відхиленням середнього значення, яке отримується за допомогою методів усереднення або відповідного регресійного аналізу.

Метод В для оцінки стандартної невизначеності вимірювання – це метод, при якому невизначеність вимірювання оцінюється іншими способами, ніж статистичний аналіз ряду спостережень. В цьому випадку оцінка ґрунтується на інших технічних, наукових і метрологічних знаннях.

Метод типу А для оцінки стандартної невизначеності вимірювання застосовується, коли для однієї із вхідних величин при однакових умовах вимірювання проводяться n незалежних спостережень ($n > 1$) та розраховується середнє арифметичне значення результатів вимірювань \bar{x}_i за формулою:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.2)$$

де n – кількість виконаних вимірювань величини x_i .

Дисперсія розподілу ймовірностей, що лежить в основі спостережень, оцінюється за допомогою експериментальної дисперсії S^2 .

Позитивний квадратний корінь з цієї дисперсії називається експериментальним стандартним відхиленням:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

Стандартну невизначеність вимірювання за типом А розраховують як:

$$u_A(x_i) = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

При оцінюванні стандартної невизначеності вимірювання за типом В, невизначеність вимірювання, пов'язана оцінкою x_i вхідної величини X_i оцінюється за методом, який полягає не у статистичному аналізі низки спостережень. Стандартна невизначеність вимірювання $u(x_i)$ виходить при цьому за допомогою метрологічно обґрунтованої оцінки мінливості вхідної величини X_i , враховуючи всю наявну інформацію. До цієї категорії належать такі значення:

- значення інших, раніше проведених вимірювань;
- значення, отримані в результаті досвіду або загальних знань про поведінку та властивості застосовуваних матеріалів або приладів;
- дані виробника;
- значення, що містяться у свідоцтвах про калібрування або інші посвідчення;
- невизначеності вимірювання, пов'язані з довідковими значеннями з довідкової літератури.

Застосування наявної в розпорядженні інформації для оцінювання стандартної невизначеності вимірювання за типом Б можливе тільки, якщо є достатній досвід і загальні знання. Вони є навичками, які опановують у метрологічній практиці. Добре обґрунтована оцінка стандартної невизначеності за типом Б буде такою ж надійною, як і оцінка за типом А, особливо в ситуації, в якій оцінювання за типом А ґрунтується лише на відносно невеликій кількості статистично незалежних спостережень.

Для розрахунку внеску невизначеності $u(x_i)$ вхідної величини у невизначеність $u(y)$ вимірюваної величини використовують формулу:

$$u_i(y) = c_i \cdot u_i(x_i), \quad (2.5)$$

де c_i — коефіцієнт чутливості;

$u(x_i)$ — невизначеність вхідної величини.

Коефіцієнт чутливості c_i визначає, якою мірою оцінка y вихідної величини знаходиться під впливом зміни оцінок вхідних величин x_i . Він може оцінюватися з функції моделі f за допомогою рівняння або за допомогою чисельних методів, тобто так, що розраховуються зміни оцінки для змін оцінок x_i на $+u(x_i)$ і $-u(x_i)$, і отримана різниця y , розділена на $2u(x_i)$, приймається як значення коефіцієнта чутливості c_i . У багатьох випадках зміна оцінок y вихідної величини доцільно визначати експериментальним способом, при якому повторюють вимірювання.

Якщо дві вхідні величини X_i і X_k є корельованими певною мірою, тобто вони є залежними одна від одної тим чи іншим способом, серед вкладів невизначеності має враховуватися також їхня коваріація. Наскільки ефект кореляції повинен братися до уваги, залежить від відповідного вимірювання, від знань про метод вимірювання та від оцінки взаємних залежностей вхідних величин. Загалом, необхідно звернути увагу на те, що нехтування кореляціями між вхідними величинами може призвести до помилкової оцінки стандартної невизначеності вимірюваної величини.

Аналіз невизначеності вимірювання, що часто також називається бюджетом невизначеності вимірювання, повинен містити список всіх джерел невизначеності під час вимірювання, разом з належними їм стандартними невизначеностями вимірювання та дані про те, як їх було отримано. При багаторазових повторних спостереженнях має також вказуватись кількість n проведених спостережень.

Для наочності важливі для аналізу дані також рекомендується вказувати у табличній формі. Приклад, який наведений для такого табличного розташування і дійсний для некорельованих вхідних величин, представлений в таблиці 2.1. Стандартна невизначеність вимірювання $u(y)$, що пов'язана з результатом вимірювання, дана внизу у правій колонці таблиці, є коренем із суми квадратів всіх вкладів невизначеностей у правій крайній колонці таблиці.

Таблиця 2.1 — Схема бюджету невизначеності

Величина X_i	Оцінка x_i	Стандартна невизначеність вимірювання $u(x_i)$	Коефіцієнт чутливості c_i	Внесок невизначеності $u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	c_2	$u_2(y)$
X_N	x_N	$u(x_N)$	c_N	$u_N(y)$
Y	y			$u(y)$

Калібрувальні лабораторії, акредитовані членом ЕА, у свідоцтвах калібрування вказують розширену невизначеність U , яка виходить множенням стандартної невизначеності вимірювання $u(y)$, пов'язаної з оцінкою у вихідної величини, на коефіцієнт охоплення k :

$$U = k u(y) \quad (2.6)$$

У випадках, при яких вимірюваній величині може приписуватися нормальний розподіл ймовірностей (розподіл Гауса) і при яких стандартна невизначеність вимірювання, пов'язана з оцінкою вихідної величини досить

надійна, коефіцієнт охоплення стандартно приймається рівним 2 ($k = 2$). Приписана розширена невизначеність вимірювання відповідає ймовірності покриття приблизно 95 %. І ці умови, загалом, справедливі для калібрування.

