

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет інформаційних електронних систем
(повна назва факультету)

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА


на тему:

**«Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів
з покращеними метрологічними характеристиками»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-22м
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно вимірювальна техніка
ОП Комп'ютеризовані інформаційно-
вимірювальні технології
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

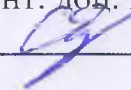

Гайдей Я.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: доц. каф. ІРТС


Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)

«18» 12 2023 р.

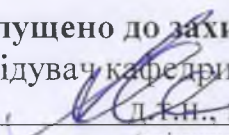
Опонент: доц. каф. БМІ та ОЕС


Тужанський С.Є.
(прізвище та ініціали)

«19» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС


д.т.н., проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

«20» 12 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка
Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«18» вересня 2023 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гайдею Ярослав Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками
керівник роботи доц каф. ІРТС., Дудатьєв І.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09.2023 року № 247.

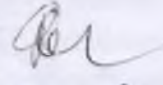

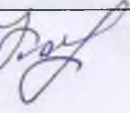
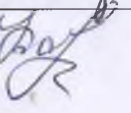
2. Строк подання студентом роботи 16 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: засіб вимірювання ваги: модель RS232C; працює на частоті 40 кГц; вихідна потужність 2,4 W; діапазон робочих температур від 10 до 40°C; час стабілізації показів ваг при зважуванні – не більше 3 с; потужність, що споживається, не перевищує 6 ВА.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) особливості об'єкта дослідження; об'єкти вимірювання; теоретичні аспекти тензорезистивних засобів; практична реалізація тензорезистивного засобу вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками; економічна частина; висновки; список використаних джерел; додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) схематичний опис схем зважування, які використовуються для розповсюдження на частки кілограма; зображення національного еталон маси K20, K4 та вторинні еталони з нержавіючої сталі всередині ваг під час вимірювання; таблиця порядок вимірювання різниці; схематичний опис схем зважування; графік стандартна невизначеність калібрування маси в NIST; зображення профілю оптичної мікроскопії нижньої поверхні K4 біля краю, що виявляє лінії обробки та сліди зносу; зображення профілю оптичної мікроскопії K79 у центрі показує нерівномірний розподіл зерна за розміром; класифікація фізичних величин; схема класифікації вимірів; схема вимірального мосту з вольтметром у діагоналі; зображення конструкції тензорезисторів; принципова схема тензометричного перетворювача; зображення вагового індикатору

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доц. каф. ПРТС Дудатьєв І.А.		
Економічна частина	доцент каф., ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 18.09.2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2023-07.09.2023	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2023-17.09.2023	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	18.09.2023-27.09.2023	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2023-15.10.2023	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	16.10.2023-09.11.2023	
6.	Розробка графічної частини МКР.	10.11.2022-20.11.2022	
7.	Економічна частина.	21.11.2023-30.11.2023	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	01.12.2023-14.12.2023	
9.	Нормоконтроль.	15.12.2023-18.12.2023	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	19.12.2023-20.12.2023	
11.	Захист МКР ЕК.	21.12.2023-22.12.2023	

Студент


_____ (підпис)

Гайдей Я.В.

Керівник роботи


_____ (підпис)

Дудатьєв І.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 004.457

Гайдей Я.В. Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, освітня програма – Комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2023. 81 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 31 назв; рис.: 12; табл.: 15.

Магістерська дипломна робота присвячена дослідженню та розробці тензорезистивного вмісту для вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками. У роботі розглядається завдання завдання точного та надійного вимірювання маси ювелірних виробів, враховуючи їх високу вартість і специфіку конструкції.

Графічна частина складається з 9 плакатів із результатами моделювання.

Отримані результати експериментальних випробувань та порівняльний аналіз із існуючими методами вимірювання ваги підтверджують ефективність та високу точність запропонованого тензорезистивного результату. Запропоновані покращення метрологічних характеристик можуть бути використані у виробничих та лабораторних умовах для забезпечення надійного та точного вимірювання ваги ювелірних виробів. Робота вносить важливий вклад у розвиток області тензорезистивних вимірювань та метрології в галузі ювелірної промисловості.

Ключові слова: тензорезистор, ваги, засіб вимірювання, метрологічні характеристики, ювелірні вироби.

ABSTRACT

Haidei Y.V. Tensor-resistive means of measuring the weight of jewelry with improved metrological characteristics. Master's qualification thesis on specialty 152 - Metrology and information and measurement technology, educational program - Computerized information and measurement technologies. Vinnytsia: VNTU, 2023. 81 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 31 titles; fig.: 12; table.: 15.

The master's thesis is devoted to the research and development of a strain-resistive content for measuring the weight of jewelry with improved metrological characteristics. The work considers the task of accurately and reliably measuring the mass of jewelry, taking into account their high cost and specific design.

The graphic part consists of 9 posters with simulation results.

The obtained results of experimental tests and comparative analysis with existing weight measurement methods confirm the effectiveness and high accuracy of the proposed tensor-resistive result. The proposed improvements in metrological characteristics can be used in production and laboratory settings to ensure reliable and accurate measurement of the weight of jewelry. The job is to make an important contribution to the development of strain gauges and metrology in the jewelry industry.

Key words: strain gauge, scales, measuring device, metrological characteristics, jewelry.

ВСТУП	4
1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1 Вимірювання кілограма та маси	6
1.2 Очищення та поводження зі стандартами маси	10
1.3 Визначення щільності	12
1.4 Поширення вторинних стандартів нержавіючої сталі	13
1.5 Поширення на кратні та дольні частини кілограма	19
1.6 Статистичний контроль процесу	22
1.7 Характеристика поверхонь еталонів маси	23
1.8 Висновки до розділу	25
2 ОБ'ЄКТИ ВИМІРЮВАННЯ	26
2.1 Поняття фізичної величини та її одиниці вимірювання	26
2.2 Методи вимірів	30
2.3 Види засобів вимірювань	31
2.4 Висновки до розділу	36
3 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИХ ЗАСОБІВ	37
3.1 Компонентно-програмна база та електрична схема	37
3.2 Електрична схема підключення тензорезистора	37
3.3 Конструкції й технічні характеристики дискретних металевих і напівпровідникових тензорезисторів	39
3.4 Розробка принципової схеми підключення тензорезисторів	41
3.5 Висновки до розділу	43
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ З ПОКРАЩЕНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	44
4.1 Класифікація електронних вагів для лабораторій	44
4.2 Точність зважування, похибки	46
4.3 Технічні характеристики ювелірних вагів	47
4.4 Будова та робота ювелірних вагів	50
4.5 Висновок до розділу	51

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	53
5.1 Проведення технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	54
5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	57
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	58
5.3.1 Витрати на оплату праці	59
5.3.2 Відрахування на соціальні заходи	61
5.3.3 Сировина та матеріали	61
5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	63
5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт.....	64
5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	64
5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень.....	65
5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	66
5.3.9 Службові відрядження	67
5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	67
5.3.11 Інші витрати.....	68
5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати	68
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	70
5.5 Висновки до розділу.....	74
ВИСНОВОК	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина	79
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи	83

ВСТУП

Сучасний світ відзначається стрімким технологічним розвитком, що невід'ємно впливає на всі сфери життя людини, включаючи індустрію ювелірних виробів. Однією з ключових аспектів виробництва якісних і докладних ювелірних виробів є точність вимірювань їх ваги, яка визначає остаточні характеристики цих виробів.

У контексті вимірювань ваги, тензорезистивні засоби представляють собою перспективну галузь, яка набуває все більшої популярності завдяки своїм унікальним метрологічним характеристикам. Для ювелірної промисловості, де кожен грам може мати вирішальне значення, використання тензорезистивних засобів вимірювання ваги виявляється вкрай актуальним. Важливість точності вимірювань ваги в ювелірній галузі обумовлена не тільки підвищенням якості виробів, але і вимогою ринку до найвищого стандарту метрології. Враховуючи це, дослідження та впровадження нових методів вимірювань стають ключовими завданнями для підтримки конкурентоспроможності підприємств у галузі ювелірного виробництва. Однією з головних переваг тензорезистивних засобів вимірювання є їх здатність пристосовуватися до різних умов експлуатації та навколишнього середовища, що робить їх особливо ефективними в вимірюваннях, де важлива величина масштабу. Покращення метрологічних характеристик тензорезистивних засобів може відкрити нові перспективи для застосування цих технологій в сфері виробництва ювелірних виробів, дозволяючи досягати ще більшої точності та надійності вимірювань. Обрана тема магістерської дипломної роботи висвітлює важливість подальших наукових досліджень та інноваційних рішень у сфері вимірювань ваги в ювелірній промисловості. Результати досліджень можуть стати не тільки теоретичною базою для розуміння принципів роботи тензорезистивних засобів вимірювання, але і практичним внеском у підвищення якості та конкурентоспроможності виробництва ювелірних виробів.

Актуальність теми є сучасна ювелірна індустрія, визначена високими стандартами якості, стикається з ростом вимог до точності та надійності вимірювань ваги при виробництві вишуканих прикрас. Застосування

тензорезистивних засобів вимірювання ваги відкриває нові перспективи для підвищення метрологічної точності та якості виробництва ювелірних виробів.

Метою та завданням роботи є: розробка, вдосконалення та вивчення тензорезистивного засобу вимірювання ваги ювелірних виробів з акцентом на покращення метрологічних характеристик. Робота спрямована на створення інноваційного інструменту, який дозволить підвищити точність вимірювань та відповідати високим стандартам якості в ювелірній галузі.

Предметом дослідження є: тензорезистивний засіб вимірювання ваги, спроектований та покращений для використання в ювелірному виробництві. Робота орієнтована на вивчення конструкційних особливостей та принципів роботи тензорезистивних елементів у контексті вимірювань ваги ювелірних виробів.

Методи дослідження: для досягнення поставлених цілей використовуються методи аналізу літературних джерел, моделювання, інженерного проектування, експериментальних вимірювань та обробки даних.

Новизна одержаних результатів. У роботі розроблено та вдосконалено тензорезистивний засіб. Проведені дослідження включали у себе розробку та оптимізацію конструкції тензорезистивного засобу, зокрема адаптацію до особливостей ювелірних виробів. Здійснено аналіз та порівняння метрологічних характеристик розробленого тензорезистивного засобу з існуючими методами вимірювань ваги в ювелірній промисловості. Оцінено ефективність та придатність розробленого тензорезистивного засобу для реальних умов виробництва та вимірювань ваги ювелірних виробів

1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Вимірювання кілограма та маси

Від ранньої історії людства до сучасності масові вимірювання були наріжним каменем торгівлі та комерції. Використання гир і терезів як інструментів для вимірювання маси в торгівлі сягає тисячоліть тому і, швидше за все, пов'язане з ранніми цивілізаціями долини Нілу та Близького Сходу. З тих часів еталони маси та технологія ваг і вимірювань маси значно розвинулися, щоб задовольнити зростаючі та мінливі потреби суспільства. Масові вимірювання завжди прямо чи опосередковано впливали на повсякденне життя. Щоразу, коли хтось купує продукти, приймає ліки, проектує міст, космічний човник чи літак, торгує товарами — зерном, золотом чи дорогоцінним камінням — маса відіграє вирішальну й життєво важливу роль. Окрім прямого впливу на торгівлю, масові вимірювання впливають на наукове співтовариство, а також на широкий спектр виробничих галузей, включаючи аерокосмічну, авіаційну, автомобільну, хімічну, напівпровідникову, матеріалознавчу, ядерну, фармацевтичну, будівельну та приладобудівну. Для забезпечення справедливості та еквівалентності в торгівлі та виробництві на національному та міжнародному рівнях необхідні єдині стандарти. Хоча масові стандарти існували тисячі років і деякі країни мали досить контрольовану політику щодо ваги, однаковість не була гарантована через кордони, а іноді навіть не в межах однієї країни. У Сполучених Штатах одиницею маси був фунт авуардюпуа, і багато стандартів було перевезено з Англії до колоній, щоб служити стандартами для торгівлі. Однак це не сформувало надійну систему, і нерівномірність залишалася основною проблемою. Уряд Сполучених Штатів офіційно визнав цю потребу та уповноважив Конгрес «закріпити стандарти мір і ваги» в Конституції Сполучених Штатів. Було зроблено багато спроб прийняти єдину систему ваг. Лише в 1875 році Сполучені Штати разом із 16 іншими країнами підписали Конвенцію про метр, яка заклала основу Міжнародної системи одиниць (СІ), яка

нарешті забезпечила довгоочікувану уніфікованість стандартів мір і ваги. Детальний опис історії мір і ваги в Сполучених Штатах можна знайти в Ref. Основою СІ є рішення Національних зборів Франції від 1791 року прийняти єдину систему, яка повністю базується на одиниці довжини, метрі, який на той час визначався як одна десятимільйонна частина довжини квадранта земний меридіан. Одиницею маси буде маса кубічного дециметра води при 4°C, температурі максимальної густини. На основі цих визначень у 1799 році було виготовлено прототип метра та кілограма, які були передані на зберігання до архіву Французької республіки, що стало основою прийнятої на даний момент СІ. Прототип кілограма став відомий як Кілограм архіву. У 1875 році Метрова конвенція заснувала «Міжнародний комітет вимірювань і вимірювань» (СІРМ), який взяв на себе відповідальність за виготовлення копій прототипів метра та кілограма, а також «Міжнародне бюро вимірювань і вимірювань» (ВІРМ), функція якого мала служити хранителем прототипів, проводити майбутні міжнародні порівняння та служити центром поширення метричної системи. У 1878 році три циліндри по 1 кг, КІ, КІІ і КІІІ, виготовлені зі сплаву 90 % платини — 10 % іридію, були замовлені в Johnson Matthey в Англії; вони були доставлені в 1879 році. Вони були відшліфовані, налаштовані і порівняні з кілограмом архіву чотирма спостерігачами в 1880 році в Паризької обсерваторії. Маса КІІІ виявилася найближчою до кілограма з архіву. КІІІ був поміщений у сейф ВІРМ у 1882 році, був обраний СІРМ як міжнародний прототип кілограма, і був ратифікований як такий на 1-й «Загальній конференції з вимірювань і вимірювань» (СГРМ) у 1889 році. У 1901 році 3-й СГРМ у Парижі встановив визначення одиниці маси: «Кілограм є одиницею маси; вона дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма». Міжнародний прототип кілограма часто називають «ІРК» і часто позначають готичною літерою К. У 1884 році 40 копій кілограма було доставлено від Johnson Matthey; їх порівняли з масою ІРК у 1888 році. У 1889 році 34 з цих копій було роздано підписантам Метричної конвенції, які їх просили. Сертифікати калібрування супроводжували репліки зі значеннями маси на основі порівнянь з ІРК. Ці копії, у свою чергу, використовувалися

різними країнами як національні стандарти. У той час Сполученим Штатам було виділено два прототипи Pt-Ir кілограмів, K20 і K4. K20 прибув до Сполучених Штатів у 1890 році та був призначений основним національним стандартом маси. K4 прибув пізніше того ж року і був призначений як контрольний стандарт для моніторингу сталості K20. Понад століття потому K20 і K4 все ще займають свої позиції. Шість копій, що залишилися, зберігалися в BIPM, щоб служити контрольними стандартами для ІПК. Окрім 40 оригінальних примірників, було виготовлено більше копій, щоб задовольнити зростаючі потреби міжнародної спільноти. У 1996 році США отримав новий прототип кілограма K79.

