

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

Дипломна робота  
бакалавра

Розроблення методики калібрування ваг акредитованих  
лабораторій

Завідувач кафедри, канд. 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-36т1-20



О. В. Павленко

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Механічний

Кафедра: Метрології та безпеки життєдіяльності

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

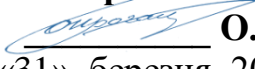
Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна 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**

**Павленко Олександр Володимировичу**

1. Тема роботи: «Розроблення методики калібрування ваг акредитованих лабораторій»

Керівник роботи Діденко Н. В., к.т.н., доцент, затвержені 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 Огляд особливостей конструкції ваг. 2 Аналіз нормативних та законодавчих вимог. 3 Розроблення методики калібрування. 4 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 ваг за принципом дії	01.04.2023	
2	Аналізування вимог нормативних документів	08.04.2023	
3	Розроблення 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 )

**Павленко О.В.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
\_\_\_\_\_  
( підпис )

**Діденко Н.В.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 54 с., 10 рис., 2 таблиці, 13 джерел.

**ВАГИ, ЗВАЖУВАЛЬНИЙ ПРИЛАД, КАЛІБРУВАННЯ, МЕТОДИКА, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ.**

Метою роботи є розроблення методики калібрування ваг.

Об'єктом роботи є ваги.

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

Калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на даний час є дуже розповсюдженим видом метрологічних робіт, як на вітчизняному, так і на світовому ринку. А відсутність достатнього досвіду калібрування у низці галузей та виникнення деяких протиріч щодо застосування процедур калібрування та перевірки засобів вимірювань одночасно, а також труднощів впровадження вимог сучасних міжнародних стандартів у зв'язку з реформуванням вітчизняної системи технічного регулювання, призвели до відсутності єдиного методичного підходу до проведення процедури калібрування у певних галузях.

Такі непорозуміння відносяться також і до ваг, які дуже широко застосовуються у лабораторіях, в сфері послуг, торгівлі та на підприємствах. Саме тому виникає необхідність розробки власних методик калібрування у відповідності із всіма актуальними нормативними та законодавчими документами.

Проведено огляд конструкції ваг та аналізування вимог нормативних та законодавчих документів щодо процесу калібрування. Спираючись на це розроблено методику калібрування ваг та представлено результати калібрування із зазначенням невизначеності вимірювань.

Результати роботи можуть бути корисними калібрувальним лабораторіям, підприємствам, які використовують ваги для їх калібрування.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналізування технічних вимог до ваг .....	8
1.1 Застосування ваг на практиці .....	8
1.2 Аналізування нормативно-правових вимог до ваг.....	11
1.3 Вимоги до акредитованих калібрувальних лабораторій.....	15
2 Огляд конструкцій ваг.....	20
2.1 Принципи дії ваг.....	20
2.1.1 Гідростатичні ваги.....	20
2.1.2 Пружинні ваги.....	21
2.1.3 Важільні ваги .....	23
2.1.4 Електромагнітні ваги.....	25
2.1.5 Тензометричні ваги.....	28
2.1.6 Гідравлічні ваги.....	33
3 Розроблення методики калібрування ваг.....	35
3.1 Основні положення щодо оцінювання невизначеності.....	35
3.2 Розроблення методики калібрування.....	40
3.2.1 Сфера застосування методики калібрування.....	41
3.2.2 Нормативні посилання.....	41
3.2.3 Терміни та визначення понять.....	41
3.2.3.1 Калібрування.....	42

	6
3.2.3.2 Невизначеність вимірювань.....	42
3.2.3.3 Стандартна невизначеність.....	42
3.2.3.4 Сумарна невизначеність.....	42
3.2.3.5 Розширена невизначеність.....	42
3.2.4 Вимоги до кваліфікації персоналу.....	42
3.2.5 Операції калібрування.....	43
3.2.6 Засоби калібрування.....	43
3.2.7 Умови проведення калібрування.....	43
3.2.8 Підготовка до калібрування.....	44
3.2.9 Зовнішній огляд.....	44
3.2.9.1 Опробування.....	44
3.2.9.2 Визначення метрологічних характеристик.....	45
Охорона праці.....	46
4.1 Загальні вимоги.....	49
4.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи.....	49
4.3. Вимоги охорони праці під час роботи.....	51
4.4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях.....	52
Висновки.....	52
Перелік посилань.....	53

## ВСТУП

В зв'язку з впровадженням ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [1] калібрувальні лабораторії самостійно розроблюють методики калібрування засобів вимірювальної техніки. Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» під час калібрування обов'язково оцінюється невизначеність вимірювань.

Ваги є одними з найбільш поширених засобів вимірювальної техніки, які застосовуються під час визначення характеристик та показників продукції. Не зважаючи на те, що ваги застосовуються з давніх часів, визначення їх метрологічних характеристик вимагає розроблення відповідних методик. Під час проведення процедури оцінки метрологічної придатності ваг обов'язково застосовуються еталони, які постійно розвиваються, що відображає прогрес у метрології. У відповідь на зміну індустріальних потреб національні лабораторії повинні підтримувати активну дослідницьку базу засобів вимірювальної техніки. Це вкрай необхідно для того, щоб національна промисловість могла отримати найбільш передові та достовірні результати калібрування в Україні.

Національні досягнення дослідницької бази в метрологічній лабораторії стають підставою для розроблення сучасних методик калібрування, що створює основу розвинення послуг з калібрування.

Вище перелічене стосується також і ваг, які через своє широке застосування у промисловості та лабораторіях, потребують власних методик калібрування, розроблених у відповідності із потребами замовників лабораторії.

# 1 АНАЛІЗУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ВАГ

## 1.1 Застосування ваг на практиці

Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [2] засобами вимірювальної техніки (далі - ЗВТ) є: засоби вимірювань, стандартні зразки, вимірювальні системи, матеріальні міри і також будь-які частини засобів вимірювань або ж вимірювальних систем, в тому випадку, якщо ці частини можуть бути об'єктом спеціальних вимог або окремого оцінювання відповідності.

Відповідно до статті 3 цього Закону, сферою законодавчо регульованої метрології є визначені в ньому види діяльності, до яких з метою забезпечення єдності вимірювань та простежуваності і здійснюється державне регулювання щодо вимірювань, засобів вимірювальної техніки, а також одиниць вимірювання.

У відповідності із затвердженим Кабінетом міністрів України переліком [3] передбачається проведення повірки ваг, які застосовуються у тих видах діяльності, які відносяться до законодавчо регульованої метрології, а саме автоматичних зважувальних приладів, таких як:

- ваги дискретної дії та бункерні ваги для сумарного обліку;
- ваги безперервної дії для сумарного обліку;
- вагові дозатори дискретної дії;
- ваги для зважування розділених вантажів;
- залізничні платформні ваги;
- контрольні ваги;
- прилади автоматичні для зважування дорожніх транспортних засобів у русі та вимірювання навантажень на вісь.



Наказом Мінекономіки України (№ 1747) [4] встановлено такі міжповірочні інтервали для ваг:

- ваги для зважування розділених вантажів – 1 рік;
- ваги дискретної дії та бункерні ваги для сумарного обліку – 1 рік;
- ваги безперервної дії для сумарного обліку – 1 рік;
- прилади автоматичні для зважування дорожніх транспортних засобів у русі та вимірювання навантажень на вісь – 1 рік;
- контрольні ваги – 1 рік;
- вагові дозатори дискретної дії – 1 рік;
- залізничні платформні ваги – 1 рік;
- гирі загального призначення класу точності  $M_1$  та 4-6 класів точності до 20 кг встановлено міжповірочний інтервал 2 роки; для інших – 1 рік;
- для неавтоматичних зважувальних приладів механічних до 50 кг встановлено міжповірочний інтервал 1,5 року; для інших – 1 рік.

Для застосування ваг у лабораторіях необхідно визначити, чи відносяться вони до законодавчо регульованих ЗВТ. У сфері законодавчо регульованої метрології застосовуються такі засоби вимірювальної техніки, що відповідають вимогам щодо точності, регламентованим для таких засобів, у встановлених умовах їх експлуатації.

Щодо експлуатації засобів вимірювальної техніки, що застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології, то вона здійснюється з дотриманням правил застосування таких засобів, що встановлені у нормативно-правових актах, а також вимог щодо їх експлуатації, які встановлені в експлуатаційних документах на такі засоби.

Також необхідно додати, що законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки, що мають елементи або функції налаштування, повинні мати захист від вільного доступу до зазначених елементів і функцій (включаючи програмне забезпечення) з метою запобігання несанкціонованому втручанню.

Дозволяється застосовувати, випускати з виробництва, ремонту та в продаж і видавати напрокат законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки тільки за умови їх відповідності цьому Закону, а також іншим нормативно-правовим актам, які містять вимоги до таких засобів вимірювальної техніки.

Законодавчо регульовані ваги підлягають оцінці відповідності згідно з технічним регламентом щодо неавтоматичних зважувальних приладів.

Оцінка відповідності законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки вимогам технічних регламентів проводиться у разі, якщо це передбачено відповідними технічними регламентами.

Оцінку відповідності законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки вимогам технічних регламентів проводять виробники цих засобів та призначені органи з оцінки відповідності та інші суб'єкти, які визначені у відповідних технічних регламентах або передбачених ними процедурах оцінки відповідності.

Порядок же проведення оцінки відповідності законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки встановлюється технічними регламентами та іншими нормативно-правовими актами.