Якщо одна з названих умов (нормальний розподіл чи достатня надійність) не виконано, то для стандартного коефіцієнта охоплення $k = 2$ виходить розширена невизначеність вимірювання, яка відповідає ймовірності покриття меншою ніж 95%. У цих випадках слід застосовувати інші методи, щоб встановити, що значення розширеної невизначеності вимірювання відповідає приблизно такій же ймовірності покриття як у нормальному випадку.

2.3 Аналіз рівнянь вимірювань

Наведемо приклади рівнянь, складові яких необхідно враховувати під час калібрування різних ЗВТ.

2.3.1 Калібрування портативного цифрового мультиметра в точці діапазону 100 В.

Як частина загального калібрування, портативний цифровий мультиметр (ПЦМ) калібрується при подачі вхідної напруги постійного струму величиною 100 В з використанням багатофункціонального калібратора як робочий зразок. Використовується наступна процедура вимірювання:

- вихідні клеми калібратора з'єднуються з вхідними клемми мультиметра, використовуючи відповідні вимірювальні дроти;
- калібратор встановлюється на 100 В, і після необхідного періоду стабілізації знімаються показання;
- відхилення показань ПЦМ розраховується, використовуючи показання ПЦМ та параметри налаштування калібратора.

Необхідно відзначити, що відхилення показань ПЦМ, отримане за допомогою такої процедури вимірювання, включає ефект зміщення та відхилення від лінійності.

Відхилення показань мультиметра E_x , що калібрується складається з:

$$E_x = V_{ix} - V_s + \delta V_{ix} - \delta V_s \quad (2.7)$$

де V_{ix} – напруга, показана мультиметром (індекс i означає свідчення);

V_s – напруга, що генерується калібратором;

δV_{ix} – поправка показаної напруги для кінцевої роздільної здатності ПЦМ;

δV_s – поправка напруги калібратора через:

- його дрейфу з часу останнього калібрування,
- відхилення через комбінований ефект зсуву, нелінійності та різниці коефіцієнтів посилення,
- відхилення в температурі навколишнього середовища,
- відхилення у напрузі мережі,
- ефект недостатньо ретельного налаштування через кінцевий

вхідний опір ПЦМ, що калібрується.

Через обмежену роздільну здатність індикації ПЦМ не спостерігалось розсіювання в показуваних значеннях.

Покази мультиметра (V_{ix}): ПЦМ показує напругу 100,1 В при установці на калібраторі 100 В. Покази приймаються як точні.

Робочий еталон (V_s): у свідоцтві калібрування на багатофункціональний калібратор зазначено, що згенерована напруга є значенням, яке показане налаштованим калібратором, і те, що пов'язана з ним відносна розширена невизначеність вимірювання становить $W = 00002,0$ (коефіцієнт охоплення $k = 2$), що дає при встановленні 100 В розширену невизначеність вимірювання $U = 0,002$ В (коефіцієнт охоплення $k = 2$).

Роздільна здатність ПЦМ, що калібрується (δV_{ix}): найменший значущий розряд табло ПЦМ відповідає роздільної здатності 0,1 В. Кожний показ ПЦМ

має поправку через кінцеву роздільну здатність дисплея, яка оцінюється як 0,0 В з межами $\pm 0,05$ (тобто половина величини найменшого значущого розряду).

Інші поправки (δV_s): так як немає індивідуальних даних, невизначеність вимірювання, пов'язану з різними джерелами, отримують зі специфікацій виробника калібратора. Ці специфікації встановлюють, що згенерована калібратором напруга збігається зі встановленою на калібраторі в межах $\pm (0,0001 V_s + 1 \text{ мВ})^2$ при дотриманні умов вимірювання:

- температура навколишнього середовища лежить в діапазоні від 18 °С до 23 °С;
- напруга живлення мережі калібратора знаходиться в діапазоні від 210 В до 250 В;
- опір навантаження на клеммах генератора більш ніж 100 кОм,
- час, який минув з останнього калібрування калібратора, не більше року.

Так як ці умови вимірювання виконані, і практика калібрування калібратора показує, що на специфікацію виробника можна покладатися, поправка, яку потрібно застосувати до згенерованої калібратором напруги, приймається 0,0 В у межах $\pm 0,011$ В.

2.3.2 Калібрування калібратора температур за температури 180 °С.

Частиною процедури калібрування є вимірювання температури, яка повинна встановити у вимірювальному отворі калібратора температур. Це відбувається після стабілізації показань вбудованого індикатора температури 180 °С.