З моменту заснування в 1875 році і до 1973 року BIPM використовував дві рівноплечі механічні ваги: ваги Бунге, які використовувалися між 1879 і 1951 роками, і ваги Рюпрехта, які обслуговували потреби BIPM з 1878 до 1974 років. NBS-2 використовувався для калібрування 1 кг стандартів у BIPM між 1973 і 1992 роками, замінивши ваги Рюпрехта, вік яких наближався до 100 років. Наразі BIPM використовує найсучасніші ваги, які є або комерційно доступними, або розробленими в BIPM. У 1970 році Національне бюро стандартів (NBS), попередник NIST, подарувало ваги вагою 1 кг, відомі як NBS-2, BIPM. NBS-2 був розроблений і розроблений в NIST, щоб дозволити одночасне вимірювання шести стандартів по 1 кг. Унікальна конструкція з подвійним лезом із постійним навантаженням дозволила метрологам досягти найсучаснішої роздільної здатності та повторюваності. Одиниця маси доступна лише в BIPM. Таким чином, прототипи, які служать національними еталонами маси, повинні періодично повертатися в BIPM для калібрування або на індивідуальній основі, що може бути зроблено в будь-який час, або в рамках одночасного повторного калібрування всіх прототипів, відомого як «періодична перевірка» [1]. З моменту існування прототипів таких періодичних перевірок було лише три. Остання, третя періодична повірка, проходила з 1988 по 1992 рік. Для неї використовувався ІПК з вагами НБС-2. Результати третьої періодичної перевірки продемонстрували тривалу нестабільність одиниці маси на рівні приблизно 30

мкг/кг протягом останнього століття; ця нестабільність пояснюється поверхневими ефектами, які ще не повністю вивчені. Еталони маси, в тому числі ІПК і його копії, зберігаються в атмосферному повітрі; отже, їхні поверхні зазнають адсорбції або поглинання атмосферного забруднення, що призводить до збільшення маси з часом; вони також можуть втратити масу від використання. ВІРМ розробив рекомендований метод для очищення платино-іридієвих (Pt-Ir) прототипів для видалення поверхневих забруднень і відновлення оригінального артефакту стан. У 1989 році СІРМ інтерпретував визначення кілограма 1901 року. У тлумаченні, яке не передбачає перевизначення кілограма, кілограм дорівнює масі ІРК відразу після очищення та миття за допомогою методу ВІРМ.

У 2001 році кілограм залишається єдиною базовою одиницею СІ, визначеною артефактом, і тому постійно знаходиться під загрозою пошкодження або знищення. Крім того, визначення кілограма не передбачає ані параметрів поверхні артефакту, ані будь-яких умов зберігання навколишнього середовища. Вплив навколишнього середовища в поєднанні зі зносом та іншими властивостями матеріалу та поверхні є найбільш імовірною причиною спостережуваної нестабільності маси з часом. Нестабільність у визначенні кілограма поширюється на інші базові одиниці СІ, які прив'язані до кілограма, наприклад ампер, моль і кандела. Він також поширюється на такі похідні величини, як густина, сила та тиск. Таким чином, вплив нестабільності в одиниці маси охоплює широкий спектр застосувань у науковому та інженерному секторах. Однак порівняння майже ідентичних еталонів маси 1 кг можна виконувати з відносною точністю 10^{-10} за допомогою комерційно доступних ваг і з 10^{-12} зі спеціальними вагами, зрозуміло, що обмеження в області масової метрології лежить у самому визначенні артефакту. Отже, кінцева потреба масової метрології полягає в тому, щоб перевизначити одиницю маси в термінах фундаментальної константи природи. У той же час надзвичайно важливо прагнути до більш стабільних і ідеальних артефактів і стандартів передачі,

оскільки це буде, принаймні в осяжному майбутньому, єдиним практичним інструментом поширення [2].

1.2 Очищення та поводження зі стандартами маси

Еталони маси зазвичай зберігаються та використовуються в навколишньому повітрі; отже, вони накопичують забруднюючі речовини і їх необхідно час від часу очищати, щоб відновити їх початкові значення маси. Політика та протоколи очищення залежать від матеріалу артефакту та можуть сильно відрізнятися в різних лабораторіях. Міжнародно визнаний метод очищення платино-іридієвих прототипів відомий як «метод очищення ВІРМ» і описаний у Ref. Цей метод був розроблений в ВІРМ між 1939 і 1946 роками; він розвинувся в результаті багаторічних експериментів із методами очищення, які включали використання різноманітних розчинників. Метод ВІРМ, який зараз використовується, полягає в натиранні артефакту тканиною із замші, змоченою в суміші рівних пропорцій ефіру та спирту. Оскільки суміш ефіру та спирту залишає осад, артефакт потім очищають струменем пари з двічі дистильованої води. Результати показують, що ця процедура ефективна для видалення забруднення з поверхні. Варто зазначити, що цей метод покладається на людський дотик і тому може бути дуже невідтворним. NIST дотримується цього протоколу для очищення національних стандартів маси K20, K4 та K79, коли це необхідно. Усі інші еталони маси NIST і ті, що надійшли на калібрування, як правило, виготовляються з нержавіючої сталі та піддаються різним процедурам очищення залежно від розміру та конструкції, як описано нижче [3].

Еталони маси, виготовлені з цілісної конструкції в діапазоні від 1 г до 1 кг, очищаються шляхом промивання артефактів парами спирту, що конденсуються, що зазвичай називають «паровим знежиренням». Після миття артефактам дають висохнути, а будь-які краплі на поверхні обережно висушують. Еталони маси більше 1 кг і всі гирі двокомпонентної конструкції очищають протиранням безворсовою марлею, змоченою спиртом. Дробові ваги (від 1 мг до 500 мг)

очищаються шляхом змочування їх у спирті з наступним обережним витиранням. Якщо еталони маси забруднені маслянистими залишками, їх очищають ацетоном, а потім спиртом за допомогою безворсової марлі. Як правило, якщо інше не зазначено клієнтами, усі еталони маси очищаються перед калібруванням. Після очищення вагам дають стабілізуватися протягом 7–10 днів перед калібруванням. Період стабілізації визначається за результатами характеристики стабільності еталонів мас шляхом моніторингу маси обраного набору гир після очищення. Перед калібруванням гирі зберігаються всередині або біля ваг під кришкою протягом щонайменше 24 годин, щоб досягти теплової рівноваги з температурою навколишнього середовища. Ваги понад 10 кг потребують більш тривалого періоду термостабілізації залежно від їх розміру. Робота зі стандартами маси вимагає особливих запобіжних заходів. Завжди потрібно бути обережним, щоб мінімізувати ризики падіння та, отже, пошкодження поверхні артефактів. Щоб звести до мінімуму забруднення, еталони маси завжди повинні зберігатися у відносно вільному від пилу середовищі з відповідною фільтрацією повітря. Коли еталони маси не використовуються, їх слід зберігати під скляною баночкою або іншою відповідною кришкою. Крім того, масові еталони ніколи не можна брати голими руками. Зазвичай для уникнення прямого контакту використовуються спеціальні пристосування, такі як пінцет. Якщо потрібна обробка вручну, необхідно надягати рукавички. Рукавички слід вибирати без пудри та такими, щоб їх використання не призводило до забруднення артефакту. Окрім забруднення, обробка шляхом прямого контакту з тілом людини призводить до зміни температури, що згодом потребує додаткового часу термостабілізації. Якщо використовуються пристрої для переміщення, частина, яка контактує з еталонами маси, має бути чистою, неабразивною та немагнітною. Перед калібруванням частинки пилу, які могли накопичитися на поверхні артефактів, можна видалити, продувши повітря гумовим шприцом типу груші або злегка почистивши чистою щіткою.

1.3 Визначення щільності

Високоточні вимірювання маси вимагають застосування поправки на плавучість повітря, що, у свою чергу, вимагає знання щільності повітря, а також об'ємів або щільності артефактів. Щільність повітря обчислюється за допомогою міжнародно прийнятого рівняння для визначення густини вологого повітря за результатами вимірювання CO₂ концентрація, температура, барометричний тиск і відносна вологість. Усі датчики навколишнього середовища регулярно калібруються відповідними групами NIST і відповідають національним стандартам температури, тиску та вологості. Стандартна похибка щільності повітря становить 0,000 17 кг/м³ на основі стандартної похибки вимірної температури, барометричного тиску та відносної вологості 5 мК, 10 Па та 0,5 % відповідно. Еталони маси зазвичай мають закруглені краї, виступи та заглиблені нижні частини, тому визначення об'єму за допомогою геометричних засобів є не дуже точним і практичним. Об'єми (або густини) вимірюються за допомогою занурених ваг і гідростатичних систем зважування. Оскільки обидві системи вимагають занурення гир у рідину, усі стандарти повинні мати цільну конструкцію, щоб уникнути потрапляння рідини в будь-які порожнини гир. Процедура занурення ваг, розроблена в NIST Девісом і Шуновером, використовує нову ідею занурення модифікованих електронних ваг у ванну фторвуглецевої рідини. Об'єми еталонів маси в діапазоні від 100 г до 1 кг вимірюють шляхом порівняння з еталонами об'єму того самого номінального значення, визначеними з більшою точністю гідростатичним методом, описаним нижче. Контрольні стандарти включені в вимірювання, щоб контролювати точність процесу. Відносна сукупна стандартна невизначеність щільності за допомогою цієї процедури становить 0,004 %. Артефакти інших номіналів від 100 г до 1 кг, а також спеціальні запити, що вимагають вищої точності, виконуються за допомогою техніки гідростатичного зважування. Процедура гідростатичного

зважування використовує кремній як еталонні стандарти густини. Використання твердих об'єктів як еталонних стандартів для вимірювання густини було вперше розроблено в NIST у 1974 році; цей метод виключив використання води як еталонного стандарту щільності і в даний час використовується в більшості лабораторій, де потрібні високоточні вимірювання щільності [4]. Гідростатична система зважування, яка зараз використовується, по суті, є тією ж системою, розробленою в NIST у 1974 році для вимірювання стандартів густини кремнію з електронними вагами з верхнім завантаженням, які замінюють механічні ваги. Для більшості вимірювань використовується фторуглеродна рідина, а час від часу – вода. Контрольні стандарти включені в вимірювання, щоб контролювати точність процесу. Визначення маси в повітрі та рідині виконується відповідно до стандартів маси NIST, щоб усунути помилки через нелінійність балансу. Щільність використовуваних еталонних зразків кремнію відома з відносною стандартною невизначеністю $7,5 \times 10^{-7}$ за результатами гідростатичного зважування шляхом порівняння зі сферами з нержавіючої сталі, об'єм яких були виміряні за допомогою лазерної інтерферометрії. Відносна комбінована стандартна похибка щільності за допомогою гідростатичної системи становить 0,001 %.

Як правило, для великої ваги (понад 1 кг) вимірюється щільність зразка з того самого матеріалу. Бажано, щоб зразок був виготовлений з того самого бруска та вирізаний з місця, яке було б якомога ближче до ваги, щоб звести до мінімуму будь-які ефекти через неоднорідність матеріалу. Для гир, менших за 100 г, і для всіх гир, що складаються з двох частин, використовується щільність, заявлена виробником, або щільність, надана замовником. В даний час розробляється нова, повністю автоматизована гідростатична система вимірювання густини на основі кремнієвих сфер як еталонних стандартів [6]. Також розробляється нова система для вимірювання щільності артефактів в діапазоні від 2 кг до 10 кг.

1.4 Поширення вторинних стандартів нержавіючої сталі

Одиниця маси США простежується до ІРК через основний національний еталон маси К20. Одиниця маси спочатку переноситься з К20 на набір вторинних еталонів кілограмів із нержавіючої сталі (SS), виготовлених із немагнітних сплавів SS з номінальною щільністю 8000 кг/м³, поліровані поверхні та скошені краї. Перед калібруванням маси щільність визначається за допомогою методу гідростатичного зважування з кремнієвими еталонними стандартами, як описано вище. Еталони очищають після вимірювання щільності за допомогою знежирення парою та дають їм стабілізуватися перед калібруванням, як зазначено раніше. Подальше очищення проводиться тільки в тому випадку, якщо гиря була піддана незвичайному забрудненню. Використовується комерційно доступний повністю автоматизований електронний компаратор маси 1 кг з роздільною здатністю 1 мкг. Цей компаратор оснащений механізмом обробки ваги, який дозволяє одночасно вимірювати чотири еталони маси однакової номінальної маси, яка в даному випадку становить 1 кг. На рис. 1.1 зображено К20, К4 і два кілограмові стандарти з нержавіючої сталі всередині ваг під час калібрування. К20 і К4 є циліндричними гирями, тоді як гирі з ручками є вторинними стандартами з нержавіючої сталі. Оскільки ваги по суті є датчиком сили, який вимірює сумарні вертикальні сили, що діють на об'єкт, показання ваги відображають різницю між силою тяжіння та силою плавання; якщо ваги відкалібровано та виміряно чутливість, показання ваги дозволяють визначити значення маси. Як правило, вимірювання маси виконують шляхом порівняльного зважування за допомогою еталонного R і невідомого X:

$$m_R - \rho_a V_R = C_R \quad (1.1)$$

$$m_X - \rho_a V_X = C_X \quad (1.2)$$

де m_R та m_X , V_R та V_X , C_R та C_X позначають показання маси, об'єму та балансу для еталонного R та невідомий X, відповідно, тоді як ρ_a відноситься до щільності повітря під час вимірювання.