Призначені органи з оцінки відповідності повідомляють науковому метрологічному центру, уповноваженому центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, на ведення реєстру затверджених типів засобів вимірювальної техніки, про видані ними сертифікати перевірки типу засобів вимірювальної техніки. Сам сертифікат перевірки типу засобу вимірювальної техніки засвідчує, що відповідний тип засобу вимірювальної техніки затверджено.

Порядок ведення реєстру затверджених типів засобів вимірювальної техніки встановлюється нормативно-правовим актом центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності.

Технічними регламентами можуть встановлюватися вимоги щодо надання призначеними органами з оцінки відповідності іншої інформації, пов'язаної з виконанням ними процедур оцінки відповідності законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки.

Оцінка відповідності тих засобів вимірювальної техніки, що не застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології, проводиться на добровільних засадах.

У разі застосування законодавчо регульованих ваг у таких випадках, передбачених статтею 17 Закону України про метрологію та метрологічну діяльність, законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, підлягають періодичній повірці та повірці після ремонту.

## 1.2 Аналізування нормативно-правових вимог до ваг

Засіб вимірювальної техніки, який призначений для застосування у сфері законодавчо регульованої метрології, повинен забезпечувати високий рівень метрологічної достовірності, щоб будь-яка сторона була впевнена в результаті вимірювань, він повинен бути сконструйований і виготовлений з високим рівнем якості в частині вимірювальної технології та захищеності вимірювань.

Прийняті для виконання вимог рішення повинні враховувати передбачене застосування засобів вимірювальної техніки і будь-яке передбачуване їх неправильне застосування.

За нормованих робочих умов і за відсутності перешкод похибка вимірювання не повинна перевищувати значення максимально допустимої похибки, яке встановлено спеціальними вимогами відповідних національних стандартів та технічних специфікацій для певних засобів вимірювальної техніки.

Якщо інше значення не встановлено у відповідних національних стандартах та технічних специфікаціях для певних засобів вимірювальної техніки, максимально допустима похибка виражається як двостороннє значення відхилення від істинного значення вимірюваної величини.

За нормованих робочих умов і за наявності перешкоди вимоги до експлуатаційних характеристик повинні бути такими, як встановлено вимогами відповідних національних стандартів та технічних специфікацій, що застосовуються для певних засобів вимірювальної техніки.

Якщо засіб вимірювальної техніки призначено для застосування в умовах постійного впливу електромагнітного поля, то допустиме значення експлуатаційних характеристик повинно бути в межах максимально допустимої похибки під час випробувань на вплив випромінюваного амплітудно-модульованого електромагнітного поля.

Виробник повинен визначити кліматичні, механічні та електромагнітні умови, для яких призначене застосування засобу вимірювальної техніки, джерело живлення та інші впливні величини, які впливають на його точність з урахуванням вимог, передбачених у вимогах відповідних національних стандартів та технічних специфікацій, що застосовуються для певних засобів вимірювальної техніки.

Прилади повинні відповідати метрологічним вимогам в установленому виробником діапазоні температур. Значення такого діапазону повинні бути як мінімум такими:

- 1) 5 °C - для приладів класу I;
- 2) 15 °C - для приладів класу II;
- 3) 30 °C - для приладів класу III або III.

У разі невстановлення виробником такого діапазону застосовується діапазон температур від мінус 10 °C до 40 °C.

Також виробник повинен зазначити, чи призначений засіб вимірювальної техніки для роботи в умовах вологості з конденсацією або без неї, а також у відкритому чи закритому місці.

Іншими впливними величинами, які необхідно враховувати у разі потреби, є:

- коливання частоти напруги живлення;
- частотні електромагнітні поля джерела живлення;
- коливання напруги;
- будь-яка інша величина, яка може вплинути значною мірою на

точність засобу вимірювальної техніки.

Засоби вимірювальної техніки повинні також супроводжуватися інформацією про їх роботу за винятком тих випадків, коли тільки простота поводження з ними не робить це зайвим. Відомості повинні бути легко зрозумілими і у разі потреби включати в себе:

- класи за механічними і електромагнітними умовами;
- нормовані робочі умови;
- верхню і нижню межі температури із зазначенням того, чи можлива конденсація, чи ні, даними про те, відкрите чи закрите приміщення;
- інструкції щодо правильного застосування і всі спеціальні умови застосування;
- умови сумісності з інтерфейсами, компонентами, вузлами або іншими засобами вимірювальної техніки;
- інструкції з монтажу, обслуговування, ремонту та допустимого регулювання;
- клас точності, що зазначається між двома горизонтальними лініями, з'єднаними двома півколами;
- ціну повірочної поділки у вигляді  $e = \dots$ ;
- тип і номер партії або серійний номер;

- максимальне значення діапазону вибирання маси тари, якщо воно відрізняється від  $M_{\max}$ ;
- ціну поділки шкали;
- найбільше допустиме навантаження, якщо воно відрізняється від  $M_{\max}$ ;
- номер сертифіката перевірки типу (у разі потреби);
- найменування виробника, зареєстроване комерційне найменування або зареєстровану торговельну марку;
- максимальне навантаження у вигляді  $M_{\max} \dots$ ;
- мінімальне навантаження у вигляді  $M_{\min} \dots$ ;
- ідентифікаційне позначення на кожному вузлі - для приладів, що складаються з окремих, але поєднаних вузлів;
- ціну поділки пристрою тарування;
- максимальне значення діапазону компенсації маси тари;
- значення передатного відношення важільної системи між вантажоприймальною платформою та платформою (майданчиком) для розміщення гир.

### 1.3 Вимоги до акредитованих калібрувальних лабораторій

На даний час організація та проведення таких метрологічних робіт, як калібрування, суттєво відрізняється від такого, що було застосовано ще до початку 2016 року. А пов'язані ці зміни з тим, що в 2014 році Україна підписала Угоду про асоціацію з ЄС і взяла на себе такі обов'язки як застосовувати європейські та міжнародні засади, в тому числі і для забезпечення єдності вимірювань у галузі метрології та метрологічної діяльності. Тому термін «калібрування» ЗВТ відповідно до Закону, використовується з визначенням поняття, яке відповідає міжнародному словнику з метрології (VIM) [5].

В Законі України «Про метрологію та метрологічну діяльність» визначено: калібрування ЗВТ - це 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 (ЗВТ, що калібрується) з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу.

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.

Калібрування засобів вимірювальної техніки проводиться:

- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, акредитованими національним органом України з акредитації;
- науковими метрологічними центрами;
- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів відповідних одиниць вимірювання.

Калібрування вторинних та робочих еталонів проводиться в порядку, встановленому нормативно-правовим актом центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності.

Таким чином, калібрування за Законом суттєво відрізняється від калібрування, яке проводилося до 2016 р. Нажаль, деякі підприємства до цього часу проводять саме таке калібрування, при цьому посилаючись на свідоцтво про атестацію на проведення калібрування. 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 немає ніяких вказівок щодо калібрувальних лабораторій, та з того, що термін «калібрування» змінив визначення.

З метою сприяння довіри до роботи лабораторій доцільно проводити її акредитацію. А для лабораторій, які калібрують засоби вимірювальної техніки для акредитованих випробувальних лабораторій, проведення акредитації Національним агенством за акредитації України є обов'язковим. Вимоги до компетентності калібрувальних лабораторій наведені у ДСТУ EN ISO/IEC 17025, який є ідентичний міжнародному стандарту ISO/IEC 17025 та європейському стандарту EN ISO/IEC 17025. Цей документ містить вимоги до лабораторій, щоб вони могли продемонструвати, що вони працюють компетентно і здатні отримувати достовірні результати.

Проаналізуємо основні вимоги до калібрувальних лабораторій, наведені в ДСТУ EN ISO/IEC 17025.

Загальні вимоги до лабораторій стосуються неупередженості та конфіденційності діяльності лабораторій.

Неупередженість означає відсутність конфліктів інтересів або розв'язання їх у такий спосіб, який не впливає негативно на подальшу діяльність лабораторії.

Конфіденційність. Лабораторія повинна нести відповідальність за зобов'язаннями, що мають юридичну силу, стосовно управління всією інформацією, отриманою чи створеною під час виконання лабораторної діяльності. Лабораторія повинна заздалегідь повідомити замовника про інформацію, яку вона має намір розмістити у відкритому доступі. За винятком інформації, яку замовник робить загальнодоступною або за згодою між лабораторією та замовником (наприклад, для відповіді на скарги), всю іншу інформацію вважають закритою та її потрібно вважати конфіденційною.

Лабораторія повинна мати персонал, який, незалежно від інших обов'язків, має повноваження та ресурси, необхідні для виконання своїх обов'язків, включно з:



- впровадженням, підтриманням та поліпшенням системи менеджменту;
- виявленням відхилень від системи менеджменту або процедур виконання лабораторної діяльності;
- ініціюванням заходів щодо запобігання або мінімізації таких відхилень;
- звітуванням керівництву лабораторії про функціонування системи менеджменту та будь-які потреби у поліпшенні;
- забезпеченням ефективності лабораторної діяльності.

Увесь персонал лабораторії, як внутрішній, так і зовнішній, який може впливати на лабораторну діяльність, має діяти неупереджено, бути компетентним та працювати відповідно до системи менеджменту лабораторії. Лабораторія має документувати вимоги до компетентності для кожної функції, яка впливає на результати лабораторної діяльності, включно з вимогами до освіти, кваліфікації, професійної підготовки, технічних знань, навичок та досвіду.

Лабораторія має забезпечити, щоб персонал був компетентний для виконання лабораторної діяльності, за яку він несе відповідальність, та оцінювання значимості відхилень.