Температура отвору, що калібрується, визначається через вбудований платиновий термометр опору, який служить як робочий зразок, за допомогою вимірювання електричного опору термометра через міст змінного струму для виміру опору. Температура t_x , яка повинна ідентифікуватися як температура вимірювального отвору, коли показання вбудованого індикатора температури становитимуть 180 °С, визначатиметься як:

$$t_x = t_s + \delta t_s + \delta t_D - \delta t_{ix} + \delta t_R + \delta t_A + \delta t_H + \delta t_V \quad (2.8)$$

де

t_s – температура робочого зразка, що відтворюється мостом змінного струму для вимірювання опору;

δt_s – температурна поправка через міст змінного струму для вимірювання опору;

δt_D – температурна поправка через дрейф значення робочого еталона з моменту його останнього калібрування;

δt_{ix} – температурна поправка через кінцеву роздільну здатність показань калібратора температур;

δt_R – температурна поправка через різницю температур між окремими вимірювальними отворами;

δt_A – температурна поправка через осьову температурну неоднорідність у вимірювальному отворі;

δt_H – температурна поправка через гістерезис при збільшенні або зниженні гілки вимірювального циклу;

δt_V – температурна поправка через коливання температури протягом часу вимірювання.

Температурна поправка через теплопровідність не береться до уваги, так як в якості робочого еталона використовується платиновий термометр опору із зовнішнім діаметром $d \leq 6$ мм. Попередні дослідження показали, що тепловими ефектами в даному випадку можна знехтувати.

Робочий стандарт (t_s): У свідоцтві калібрування на термометр опору, що використовується в якості робочого еталону, наведено співвідношення між опором і температурою. Виміряне значення опору відповідає температурі $180,10$ °C з приписаною розширеною невизначеністю вимірювання $U = 30$ мК (коефіцієнт охоплення $k = 2$).

Визначення температури через міст змінного струму для вимірювання опору (δt_s): температура, визначена термометром опору, що використовується як робочий еталон, склала 180,10 °С. Стандартна невизначеність вимірювання мостом змінного струму в перерахунку на температуру становила $u(\delta t_s) = 10$ мК.

Температурний дрейф робочого зразка (δt_D): на підставі загальних дослідів з платиновими термометрами опору даного типу, що використовуються як робочі еталони, зміна температури через старіння опору з моменту останнього калібрування еталона оцінюється в межах ± 40 мК.

Налаштування калібратора температур (δt_{ix}): вбудований термометр калібратора температур (контрольний термометр) має ціну поділки 0,1 К. Це дає межі температури ± 50 мК, усередині яких можна однозначно встановити термодинамічний стан температурного блоку.

Примітка: Якщо показання вбудованого індикатора температури не наведено в одиницях вимірювання температури, проводиться перерахунок допустимих меж у відповідні значення температури. Для цього отримані значення показів помножуються на постійну вимірювального приладу.

Радіальна температурна неоднорідність (δt_R): радіальна різниця температур між різними вимірювальними отворами оцінюється в ± 100 мК.

Осьова температурна неоднорідність (δt_A): температурне відхилення через осьову температурну неоднорідність у вимірювальному отворі визначається за зчитуваними значеннями при різній глибині занурення і становить ± 250 мК.

Ефект гістерезису (δt_H): через зчитування показань з еталонного термометра протягом вимірювального циклу при підвищеннях і пониженнях температури, відхилення температури вимірювального отвору через ефект гістерезису оцінюється у діапазоні ± 50 мК.

Нестабільність температури (δt_V): температурні зміни через нестабільність температури протягом вимірювального циклу, що дорівнює 30 хвилинам, були оцінені в інтервалі ± 30 мК.

2.3.3 Калібрування побутового лічильника води

Калібрування лічильника води включає визначення відносного відхилення показань у межах допустимої області вимірювання об'ємної витрати лічильника. Вимірювання проводяться на випробувальному стенді, який відтворює необхідну витрату води з тиском приблизно 500 кПа, що є типовим значенням для ліній муніципального водопостачання. Вода збирається у відкритій вимірювальній ємності, яка калібрована та відтворює заданий об'єм води. На початок вимірювань вона порожня, проте зволожена. Вимірювальна ємність має вузькогорлий заливний патрубок, на якому розташована шкала, за якою можна встановлювати рівень наповнення. Лічильник, що калібрується, встановлюється між обома ємностями і підключається до них. Він має механічний відрахунок за стрілкою. Вимірювання здійснюється з витратою 2500 год^{-1} у постійному режимі старт-стоп, що означає, що витрата, як на початок, так і на кінець вимірювань дорівнює нулю. Значення показань лічильника води фіксуються на початку та наприкінці вимірювань. Фіксується рівень наповнення вимірювальної ємності наприкінці вимірювання. Також фіксуються температура та тиск води в лічильнику та температура води у вимірювальній ємності.

Відносне відхилення e_x показань для одиничного проходу визначається:

$$e_x = \frac{\Delta V_{ix} + \delta V_{ix2} - \delta V_{ix1}}{V_x} - 1 \quad (2.9)$$

де $V_x = (V_{is} + \delta V_{is})(1 + \alpha_s(t_s - t_0))(1 + \alpha_w(t_x - t_s))(1 - k_w(p_x - p_s))$

причому

$\Delta V_{ix} = V_{ix2} - V_{ix1}$ – різниця показань лічильника;

V_{ix2}, V_{ix1} – показання лічильника на початку та в кінці вимірювання;

$\delta V_{ix2}, \delta V_{ix1}$ – поправка через кінцеву розподільну здатність показань лічильника;

V_x – об'єм, що пройшов через лічильник протягом вимірювань за переважаючих умов, тобто при тиску p_x та температурі t_x на вході лічильника;

V_{is} – об'єм, що показується у вузькогорлом заливному патрубку вимірювальної ємності в кінці вимірювання;

δV_{is} – поправка на об'єм рівня наповнення вимірювальної ємності, що показується, через кінцеву роздільну здатність шкали;

α_s – температурний коефіцієнт об'ємного розширення матеріалу вимірювальної ємності;

t_s – температура вимірювальної ємності;

t_0 – значення температури, при якій проводилося калібрування вимірювальної ємності;

α_w – температурний коефіцієнт об'ємного розширення води;

t_x – температура води на вході лічильника;

k_w – об'ємна гнучкість води;

p_s – тиск у вимірювальній ємності (рівний нулю при розгляді надлишкового тиску);

p_x – тиск води на вході лічильника.