Рисунок 1.1 - Національний еталон маси K20, K4 та вторинні еталони з нержавіючої сталі всередині ваг під час вимірювання

Порівняння наведених вище двох рівнянь за допомогою різниці дозволяє визначити значення невідомого

$$m_X = m_R - \rho_a(V_R - V_X) - C \quad (1.3)$$

де $C = C_R - C_X$, і було зроблено припущення, що густина повітря ρ_a не змінюється під час цього порівняння. Формула 1.3 представляє найпростіший і найбільш фундаментальний процес вимірювання маси. Це видно формули 3, що поправка на плавучість повітря пропорційна різниці об'ємів між еталонним і невідомим. Таким чином, порівняння двох артефактів різного об'єму, таких як гиря вагою 1 кг, зроблена з Pt-Ir, і гиря вагою 1 кг, виготовлена з нержавіючої сталі, призводить до поправки на плавучість 94,2 мг за умови, що щільність повітря становить 1,2 кг/м³ отримують за допомогою всіх можливих комбінацій між усіма чотирма стандартами; це призводить до шести відмінностей: ρ_a для Pt-Ir кілограма [7]. Щоб мінімізувати будь-який вплив нелінійності балансу, до кілограмів з нержавіючої сталі додають невеликі гирі загальною масою приблизно 94 мг. Кілограми з нержавіючої сталі відкалібровані попарно,

позначаються X1 і X2, відповідно до національного стандарту К20, тоді як К4 діє як контрольний стандарт. Малі додані маси до X1 і X2 представлені z1 і z2 відповідно. Вимірювання різниці 3 для кілограма нержавіючої сталі та об'єм 46,5 см3, об'єм 125 см3.

Спостереження	(1)	(2)	(3)	(4)
	К20	К4	X1+z1	X2+z2
Y ₁	+	-		
Y ₂	+		-	
Y ₃	+			-
Y ₄		+	-	
Y ₅		+		-
Y ₆			+	-

Рисунок 1.1 — Порядок вимірювання різниці

Знаки (+) і (-) у наведеній вище матриці вказують порядок вимірювання різниці: (+) і (-) для спостереження Y_i а i=2>1 вказує на вимірювання різниці між К20 і К4, де К20 вимірюється першим. Отже, наведена вище матриця перетворюється на наступні рівняння після врахування поправки на плавучість:

$$(m_{K20} - \rho_{a1} V_{K20}) - (m_{V1} Y) = K_{4a1} \rho - K_4 \tag{1.4}$$

$$(m_{K20} - \rho_{a2} V_{K20}) - (m_{V2} Y) = 2 Y_{z1} V_{a2} \rho_{z1} m + X_{1a2} \rho - X_1 \tag{1.5}$$

$$(m_{K20} - \rho_{a3} V_{K20}) - (a_{3z2z23} Y) = V_{a3} \rho - m + x_2 V \rho - x_2 \tag{1.6}$$

$$(m_{K4} - \rho_{a4} V_{K4}) - (a_{4z1z14} Y) = V_{a4} \rho - m + x_1 V \rho - x_1 m \tag{1.7}$$

$$(m_{K4} - \rho_{a5} V_{K4}) - (a_{5z2z25} Y) = V_{a5} \rho - m + x_2 V \rho - x_2 m \tag{1.8}$$

$$(m_{X1} - \rho_{a6} V_{X1} + m_{z1} - \rho_{a6} V_{z1}) - (m_{X2} - + a_{66} Y) = z_2 V \rho - z_2 m_{X2} V_{a6} \rho \tag{1.9}$$

Така серія різницевих вимірювань відома як схема зважування. Ця конкретна схема зважування називається схемою 4-1, що вказує на те, що вона включає чотири гирі однакової номінальної маси. Фіксація значення одного з еталонів дозволяє розв'язати цю систему рівнянь методом найменших квадратів. У цьому випадку маса K20 відома з калібрування в ВІРМ і тому використовується як обмеження

$$m_{K20} = R \quad (1.10)$$

Ці схеми зважування були розроблені в NIST Кемероном та ін. в 1979 р. Такі вимірювання дозволяють визначити маси невідомих еталонів X1 і X2, а також K4 за лінійними комбінаціями різниць мас Y1 , , Y6 та значення обмеження, як описано у Пов. після коригування кожної різниці мас для поправки на плавучість, пов'язаної з задіяними стандартами . Оскільки маса K4 відома з калібрування в ВІРМ, визначення його маси тут служить перевіркою точності процесу, як обговорюється нижче. Різниця в геометрії між стандартами Pt-Ir і нержавіючої сталі призводить до різниці у відносному розташуванні центру мас. Це призводить до зміни вимірюваної маси, пропорційної гравітаційному градієнту в діапазоні між положеннями двох центрів ваги. Гравітаційна поправка визначається як:

$$1 \text{ кг} \frac{1}{g} \frac{\partial g}{\partial h} (\Delta h) \quad (1.11)$$

де Δh представляє відстань між центрами мас двох артефактів, які порівнюються, g – прискорення вільного падіння, а $\partial g / \partial h$ – градієнт гравітаційного поля. Щоб кількісно визначити цю поправку, гравітаційні градієнти, а також абсолютне прискорення вільного падіння в місці, де

виконується калібрування маси, були виміряні Національною геодезичною службою $[(3,35 \times 10^{-6}) \pm (0,06 \times 10^{-6})]$ с⁻² та $(9,800\ 998\ 6 \pm 10^{-7})$ м/с² відповідно. Для $\Delta h = 1$ см, що є типовим, гравітаційна поправка становить 3 мкг.

Сукупна стандартна похибка маси кілограма вторинної нержавіючої сталі обчислюється за основним рівнянням для визначення маси на основі Керівництва ISO щодо вираження невизначеності вимірювання, в результаті чого такі внески:

1) Щільність повітря: компонент невизначеності через густину повітря пропорційний різниці в об'ємі між двома стандартами, що порівнюються. Тут очевидно, що домінуючий компонент зумовлений великою різницею в об'ємі ≈ 80 см³) між Pt-Ir та вторинними кілограмами SS. Цей компонент невизначеності становить $u_{air} = 13,3$ мкг для похибки щільності повітря $0,000\ 17$ кг/м.

2) Баланс: невизначеності через повторюваність і відтворюваність обчислюються відповідно до моделі, розробленої С. М. Croarkin, використовуючи процедури, викладені в Ref. У цьому випадку $u_{balance} = 2, 3$ мкг.

3) Посилання, K20: цей компонент взято із сертифіката калібрування K20, наданого BIPM; у посилення = 4 мкг на основі сертифіката калібрування 1999 року.

4) Додані маси: невизначеність малих мас, доданих до кілограмів нержавіючої сталі, щоб компенсувати велику різницю через поправку на плавучість. Похибка в 94 мг, отримана в результаті попереднього калібрування за стандартами NIST, визначається як удобавлена маса = 0,1 мкг.

5) Обсяг стандартів: ця складова невизначеності, у обсяги, пов'язана з невизначеністю в об'ємах еталонного K20 і невідомих вагах X1 або X2. Ця складова невизначеності є незначною, якщо густина повітря під час калібрування та час використання стандартів порівнюються.

б) Інші менш значні компоненти невизначеності, не включені до наведеного вище списку: температура, через можливі похибки в коефіцієнтах температурного об'ємного розширення та ігравітації від гравітаційних поправок.

Комбінована стандартна невизначеність задана як

$$U = \sqrt{u_{\text{повітря}}^2 + u_{\text{баланс}}^2 + u_{\text{посилання}}^2 + u_{\text{додаткова маса}}^2 + u_{\text{обсяги}}^2 + u_{\text{температура}}^2 + u_{\text{сила тяжіння}}^2} \quad (9) \quad (1.12)$$

Якщо врахувати всі невизначеності, згадані вище, сумарна стандартна похибка маси вторинного стандартного кілограма нержавіючої сталі становить 14 мкг (коефіцієнт покриття $k = 1$). Вторинні стандарти використовуються як еталонні стандарти під час калібрування робочих стандартів на рівні 1 кг. Процедура калібрування схожа і використовує той самий автоматичний компаратор. Однак, оскільки вторинний і робочий еталони мають однакові об'єми, поправка на плавучість дуже мала. Тому потреба в додаванні мас усувається, а невизначеність у поправці на плавучість зводиться до мінімуму. Основним внеском у похибку є похибка у використаному еталонному стандарті, $u_{\text{еталон}} = 14$ мкг і комбінований повторюваність і відтворюваність балансу, $U_{\text{баланс}} = 2,3$ мкг [9]. Тому об'єднана стандартна похибка в робочому стандарті 1 кг становить 14,2 мкг.

1.5 Поширення на кратні та дольні частини кілограма

Два набори робочих еталонів з нержавіючої сталі на рівні кілограма використовуються для розподілу одиниці маси на кратні та часткові кілограма. Ці стандарти мають такі ж властивості, як і вторинні стандарти. У NIST регулярно проводяться вимірювання маси, що відстежуються до національного стандарту маси, в діапазоні від 1 мг до 27 200 кг. Як правило, гирі поставляються в наборах,

що складаються з гир різного номіналу. Наприклад, набір від 1 г до 1 кг складається з таких гир: 1 кг, 500 г, два по 200 г, 100 г, 50 г, два по 20 г, 10 г, 5 г, два по 2 г і 1 г. Схеми зважування були розроблені, щоб дозволити перенести одиницю маси з кілограма на інші номінали, оптимізуючи кількість вимірювань і статистичну невизначеність. Протокол, який використовується для калібрування такого набору ваг, проілюстровано в Рис. 1.2 Починаючи з першої серії, використовуються чотири гирі з номінальною масою 1 кг: (1) еталонний стандарт 1 кг NIST, (2) контрольний стандарт 1 кг, (3) 1 кг невідомий, (4) невідома сума 1 кг позначена на $\Sigma 1$ кг, що складається з комбінації 500 г, двох 200 г і 100 г. Шість спостережень зроблено з використанням таких різниць вимірювань.

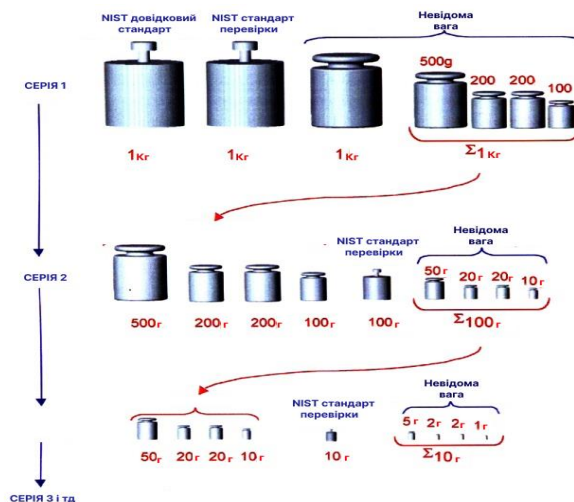


Рисунок 1.2 - Схематичний опис схем зважування, які використовуються для розповсюдження на частки кілограма

Друга серія складається з вимірювань різниці між 6 гирями: (1) 500 г, (2) 200 г, (3) 200 г, (4) 100 г, (5) 100 г і (6) $\Sigma 100$ г, що складається з комбінація 50 г, дві по 20 г і 10 г. У цьому випадку обмеження накладається на суму вагових коефіцієнтів у позиціях (1) - (4); ця сума відома з серії 1; вага (5) служить контрольним стандартом, тоді як (6) служить обмеженням для наступних серій. Контрольні стандарти NIST включені в кожну серію вимірювань, а контрольний стандарт NIST використовується лише в початковій серії; зв'язок з наступними

серіями забезпечується вимірюванням невідомих, визначених з попередньої серії. Подібні процедури використовуються для калібрування кратних кілограму. Спостереження коригуються на плавучість повітря, а також на температуру, перш ніж обчислювати маси методом найменших квадратів. Оскільки більшість масових еталонів, що використовуються, виготовляються з нержавіючої сталі, щільність якої подібна до робочих і контрольних стандартів NIST, похибка в поправці на плавучість є незначною. Тому основним внеском у невизначеність є невизначеність еталонного стандарту та сукупна повторюваність і відтворюваність ваг [10]. «V-подібна» крива є характеристикою кривої невизначеності калібрування маси, оскільки найменша похибка є на рівні 1 кг, де визначена одиниця, і похибка зростає, коли одиниця поширюється на кратні та часткові кілограму. Крива, що відображає оцінені промислові потреби, виведена з найсуворіших вимог законодавчої метрології та контактів із споживачами.

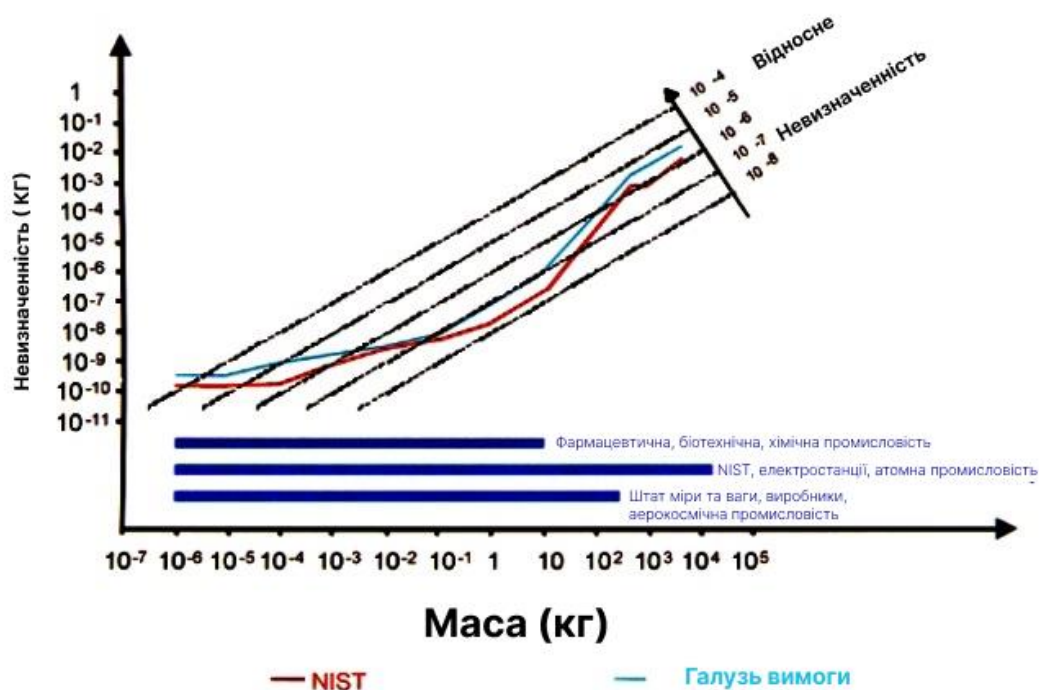


Рисунок 1.3 - Стандартна невизначеність калібрування маси в NIST. На цьому графіку також нанесено розрахункові потреби галузі в масовій метрології

1.6 Статистичний контроль процесу

Процедури статистичного керування процесом включено до вимірювань для моніторингу точності й точності процесу калібрування та формують основу програми забезпечення вимірювань для масових калібрувань. Програми забезпечення вимірювань були впроваджені в NIST з 1960-х років з деякими концепціями, такими як стандарти перевірки, які сягають ранніх днів NBS у 1926. Такі процедури застосовуються до калібрування маси з 1979 року. Нижче подано лише короткий зміст.