Керівництво лабораторії має довести до персоналу його обов'язки, відповідальність та повноваження. Лабораторія має уповноважити персонал на виконання конкретної лабораторної діяльності, зокрема такої:

- розроблення, модифікація, верифікація та валідація методів;
- аналізування результатів, включно з заявами про відповідність або думками та тлумаченнями;
- звітування, перевіряння та затвердження результатів.

Приміщення та умови навколишнього середовища мають бути придатні для здійснення лабораторної діяльності та не повинні негативно впливати на достовірність результатів.

Лабораторія повинна мати доступ до обладнання (зокрема засобів вимірювання, програмних засобів, еталонів, референтних матеріалів, довідкових даних, реактивів, витратних матеріалів чи допоміжних пристроїв), яке потрібне для належного здійснення лабораторної діяльності та може впливати на результати.

Обладнання, що використовують для вимірювання, має бути здатним забезпечувати точність вимірювання та/або невизначеність вимірювання, необхідні для отримання достовірного результату.

Лабораторія має встановити та підтримувати метрологічну простежуваність результатів вимірювання до відповідної основи для порівняння за допомогою задокументованого неперервного ланцюга калібрувань, кожне з яких робить свій внесок у невизначеність вимірювання.

Лабораторія, що проводить калібрування, зокрема власного обладнання, повинна оцінювати невизначеність вимірювання для всіх калібрувань.

Лабораторія, що проводить випробування, повинна обчислювати невизначеність вимірювання. Якщо метод випробування не дає змоги точно обчислити невизначеність вимірювання, його треба оцінити на основі розуміння теоретичних принципів або практичного досвіду застосування методу.

Лабораторія повинна мати процедуру моніторингу достовірності результатів. Отримані дані потрібно записувати так, щоб можна було виявити тенденції, та, де можливо, потрібно застосовувати статистичні методи для аналізування результатів.

Таким чином, при проведенні процедури калібрування ваг обов'язково необхідно дотримуватися вимог чинних нормативно-правових актів, серед яких є обов'язкова наявність методики калібрування.

## 2 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ВАГ

Ваги – це пристрій або прилад для визначення маси тіл (зважування) за вагою, що діє на них, приблизно вважаючи його рівним силі тяжіння. Вага тіла може бути визначена як через порівняння з вагою еталонної маси (як у вагах), так і через вимірювання цієї сили через інші фізичні величини.

Сьогодні комерційні ваги відіграють фундаментальну роль в переробній промисловості. Від сільського господарства до фармацевтики вони надають підприємствам узгоджені засоби для вимірювання вхідних та вихідних матеріалів перед подальшим розподілом.

За принципом дії ваги поділяються на:

- гідростатичні;
- пружинні;
- важільні;
- електромагнітні;
- тензометричні;
- гідравлічні.

### 2.1 Принципи дії ваг

#### 2.1.1 Гідростатичні ваги

Гідростатичні ваги – пристрій, основою роботи якого є застосування закону Архімеда. Такі ваги спрямовані на вимірювання густини тіла, яка визначається за результатами двох вимірювань маси тіла: у повітряному середовищі та при помещенні в рідину (зазвичай у воду).



Рисунок 2.1 – Гідростатичні ваги Галілея

Перевага цих ваг у тому, що вони дають значення питомої ваги без будь-яких розрахунків.

Недоліком гідростатичного зважування є занижена точність вимірювань, обумовлена варіаціями сил виштовхування при зважуванні зразків рідини внаслідок захоплення бульбашок повітря.

### 2.1.2 Пружинні ваги

Пружинні ваги використовують пружину відомої жорсткості для визначення ваги. Підвішування певної ваги розтягує пружину на певну величину в залежності від жорсткості пружини. Чим важчий об'єкт, тим більше вона розтягнеться, як описано у законі Гука.

Торсіонні ваги є одними з механічно точних аналогових ваг. В аптечних школах США досі вчать, як використовувати торсіонні ваги. У них використовуються чашки, як і в традиційних вагах, які лежать нагорі механічної камери, вимірювання якої засновані на ступені скручування дроту або волокна всередині камери.



Рисунок 2.2. – Торсіонні ваги

Одним з найбільш відомих застосувань пружинних ваг - це підлогові ваги, які поєднують в собі силу чотирьох важелів, що виходять з кожного кута ваг, для розтягування пружини і обертання датчика.

У механічних підлогових вагах тиск на внутрішні пружини обертає диск, що відображає вагу користувача.



Рисунок 2.3 – Механічні підлогові ваги

Переваги пружинних ваг:

- доступна ціна;
- ремонтпридатність;
- простота пристрою.

До недоліків можна віднести:

- незручність зчитування показань;
- схильність до руйнування іржею;
- витрата часу на зважування;
- необхідність регулярного технічного обслуговування.

### 2.1.3 Важільні ваги

Важільні ваги побудовані на принципі рівноваги важелів. Важіль є стрижнем, що обертається навколо точки опори під дією сил, прикладених у двох інших точках. Розрізняють важелі рівноплечі та нерівноплечі. У рівноплечого важеля опора знаходиться на рівній відстані від точок застосування сил. Зважування закінчується, коли важіль входить у стан рівноваги. Нерівноплечі важелі мають різне співвідношення плечей: 1:2, 1:4, 1:5, 1:10 і т. д. Для рівноваги такого важеля необхідно до його плечей докласти неоднакові навантаження. Наприклад, при співвідношенні плечей важеля 1: 10 для досягнення рівноваги до малого плеча треба прикласти навантаження в 10 разів більше, ніж велике плече.

Найпростіші важільні ваги є рівноплечим важелем (коромислом) з підвішеними до нього чашками для гирь і товару. Про рівноваги таких ваг судять за показаннями стрілки, що переміщується за шкалою на кут, пропорційний куту відхилення коромисла.



Рисунок 2.4 – Важільні ваги

Навіть в умовах масового переходу на електронні ваги, важільні досі використовуються для зважування рідин, твердих зразків, порошків та ін.

Переваги важільних ваг:

- надійність при частому зважуванні;
- простота експлуатації;
- невисока вартість;
- мобільність;
- не прив'язані до джерела живлення.

Простіше кажучи, ваги важільні адаптовані для використання в умовах, де відсутня потреба або можливості для застосування більш складних електронних ваговимірювальних систем.

Недоліки важільних ваг:

- незручність роботи з вагами зазначених конструкцій (потрібно проводити обчислення положення рівноваги, попередньо відрахувавши амплітуду відхилення стрілки, що виникає при коливаннях коромисла);
- необхідність використання методів для точного зважування, щоб унеможливити похибки, зумовлені нерівноплечністю коромисла, додатково враховуючи похибку гир;
- низька продуктивність ваги (3 - 6 хвилин на кожне зважування).

#### 2.1.4 Електромагнітні ваги

Аналітичні ваги - це ваги, призначені для вимірювання малих мас в субміліграмовому діапазоні. Вимірювальна чаша аналітичних ваг знаходиться всередині прозорого корпусу з дверцятами, щоб не збирався пил і щоб повітряні потоки в приміщенні не впливали на роботу ваг. Цю огорожу називають вітрозахисним екраном. Використання захисного кожуха ваг з механічною вентиляцією, який має акрилові аеродинамічні поверхні унікальної конструкції, забезпечує плавний повітряний потік без турбулентності, що запобігає коливанню ваги та вимірювання маси до 1 мкг без коливань або втрати продукту. Принцип дії аналітичних ваг заснований на електромагнітному врівноважуванні предмета, що проходить зважування, та подальшим виконанням вимірювання, сформованого в результаті цієї дії електричного сигналу, який перетворюється на цифровий вигляд і виводиться на відповідні табло або індикатори.



Рисунок 2.5 – Аналітичні ваги



Електронні аналітичні ваги вимірюють силу, необхідну для протидії масі, що вимірюється, а не використовують фактичні маси. Вони використовують електромагніт для створення сили, що протидіє зразку, що вимірюється, і виводять результат шляхом вимірювання сили, необхідної для досягнення балансу.

Торгові ваги використовуються в сучасних хлібопекарських, бакалійних, гастрономічних, рибних, м'ясних, овочевих та інших швидкопсувних відділах. Ваги для супермаркетів можуть друкувати етикетки та квитанції, відзначати масу та кількість, ціну за одиницю, загальну ціну та, в деяких випадках, тару. Деякі сучасні ваги для супермаркетів друкують мітку RFID, яку можна використовувати для відстеження товару щодо підробки або повернення. У більшості випадків ці типи ваг мають герметичне калібрування, тому показання на дисплеї є правильними і не можуть бути змінені.



Рисунок 2.6 – Торгові ваги

Переваги електромагнітних ваг:

- висока точність вимірювань;

- можливість перемикання різних одиниць вимірювання;
- автоматична установка у нульове положення;
- наявність пам'яті збереження результатів зважування;
- компактність корпусу;
- простота та зручність у застосуванні;
- автоматичне вимикання та увімкнення;
- сучасний стильний дизайн.

До недоліків можна віднести:

- високу ціну;
- ризик ушкодження електронних елементів;
- необхідність заміни джерел живлення;
- наявність крихких елементів, що призводять до частих поломок.

### 2.1.5 Тензометричні ваги

Ведучий аналоговий тензодатчик називається тензометричним тензодатчиком. Він вимірює напругу та деформацію вантажу на платформі. Тензорезистори являють собою спеціальні резистори, приклеєні до пружинного елемента. Елемент згинається, коли вантаж поміщається на платформу ваг. Це змушує тензометричні резистори розтягуватися на певну величину, що змінює опір. Резистори з'єднані разом у вигляді Уїтстонського моста.