Вимірювальна ємність (V_{is}, t_0): у свідоцтві калібрування вказано, що показник рівня наповнення об'єму до 200 л при опорній температурі $t_0 = 20$ °С знімаються з відповідною відносною розширеною невизначеністю вимірювання 0,1 % ($k = 2$).

Роздільна здатність шкали вимірювальної ємності для рівня наповнення (δV_{is}): рівень наповнення водою вимірювальної ємності можна визначити з точністю до ± 1 мм. З коефіцієнтом масштабування ємності 0,02 л/мм максимальне відхилення об'єму води від показуваного значення оцінюється як $\pm 0,02$ л.

Температура води та вимірювальної ємності (α_s, t_s): температура води в вимірювальній ємності визначається 15 °С в діапазоні ± 2 К. Ці межі покривають усі можливі джерела невизначеності, як, наприклад, калібрування

температурного щупа, роздільна здатність при зчитуванні та температурний градієнт у ємності.

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення матеріалу ємності (сталі), взятий із довідника за матеріалами як константа і дорівнює $\alpha_s = 51 \cdot 10^{-6}$ в інтервалі температур, що розглядається. Так як дане значення вказано без невизначеності, то вона береться як останній відомий значущий розряд цього значення. Тому для невідомих відхилень приймаємо, що вони лежать усередині наближених меж $\pm 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Температура води у лічильнику (α_w, t_x): температура води на вході лічильника визначається $16 \text{ }^\circ\text{C}$ з діапазоном $\pm 2 \text{ K}$. Ці межі покривають усі можливі джерела невизначеності, як, наприклад, калібрування температурного щупа, роздільна здатність при зчитуванні та маленькі температурні зміни протягом одного вимірювального експерименту. Температурний коефіцієнт об'ємного розширення води, взятий з довідника за матеріалами як константа і дорівнює $\alpha_w = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ у розглянутому інтервалі температур. Так як це значення вказано без невизначеності, то приймається, що вона береться як останній відомий значущий розряд цього значення. Тому для невідомих відхилень приймаємо, що вони лежать усередині наближених меж $\pm 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Різниця в тисках води між лічильником і ємністю (k_w, p_s, p_x): Надмірний точний тиск води на вході лічильника становить 500 кПа з відносним відхиленням не більше $\pm 10 \%$. На шляху від входу лічильника до вимірювальної ємності вода збільшується в обсязі до надлишкового тиску 0 кПа (умови атмосферного тиску). Стислість води, взята з довідника за матеріалами як константа і дорівнює $k_w = 0,46 \cdot 10^{-6} \text{ кПа}^{-1}$ у розглянутому інтервалі температур. Так як дане значення зазначено без невизначеності, вона береться як останній відомий значущий розряд цього значення. Таким чином, для невідомих відхилень приймаємо, що вони лежать в середині наближених меж $\pm 0,005 \cdot 10^{-5} \text{ кПа}^{-1}$.

3 РОЗРОБЛЕННЯ МАКЕТУ НЕСТАНДАРТИЗОВАНОЇ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ

Макет нестандартизованої методики калібрування складається з перелічених нижче пунктів.

3.1 Назва методики.

Назва нестандартизованої методики калібрування повинна після слів "Нестандартизована методика калібрування" обов'язково містити назву категорії (групи), або типу ЗВТ, а також умовне позначення ЗВТ. А якщо калібрування однієї категорії (групи) ЗВТ може проводитися різними методами, що передбачає розроблення декількох методик калібрування, то в цьому випадку у назві нестандартизованої методики калібрування зазначається відповідний метод [6].

В даному випадку необхідності розробити метод для проведення нестандартизованої методики калібрування, розроблення має бути запланованою діяльністю, яку потрібно доручити компетентному персоналу, забезпеченому відповідними ресурсами [7].

У процесі розроблення цього методу потрібно здійснювати періодичний перегляд для підтвердження того, що вимоги замовника виконують. Також будь-які зміни до плану розроблення має бути схвалено та затверджено.

Відхилення від методів, для всіх видів лабораторних робіт має відбуватися лише, якщо ці відхилення задокументовано, технічно обґрунтовано та затверджено і прийнято замовником.

Лабораторія в даному випадку повинна провести валідацію нестандартизованих методів та методів, розроблених лабораторією, які застосовуються поза сферою їх використання, або модифікованих.

Валідація має бути настільки повною, наскільки це необхідно для задоволення потреб цього застосування або сфери застосування.

У разі необхідності внесення змін до валідованого методу, вплив таких змін має бути визначено, та якщо вони впливають на первинну валідацію, має бути проведено нову валідацію методу.