Для кожної серії вимірювань стандартне відхилення методу найменших квадратів підбирається для даних і порівнюється з прийнятим стандартним відхиленням балансу за допомогою статистики F-критерію. Прийняте стандартне відхилення ваг — це об'єднане стандартне відхилення на основі дуже великої кількості вимірювань, зібраних протягом тривалого періоду часу. Відстежуючи розкид даних, отриманих під час проектних вимірювань зважування, F-тест контролює точність процесу вимірювання. Достовірність F-критерію базується на припущенні, що розкид даних є типовим для розкиду, отриманого з попередніх вимірювань з використанням того самого балансу. Контрольні карти зберігаються для всіх ваг, які використовуються в службах калібрування. Для кожної серії вимірювань обчислюється стандартне відхилення та порівнюється з прийнятним значенням, яке зазвичай отримують із сукупного стандартного відхилення кількох вимірювань. Такі контрольні карти контролюють показники балансу; наприклад, безперервне збільшення стандартного відхилення вказує на можливе погіршення балансу. Контрольні еталони — це еталони маси з відомими або «прийнятими» значеннями маси. Контрольні стандарти включені в схеми зважування; їх розглядають як невідомі, а їх маси вимірюють і порівнюють із прийнятими значеннями за допомогою статистики T-критерію. Моніторинг вимірної маси артефакту відомої маси контролює точність процесу вимірювання. Достовірність T-тесту базується на припущенні, що маса контрольного стандарту не змінюється від прийнятого значення [11]. Прийнятні

значення для стандартних відхилень балансів і контрольних стандартів отримують із щорічних оновлень контрольних карт. Частіші оновлення виконуються, якщо це буде визнано необхідним на основі будь-яких незвичних результатів. Контрольна карта ту перевірки складається з вимірних значень як функції часу з обчисленим прийнятним значенням і межами статистичного контролю. Контрольні карти відстежують стабільність та/або дрейф еталонів маси, а також різкі зміни, які можуть вказувати на можливе пошкодження. Такі контрольні карти зберігаються для перевірки еталонів, що охоплюють повну масову шкалу, яку покривають послуги калібрування.

1.7 Характеристика поверхонь еталонів маси

Намагаючись зрозуміти стабільність стандартів маси, ми охарактеризували шорсткість поверхні та профілі наших національних прототипів кілограмів K4 та K79 за допомогою безконтактного профілювання поверхні та методів оптичної мікроскопії. K4 і K79 є представниками двох існуючих типів обробки поверхні для первинних платино-іридієвих кілограмів. K4 — одна з перших 40 виготовлених копій; це було відполіровано вручну. K79 є представником нового сімейства кілограмів Pt-Ir, виготовлених у ВІРМ, точених за допомогою алмазного інструменту.

K4 є одним із двох масових стандартів, спочатку призначених Сполученим Штатам. Другий еталон маси, K20, є національним еталоном маси в Сполучених Штатах. І K4, і K20 належать до оригінальної групи 40-кілограмових прототипів. Усі 40 кілограмів були виготовлені з того самого сплаву та за однаковою технологією. Вважається, що поверхня K4 є репрезентативною для поверхонь оригінальних національних стандартів маси. Лінії обробки на K4 видно неозброєним оком. Крім того, на плоских і циліндричних поверхнях помітно декілька подряпин, про які повідомлялося. Профілі оптичного мікроскопа виявляють, окрім ліній обробки та численних випадкових подряпин, лінії зносу

внаслідок використання на чашах ваг протягом більш ніж століття. Ці рядки можна побачити як короткі відрізки ліній, перпендикулярні до ліній обробки. Використовуючи скануючий інтерферометр білого світла, ми виміряли середні значення шорсткості R_a в діапазоні від 63 нм до 84 нм у різних місцях на плоских поверхнях К4, за винятком центру. Повторюваність середньої шорсткості в одному місці вимірювання становить 1 нм.

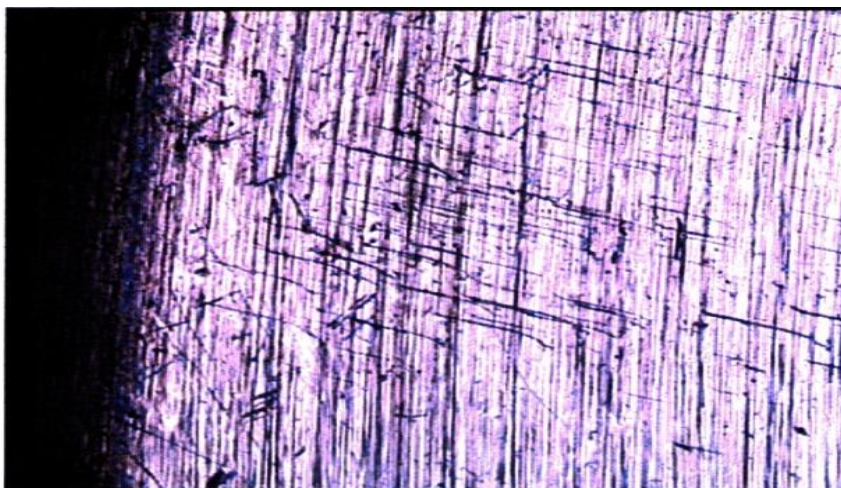


Рисунок 1.4 - Профіль оптичної мікроскопії нижньої поверхні К4 біля краю, що виявляє лінії обробки та сліди зносу

Варто зазначити, що незважаючи на особливу текстуру поверхні, яку демонструє К4, його маса відносно ІРК змінилася лише на 41 мкг між калібруваннями в ВІРМ у 1889 та 1999 роках. Зараз ми перебуваємо в процесі повторного дослідження поверхні К4 після очищення в ВІРМ з надією пролити світло на вплив очищення на характеристики поверхні та, можливо, знайти принаймні якісну кореляцію між змінами характеристик поверхні та змінами маси для платино-іридієвих стандартів. К79 був придбаний NIST у 1996 році. Він був виготовлений у ВІРМ у 1986 році шляхом точіння алмазним інструментом. Неозброєним оком поверхня К79 виглядає дуже дзеркальною в порівнянні з К4. Коли К79 помістили під мікроскоп, покращена якість поверхні була очевидною, але були виявлені деякі особливості. Шорсткість поверхні вимірювалася за допомогою фазовимірювального мікроінтерферометра. Середня шорсткість, R_a ,

становила від 10 нм до 15 нм у різних місцях на плоских поверхнях К79 із повторюваністю 1 нм для одного місця вимірювання. Крім того, профілі оптичної мікроскопії показують докази збільшення розміру зерна зі збільшенням відстані від центру. Походження цієї нерівномірності розміру зерна все ще досліджується і, швидше за все, пояснюється взаємодією між платиново-іридієвим артефактом і алмазним інструментом або властивостями Pt-Ir матеріалу. Порівняно з поверхнею К4 спостерігалось лише кілька слідів зносу.

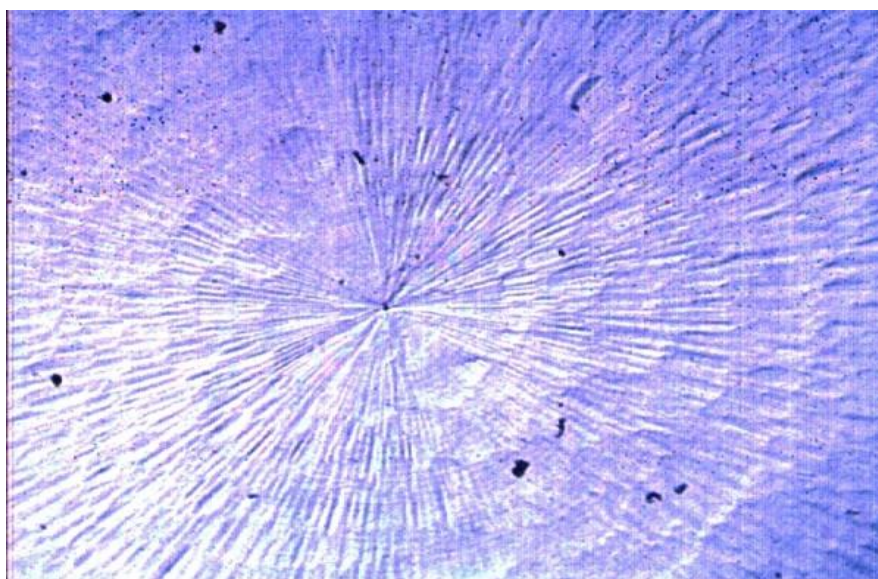


Рисунок 1.5 - Профіль оптичної мікроскопії К79 у центрі показує нерівномірний розподіл зерна за розміром

1.8 Висновки до розділу

Отже, нестабільність і постійні ризики, пов'язані з визначенням артефакту, мають далекосяжні наслідки. Будь-яка зміна кілограма безпосередньо впливає на інші відповідні базові одиниці, фундаментальні константи та похідні одиниці, такі як щільність, сила та тиск. Незважаючи на те, що кінцевою метою залишається заміна визначення артефакту на визначення незмінного, мета, яка, сподіваємося, вже не є недосяжною, метрологія артефакту залишається невід'ємною частиною масової метрології.

2 ОБ'ЄКТИ ВИМІРЮВАННЯ

2.1 Поняття фізичної величини та її одиниці вимірювання

Предмети і феномени оточуючого нас світу мають різноманітні характеристики, які можуть виявлятися в різних мірах та, отже, підлягають кількісній оцінці. Для кількісного опису різних характеристик процесів і фізичних тіл використовується поняття фізичної величини. Загально, коли мова йде про вимірювання, мають на увазі вимірювання фізичних величин, тобто характеристика, яка є властивими матеріальним світом.

Ці величини досліджуються в природничих і технічних науках (фізика, хімія, біологія, електротехніка, теплотехніка та ін.), і вони стають об'єктом контролю та управління на виробництвах (у металургії, машинобудуванні, приладобудуванні тощо). Наприклад, об'єктом вимірювання може бути діаметр вала, кількість виробленого продукту, швидкість потоку рідини в трубопроводі, вміст легуючих компонентів у сплаві, температура плавлення і так далі. Для більш детального вивчення фізичних величин їх класифікують на групи.



Рисунок 2.1 - Класифікація фізичних величин

Вимірювання фізичної величини - це послідовність операцій, які включають в себе використання технічного засобу для збереження одиниці фізичної величини. Ці операції порівнюють вимірювану величину з її одиницею з метою отримання результату у формі, що найбільш зручна для подальшого використання.

Основним принципом вимірювань є фізичний явище чи ефект, на якому ґрунтується проведення вимірювань за допомогою певного типу вимірювальних засобів.

Приклади:

- Використання ефекту Доплера для визначення швидкості
- Застосування ефекту Холла для вимірювання індукції магнітного поля;
- Використання сили тяжіння для вимірювання маси під час зважування.

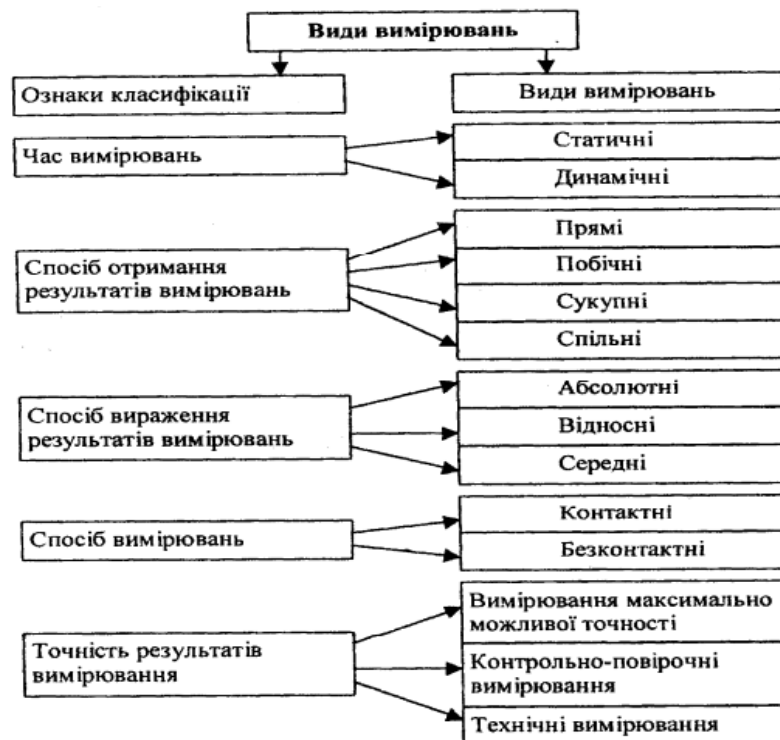


Рисунок 2.2 - Схема класифікації вимірів

Класифікація вимірювань проводиться з урахуванням декількох аспектів, таких як спосіб отримання інформації, характер змін вимірюваної величини під час вимірювань та кількість вимірювальної інформації щодо основних одиниць.