Тензорезистор є провідником, електричний опір якого змінюється при зміні його довжини. Тензодатчики мають обмежену потужність, в цифрових вагах може використовуватися гідравлічний перетворювач, званий тензодатчиком. На пристрій подається напруга, і вага викликає зміну струму через нього. Струм перетворюється на цифрове число за допомогою аналого-цифрового перетворювача, перетворюється цифровою логікою на правильні одиниці і відображається на дисплеї. Зазвичай пристрій керується мікросхемою мікропроцесора.

Кранові ваги - це, по суті, електронний ваговимірювальний пристрій, що складається з гака підйомного крана і корпусу, в якому розташовані тензорезисторний датчик і ваговимірювальний прилад.

Електронні кранові ваги мають наступний принцип роботи: маса вантажу, що підвішений на гак крана або іншого підйомного механізму, впливає на тензодатчик, який формує аналоговий сигнал. Далі сигнал передається на ваговий перетворювач для трансформації його на цифрову величину і виводить результат на індикатор.

Таким чином, за допомогою підйому вантажу, що зважується, вимірюється його маса. Причому зважування може здійснюватися практично за будь-яких умов, як у приміщеннях, так і на відкритому просторі.

Кранові ваги призначаються для статичного зважування, в основному, контейнерів та таро-штучних вантажів, що транспортуються за допомогою крана або тельфера у виробничих приміщеннях та на відкритому повітрі. Ці ваги знайшли застосування у складському господарстві, на металобазах, залізничних станціях, у морських та річкових портах, на різних етапах технологічного процесу на виробництві та при комерційних операціях на підприємствах металургійної, хімічної, будівельної галузей.

За останні кілька років кранові ваги зазнали безліч змін. Змінився розмір, функціональні можливості, зовнішній вигляд. Але найголовнішим нововведенням є те, що більшість моделей має можливість управління по спеціальному радіоканалу або через модуль бездротової передачі даних Bluetooth.

У сучасних моделях кранових ваг електричний сигнал від тензодатчика обробляється за допомогою електронної схеми, розташованої в корпусі ваг. І лише після цифрової обробки інформація про вагу вантажу відображається на табло. При цьому користувач в процесі зважування має можливість керувати вагами безпосередньо з пульта управління.



Рисунок 2.7 – Кранові ваги

Автомобільні ваги можуть бути встановлені на поверхню з пандусом, що веде на невелику відстань, а вагове обладнання знаходиться під ним, або вони можуть бути встановлені в ямі з ваговим обладнанням і платформою в ямі, щоб поверхня для зважування була на одному рівні з дорогою. Зазвичай вони виготовляються зі сталі або бетону та за своєю природою надзвичайно міцні.

Принцип зважування електронної ваги у використанні датчика напруги. Навантаження на платформу впливає на тензометричні датчики, що дозволяє за допомогою електричного сигналу, що проходить через нього, вимірювати силу дії. Покази тензометричних платформних ваг висвітлюються на табло. Працюють ваги від акумулятора чи стаціонарного джерела живлення. Електронні платформні ваги на сьогоднішній день досить популярні. Вони використовуються практично всюди. Легкість установки, простота використання, а також можливість вести електронний облік продукції (у деяких моделях), заслужили визнання споживачів.

У ранніх версіях платформа (міст) встановлюється над прямокутною ямою, у якій є важелі, які з'єднуються з балансувальним механізмом. Найбільш

складною частиною цього є розташування важелів під мостовими вагами, оскільки реакція ваг має залежати від розподілу навантаження. Сучасні пристрої використовують кілька тензодатчиків, які підключаються до електронного обладнання для підсумовування вхідних сигналів датчиків.

Багато платформних (мостових) ваг тепер підключені до ПК, на якому встановлено програмне забезпечення для автомобільних ваг, здатне друкувати квитанції і надавати функції звітності.

Такі ваги використовуються у галузях, які виробляють або переміщують сипучі предмети, наприклад, у шахтах чи кар'єрах, сміттєзвалищах/центрах переробки, при переміщенні рідин та порошоків, побутових товарів та електроустаткування. Оскільки вага транспортного засобу, що перевозить товар відома, то вони являють собою швидкий і простий спосіб вимірювання потоку різних вантажів.

Для багатьох цілей, наприклад, у поліції на станціях зважування дорожніх вантажівок, платформні (мостові) ваги значною мірою витіснені простими і тонкими електронними датчиками ваги, якими повільно рухається транспортний засіб. Комп'ютер записує вихідні дані осередку та накопичує загальну вагу транспортного засобу.



Рисунок 2.8 – Платформні (мостові) ваги

Переваги тензометричних ваг:

– висока вантажопідйомність: ваги можуть витримувати вантажі великої ваги, що робить їх ідеальними для визначення тоннажу великогабаритних предметів;

– великий розмір платформи дозволяє розмістити габаритні предмети, що забезпечує зручність зважування;

– висока точність зважування забезпечується завдяки чутливим електронним компонентам;

– простота використання: їх легко використовувати завдяки простому та інтуїтивному інтерфейсу керування, а також дисплею, що легко читається;

– надійність та довговічність;

– різноманітність застосування: можуть використовуватись у різних галузях: промисловість, складське господарство, транспорт та логістика, харчова промисловість та інші;

– ефективність: дозволяє швидко та точно зважувати великі та важкі предмети, що підвищує ефективність роботи та знижує час на зважування.

#### 2.1.6 Гідравлічні ваги

Вагонні ваги стали невід'ємною частиною вантажного залізничного транспорту. Зважування матеріалів дозволяє визначити їх точну кількість. Сучасні залізничні ваги налічують столітню історію. Першим апаратом для зважування залізничної техніки стали механічні ваги важеля. Слідом з'явився точніший аналог – гідравлічні вагонні ваги. Їхньою відмінністю була точність вимірювань і довгострокова експлуатація.



Рисунок 2.9 – Гідравлічні ваги

Вагонні ваги – це обладнання для визначення ваги товарного вагона до та після завантаження. Одним із видів залізничного вагового обладнання є гідравлічні ваги. Для зважування вагон повинен нерухомо розташовуватись на спеціальній платформі.

Складові частини платформи гідравлічних ваг:

- порожнисті стійки циліндричної форми, на яких розташовується платформа у вигляді рейок;
- робоча рідина (найчастіше олія), що знаходиться в герметичних стійках;
- плунжер (поршень), вставлений у стійку;
- гідравлічний індикатор ваги, що складається з імпульсної лінії та манометра зі шкалою, що вказує на вагу вагона.

Вантажний вагон заковчують на платформу гідравлічних ваг. Його вага передається на платформу, що впливає на гідравлічний механізм. Це викликає пересування плунжера у стійці, рідина стискається та створює тиск. Стійки з'єднані з манометром за допомогою імпульсних трубок, тому значення тиску відображається на приладах. Шкала манометра вказує тиск і по таблиці можна визначити вагу вагона, проте для зручності застосовують манометри зі шкалою, градуйованою під одиниці вимірювання ваги. Після проведення

вимірювань порожнього вагона стрілка манометра переводиться на нуль. Подальша зміна показань манометра – це чиста вага матеріалу, що завантажується.

Вимірювання ваги вагона відбувається різними способами:

- вимірювання навантаження кожного колеса вагона з подальшим підсумовуванням значень;
- вимірювання навантаження на кожен вісь вагона з подальшим підсумовуванням значень;
- вимірювання загальної ваги вагона за допомогою системи обчислень в автоматичному режимі.

Як видно, ваги, крім самостійного використання, можуть бути основним елементом автоматизованої системи урахування та контролю матеріальних потоків. Це забезпечує оперативне управління виробництвом і дозволяє збільшити його обсяги, підвищити якість, рентабельність продукції та знизити при цьому витрати.

## 3 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ВАГ

### 3.1 Основні положення щодо оцінювання невизначеності

Найменшою виявленою невизначеністю називається найменша невизначеність вимірювання, яку може досягти лабораторія в рамках її акредитації, якщо вона проводить регулярні калібрування, які є вимірюванням майже ідеальних еталонів, за допомогою яких визначаються, зберігаються і відтворюються одиниці відповідної величини або одне чи більше її значень, або майже ідеальні засоби вимірювань, які застосовуються для вимірювання відповідних величин [6]. Оцінка найменшої невизначеності вимірювання акредитованих калібрувальних лабораторій повинна виходити з одного боку з



методів оцінки, встановлених у ЕД, з іншого боку зазвичай повинна підтверджуватися експериментально.

Запис результату вимірювання є повним тільки тоді, коли він містить як значення, приписане вимірюваною величиною шляхом вимірювання, так і невизначеність вимірювання, пов'язану з цим значенням.

Невизначеність вимірювання - це невід'ємний параметр, який пов'язаний з результатом вимірювання і який характеризує розкид значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

Вимірюваними величинами є такі особливі величини, значення яких можна визначити за допомогою вимірювання. При калібруваннях зазвичай мають справу з однією з вимірюваних величин, званої також "вихідною величиною  $Y$ ", яка через відношення:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (3.1)$$

пов'язана з вхідними величинами  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ). Функція моделі  $f$  описує одночасно метод вимірювання та метод оцінювання. Вона показує, як значення вихідної величини  $Y$  отримується із значень вхідної величини  $X_i$ .

В залежності від способу, за яким були визначені значення та пов'язані з ними невизначеності вимірювання, вхідні величини  $X_i$  поділяються на наступні дві категорії:

- величини, оцінки яких, включаючи, пов'язані з ними невизначеності вимірювань, можуть визначатися безпосередньо в поточному вимірюванні. Ці значення можуть бути отримані, наприклад, з одного спостереження або повторних спостережень або засновані на власному експериментальному досвіді;

- величини, оцінки яких, включаючи, пов'язані з ними невизначеності вимірювань, не можуть визначатися безпосередньо в поточному вимірюванні,

але вносяться зовнішніми джерелами, наприклад, за даними еталонами із довідкової літератури.