Робочі характеристики валідованих методів, оцінених для належного застосування, мають відповідати потребам замовників та бути сумісними з визначеними вимогами.

3.2 Склад вступної та основної частин нестандартизованої методики калібрування.

Нестандартизована методика калібрування складається із вступної – сфера застосування та основної частин.

У вступній частині визначають сферу застосування даної методики калібрування та вказують міжнародні нормативні документи та/або європейські стандарти, які були застосовані під час її розроблення. Також у вступній частині можуть наводитися визначення та терміни.

Основна частина нестандартизованої методики калібрування містить наступні розділи:

- операції калібрування;
- засоби калібрування;
- вимоги до кваліфікації персоналу;
- умови проведення калібрування;
- вимоги щодо безпеки;
- підготовка до проведення калібрування;
- проведення калібрування;
- обробка результатів вимірювань;
- розрахунок невизначеності вимірювань;
- оформлення результатів калібрування.

У розділі "Операції калібрування" потрібно навести перелік назв операцій, які здійснюють під час проведення калібрування, із зазначенням

відповідного пункту розділу "Проведення калібрування". В разі отримання негативних результатів під час здійснення тієї чи іншої операції у цьому розділі повинно бути передбачено можливість припинення проведення калібрування.

У розділі "Засоби калібрування" зазначається перелік основних та допоміжних засобів калібрування.

До основних відносяться: еталони, стандартні зразки складу та властивостей речовин і матеріалів.

До допоміжних: ЗВТ і допоміжне обладнання, що додатково застосовуються під час проведення калібрування, їх технічні характеристики та опис.

Обов'язково наводяться граничні значення невизначеностей вимірювань, які повинні забезпечувати ці еталони, які застосовують під час проведення калібрування. Відношення розширеної невизначеності (за довірчої ймовірності 95 %) значення величини, яку відтворює або вимірює еталон, до максимально допустимої похибки ЗВТ, що підлягає калібруванню, має бути не більше ніж один до трьох.

Також зазначається інформація щодо застосування засобів калібрування, які не наведено в переліку, але які забезпечують визначення метрологічних характеристик ЗВТ, що підлягають калібруванню, з необхідною точністю.

У розділі "Вимоги до кваліфікації персоналу" потрібно зазначити вимоги щодо необхідного рівня кваліфікації персоналу, що проводить калібрування (освіта, професія, практичний досвід).

Розділ "Умови проведення калібрування" зазначає перелік величин, що контролюються під час проведення калібрування, які впливають на метрологічні характеристики ЗВТ, що підлягають калібруванню, з необхідним зазначенням номінальних значень величин та допустимих відхилень від номінальних значень.

Розділ "Вимоги щодо безпеки" визначає вимоги до охорони навколишнього середовища та забезпечення безпеки умов праці під час проведення калібрування. З обов'язковим зазначенням інформації про

необхідність віднесення процесу проведення калібрування до робіт зі шкідливими або особливо шкідливими умовами праці.

Розділ "Підготовка до проведення калібрування" перепускає зазначення переліку робіт, що потрібно виконати перед проведенням калібрування, також спосіб їх виконання.

Розділ "Проведення калібрування" містить наступні підрозділи:

- зовнішній огляд;
- перевірка працездатності;
- визначення метрологічних характеристик.

Підрозділ "Зовнішній огляд" зазначає перелік вимог до ЗВТ, які підлягають калібруванню, стосовно їх зовнішнього вигляду та комплектності.

Підрозділ "Перевірка працездатності" зазначає опис та перелік операцій, що необхідно здійснити для перевірки працездатності ЗВТ, який підлягає калібруванню, а також взаємодії його окремих частин та елементів і саме працездатності.

Підрозділ "Визначення метрологічних характеристик" представляє собою опис операцій, які зазначені у розділі "Операції калібрування", в ньому також наводяться раціональні методи визначення метрологічних характеристик того ЗВТ, який підлягає калібруванню.

Опис кожної операції зазначається окремим пунктом, враховуючі послідовність відповідно до розділу "Операції калібрування".

Наприкінці кожного пункту наводяться відповідні дані щодо характеристик ЗВТ.

Опис операцій повинен містити назву, метод калібрування, схеми підключення, креслення, порядок здійснення операцій, графіки, формули, інформацію про максимально допустимі похибки вимірювань, таблиці з поясненням наведених у них позначень, рекомендації щодо кількості значущих цифр, що потрібно заносити до протоколу.

У разі якщо під час здійснення операцій калібрування необхідно ведення записів результатів вимірювань у протоколі калібрування, то про це

зазначається в методиці калібрування та наводяться вимоги до протоколу калібрування.

Розділ "Обробка результатів вимірювань" зазначає методи розрахунку похибок та способи обробки результатів вимірювань. Також тут можуть наводитися таблиці обчислюваних величин, приклад розрахунків під час обробки результатів вимірювань, графіки залежності величин та інші дані для розрахунків.

Розділ «Розрахунок невизначеності вимірювань» передбачає проведення розрахунку невизначеності вимірювань, що виконується за дотриманням алгоритму, що наведений у другому розділі даної роботи, з обов'язковим складанням рівняння вимірювання, що повинно враховувати та відображати всі складові, що мають вплив на результат вимірювання. Приклади розробки деяких варіантів рівнянь представлені в третьому розділі роботи.

У розділі "Оформлення результатів калібрування" зазначається інформація про вимоги до оформлення результатів калібрування та їх спосіб оформлення.