Щодо способу отримання інформації, вимірювання поділяються на прямі, непрямі, сукупні та спільні. Прямі виміри включають безпосереднє порівняння фізичної величини із її мірою, наприклад, вимірювання довжини лінійкою. Непрямі виміри встановлюють значення величини на основі результатів прямих вимірювань інших величин, пов'язаних з шуканою залежністю. Сукупні виміри вирішують систему рівнянь, складених за результатами одночасних вимірів кількох однорідних величин, тоді як спільні виміри визначають взаємозв'язок між неоднорідними фізичними величинами. Щодо характеру зміни величини під час вимірювань, розрізняють статистичні, динамічні та статичні виміри. Статистичні виміри визначають характеристики випадкових процесів чи сигналів, а статичні виміри застосовуються, коли вимірювана величина майже постійна. Динамічні виміри пов'язані зі змінами величини під час вимірювань. За кількістю вимірювальної інформації розрізняють одноразові та багаторазові виміри, які вказують на кількість повторень вимірювань [13].

Метод одноразових вимірювань означає проведення вимірювання однієї величини, при цьому кількість вимірювань відповідає кількості вимірюваних величин. Застосування цього підходу у практиці часто супроводжується значними похибками, тому рекомендується проводити не менше трьох одноразових вимірювань і обчислювати кінцевий результат як середнє арифметичне значення цих вимірювань. У випадку повторюваних вимірів кількість проведених вимірювань перевищує кількість вимірюваних величин, і зазвичай мінімальна кількість вимірювань у цьому випадку становить не менше трьох. Застосування повторюваних вимірів дозволяє значно зменшити вплив випадкових факторів на похибку вимірювань. Основні одиниці вимірювання класифікуються як абсолютні та відносні.

Абсолютні виміри визначаються як ті, при яких використовується прямий вимір однієї (іноді кількох) основної величини та фізичної константи. Наприклад,

у відомій формулі Ейнштейна $E=mc^2$, маса (m) є основною фізичною величиною, яку можна виміряти безпосередньо (наприклад, зважуванням), а швидкість світла (c) представляє фізичну константу. Відносні виміри ґрунтуються на встановленні відношення між вимірюваною величиною та одиницею вимірювання, яка вважається однорідною. Зрозуміло, що значення вимірювання залежить від використовуваної одиниці вимірювання. З цими вимірами пов'язані такі концепції, як "шкала вимірювань", "принцип вимірювань" та "метод вимірювань".

Шкала вимірювань представляє собою упорядковану послідовність значень фізичної величини, яка служить основою для проведення вимірювань. Це поняття можна розкрити, наведши приклад температурних шкал [14].

У шкалі Цельсія температуру танення льоду взято за початок відліку, а температура кипіння води служить опорною точкою або основним інтервалом. Один градус Цельсія визначається як одна сота частина даного інтервалу. У шкалі Фаренгейта за початок відліку прийнята температура танення суміші льоду та нашатирного спирту, а опорною точкою служить нормальна температура тіла людини. Один градус Фаренгейта відповідає одній дев'яносто шостій частині основного інтервалу. Наприклад, температура танення льоду на шкалі Фаренгейта дорівнює $+32^{\circ}\text{F}$, а кипіння води - $+212^{\circ}\text{F}$. Таким чином, різниця між температурою кипіння води та таненням льоду становить 100°C за шкалою Цельсія і 180°F за шкалою Фаренгейта. Цей приклад підкреслює важливість вибору шкали для забезпечення єдності вимірів та необхідність встановлення відношення між розмірами одиниць для порівняння результатів вимірювань. У метрологічній практиці використовуються різні види шкал, такі як шкала найменувань, шкала порядку, шкала інтервалів, шкала відносин та інші. Шкала найменувань представляє собою якісну шкалу, що включає нульовий пункт та одиниці вимірювань. Ілюстрацією може бути атлас кольорів, де використовується шкала кольорів. Процес вимірювання полягає у візуальному порівнянні фарбованого об'єкта з еталонними зразками кольорів, які представлені в атласі (наприклад, атласі квітів). Оскільки кожен колір може мати багато варіацій, таке порівняння може бути здійснене лише досвідченим експертом, який має не лише

практичний досвід, але й відповідні особливі характеристики зорових здібностей.

Шкала порядку визначає значення вимірюваної величини в балах або інших порядкових розрядах. Прикладами можуть служити шкала землетрусів, шкала сили вітру, шкала твердості фізичних тіл та інші. Ця шкала встановлює інтенсивність або ранг значень величини, але не вказує на точні числові відмірювання між ними. Шкала інтервалів (різностей) володіє умовними нульовими значеннями, а її інтервали встановлюються за домовленістю. Прикладами таких шкал є шкала часу та шкала довжини.

Шкала відносин має природне нульове значення, і одиниці вимірювання встановлюються також за домовленістю. Наприклад, шкала маси (зазвичай використовується термін "вага") має природний нуль в значенні відсутності маси, і градація цієї шкали може варіювати залежно від необхідної точності зважування (порівняйте побутові та аналітичні ваги) [15].

Об'єктом вимірювання є фізичні величини, які поділяються на основні та похідні. Основні величини не залежать одна від одної, але можуть служити основою для встановлення зв'язків з іншими фізичними величинами, які вважаються похідними від них. Наприклад, вже згадана формула Ейнштейна включає основну величину - масу, а енергія є похідною величиною, залежність якої визначає ця формула.

Основним величинам відповідають основні одиниці вимірювання, тоді як похідним величинам властиві похідні одиниці вимірювання. Загальна система одиниць фізичних величин включає в себе цей набір основних та похідних одиниць.

2.2 Методи вимірів

Метод безпосередньої оцінки: Визначення значення фізичної величини з вимірювального приладу прямої дії, наприклад, вимір напруги вольтметром.

Точність цього методу залежить від точності вимірювального приладу.

Метод порівняння з мірою:

Метод протиставлення: Вимірювана та відтворювана величини взаємодіють з приладом порівняння, наприклад, вимір ваги за допомогою важелів та гирь.

Диференціальний метод: Вимірювальний прилад впливає на різницю між вимірюваною та відомою величинами, наприклад, вимір напруги постійного струму за допомогою дискретного дільника напруги та вольтметра.

Нульовий метод: Результируючий ефект впливу обох величин на прилад порівняння доводять до нуля, наприклад, вимір опору резистора за допомогою чотириплечового мосту.

Метод заміщення: Почергове підключення величин на вхід приладу, наприклад, точне вимірювання малої напруги за допомогою гальванометра та підключення джерела відомої напруги для досягнення збігу показань.

Метод збігу: Вимірювання різниці між вимірюваною величиною та величиною, відтворюваною мірою, за допомогою збігу позначок шкал чи періодичних сигналів.

Тензометричний метод (тензорезистивний метод): Заснований на ефекті тензометрії, де деформація електропровідних матеріалів призводить до зміни їх питомого електричного опору. Тензометри використовуються для вимірювання напруги чи інших величин.

Ці методи є важливими для забезпечення точних та достовірних вимірювань фізичних величин у різних областях.

2.3 Види засобів вимірювань

Засіб вимірювань – технічний засіб (або їх комплекс), призначене для вимірювань, що має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює та (або) зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої приймається незмінним у межах встановленої похибки та протягом відомого інтервалу часу.

За метрологічним призначенням засоби вимірювань поділяються на:

- робочі засоби вимірювання, призначені для вимірювань фізичних величин, не пов'язаних із передачею розміру одиниці іншим засобам вимірів. РСІ є найчисленнішими і широко застосовуваними. Приклади РСІ: електролічильник - для вимірювання електричної енергії; теодоліт – для вимірювання плоских кутів; нутромір – для вимірювання малих довжин (діаметрів отворів); термометр – для вимірювання температури; вимірювальна система теплоелектростанції, що отримує отримати вимірювальну інформацію про ряд фізичних величин у різних енергоблоках;

- зразкові засоби вимірювання, призначені для забезпечення єдності вимірів у країні.

За стандартизацією - на:

- стандартизовані засоби вимірювань, виготовлені відповідно до вимогами державного чи галузевого стандарту.

- нестандартизовані засоби вимірювань – унікальні засоби вимірювань, призначені для спеціальної вимірювальної задачі, стандартизації вимог до якого не потрібно. Нестандартизовані засоби вимірювань не піддаються державним випробуванням (перевіркам), а підлягають метрологічним атестаціям.

За ступенем автоматизації – на:

- автоматичні засоби вимірювань, що виробляють в автоматичному режимі всі операції, пов'язані з обробкою результатів вимірювань, їх реєстрацією, передачею даних або виробленням керуючого сигналу;

- автоматизовані засоби вимірювань, які виробляють автоматичному режимі одну або частину вимірювальних операцій;

- неавтоматичні засоби вимірювань, що не мають пристроїв для автоматичного виконання вимірювань та обробки їх результатів (рулетка, теодоліт)

За конструктивним виконанням – на:

- Заходи;

- Вимірювальні перетворювачі;

- вимірювальні прилади;
- Вимірювальні установки;
- Вимірювально-інформаційні системи;

Мірою вважається засіб вимірювання, призначений для точного відтворення фізичних величин заданого розміру. Серед таких засобів вимірювань входять гирі, кінцеві заходи довжини та інші. На практиці використовують різні види мір, включаючи однозначні та багатозначні заходи, а також набори та магазини мір.

Однозначні заходи: Ці міри відтворюють лише величини одного конкретного розміру, наприклад, гирі [17].

Багатозначні заходи: Такі міри відтворюють кілька розмірів фізичної величини. Наприклад, міліметрова лінійка дозволяє виражати довжину предмета як у сантиметрах, так і у міліметрах.

Набори та магазини мір: Це об'єднання однозначних або багатозначних заходів для відтворення проміжних чи сумарних значень величини.

Набір заходів: Комплект однорідних заходів різного розміру, який може використовуватися в потрібних комбінаціях, наприклад, набір лабораторних гирь.

Магазин заходів: Сполучення заходів, об'єднаних конструктивно в одне механічне ціле, що дозволяє з'єднувати їх у потрібному порядку за допомогою ручних або автоматизованих перемикачів. Такі магазини можуть бути використані, наприклад, в магазинах електричних опорів. Однозначні заходи включають стандартні зразки та стандартні речовини, які мають визначені характеристики та використовуються для точного вимірювання. Стандартний зразок - це належним чином оформлена проба речовини, яка піддається метрологічній атестації для встановлення кількісного значення певної характеристики. Ця характеристика є величиною із відомим значенням за визначених умов зовнішнього середовища.

Прикладами стандартних зразків є набори мінералів з конкретними значеннями твердості чи зразок чистого цинку для відтворення температури за міжнародною температурною шкалою МТШ-90.

При користуванні такими заходами важливо враховувати номінальне та дійсне

значення заходів, а також похибку міри та її розряд. Номінальне значення вказується на самому заході, а дійсне значення визначається під час високоточного вимірювання з використанням офіційного зразка.

Різниця між номінальним та дійсним значеннями називається похибкою міри. Поправка до номінального значення, протилежна за знаком до похибки, називається поправкою.

Заходи поділяють на розряди, такі як 1-й, 2-й розряди і т.д., і використовують розрядні еталони для їх перевірки. Похибка міри є основою для класифікації заходів та визначення їхніх класів, що часто застосовується в технічних вимірах.

Вимірювальний перетворювач - це засіб, призначений для конвертації сигналу вимірювальної інформації в форму, зручну для обробки, зберігання та передачі в показовий пристрій. Вимірювальні перетворювачі можуть бути вбудовані в конструкцію вимірювального приладу або використовуватися разом з ним. Проте сигнал, що обробляється перетворювачем, не безпосередньо сприймається спостерігачем.

Наприклад, перетворювач може бути використаний для передачі інформації в пам'ять комп'ютера, для підсилення напруги і т.д. Величину, яка піддається конвертації, називають вхідною, а результат конвертації - вихідною величиною.

Основною метрологічною характеристикою вимірювального перетворювача є його функція перетворення, що представляє собою співвідношення між вхідною та вихідною величинами.

Вимірювальні перетворювачі поділяються на кілька типів:

Первинні перетворювачі: безпосередньо сприймають вимірювану величину.

Перетворювачі передачі: надають вихідній величині форму, придатну для реєстрації або передачі на відстань.

Проміжні перетворювачі: працюють у поєднанні з первинними і не змінюють роду фізичної величини, але полегшують її обробку чи передачу.

Важливо враховувати, що вимірювальні перетворювачі відіграють ключову роль у точності та надійності вимірювань, тому їх вибір та використання важливі для ефективного вимірювання фізичних величин.

Вимірювальні прилади представляють собою інструменти для отримання вимірювальної інформації у формі, зручній для розуміння користувачем. Їх класифікують на два основні типи: прилади прямої дії та прилади порівняння [18].

Прилади прямої дії надають відображення вимірюваної величини за допомогою показуючого пристрою, який має відповідне градування в одиницях цієї величини. У цьому випадку не відбувається зміни роду фізичної величини. До цього типу приладів відносяться, наприклад, амперметри, вольтметри, термометри та інші.

Прилади порівняння призначені для порівняння вимірюваних величин із відомими значеннями. Ці прилади широко використовуються в наукових дослідженнях та на практиці для вимірювань, таких як яскравість джерел випромінювання, тиск стисненого повітря тощо.

Вимірювальні установки та системи представляють собою комплекс засобів вимірювань, які об'єднуються за функціональною ознакою з допоміжними пристроями. Вони використовуються для вимірювання однієї чи кількох фізичних величин об'єкта вимірювань. Зазвичай такі системи автоматизовані та забезпечують введення інформації в систему, автоматизацію самого процесу вимірювання, обробку та відображення результатів для сприйняття їх користувачем. Ці установки також застосовуються для контролю, зокрема виробничих процесів, що стає особливо важливим у методах статистичного контролю та принципів TQM в управлінні якістю.

Вимірювальне приладдя представляє собою невід'ємну складову для вимірювань різних величин. Використовуючи ці засоби, можна коригувати результати вимірювань, особливо при необхідності високої точності. Наприклад, термометр може виступати як допоміжний інструмент, якщо його вимірювання вважається достовірним лише при строго контрольованій температурі, а психрометр може використовуватися при суворих вимогах до вимірювання вологості навколишнього середовища. За метрологічним призначенням засоби вимірювань поділяються на робочі засоби та зразки.