Оцінка вимірюваної величини  $Y$ , що позначається  $y$ , отримується з рівняння (3.1) шляхом заміни вхідної величини  $X_i$  їх оцінками  $x_i$ :

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.2)$$

Для випадкових змінних, що входять до моделі вимірювання в якості міри розсіювання значень, описаних у 3.2, 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:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.3)$$

де  $n$  – кількість виконаних вимірювань величини  $x_i$ .

Наступним кроком є обчислення середнього квадратичного відхилення вимірюваної  $i$ -ої вхідної величини за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (3.4)$$

Стандартну невизначеність вимірювання за типом А розраховують як:

$$u_A(x_i) = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3.5)$$

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

$$u_i(y) = c_i \cdot u_i(x_i), \quad (3.6)$$

де  $c_i$  — коефіцієнт чутливості;

$u(x_i)$  — невизначеність вхідної величини.

У разі прямих вимірювань, коефіцієнт чутливості дорівнює 1.

Потрібно також розрахувати внесок стандартної невизначеності еталона у стандартну невизначеність  $u_i(y)$  за сертифікатом калібрування на застосований еталон.

Обчислення сумарної невизначеності вимірюваної величини  $u_c(y)$  виконують за формулою:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i^2}, \quad (3.7)$$

де  $\sum u_i^2$  - сума всіх внесків невизначеності вимірювань у квадраті.

Бюджет невизначеності, яким і є аналіз невизначеності вимірювання, повинен містити список усіх джерел невизначеності під час вимірювання разом з належними їм стандартними невизначеностями вимірювання та даними про те, як їх було отримано. При багаторазових повторних спостереженнях має також вказуватись кількість  $n$  проведених спостережень. Для наочності важливі для аналізу дані рекомендується вказувати у табличній формі (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 — Схема бюджету невизначеності

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

В ЕА-4/02 прийнято, що калібрувальні лабораторії, акредитовані членом ЕА, у свідоцтвах калібрування вказують розширену невизначеність  $U$ , яка є добутком стандартної невизначеності вимірювання  $u(y)$ , пов'язаної з оцінкою у вихідної величини на коефіцієнт охоплення  $k$ :

$$U_{pi} = k \cdot u_c(y), \quad (3.8)$$

У випадках, при яких величині, що вимірюється, може приписуватися нормальний розподіл ймовірностей (розподіл Гауса) і при яких стандартна невизначеність вимірювання, що 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 %. Ці умови, загалом, справедливі для калібрування.

Таким чином, для проведення дослідження оцінки невизначеності результатів вимірювання ваг необхідно:

- встановити рівняння вимірювань, яке буде відповідати вимірювальній задачі;
- оцінити невизначеності вимірювань усіх складових прийнятого рівняння;
- розрахувати сумарну стандартну невизначеність і розширену невизначеність результатів вимірювань;
- зробити висновки щодо отриманих оцінок невизначеності вимірювань.

### 3.2 Розроблення методики калібрування

Ця методика може бути використана під час калібрування електронних ваг Grunhelm KES-1RL (рисунок 3.1).

Ці ваги мають такі технічні характеристики:

- ваги обладнані високоточним тензочутливим датчиком для забезпечення точності зважування;
- діапазон вимірювання: від 2 г до 5000 г;
- одиниця вимірювання: г / кг / унція;
- дискретність вимірювання: 1 г;
- автоматичне відключення живлення;
- індикатор низького заряду;

- батарея: 1x Cr2032;
- робоча температура від 5 °С до 40 °С;
- LCD дисплей.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд ваг Grunhelm KES-1RL\$

### 3.2.1 Сфера застосування методики калібрування

Ця методика визначає порядок проведення, зміст та обсяг робіт з виконання калібрування неавтоматичних зважувальних приладів.

### 3.2.2 Нормативні посилання

У цій методиці є посилання на такі нормативні документи:

- ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій;

- EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration (Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні);

– ДСТУ 3381-96 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань маси [7].

– ДСТУ EN 45501:2007. Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань [8].

### 3.2.3 Терміни та визначення понять

В цій методиці застосовані такі терміни та поняття.

#### 3.2.3.1 калібрування

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 (ЗВТ, що калібрується) з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу.

#### 3.2.3.2 невизначеність вимірювань

Невизначеність вимірювань – невід’ємний параметр, який пов'язаний з результатом вимірювання та який характеризує розкид значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині;

#### 3.2.3.3 стандартна невизначеність

Стандартна невизначеність – невизначеність результату вимірювання, виражена у вигляді стандартного відхилення;

#### 3.2.3.4 сумарна невизначеність

Сумарна невизначеність (стандартна невизначеність вихідної величини) – невизначеність результату вимірювання в тому випадку, коли результат вимірювання отримують із значень ряду інших величин;

#### 3.2.3.5 розширена невизначеність

Розширена невизначеність – величина, що визначає інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого, як можна очікувати, знаходиться більша частина розподілу значень, котрі з достатнім обґрунтуванням могли б бути приписані вимірюваній величині

#### 3.2.4 Вимоги до кваліфікації персоналу

Персонал, який проводить калібрування, повинен бути компетентним, атестованим та уповноважений керівником на проведення калібрування, а також складання протоколів та сертифікатів калібрування відповідно ДСТУ EN ISO/IEC 17025.

#### 3.2.5 Операції калібрування

При проведенні калібрування слід виконати наступні операції:

- зовнішній огляд;
- опробування;
- визначення метрологічних характеристик;
- розрахунок невизначеності вимірювань;
- оформлення результатів.

#### 3.2.6 Засоби калібрування

Для проведення процедури калібрування ваг усіх типів застосовують наступні засоби, що наведені нижче:

- металева лінійка — згідно з ДСТУ ГОСТ 427 [9];
- рулетка — згідно з ДСТУ 4179 [10];
- рівень — згідно з ДСТУ ГОСТ 9392;
- еталонні гирі 3-го розряду — згідно з ДСТУ 3381[11]; ;



### 3.2.7 Умови проведення калібрування

Під час проведення процедури калібрування потрібно дотримуватись наступних умов:

- температура навколишнього повітря має бути  $(20 \pm 5)$  °С;
- відносна вологість повітря від 30 % до 80 %;
- у приміщенні, де виконують калібрування вагів не повинно бути повітряних та теплових потоків, а також вібрацій;
- під час проведення калібрування повинні бути дотримані загальні правила безпеки робіт [12], а також вимоги щодо безпеки, які наведено в експлуатаційних документах на прилад конкретного типу, та застосовувані засоби калібрування.

### 3.2.8 Підготовка до калібрування

Прилад повинен бути витриманий за установленої температури не менше ніж 2 години, а в увімкненому стані протягом часу, який установлено в експлуатаційних документах.

### 3.2.9 Зовнішній огляд

Під час зовнішнього огляду необхідно встановити:

- відсутність видимих пошкоджень приладу;
- відповідність комплектності експлуатаційних документів;
- наявність покажчика рівня, пристрою тарування, написів, які визначають обмеження або розширення галузі використання ваг, тобто діапазону дії впливних величин, за яких зберігаються нормовані метрологічні характеристики відповідно до вимог ДСТУ EN 45501;
- збереження лакофарбових покриттів приладу;

- відповідність якості покриву, нанесення шкал і основних позначень.

### 3.2.9.1 Опробування.

Під час опробування показуючого пристрою з дискретними поділками перевіряють роботу показуючого елемента (дисплея), пристрою стабілізування показів, пристрою сигналізування про перевантаження відповідно до вимог технічної документації на ваги.

### 3.2.9.2 Визначення метрологічних характеристик

Для виконання калібрування необхідно провести серію з десяти вимірювань за допомогою еталону. Для цього, з еталону подати точно встановлене значення та після встановлення значення на цифровому ЗВТ зчитати показання. Під час проведення вимірювань керуватись вказівками експлуатаційні документи (ЕД) на еталон та ЕД на ваги, що повіряються.

### 3.2.9.3 Розрахунок невизначеності вимірювання ваг Grunhelm KES-1RL\$

Таким чином, для проведення дослідження оцінки невизначеності результатів вимірювання ваг, визначене наступне рівняння вимірювань:

$$Y = X_1 + X_2 + X_3 \quad (3.9)$$

де  $Y$  - результат вимірювання;

$X_1$  —показ ваг Grunhelm KES-1RL\$

$X_2$  – вплив на результат вимірювання еталона;

$X_3$  – вплив на результат вимірювання дискретності результатів ваг.

Для оцінки невизначеності кожної складової ваг, проведемо оцінку невизначеності приладу за окремими складовими.

Виходячи з рівняння вимірювання, потрібно оцінити наступні складові невизначеності:

$u_1$  – невизначеність вимірювань показів, оцінена по типу А;

$u_2$  – невизначеність, пов'язана із застосуванням еталону;

$u_3$  – невизначеність, пов'язана з дискретністю застосування ваг.

Після встановлення рівняння вимірювання необхідно провести оцінку невизначеності всіх вхідних величин  $X_i$ .