Застосовані під час проведення калібрування еталони, мають бути калібровані з обов'язковим дотриманням міжкалібрувальних інтервалів та відповідати вимогам ДСТУ OIML D 23 [8].

Також документально засвідченими повинні бути метрологічні та технічні характеристики допоміжного обладнання та допоміжних ЗВТ.

Якщо під час проведення калібрування ЗВТ застосовуються стандартні зразки, то ці зразки повинні мати встановлені значення властивостей стандартних зразків з відповідними невизначеностями вимірювань та простежуваністю згідно з ДСТУ-Н ISO Guide 35 [9] та супроводжуватися документами згідно з ДСТУ-Н ISO Guide 31 [10]. А науково-методичний центр Служби стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів вже визначає придатність до застосування цих стандартних зразків.

Важливо, щоб виробники стандартних зразків мали підтверджену компетентність.

Саме підтвердженням компетентності є:

- для наукових метрологічних центрів — це успішне проходження оцінки системи управління якістю регіональною організацією з метрології;
- для інших же виробників — це акредитація на відповідність національним органом України з акредитації або національним органом з акредитації іншої держави.

4 ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Користуючись чинним законодавством з охорони праці, а також положенням про розробку інструкцій з охорони праці [11] та типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [12], розроблено інструкцію з охорони праці під час виконання робіт з калібрування засобів вимірювань, яку викладено нижче.

4.1 Загальні вимоги охорони праці

До робіт, пов'язаних з повіркою, калібруванням та ремонтом засобів вимірювань допускаються особи віком від 18 років, які пройшли медичний огляд, знають пристрій обладнання, що мають групу електробезпеки не нижче III, вивчили цю інструкцію та пройшли вступний та первинний на робочому місці інструктаж з охорони праці, а також стажування та перевірку знань вимог охорони праці.

Працівник у процесі роботи повинен проходити повторний інструктаж не рідше одного разу на 6 місяців, перевірку знань вимог охорони праці не рідше одного разу на рік, медичний огляд не рідше одного разу на два роки.

Працівник, який одержав незадовільну оцінку під час кваліфікаційної перевірки, до самостійної роботи не допускається і не пізніше одного місяця повинен пройти повторну перевірку.

Персонал повинен дотримуватись вимог цієї інструкції, а також інструкції заводу-виробника використовуваного обладнання; правил внутрішнього розпорядку; встановлених режимів праці та відпочинку; порядку повідомлення адміністрації про випадки травмування працівника та несправність обладнання, пристроїв та інструменту; правил особистої гігієни.

Особи, допущені до роботи, повинні виконувати лише ту роботу, яка їм доручена. Особи, які порушили вимоги цієї інструкції, притягуються до

відповідальності відповідно до Кодексу законів про працю та правил внутрішнього трудового розпорядку лабораторії.

4.2 Вимоги охорони праці перед початком робіт

Працівник повинен одягти робочий одяг, взуття та інші засоби індивідуального захисту, передбачені галузевими нормами; отримати у безпосереднього керівника завдання на виконання робіт, перевірити стан робочого місця, справність та комплектність обладнання, заземлення, вентиляції, пристроїв, інструменту, достатність освітлення (необхідно забезпечити чітку видимість засобів повірки, зняття показань лічильників), розкласти інструмент і пристрої так, щоб вони не впали і були в зручному для користування порядку.

Перед увімкненням електроживлення обладнання працівник зобов'язаний переконатися у відсутності зовнішніх несправностей в електричних з'єднаннях між складовими частинами обладнання, а також перевірити справність з'єднувальних дротів. Сполучні дроти не повинні мати скруток, пошкоджень ізоляції та обплетення.

Під час вимірювань необхідно заземлити металеві корпуси переносних засобів вимірювань, кожухи трансформаторів і дільники напруги. Підключення та відключення обладнання до гідравлічної системи має здійснюватися при закритій запірній арматурі. Перед підключенням лічильника та / або комп'ютера до обладнання необхідно вимкнути електроживлення.

Працівник повинен переконатися, що пуск у роботу обладнання нікому не загрожує небезпекою. Доступ до повірюваного / каліброваного обладнання має бути вільним. Про всі виявлені несправності працівник повинен сповістити безпосереднього керівника.

4.3 Вимоги охорони праці під час роботи

Персонал допускається до роботи тільки на атестованому устаткуванні, до якого має спеціальний допуск, і зобов'язаний виконувати тільки ту роботу, якій його навчено і яка доручена адміністрацією.

Працівник повинен не допускати на своє робоче місце осіб, які не мають відношення до дорученої роботи, та не довіряти свою роботу та обладнання іншій особі без дозволу адміністрації.

Роботу необхідно виконувати згідно з інструкцією з експлуатації обладнання з дотриманням вимог інструкції з охорони праці. Не допускається під час виконання робіт розмовляти по мобільному телефону.

Працюючи з помічником або учнем, необхідно навчати його безпечним прийомам роботи та стежити за їх виконанням.

На всіх роботах, пов'язаних із можливим засміченням очей, пораненням їх, необхідно користуватися захисними окулярами. Крім того, потрібно працювати лише справним інструментом та пристроями, використовувати захисні засоби за призначенням.

Не можна застосовувати пристосування, інструменти, не передбачені для проведення робіт з повірки, калібрування, ремонту, налагодження засобів вимірювальної техніки.