Робочі засоби вимірювань застосовуються для визначення параметрів

технічних пристроїв, технологічних процесів та оточуючого середовища. Ці засоби мають власні характеристики, що робить їх придатними для конкретних завдань. Наприклад, лабораторні засоби вимірювань відрізняються високою точністю та чутливістю, що робить їх ідеальними для вимірювань з високою стабільністю. Виробничі забезпечують стійкість до впливу різних факторів виробничого середовища, таких як температура, вологість, вібрація, забезпечуючи достовірність та точність показань приладів. Польові засоби працюють в умовах, що постійно змінюються в широких межах зовнішніх впливів.

2.4 Висновки до розділу

Розглянуті різноманітні методи вимірювань, включаючи безпосередню оцінку, порівняння з мірою, методи заміщення та збігу. Зазначено важливість використання вимірювальних приладів, що відображають як пряму дію, так і порівняльні властивості, для отримання точних та достовірних результатів. Великий акцент було зроблено на різних типах мір, таких як однозначні та багатозначні заходи, а також робочі та зразкові засоби вимірювань. Розглянуті вимірювальні перетворювачі та їхні різновиди, а також важливість роботи цих пристроїв в різних умовах та для різних завдань.

Засоби вимірювань були представлені як ключові компоненти вимірювальних систем та установок, які допомагають отримувати точну та надійну інформацію у різних галузях науки та виробництва. Зазначено, що правильний вибір вимірювальних засобів впливає на якість та достовірність результатів вимірювань.

У висновку підкреслено важливість ретельного планування та вибору відповідних вимірювальних приладів та методів для досягнення точності та достовірності вимірювань в різних областях діяльності.

3 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИХ ЗАСОБІВ

3.1 Тензорезистори, їх властивості, вимірювальні ланцюги та метрологічні характеристики

Тензорезистор - це тип резистора, опір якого змінюється внаслідок деформації. Ці пристрої широко використовуються в тензометрії, де вони дозволяють вимірювати деформації механічно пов'язаних з ними елементів. Тензорезистори є ключовою складовою тензодатчиків, які використовуються для непрямого вимірювання сил, крутних моментів, механічних напруг, ваги, тиску та інших параметрів.

Суттєвою частиною тензорезисторних перетворювачів, які визначають точність вимірювань, є чутливий елемент (ЧЕ), який реагує на прикладену силу. У випадку конструкцій із зсувним ЧЕ деформація зсуву може бути досягнута різними способами:

1. Застосування поперечної сили до фіксованих балок або системи балок, розташованих по колу, геометрична форма яких спричиняє зсув при деформації;
2. Скручування чутливого елемента за допомогою моменту, створеного зовнішнім пристроєм;
3. Забезпечення однакової та протилежної за знаком деформації на поздовжньому плечі за допомогою механічних конструктивних зв'язків.

Ці методи дозволяють створювати тензодатчики з різною чутливістю та ефективно вимірювати різні фізичні величини в залежності від застосувань.

3.2 Електрична схема підключення тензорезистора

Тензорезистори зазвичай включаються в одне або два плечі збалансованого моста Уітсона, живленого від джерела змінного струму. Балансування моста проводиться з використанням А—D (діагональ моста постійного струму), так щоб

при відсутності прикладеної сили напруга на діагоналі була рівна нулю. Сигнал від діагоналі моста В—С знімається і подається на вимірювальний прилад, диференційний підсилювач або АЦП.

Зміна опору R_x може виникнути не лише внаслідок деформації, а й від впливу інших факторів, зокрема, зміни температури. Ця зміна може внести похибку у вимірювання деформації. Для зменшення впливу температури застосовують сплави з низьким коефіцієнтом температурного розширення, вносять поправки на зміну температури, або використовують диференціальні схеми для введення тензорезисторів у міст.

Наприклад, в схемі, замість постійного резистора R_3 включається тензорезистор такий же, як і R_x . При деформації деталі цей резистор змінює свій опір зі зворотнім знаком. Це досягається розташуванням тензорезисторів на поверхні деталі, яка деформується по-різному. Наприклад, з різних сторін балка згинається або деформується з одного боку, але з взаємно перпендикулярною орієнтацією. При зміні температури, якщо температура обох резисторів однакова, зміна опору, викликана зміною температури, компенсується.

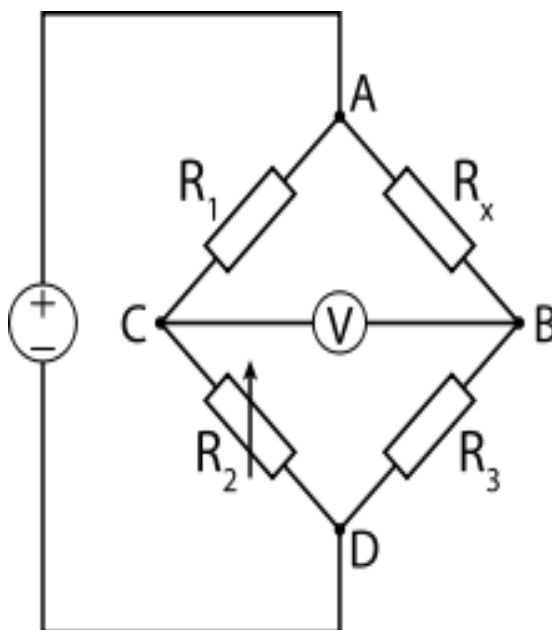


Рисунок 3.1 - Вимірювальний міст з вольтметром у діагоналі. Тензорезистор позначений R_x

3.3 Конструкції й технічні характеристики дискретних металевих і напівпровідникових тензорезисторів

Для створення тензорезисторів використовуються різні технології та матеріали. Один із типів таких перетворювачів базується на тонкому папері або лаковій плівці, на якій монтується решітка із мідного дроту. Дріт має діаметр 0,03-0,04 мм, і на кінці його приєднують вихідні мідні провідники. Верхній шар перетворювача обробляється лаком. Приклеюючи такий перетворювач до досліджуваної деталі, можна вимірювати деформації її поверхневого шару. Вимірювальною базою є довжина деталі, займана дротом. Перетворювачі з базами 4-21 мм та опорами від 31 до 501 Ом широко використовуються.

Інший тип тензорезисторів - фольгові перетворювачі. Вони представляють собою стрічку фольги товщиною 5-10 мкм, на якій вивідами утворюється решітка. Ці перетворювачі мають менші габарити, існують моделі з базою до 0,7 мм.

Металеві плівкові тензорезистори створюються вакуумним осадженням тензочутливого матеріалу на основу. Форма тензорезистора формується за допомогою маски під час напилювання. Плівкові тензорезистори відрізняються товщиною менше 1 мкм. Ключовим параметром є відстань між витками, що визначає параметри опору, кількість витків та допустимий струм, обмежений самонагріванням.

При наявності поперечних ділянок довжиною b , зміна опору тензорезистора виникає внаслідок деформації цих ділянок при зусиллі, що діє на деталь. Це зусилля перпендикулярне осі чутливості тензорезистора. Для дротових тензорезисторів відношення поперечної та поздовжньої чутливостей визначається співвідношенням b/L . У фольгових тензорезисторів поперечна чутливість значно менша через розширення поперечних ділянок. На рис. 3.2 (додаток А, рисунок б), в зображено елемент, О, що складається із чотирьох тензорезисторів, утворюючи чотири плечі мосту.

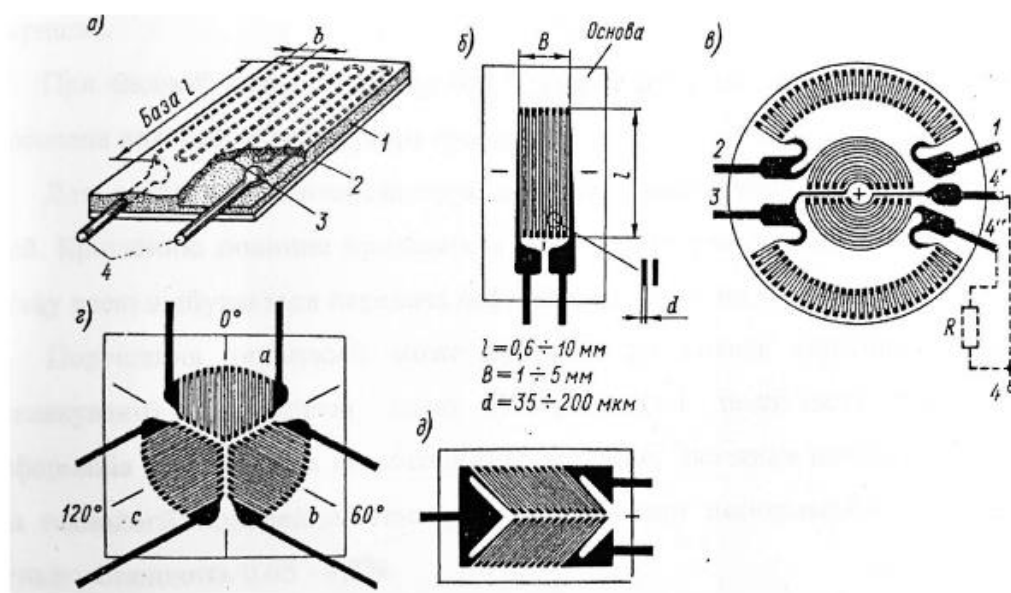


Рисунок 3.2 - Конструкції тензорезисторів

Цей елемент приклеюється до мембрани. Тензорезистори, розташовані в центрі, піддаються розтягуванню, на периферії - стиску. Живлення з'єднується до виходів 1 і 3, а виходи 2, 4' та 4'' утворюють вимірювальну діагональ в приладі. Виходи 4 і 4'' розірвані для можливості ввімкнення резистора R у потрібне плече і досягнення підбором R рівноваги мосту. Розетка 1 із трьох тензорезисторів, використовується для вимірювання напружень у деталі, яка перебуває в плосконапруженому стані, коли напрямки дії напружень невідомі. Зміни опорів трьох тензорезисторів визначають напрямки головних напружень і їхні значення.

Елемент використовується для вимірювання деформації валів при їхньому скручуванні. Тензорезистори, що працюють у діапазоні температур до 180°C , використовують константан як базу тензочутливого елементу. Для високих температур ($220-1100^{\circ}\text{C}$) використовують спеціальні сплави. Основа тензорезистора - тонка смужка просоченого клеєм паперу або лакова плівка, і з того ж матеріалу виконана покришка. При високій температурі (до 400°C) може застосовуватися склотканина, просочена високотемпературним цементом.

Для закріплення тензорезистора до деталі використовується клей. Крім того, місце кріплення слід регулярно перевіряти, оскільки саме через плівку відбувається передача деформації з деталі на чутливий елемент. Порушення

технології може спричинити значні похибки, викликані повзучістю клею. Унаслідок повзучості вимірювана деформація зменшується по абсолютній величині, і значення похибки залежить від технології приклейки, температури, величини деформації, зазвичай коливаючись між 0,05% і 0,2%.

Порівнюючи температурні можливості тензочутливого матеріалу і клею, видно, що обмеження температурного діапазону переважно зумовлюється властивостями клею. У зв'язку з цим для закріплення високотемпературних тензорезисторів часто використовують неорганічні фосфатні цементи і жаростійкі оксиди алюмінію, які наносяться на деталь методом газополуменевого напилювання. Такий спосіб кріплення дозволяє обійти обмеження температурного діапазону, які визначаються не тільки повзучістю кріплення під впливом високих температур, але й несуттєвими ізоляційними властивостями цементу чи оксиду алюмінію. Робочий діапазон тензорезисторів для динамічних деформацій обмежений температурою від 400 до 650 °С при певних деформаціях і від 650 до 850 °С при динамічних деформаціях. У випадку вимірювання динамічних деформацій у високотемпературному діапазоні до 1100 °С застосовується кріплення за допомогою контактного зварювання.

3.4 Розробка принципової схеми підключення тензорезисторів

Мостова схема є популярним варіантом в тензометрії, і існують три основні види таких схем, різняться вони кількістю плечей, які розташовані поза самим приладом. Простішою та зручною є мостова схема з одним активним плечем, тоді як інші три плечі можуть бути стабільними резисторами, розташованими в проміжному перетворювачі або установці. Завдяки появі та вдосконаленню самотермокомпенсуючих тензорезисторів ця схема стала дуже зручною для застосування. На сьогоднішній день напівмостова схема, де основний тензорезистор є активним, другий служить для швидкої температурної компенсації, а інші плечі представлені стабільними резисторами, також є популярною, особливо для вимірювання та аналізу статичних і квазістатичних

процесів.

Також широко використовується схема повного моста, де всі плечі знаходяться поза межами прилада. Цей варіант часто використовується, коли важко забезпечити перехідні опори для з'єднання ліній, комутаційних або струмоанулюючих пристроїв. При вирішенні завдань тензометрування важливим є не лише схема температурної компенсації, але й автоматичне виключення впливу різноманітних складових деформації під час вимірювань, а також виділення необхідної інформації з сигналу тензорезисторів для подальшого аналізу.

На рисунку 3.3 приведено створену схему включення тензорезисторів, використану в розробленому тензометричному перетворювачі.