Виконавши розрахунки за формулами (3.1) - (3.8), отримали оцінки невизначеності кожної складової ваг. Отримані результати представлені як бюджет невизначеності в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Бюджет невизначеності

Величина	Значення величини	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
$X_1$	$x_1$	$u_1 = 0,0006$ г	нормальний	1	0,0006 г
$X_2$	$x_2$	$u_2 = 0,0075$ г	нормальний	1	0,0075 г
$X_3$	$x_3$	$u_3 = 0,0099$ г	прямокутний	1	0,0099 г
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
$Y$	$y$	$u(y)$	нормальний	2	$U(y)$

Сумарна стандартна невизначеність  $u_c$  відповідно до встановленого рівняння вимірювань розраховується за формулою:

$$u_c = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2)}. \quad (3.10)$$

З урахуванням встановлених оцінок стандартних невизначеностей  $u_1$ ,  $u_2$  та  $u_3$ , отримуємо таке значення сумарної стандартної невизначеності:

$$u_c = \sqrt{(0,0006^2 + 0,0075^2 + 0,0099^2)} = 0,0124 \text{ г} \quad (3.11)$$

Для більш наочного подання результат вимірювання повинен бути представлений із зазначенням інтервалу, що охоплює його, в межах якого, як очікується, буде знаходитися більша частина розподілу значень, які обґрунтовано можуть бути приписані вимірюваній величині. Такою мірою невизначеності, яка задовольняє вимогу представлення інтервалу, є розширена невизначеність,  $U(y)$ , яку отримують шляхом множення сумарної стандартної невизначеності вимірювання  $u_c$ , пов'язаної з оцінкою  $y$  вихідної величини, на коефіцієнт охоплення  $k$ :

$$U(y) = k \cdot u_c \quad (3.12)$$

Вимірюваній величині  $y$  приписується нормальний розподіл ймовірностей, тому коефіцієнт охоплення  $k$  стандартно приймається рівним 2 для ймовірності приблизно 95 %.

Отримуємо значення розширеної невизначеності:

$$U(y) = 2 \cdot 0,0124 = 0,0248 \text{ г} \quad (3.13)$$

За результатами проведеної оцінки невизначеності можна зробити висновок, що оцінка невизначеності вимірювань для ваг Grunhelm KES-1RL\$ проводиться тільки за типом А. Встановлене значення оцінки невизначеності можна використовувати як характеристику результату вимірювання ваг. У разі внесення будь-яких змін до складових частин ваг, необхідно перерахувати значення невизначеності вимірювань за запропонованою процедурою оцінки.

Результати калібрування свідчать про відповідність метрологічних характеристик ваг Grunhelm KES-1RL\$ вимогам нормативних та

експлуатаційних документів.

Таким чином, розглянуто методику калібрування ваг, умови калібрування і підготовку до неї, вимоги до засобів калібрування.

Проведений аналіз основних операцій, що здійснюються при калібруванні, а саме: зовнішній огляд; випробування; контроль метрологічних характеристик.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5

#### 4.1 Загальні вимоги

До робіт, що пов'язані з калібруванням допускаються особи віком від 18 років, які мають профільну освіту, пройшли медичний огляд, мають групу електробезпеки не нижче III. Також вони повинні пройшли вступний та первинний інструктаж з охорони праці на робочому місці.

У процесі роботи особа, що проводить процедуру калібрування повинна проходити:

- повторний інструктаж - не рідше одного разу на 6 місяців;
- перевірку знань вимог охорони праці - не рідше одного разу на 2 роки;
- медичний огляд – не рідше одного разу на два роки.

На працівника, що зайнятий у сфері метрології, під час роботи впливають небезпечні та шкідливі фактори:

- можливість мимовільного падіння контрольних гир;
- обертові та рухомі частини та механізми технологічного обладнання;
- фізичні навантаження та механічні впливи при підключенні еталонного та повіреного обладнання;
- шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони;
- можливість отримання хімічних опіків;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- нервово-психічні навантаження;
- статичні навантаження;
- робота з обладнанням, що працює під надлишковим тиском;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- підвищений рівень статичної електрики;

- підвищений рівень пульсації світлового потоку;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- напруга зору, уваги;

За правилами охорони праці працівник забезпечується спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту відповідно до норм та в залежності від проведення видів робіт:

- халат бавовняний;
- гумові діелектричні килимки;
- діелектричні рукавички;
- рукавички гумові;
- рукавички бавовняні;
- костюм для захисту від загальних виробничих забруднень;

На зовнішніх роботах взимку додатково видається куртка і штани на прокладці, що утеплює.

Персонал повинен дотримуватись вимог цієї інструкції; правил внутрішнього розпорядку підприємства; встановленому режиму праці та відпочинку; порядку правил про повідомлення адміністрації про випадки травмування працівників та несправність обладнання, пристроїв та інструменту; правил особистої гігієни.

Палити дозволяється лише у спеціально відведених та обладнаних для цього місцях.

Забороняється поява на роботі у стані алкогольного та іншого наркотичного стану, забороняється вживання у робочий час алкогольних та інших наркотичних напоїв та речовин.

У разі нездужання чи погіршення стану здоров'я необхідно повідомити керівництво.

За невиконання вимог цієї інструкції працівник може бути притягнутий до відповідальності згідно з правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства.

#### 4.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи

Працівник повинен одягти робочий одяг, взуття та інші засоби індивідуального захисту, застебнути всі застібки (зав'язати зав'язки), переконатися, що в кишенях немає гострих колючих та ріжучих предметів.

Отримати у безпосереднього керівника завдання на виконання робіт.

Перевірити стан робочого місця, справність та комплектність обладнання, заземлення, вентиляції, пристроїв, інструменту, достатність освітлення.

Розкласти інструмент і пристрої так, щоб вони не впали і були в зручному для користування положенні.

Перед увімкненням електроживлення обладнання необхідно переконатися у відсутності зовнішніх несправностей в електричних з'єднаннях між складовими частинами обладнання, а також перевірити справність з'єднувальних проводів. Сполучні дроти також не повинні мати пошкоджень ізоляції.

Під час вимірювань необхідно заземлити металеві корпуси переносних засобів вимірювань, кожухи трансформаторів і дільники напруги.

Переконатись, що пуск у роботу обладнання нікому не загрожує небезпекою.

Доступ до обладнання, що підлягає калібруванню, повинен бути вільним.

Про всі виявлені несправності потрібно сповістити безпосереднього керівника і без його дозволу до роботи не приступати.

#### 4.3. Вимоги охорони праці під час роботи



Персонал допускається до роботи тільки на атестованому устаткуванні і зобов'язаний виконувати тільки ту роботу, яка доручена керівником.

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 керівника.

Роботу необхідно виконувати згідно з інструкцією з експлуатації обладнання з дотриманням вимог інструкції з охорони праці.

Необхідно зосередитись на виконуваній роботі, не відволікатися на сторонні справи та розмови та не відволікати інших.

Не допускається під час виконання робіт розмовляти по мобільному телефону.

На всіх роботах, пов'язаних із можливим засміченням очей, їх пораненням, користуватися захисними окулярами.

Працювати лише справним інструментом та пристроями, використовувати захисні засоби за призначенням.

Не застосовувати пристрої, інструменти, непередбачені для проведення робіт з калібрування, ремонту та для налагодження засобів вимірювальної техніки.

Для приєднання переносних засобів вимірювань, трансформаторів і дільників напруги застосовувати одножильні та багатодротяні дроти з ізоляцією, що відповідає вимірюваній напрузі та перетином, що відповідає вимірюваній величині струму.

Приєднання та від'єднання переносних засобів вимірювань проводити тільки при знятій напрузі.

Не допускається торкатися дротів під час вимірювань.

Робоче місце має утримуватися в чистоті та порядку, не допускається його захаращення.

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

У разі виявлення несправності обладнання не допускається проводити ремонт та усунення несправностей, якщо це не входить до обов'язків персоналу. Необхідно припинити роботу та повідомити про це безпосередньому керівнику робіт.

#### 4.4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

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

У разі пожежі негайно сповістити всіх працюючих у виробничому приміщенні, повідомити керівництво та вжити заходів до ліквідації пожежі наявними засобами пожежогасіння. За потреби викликати пожежну бригаду.

При аваріях та виникненні виробничих травм негайно звільнити постраждалого від травмуючого фактора, дотримуючись власної безпеки, надати йому першу допомогу, при необхідності викликати бригаду швидкої допомоги, сповістити безпосереднього керівника робіт.

#### 4.5 Вимоги охорони праці по закінченні роботи

Після закінчення робіт здійснити всі необхідні відключення, згідно з технічним описом та інструкцією з експлуатації обладнання.

Упорядкувати робоче місце.

Весь інструмент, пристрої, прилади та засоби захисту оглянути, упорядкувати та прибрати в місця їх зберігання.

Промаслене ганчір'я прибрати в спеціальні металеві урни (ящики) з кришками, що закриваються.

Зняти робочий одяг, прибрати в шафу для його зберігання. Необхідно своєчасно здавати робочий одяг у ремонт та прання.

Про всі недоліки, виявлені під час роботи, а також про вжиті заходи повідомити керівника робіт [13].

Таким чином, з розділу бачимо, що під час проведення робіт, пов'язаних з процедурою калібрування, необхідно дотримуватися загальних правил безпеки на робочому місці, виконання яких забезпечує гарантію проведення робіт з калібрування без шкоди здоров'ю та ризику для життя працівника.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розглянуто нормативно-правові основи виробництва та калібрування ваг. Визначено перелік нормативних документів, за якими виконують процедуру калібрування.

Розглянуто види ваг та їх принципи дії, також особливості конструкції, їх переваги та недоліки. В роботі встановлено елементи та параметри ваг, які найбільш впливають на точність та єдність вимірювань.