Для приєднання переносних засобів вимірювань, трансформаторів і дільників напруги необхідно застосовувати одножилінні та багатодротяні дроти з ізоляцією, що відповідає вимірюваній напрузі та перетином, що відповідає вимірюваній величині струму, але не менше 2,5 мм².

Приєднання та від'єднання переносних засобів вимірювань треба проводити тільки при знятій напрузі. Під час вимірювань не допускається торкатися проводів та виходів обладнання.

В електроустаткуваннях напругою понад 1000 В необхідно користуватися ізолювальними кліщами, штангою із застосуванням діелектричних рукавичок та захисних окулярів.

Вимірювання вище 1000 В, які виконують переносними засобами вимірювань, необхідно проводити через стаціонарні вимірювальні трансформатори за допомогою засобів вимірювань, спеціально призначених для цього. При вимірюваннях з переносними трансформаторами струму не можна допускати розриву вторинного ланцюга. Вимірювання опору ізоляції та перевірку цілісності ланцюга обмоток трансформатора необхідно проводити при закороченій вторинній обмотці.

При роботі з мегаомметром не можна торкатися з'єднувальних дротів, струмоведучих елементів мегаомметра та об'єкта, що вимірюється. Ремонт мегаомметрів треба проводити при відключеній напрузі джерела живлення.

Усі роботи з ремонту електрообладнання, заміни запобіжників повинні виконуватись тільки після зняття напруги.

Працівник не повинен допускати потрапляння у робочий контур обладнання олійних, нафтових та інших продуктів, що сприяють утворенню плівки на поверхні електродів первинного перетворювача.

Працівник має утримувати робоче місце у чистоті та порядку, не допускати його захаращення.

Забороняється захаращення проходів, виходів, тамбурів, сходів, а також підступів до електрощитів, протипожежного інвентарю.

Не можна чистити робочий одяг бензином, гасом та іншими легкозаймистими рідинами. Палити можна тільки у спеціально відведених та обладнаних для цього місцях.

У разі виявлення несправності обладнання не допускається проводити ремонт та усунення цих несправностей, якщо це не входить до обов'язків працівника. Необхідно припинити роботу та повідомити про це безпосереднього керівника робіт.

4.4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

При будь-якій перерві в подачі електроенергії необхідно негайно вимкнути електроустаткування.

У разі пожежі потрібно негайно сповістити всіх працівників у виробничому приміщенні, повідомити керівництво та вжити заходів з ліквідації пожежі наявними засобами пожежогасіння. За потреби викликати пожежну бригаду за телефоном 101.

При аваріях та виникненні виробничих травм необхідно негайно сповістити безпосереднього керівника робіт, за можливістю зберегти обстановку, якщо це не загрожує життю та здоров'ю оточуючих працівників та не призведе до аварії, надати потерпілому першу долікарську допомогу або здійснити самодопомогу. За потреби викликати бригаду швидкої допомоги за телефоном 112 або доставити постраждалого до найближчої медичної установи.

4.5 Вимоги охорони праці після закінчення робіт

Після закінчення робіт працівник повинен здійснити всі необхідні відключення згідно з технічним описом та інструкцією з експлуатації обладнання, прибрати робоче місце.

Потрібно весь інструмент, пристрої, прилади та засоби захисту оглянути, упорядкувати та прибрати в місця їх зберігання. Промаслене ганчір'я необхідно прибрати в спеціальні металеві урни (ящики) з кришками, що закриваються.

Працівник повинен зняти робочий одяг, оглянути його і впорядкувати, прибрати в шафу для робочого одягу. Необхідно своєчасно здавати робочий одяг для ремонту та / або прання.

Про всі недоліки, виявлені під час роботи, необхідно повідомити керівника робіт.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в дипломній роботі розглянуто загальні вимоги до методик калібрування, з проведенням порівняння між стандартизованою та нестандартною методикою калібрування. Визначено перелік нормативних документів, за якими виконують процедуру калібрування.

В роботі наведений алгоритм розрахунку оцінки невизначеності з прикладами розроблення рівнянь вимірювань у залежності від категорії ЗВТ.

За підсумками представлено розроблення макету нестандартної методики калібрування.

Розроблений макет нестандартної методики калібрування може бути використаний як основа для розроблення нестандартної методики калібрування для конкретного ЗВТ та може бути корисним для випробувальних та калібрувальних лабораторій, підприємств, які використовують даний ЗВТ для калібрування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 5.06.2014 р. № 1314-VII із змінами
2. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій
3. ISO/IEC Guide 99:2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)
4. ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
5. EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration (Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні)
6. ДСТУ 1.5:2015 Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів
7. Наказ №193 «Про затвердження Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів» від 08.02.2016
8. ДСТУ OIML D23:2008 (OIML D23:1993, IDT). Метрологія. Принципи метрологічного контролю обладнання для повірки
9. ДСТУ-Н ISO Guide 35:2018 Референтні матеріали. Рекомендації з характеризування та оцінювання однорідності та стабільності (ISO Guide 35:2017)
10. ДСТУ-Н ISO Guide 31:2008 Метрологія. Стандартні зразки. Зміст сертифікатів і етикеток (ISO Guide 31:2000)
11. Про затвердження Положення про розробку інструкцій з охорони праці (ДНАОП 0.00-4.15-98): Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 29.01.1998 р. № 9. *Офіційний вісник України*. 1998. № 14. С. 258. Ст. 557
12. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) та

Переліку робіт з підвищеною небезпекою: Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 р. № 15. *Офіційний вісник України*. 2005. № 8. С. 188. Ст. 455

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)

Механічний факультет
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

до дипломної роботи бакалавра

Аналізування вимог до розроблення нестандартних методик калібрування

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, проф.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент



М. В. Москаленю

Консультант, канд. техн. наук, проф.