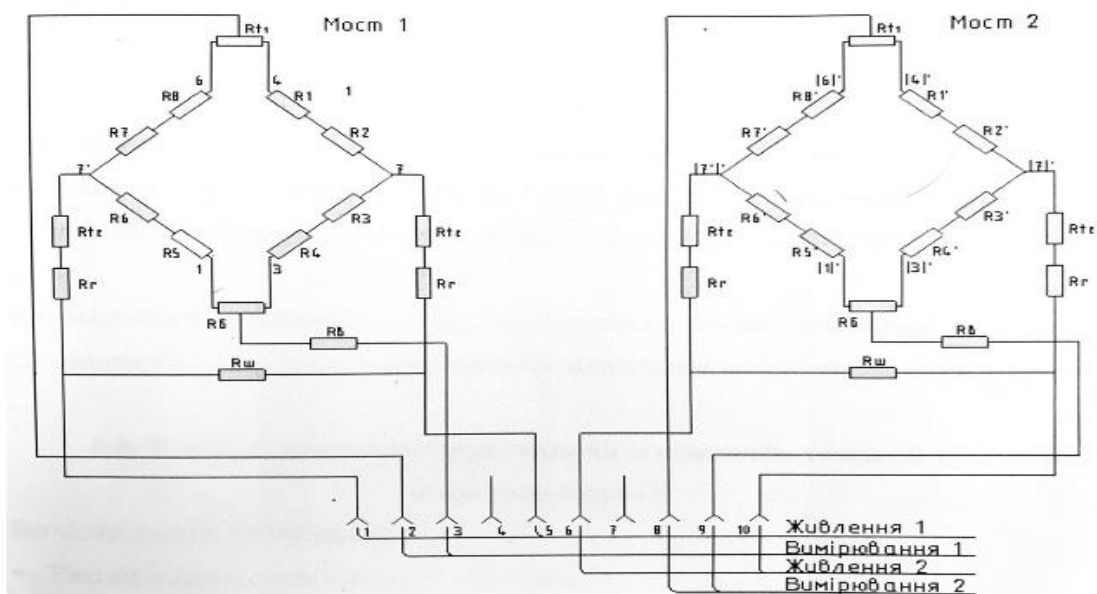


Рисунок 3.3 - Принципова схема тензометричного перетворювача

У наведеному тензометричному перетворювачі використовуються дві незалежні мостові схеми, які повністю розділені одна від одної. Кожна мостова схема має два повністю активних тензорезистори і один повністю компенсаційний резистор в сусідніх плечах. Однією з переваг такої конфігурації є можливість вимірювати лише зміну опору тензорезисторів 1-8, а не їхній загальний опір.

Ця схема надає декілька переваг, таких як лінійне включення двох тензорезисторів та одного допоміжного регулюючого резистора R_b в решті двох суміжних плечей, що дозволяє здійснювати гладке тарування моста. Також вона надає можливість для плавної компенсації температурної зміни тензочутливості тензорезисторів за допомогою термочутливих опорів.

Установка термочутливих резисторів R_{t1} і R_{t2} дозволяє значно знизити температурну похибку, зменшуючи її до 0,1-0,5% на 10°C для фольгових тензорезисторних датчиків сили. Підключення тензорезисторів у всі плечі моста сприяє подальшому зменшенню похибки приблизно в 30 разів, до рівня 0,3% на 10°C . Підключення термоопорів у ланцюг моста подальшим чином зменшує температурну похибку ще в 10-20 разів. Загалом температурна похибка датчика сили з фольговими тензорезисторами залишається в межах 0,01 – 0,05%. У схему моста також входять балансувачі і термокомпенсаційні опори, а також R_1 і R_2 для регулювання вхідного і вихідного опорів моста.

3.5 Висновки до розділу

У розділі, присвяченому теоретичним аспектам тензорезистивних, було проведено глибокий аналіз сучасних методів та технологій, що стосуються вимірювань ваги в ювелірній галузі. Описано принципи функціонування тензорезистивних елементів, які є основою для їхнього застосування у вимірюваннях ваги. Зміна опорів при деформації створює можливості.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ З ПОКРАЩЕНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

4.1 Класифікація електронних вагів для лабораторій

Як і будь-які спеціалізовані прилади ваги діляться на певні типи, що різняться між собою точністю та призначенням.

Ваги-вологоміри. Це ваги, які крім стандартних функцій подібних приладів, мають функцію визначення вологи у матеріалах, що зважуються. Вони складаються з ваг середнього класу точності (зазвичай 3-го класу) та сушіння, встановленої над ними. Для визначення вологи вимірюється волога сирого матеріалу, потім він сушиться вбудованим нагрівачем, і визначається маса висушеного зразка, різниця мас і вміст вологості в зразку. При виборі вологоміра варто звернути увагу на:

межі зважування (мінімальна та максимальна вага);

максимальну температуру сушіння;

максимальний час висушування;

дискретність визначення вологи та самих ваг.

У вологомірних ваг є межа нагріву, найчастіше це +160С чи +250С залежно від моделі. Як нагрівальний елемент найбільшого поширення набули галогенові лампи, рідше інфрачервоні лампи.

Аналітичні ваги. Дуже точні, чутливі ваги, вони можуть зважити зразок дуже малої маси до 0,1мг (1-2 клас точності). Через свою чутливість вони найбільше схильні до впливу навколишнього середовища, тому зразок, що зважується, поміщають в камеру, оточену скляною вітриною, це в першу чергу захищає зразок від можливих протягів, тим самим підвищуючи точність вимірювань. Доступ до вітрини може бути як двосторонній, і тристоронній, що

полегшує приміщення зразка на ваги. У багатьох сучасних аналітичних терезах є багато додаткових корисних функцій:

- автоматичне виставлення нуля;
- вибір одиниць виміру;
- усереднення результатів виміру;
- процентне зважування компонентів;
- автоматичне калібрування.

Цей вид терезів використовується для високоточних аналізів, найчастіше ними користуються у наукових лабораторіях та у фармацевтиці.

Лабораторні ваги. Це ваги 3-4 класів точності, що повсюдно використовуються в наукових лабораторіях, на фармацевтичних та хімічних виробництвах. Вони менш точні ніж аналітичні ваги, але більш універсальні, на них можна зважувати зразки набагато більшої маси ніж на аналітичні, а також гарячі та холодні зразки. При виборі лабораторних терезів можна побачити різницю в конструкції вимірювальної платформи, вони бувають круглі і прямокутні. Круглі зазвичай використовуються для зважування невеликих мас (до 0,2-0,5кг), прямокутні платформи ж розміщують на терезах, що мають максимальну межу зважування набагато більше кілограма. Цей вид ваг дешевший, ніж аналітичні, тому якщо метою зважування є зразки більше грама, то можна обмежитися покупкою цих ваг.

До деяких моделей лабораторних ваг можна додатково докупувати аксесуари, наприклад, захисні протисквознякові ковпаки, які виконують ті ж функції, що й у аналітичних. Щоправда, через те, що це додатковий аксесуар, то вони вимагають правильної установки.

Ювелірні ваги. Ювелірні ваги використовуються в ювелірних майстернях, за їх допомогою проводять точні виміри всієї маси виробу або частки в ньому дорогоцінного матеріалу. За класом точності ювелірні ваги більше наближені до

аналітичних, ніж до лабораторних. Так як ці ваги використовуються для зважування ювелірних виробів та їх складових, дуже важливою є висока точність вимірювань. Якщо, наприклад, ваги для золота матимуть велику похибку, це призведе до встановлення некоректної ваги виробу і, ціни на нього.

Виробники намагаються зробити використання ваги максимально зручним. Для цього, крім основного індикатора, можна підключати додатковий виносний, що дозволяє додатково контролювати зважування, наприклад виводити виносний індикатор на вітрину.

4.2 Точність зважування, похибки

Для початку розберемося з вибором ваги для зважування металів. Вибір ваг для ювелірних вставок буде аналогічним до деяких поправок.

Отже, з'явилося перше поняття «точність зважування», яке потребує належного розуміння. Зважити вироби вагою 10.0 грам і 500,0 грам з точністю до 0,01 грама на тих самих вагах можливо не вдасться.

Причина в тому, що точність зважування пов'язана з поняттям «похибка» зважування. Точність зважування, що виражається у грамах, часто називається абсолютною похибкою. А точність зважування, що виражається у відсотках, називається відносною похибкою. Є ще поняття наведеної похибки, але про це ми не говоритимемо.

Щоб ще більше вас заплутати, скажу, що є ще такі поняття як ціна розподілу шкали ваг, межа зважування та клас точності ваг.

Всі ці поняття ви повинні знати, оскільки ці знання допоможуть вам отримувати додатковий прибуток.

Учасники групи старшого віку, можливо, пам'ятають, як на ринках застосовувалися стрілочні ваги з можливістю збільшувати діапазон зважування за допомогою гирі. "Дослідні" продавці застосовували метод зворотного зважування, коли на платформу, призначену для гирі клали товар, а на іншу платформу гирю.

Вага продукту, що зважується, мала дорівнювати вазі гирі. Тож стрілка терезів стояла на нулі. У цій точці ваги мають максимальну похибку. При «правильному» регулюванні ваг результат завжди буде на користь продавця. Сьогодні такі ваги вже не застосовуються, але знати та розуміти принципи зважування вкрай важливо.

Перше, на що необхідно звернути увагу, що ваги, що купуються, продаються повіреними і що ще більш важливо, знаходяться в реєстрі ваг, які підлягають повірці на території України. Іншими словами організації, які здійснюють перевірку терезів, і наступного року нададуть вам послугу з перевірки, придбаних вами терезів.

4.3 Технічні характеристики ювелірних вагів

Вибір технічних характеристик ваг, залежить передусім від цього, яких цілей купуються ваги, тобто. для зважування яких матеріалів та їх максимальної ваги.

Тому давайте розглянемо завдання придбання ваги для скупки брухту ювелірних та інших виробів з дорогоцінних металів.

Інструкція N 231н встановлює такі вимоги щодо зважування таких об'єктів:

а) золота, платини, паладію у вигляді злитків, напівфабрикатів та виробів:

- при масі до 1 кг – 0,01 г;

- при масі понад 1 кг – 0,1 г;

б) золота, платини та паладію у вигляді брухту - 0,1 г;

в) срібла у вигляді виробів – 0,1 г;

Очевидно, що жорсткі вимоги встановлені пунктом а) – зважування до 1 кг з точністю 0,01 грама. Набуватимемо ми цифрові ваги. Тому кількість знаків на

екрані ваг має бути мінімум три знаки до коми та мінімум два знаки після коми: 999,99. Звичайно, якщо вироби, що зважуються, важать більше 1 кг, то необхідні ваги з чотирма знаками перед комою. Але чи потрібні такі ваги, це питання, яке розглянь по ходу справи. Зі знаками перед комою все досить тривіально. Скільки треба зважити – стільки й має бути знаків. А ось зі знаками після коми все не так просто. Здавалося б, якщо потрібно зважувати з точністю до 0,01 грама, достатньо мати 2 знаки після коми. Але точність зважування це не те, що ми бачимо з вами очима. Очима ми бачимо ціну поділу ваг. Два знаки після коми говорять про те, що ваги дозволяють зважити з кроком 0,01 грама - це ціна поділу шкали приладу. Але похибка зважування у своїй може бути 1 грам. Терези мають два знаки після коми просто тому, що такий індикатор обраний розробником ваг: п'ять знаків перед комою та три після. Ваги призначені для зважування вантажів понад 1 кг, зокрема срібних злитків.

Для вибору ваги потрібно користуватися поняттям клас точності ваг (це співвідношення таких параметрів як):

- Максимальна межа зважування;
- Мінімальна межа зважування;
- Вартість одного поділу;
- Вартість одного перевірного поділу;
- кількість перевірочних поділів.

Таблиця 4.1 - Характеристики, за якими проводиться класифікація ваг

Максимальна межа зважування	Допустима похибка вимірювань (мг)		
	1 клас спеціальний	2 клас високий	3 клас середній
до 200 мг	0.005 - 0.015	немає вимірів	немає вимірів
1-2 грам	0.015 - 0.03	немає вимірів	немає вимірів
2-20 грам	0.03 - 0.1	0,25	немає вимірів
20-50 грам	0.075 - 0.3	0,5	15
0,05-0,5 кг	0.3 - 1.5	5,00	38
0,5-1 кг	0.75- 3.00	10,00	75
від 1 до 2 кг	1.50 - 7.50	20,00	150
від 2 до 5 кг	3.00 - 15.00	50,00	375
від 5 до 10 кг	7.50 - 30.00	100,00	750
від 10 до 20 кг	15 - 75	200,00	1500
від 20 до 50 кг	30,0000 150,0000	500,00	3750,0000

Наведена таблиця дозволяє визначити, яку точність зважування і в якому діапазоні може забезпечити та чи інша модель ваг. Ця таблиця зроблена з великими допусками, які дозволяють пересічному покупцю зорієнтуватися у своїх вимогах до вагового обладнання та розмовляти з продавцями однією мовою. Якщо ви помітили, відсутня діапазон від 200 мг до 1 грама. Існують і інші складніші таблиці, зрозумілі лише високо кваліфікованим фахівцям у галузі вагового обладнання. Але ми не будемо в рамках цієї статті вдаватися до таких подробиць. Зокрема, у нашому випадку потрібні ваги з похибкою зважування плюс мінус 5 мг, це еквівалентно точності зважування 0,01 грама. З таблиці бачимо, що потрібні нам ваги – це ваги 2 класу точності можуть зважувати вантажі від 50 до 500 грам. Для зважування легших вантажів також будуть придатні ваги 2 класу, але похибка зважування буде значно кращою. Але ваги другого класу придатні лише вантажів від 2 грам. Для вантажів від 0 до 2 г необхідні ваги 1 класу.

4.4 Будова та робота ювелірних вагів

Принцип дії ваг ґрунтується на конвертації сили тяжіння вантажу у електричний сигнал. Цей сигнал обробляється електронним блоком з метою відображення маси зважуваного вантажу на цифровому індикаторі.

Ваги складаються з двох основних частин: вантажоприймального пристрою і вагового індикатора (електронного блоку), які з'єднані між собою кабелем.

Вантажоприймальний пристрій ваг має платформу, яка може бути встановлена на одному тензорезисторному датчику ваговиміру, що закріплений в центрі опорної рами (ознака "1" у позначенні типорозміру ваг). Також можливе встановлення на чотирьох датчиках, закріплених в кутах опорної рами (ознака "4" у позначенні типорозміру ваг), забезпечуючи рівномірне розподілення маси при навантаженні на платформу.