Також встановлено, що за відсутності актуальних методик калібрування будь-яких ваг, національна нормативна документація надає лише загальні рекомендації щодо цього. Зважаючи на це розроблено методику калібрування ваг. Проведено апробацію цієї методики та доведено актуальність та застосовність її для поставленої мети. Також розраховано невизначеність ваг під час калібрування.

Розроблена методика може бути корисною для калібрувальних лабораторій, підприємств, які використовують ваги для їх калібрування.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 5.06.2014 р. № 1314-VII із змінами.
3. Наказ Мінекономрозвитку України від 08.02.2016 р. № 193, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 01 листопада 2016 р. за № 1417/29547 «Про затвердження Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів».
4. Наказ Мінекономрозвитку України від 13.10.2016 р. № 1747, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 24 лютого 2016 р. за № 278/28408 «Про затвердження міжповірочних інтервалів законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, за категоріями».
5. ISO/IEC Guide 99:2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM).
6. EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration (Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні).
7. ДСТУ 3381-96 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань маси.
8. ДСТУ EN 45501:2007 Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.
9. ДСТУ ГОСТ 427:2009 Лінійки вимірювальні металеві. Технічні умови (ГОСТ 427-75).
10. ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови. Зі зміною № 1 (ГОСТ 7502-98, MOD).

11. ДСТУ 3381:2009 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання маси.

12. 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.

13. 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**

Розроблення методики калібрування ваг акредитованих лабораторій

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, проф.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент



М. В. Москаленко

Консультант, канд. техн. наук, проф.



О. І. Богатов

Керівник, канд. техн. наук, доцент



Н. В. Діденко

Студент гр. ММ-36т1-20



О. В. Павленко

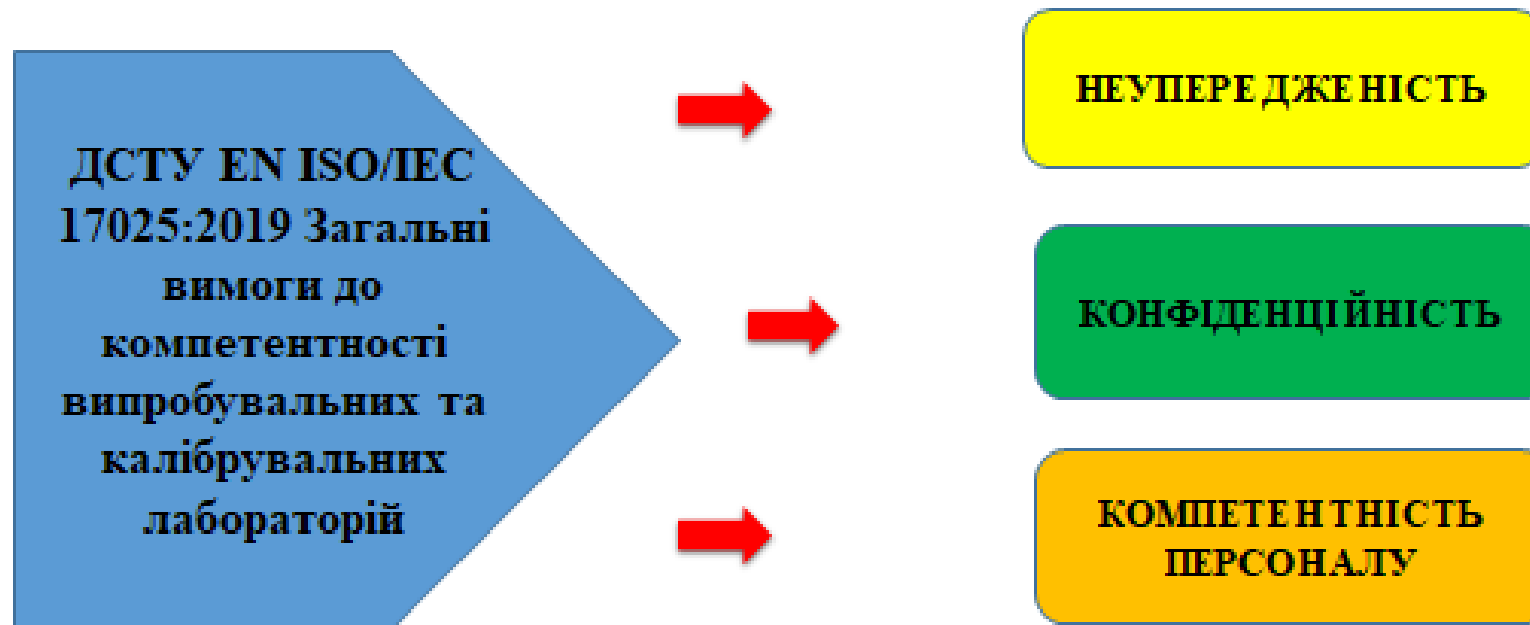
Харків – 2023

## Мета, об'єкт, задачі дослідження

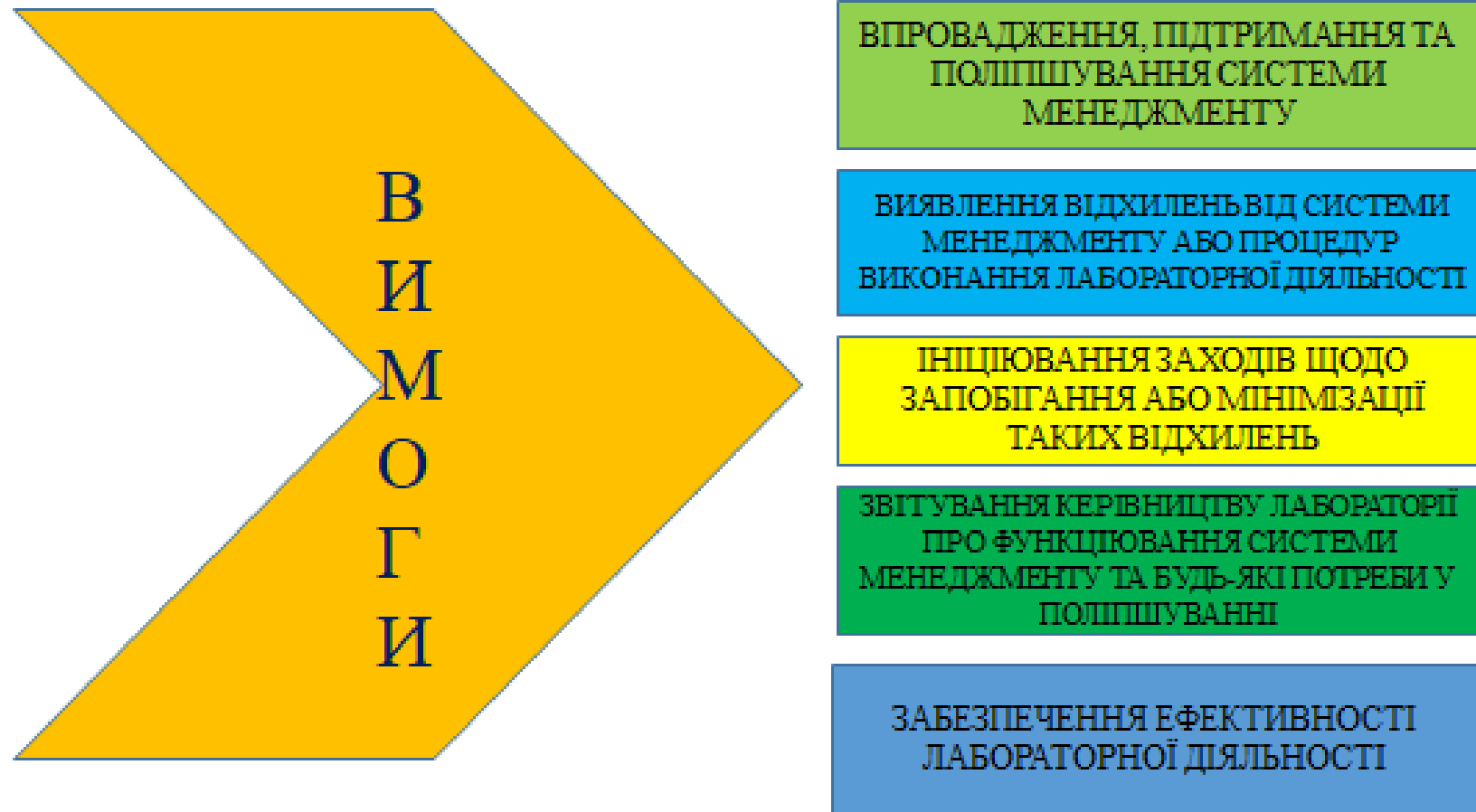
- **Об'єктом роботи є ваги.**
- **Мета – розроблення методики калібрування ваг.**
- **Задачі:**
  - аналізування нормативно-правових вимог до ваг;
  - огляд вимог до акредитованих лабораторій;
  - аналіз конструктивних особливостей та принципу дії ваг;
  - розроблення методики калібрування ваг.



## Основні вимоги до акредитованих калібрувальних лабораторій



## Вимоги до персоналу калібрувальних лабораторій



## Види ваг за принципом дії

### ГІДРОСТАТИЧНІ



Основою роботи є застосування закону Архімеда. Такі ваги спрямовані на вимірювання густини тіла, яка визначається за результатами двох вимірювань маси тіла: у повітряному середовищі та при поміщенні в рідину (зазвичай у воду).