О. І. Богатов

Керівник, канд. техн. наук, доцент



Н. В. Діденю

Студент гр. ММ-41-19



С. Ю. Товкун

Харків – 2023

Мета, об'єкт, задачі дослідження

- **Об'єктом роботи** є розроблення макету нестандартизованої методики калібрування;
- **Мета** – розроблення методики калібрування;
- **Задачі:**
 - аналізування вимог до розроблення стандартизованої та нестандартизованої методики калібрування;
 - огляд вимог до акредитованих лабораторій;
 - розроблення макету нестандартизованої методики калібрування.

Вимоги до стандартизованих методик калібрування



Передумови щодо розроблення нестандартизованої методики калібрування

- ✓ встановити відсутність стандартизованої методики;
- ✓ розробити модель калібрування;
- ✓ встановити метод калібрування;
- ✓ визначитися із необхідними засобами калібрування та їх наявністю в лабораторії;
- ✓ визначити вимоги до фахівця, який буде проводити калібрування;
- ✓ встановити необхідні умови проведення калібрування;
- ✓ встановити вимоги щодо безпеки;
- ✓ визначити вимоги до проведення експериментальних досліджень під час калібрування;
- ✓ встановити як оцінювати невизначеності вимірювань під час калібрування.

Збереження записів лабораторії щодо валідації:



процедура валідації, що була використана;

специфікація вимог;

визначення робочих характеристик методики;

отримані результати;

заява про валідацію методики, що деталізує її придатність до застосування за призначенням.

Джерела невизначеності вимірювань:




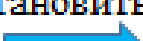






-  неповне визначення вимірюваної величини;
-  недосконала реалізація визначення вимірюваної величини;
-  нерепрезентативність вибірки (вимірювання проводять на зразку, що не становить вимірювану величину);
-  неточне знання впливу умов навколишнього середовища на результат вимірювання або неточне вимірювання величин, що характеризують ці умови;
-  суб'єктивна систематична похибка (внесена оператором під час зняття показань аналогових приладів);
-  кінцева роздільна здатність або поріг чутливості приладу;
-  неточні значення, приписані еталонам та стандартним зразкам;
-  неточні знання фізичних констант та інших параметрів, отриманих зі сторонніх джерел та використуваних при обробці даних;
-  апроксимації та припущення, що використовуються у методі та методиці вимірювань (вимірювальній процедурі);
-  мінливість у повторних спостереженнях за, здавалося б, незмінних умов вимірювань.

Схема бюджету невизначеності вимірювань

Величина X_i	Оцінка x_i	Стандартна невизначеність вимірювання $u(x_i)$	Коефіцієнт чутливості c_i	Внесок невизначеності $u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	c_2	$u_2(y)$
X_N	x_N	$u(x_N)$	c_N	$u_N(y)$
Y	y			$u(y)$

Приклад розроблення рівняння вимірювання:

$$E_x = V_{ix} - V_s + \delta V_{ix} - \delta V_s \quad (1)$$

- де V_{ix} – напруга, показана мультиметром (індекс i означає свідчення);
- V_s – напруга, що генерується калібратором;
- δV_{ix} – поправка показаної напруги для кінцевої роздільної здатності ПЦМ;
- δV_s – поправка напруги калібратора через:
 - його дрейф з часу останнього калібрування,
 - відхилення через комбінований ефект зсуву, нелінійності та різниці коефіцієнтів посилення,
 - відхилення в температурі навколишнього середовища,
 - відхилення у напрузі мережі,
 - ефект недостатнього ретельного налаштування через кінцевий вхідний опір ПЦМ, що калібрується.

Макет нестандартизованої методики калібрування

- НАЗВА МЕТОДИКИ
- ВСТУПНА ЧАСТИНА
- ОСНОВНА ЧАСТИНА:
 - операції калібрування;
 - засоби калібрування;
 - вимоги до кваліфікації персоналу;
 - умови проведення калібрування;
 - вимоги щодо безпеки;
 - підготовка до проведення калібрування;
 - проведення калібрування;
 - обробка результатів вимірювань;
 - розрахунок невизначеності вимірювань;
 - оформлення результатів калібрування.

ВИСНОВКИ

- Таким чином, в дипломній роботі розглянуто загальні вимоги до методик калібрування, з проведенням порівняння між стандартизованою та нестандартизованою методикою калібрування. Визначено перелік нормативних документів, за якими виконують процедуру калібрування.
- В роботі наведений алгоритм розрахунку оцінки невизначеності з прикладами розроблення рівнянь вимірювань у залежності від категорії ЗВТ.
- За підсумками представлене розроблення макету нестандартної методики калібрування.
- Розроблений макет нестандартної методики калібрування може бути використаний як основа для розроблення нестандартної методики калібрування для конкретного ЗВТ та може бути корисним для випробувальних та калібрувальних лабораторій, підприємств, які використовують даний ЗВТ для калібрування.