### ВАЖІЛЬНІ



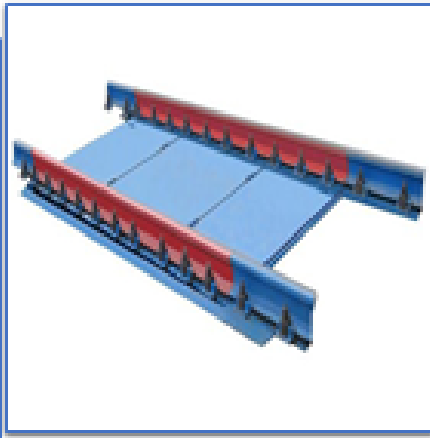
Побудовані на принципі рівноваги важелів. Важіль є стрижнем, що обертається навколо точки опори під дією сил, прикладених у двох інших точках.

### ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ



Принцип дії заснований на електромагнітному зрівноважуванні предмета, що проходить зважування. В результаті формується електричний сигнал, який перетворюється на цифровий вигляд і виводиться на відповідні табло або індикатори.

## Види ваг за принципом дії



### гідравлічні

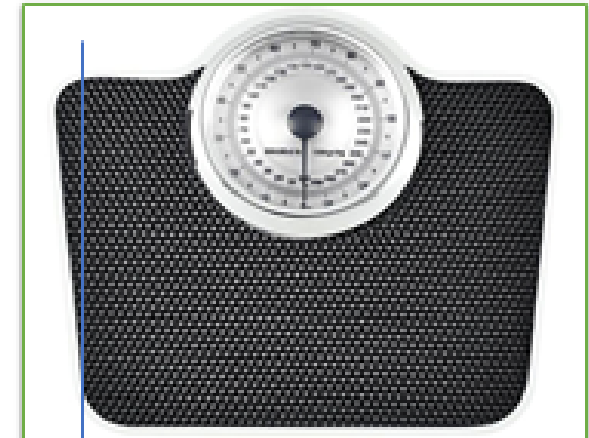
Вага передається на платформу, що впливає на гідравлічний механізм. Це викликає пересування плункера у стійці, рідина стискається та створює тиск.

Стійки з'єднані з манометром за допомогою імпульсних трубок, тому значення тиску відображається на приладі ваги.



### тензометричні

Маса вантажу, що підвішений на гак крана або іншого підйомного механізму, впливає на тензодатчик, який формує аналоговий сигнал, який передається на ваговий перетворювач для трансформації його на цифрову величину і виводить результат на індикатор.



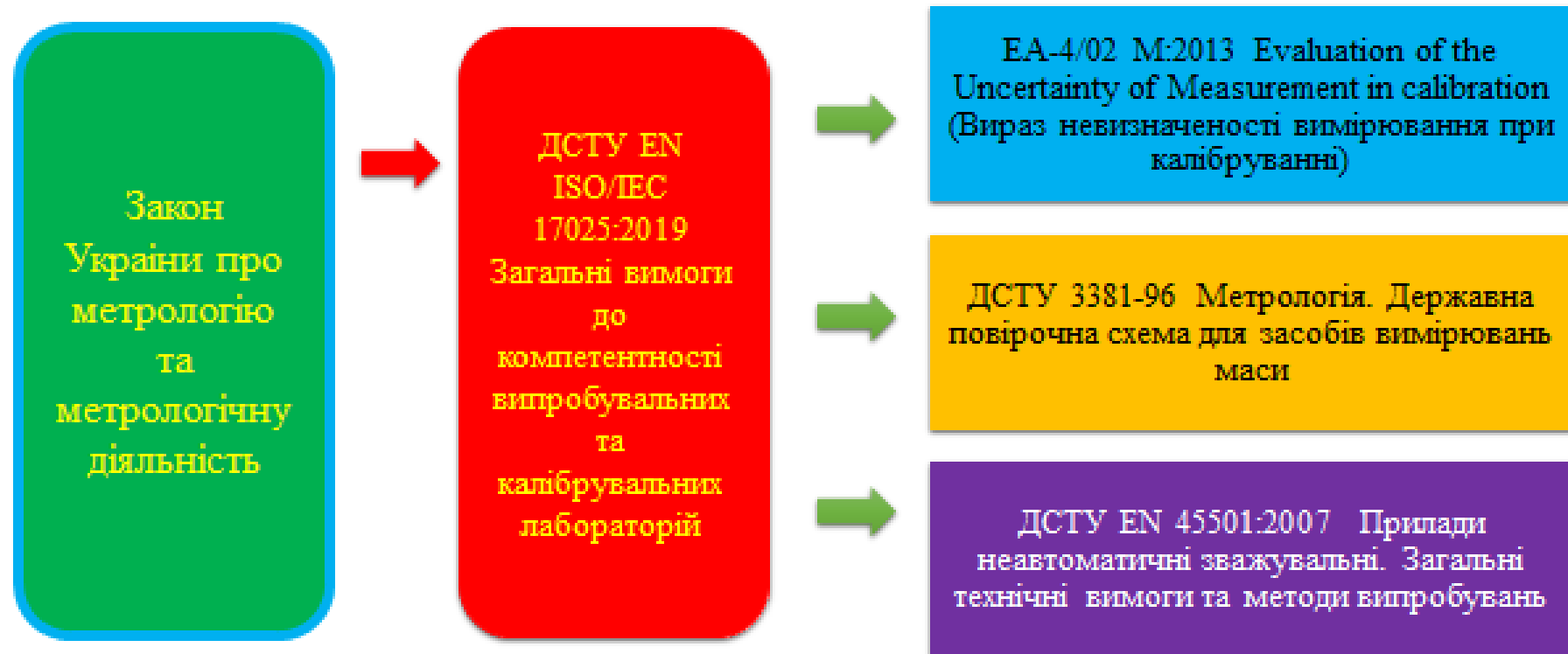
### пружинні

Тиск на внутрішні пружини обертає диск, що відображає вагу користувача

## Розроблення методики калібрування



## Законодавчі та нормативні вимоги



## Апробація методики калібрування

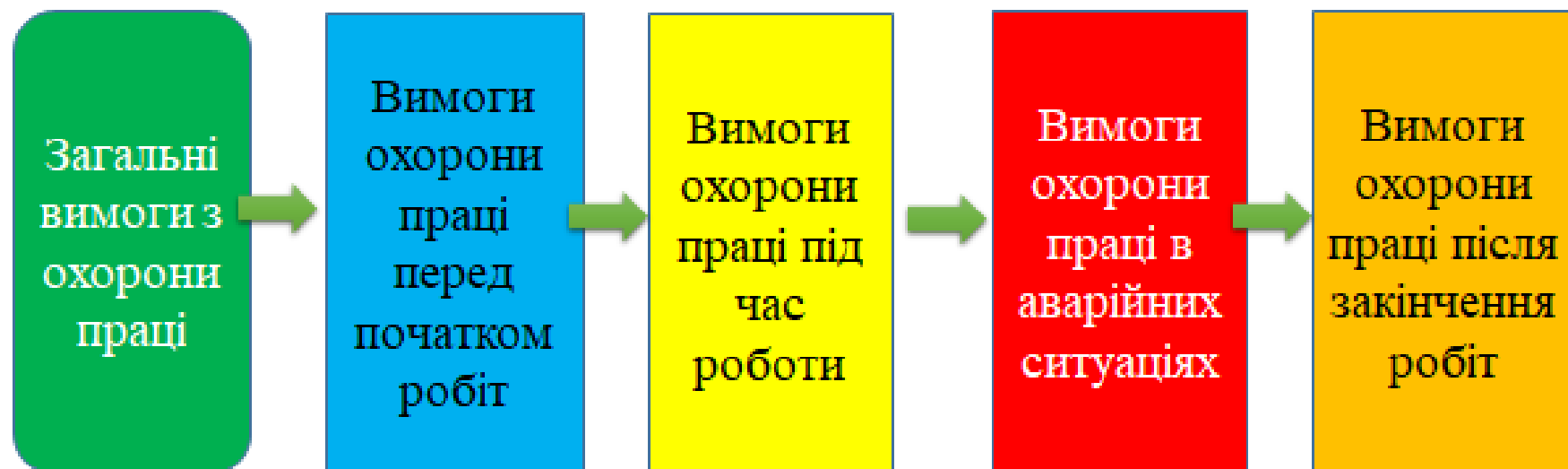


## Апробація методики калібрування

Величина	Значення величини	Оцінка стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості	Вклад в сумарну невизначеність
$X_1$	$x_1$	$u_1 = 0,0006$ г	нормальний	1	0,0006 г
$X_2$	$x_2$	$u_2 = 0,0075$ г	нормальний	1	0,0075 г
$X_3$	$x_3$	$u_3 = 0,0099$ г	прямокутний	1	0,0099 г
Вихідна величина	Значення	Оцінка сумарної стандартної невизначеності	Закон розподілу	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
$Y$	$y$	$u(y)$	нормальний	2	$U(y)$



# Інструкція з охорони праці



## Висновки

- У дипломній роботі розглянуто нормативно-правові основи виробництва та калібрування ваг. Визначено перелік нормативних документів, за якими виконують процедуру калібрування.
- Розглянуто види ваг та їх принципи дії, також особливості конструкції, їх переваги та недоліки. В роботі встановлено елементи та параметри ваг, які найбільш впливають на точність та єдність вимірювань.
- Також встановлено, що за відсутності актуальних методик калібрування будь-яких ваг, національна нормативна документація надає лише загальні рекомендації щодо цього. Зважаючи на це розроблено методику калібрування ваг. Проведено апробацію цієї методики та доведено актуальність та застосовність її для поставленої мети. Також розраховано невизначеність ваг під час калібрування.
- Розроблена методика може бути корисною для калібрувальних лабораторій, підприємств, які використовують ваги для їх калібрування.