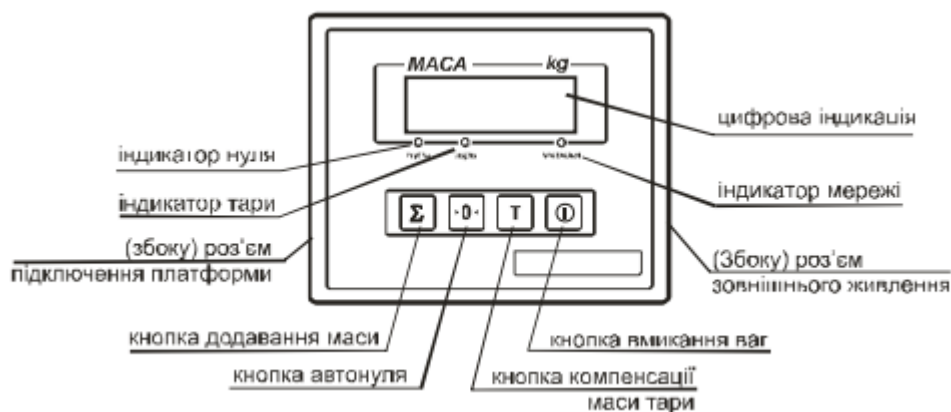


Рисунок 4.1 – Ваговий індикатор (електронний блок)

У ваговому індикаторі вимірюється сигнал з тензоперетворювачів, і за його допомогою обчислюється маса вантажу. Ваговий індикатор включає цифрове табло для відображення маси та світлодіодні індикатори, які вказують режими роботи, такі як "НУЛЬ", "ТАРА" і "МЕРЕЖА". Управління здійснюється за допомогою кнопкової клавіатури. Весь функціонал вагового індикатора контролюється мікропроцесором, що працює за програмою, яка зберігається в постійно запам'ятовуючому пристрої (ПЗП). Налаштування також зберігаються у

програмованому ПЗП. Живлення вагового індикатора може надаватися акумулятором або через зовнішній блок живлення.

4.5 Висновок до розділу

В данному розділі вивчалася принципова схема і принцип роботи ваг, базові компоненти та їх взаємодія. Ваговий пристрій складається з вантажоприймального пристрою та вагового індикатора, які з'єднані між собою кабелем. Вантажоприймальний пристрій включає в себе платформу з тензорезисторним датчиком, який реагує на силу тяжіння вантажу. Ваговий індикатор отримує сигнал від тензоперетворювачів, обчислює масу вантажу і відображає її на цифровому табло. Управління ваговим індикатором здійснюється мікропроцесором через кнопку клавiатуру.

Також було розглянуто світлодіодні індикатори, які вказують різні режими роботи пристрою. Особливу увагу приділено блоку живлення, яке може бути здійснене через акумулятор або зовнішній блок живлення. Усі функціональні налаштування та дані можуть бути збережені за допомогою постійно запам'ятовуючого пристрою.

Висновок розділу вказує на те, що ретельне вивчення і розуміння принципів роботи вагових систем є ключовим етапом для їх правильної експлуатації та використання в різноманітних сферах, де вимагається точне вимірювання маси вантажів.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в

результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					

Продовження таблиці 5.1

8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПШБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	3	3	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	3	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	4	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	3	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	35	39	38
Середньоарифметична сума балів CB_c	37,3		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів CB_c , розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» становить 37,3 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і

при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Робоча частота	кГц	35 кГц	40 кГц	1,14	0,25
Вихідна потужність	W	2,4 W	3,5 W	1,46	0,15
Діапазон робочих температур	°C	10 до 40 °C	20 до 60°C	1,6	0,25
Розмір перетворювача	мм	О62 х 54 мм	О62 х 70 мм	0,9	0,15
Вага	г	140	150	1,07	0,2

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,14 \cdot 0,25 + 1,46 \cdot 0,15 + 1,6 \cdot 0,25 + 0,9 \cdot 0,15 + 1,07 \cdot 0,2 = 1,25.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,25 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями [22].

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці [21].

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 16150,00 \cdot 28 / 22 = 20554,55 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	16150,00	734,09	28	20554,55
Інженер-електронщик	16020,00	728,18	28	20389,09
Інженер-метролог	16020,00	728,18	6	4369,09
Технік	7120,00	323,64	22	7120,00
Всього				52432,73

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними

найменуваннями робіт НДР на тему «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ (грн);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду.

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_i = 6700,00 \cdot 1,70 \cdot 1,35 / (22 \cdot 8) = 87,37 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{pl} = 87,37 \cdot 2,50 = 218,42 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Вхідний контроль компонентів	2,50	5	1,70	87,37	218,42
Формування електронного макету	4,00	4	1,50	77,09	308,35
Випробування моделі	1,00	3	1,35	69,38	69,38
Виготовлення друкованої плати	5,00	5	1,70	87,37	436,83
Термоформування корпусу пристрою	1,25	5	1,70	87,37	109,21
Монтаж плати	0,65	4	1,50	77,09	50,11
Монтаж інтерфейсу	1,50	4	1,50	77,09	115,63
Наладка інтерфейсу	0,80	5	1,70	87,37	69,89
Складання пристрою	4,60	5	1,70	87,37	401,89
Всього					1779,71

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 12%.

$$Z_{\text{дод}} = (52432,73 + 1779,71) \cdot 12 / 100\% = 6505,49 \text{ (грн.)}$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (5.8)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (52432,73 + 1779,71 + 6505,49) \cdot 22 / 100\% = 13357,94 \text{ (грн.)}$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 1,0 \cdot 174,00 \cdot 1,03 - 0 \cdot 0 = 179,22 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
FLASH-пам'ять	174,00	1,0	0	0	179,22
Диск оптичний	26,00	5,0	0	0	133,90
Картридж для принтера	1620,00	0,08	0	0	133,49
Начиння канцелярське	152,00	3,0	0	0	469,68
Органайзер офісний	200,00	2,0	0	0	412,00
Папір для заміток	12,00	4,0	0	0	49,44
Папір офісний	210,00	3,0	0	0	648,90
Припой ПОС-61 ДЕСТ 21931-86	539,00	0,020	0	0	11,10
Флюс ФКСП ОСТ	340,00	0,025	0	0	8,76
Клей	380,00	0,010	0	0	3,91
Термопластик	620,00	0,080	0	0	51,09
Всього					2101,49

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.10)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$K_6 = 1 \cdot 145,00 \cdot 1,01 = 146,45$ (грн.)

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.8

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Піддон штампований (сталь нержавіюча)	1	145,00	146,45
Тензорезистор	1	438,00	442,38
Блок живлення	1	265,00	267,65
Інші комплектуючі	1	200,00	202,00
Всього			1058,48

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 8569,00 \cdot 1 \cdot 1,01 = 8654,69 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Високоточні ваги	1	8569,00	8654,69
Лабораторний стіл	1	3850,00	3888,50
Всього			12543,19

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inpz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де C_{inpz} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 6525,00 \cdot 1 \cdot 1,02 = 6655,50 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.10

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет MATLAB SIMULINK	1	6525,00	6655,50
Пакет DFS 500 Range	1	7320,00	7466,40
Всього			14121,90

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (45650,00 \cdot 2) / (3 \cdot 12) = 2536,11 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.11

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс на основі ПК	45650,00	3	2	2536,11
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	34299,00	3	2	1905,50
Програмні пакети Microsoft Windows, Office	9430,00	3	2	523,89
Обладнання монтажне	7250,00	5	2	241,67
Місце розробника спеціалізоване	6999,00	5	2	233,30
Офісна оргтехніка	8588,00	5	2	286,27
Приміщення дослідницької лабораторії	422000,00	25	2	2813,33
Принтер Epson St2000	6599,00	5	2	219,97
Всього				8760,03

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{ени}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,35 \cdot 200,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 525,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.12

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Програмно-аналітичний комплекс на основі ПК	0,35	200,0	525,00
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	0,25	200,0	375,00
Обладнання монтажне	0,12	42,0	37,80
Місце розробника спеціалізоване	0,10	200,0	150,00
Офісна оргтехніка	0,40	1,3	3,90
Принтер Epson St2000	0,26	4,0	7,80
Всього			1099,50

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з

виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (52432,73 + 1779,71) \cdot 20 / 100\% = 10842,49 \text{ (грн.)}$$

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (52432,73 + 1779,71) \cdot 30 / 100\% = 16263,73 \text{ (грн.)}$$

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 55\%$.

$$I_e = (52432,73 + 1779,71) \cdot 55 / 100\% = 29816,84 \text{ (грн.)}$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.18)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (52432,73 + 1779,71) \cdot 100 / 100\% = 54212,43 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{дод} + Z_n + M + K_e + B_{спец} + B_{прт} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_e + B_{нзв}. \quad (5.19)$$

$$B_{\text{заг}} = 52432,73 + 1779,71 + 6505,49 + 13357,94 + 2101,49 + 1058,48 + 12543,19 + 14121,90 + 8760,03 + 1099,50 + 10842,49 + 16263,73 + 29816,84 + 54212,43 = 224895,95 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (5.20)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,9$.

$$ZB = 224895,95 / 0,9 = 249884,39 \text{ (грн.)}$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку. В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	500	800	1200	1000

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 7000 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 6500,00 (грн);

$\pm\Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 444,50 (грн).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta\Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.21)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 37\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (444,50 \cdot 7000,00 + 6944,50 \cdot 500) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1657933,09 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (444,50 \cdot 7000,00 + 6944,50 \cdot 1300) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3056955,40 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (444,50 \cdot 7000,00 + 6944,50 \cdot 2500) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 5155488,85 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (444,50 \cdot 7000,00 + 6944,50 \cdot 3500) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 6904266,73 \text{ (грн.)}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.22)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau=0,27$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 1657933,09/(1+0,27)^1 + 3056955,40/(1+0,27)^2 + 5155488,85/(1+0,27)^3 + \\ &+ 6904266,73/(1+0,27)^4 = 1305459,13 + 1895316,14 + 2516857,86 + 2654010,75 = \\ &= 8371643,87 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.23)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 249884,39 (грн.)

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 249884,39 = 499768,78 \text{ (грн.)}$$

Абсолютний економічний ефект E_{abc} для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{abc} = III - PV \quad (5.24)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 8371643,87 (грн;)

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 499768,78 (грн.)

$$E_{abc} = III - PV = 8371643,87 - 499768,78 = 7871875,09 \text{ (грн.)}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_g = T_{ж} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}] - 1, \quad (5.25)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 7871875,09 (грн;)

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 499768,78 (грн;)

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}] - 1 = (1 + 7871875,09/499768,78)^{1/4} = 1,02.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min} :

$$\tau_{min} = d + f, \quad (5.26)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,25.

$\tau_{\min} = 0,11 + 0,25 = 0,36 < 1,02$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_e , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}, \quad (5.27)$$

де E_e – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,02 = 0,98 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

5.4 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками» становить 37,3 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі

аналоги приблизно в 1,25 рази.

Також термін окупності становить 0,98 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками».

ВИСНОВОК

У ході проведеного дослідження з теми "Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками" було вивчено та розглянуто принципи функціонування тензорезистивних датчиків у вимірюванні ваги, а також проведено аналіз їх використання у вимірювальних системах для ювелірних виробів.

Отримані результати свідчать про ефективність використання тензорезистивних засобів для точного та чутливого вимірювання ваги ювелірних виробів. Зокрема, вивчено вплив різних факторів, таких як температурні зміни та механічні впливи, на точність та стабільність вимірювань. Виявлено, що з використанням покращених метрологічних характеристик тензорезистивних датчиків можна досягти високої точності вимірювань та стійкості до зовнішніх впливів.

Також була досліджена можливість оптимізації та покращення метрологічних характеристик тензорезистивних засобів за допомогою спеціалізованих технологій та матеріалів. Це відкриває перспективи для подальших досліджень та розробок у галузі вимірювань ваги ювелірних виробів.

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,25 рази. Також термін окупності становить 0,98 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками».

Отже, на основі проведеного аналізу та експериментальних досліджень можна зробити висновок, що тензорезистивні засоби вимірювання ваги є перспективними та ефективними для використання у сфері виробництва та вимірювань ювелірних виробів, забезпечуючи надійність вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Judson LV. Weights and measures standards of the United States, a brief history. 1963. (NBS Spec. Pub. 447). updated (1976)
2. Chester HP, Vigoureux P, editors. The International Bureau of Weights and Measures 1875–1975. 1975. (NBS Spec. Pub. 420).
3. Метеорологічні вежі, застосування [Електронний ресурс]//URL: <https://www.windfarmbop.com/meteorological-towers-in-a-wind-farm/>
4. Тензометрія : підручник / А. Г. Андрєєв, Г. І. Львов, О. В. Щепкін. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – 232 с.
5. Фізичні основи сенсорики. Навчальний посібник/ Горват А.А., Височанський Ю.М. Ужгород, УжНУ, 2007 - 120 с.
6. Резистивні перетворювачі фізичних величин на основі генераторів детерміновано-хаотичного сигналу: [Монографія.] – Дніпро: Середняк Т. К., 2021, – 124 с.
7. Суранов О.В., Стефанов В.О., Суранов О.О. Основи автоматизації будівельних, дорожніх і вантажнорозвантажувальних машин. Ч.1. Вимірювальні перетворювачі: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 146 с
8. P. Olmos, «Ultrasonic velocity meter to evaluate the behaviour of a solar chimney» Measurement Science and Technology, vol. 15, no. 7, pp. N49–N53, jul 2004.
9. M. Comes, P. Drumea, M. Blejan, I. Dutu, and A. Vasile, «Ultrasonic Flowmeter» in 2006 29th International Spring Seminar on Electronics Technology. IEEE, may 2006, pp. 386–389.4.
10. Bowman HA, Schoonover RM. Procedure for high-precision density determinations by hydrostatic weighing. J Res Natl Bur Stand (US) 1967;71C(3):179–198.
11. Фізичні основи сенсорики: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / КП

ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. М. Коваль. – Електронні текстові данні (1 файл: 1,98 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 130 с.

12. Deslattes RD. Proceedings of course LXVIII Metrology and Fundamental Constants, Summer School of Physics—Enrico Fermi; Varenna Italy. 1976; Bologna: Soc. Italiana di Fisica; 1980. pp. 38–113.

13. Cameron JM, Croarkin MC, Raybold RC. Designs for the calibration of standards of mass. 1977. (NBS Tech Note 952).

14. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти / СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21 / Розробники: Семенов А.О.; Громова Л.П.; Середюк О.В.; Макарова Т.В. – Вінниця ВНТУ, 2021 – 60 с.

15. R. Wagner, I. Antoniou, S. M. Pedersen, M. S. Courtney, and H. E. Jørgensen,
«The influence of the wind speed profile on wind turbine performance measurements,» *Wind Energy*, vol. 12, no. 4, pp. 348–362, 2009.

16. D. Banfield and R. Dissly, «A Martian sonic anemometer» in 2005 IEEE Aerospace Conference, vol. 2005. IEEE, 2005, pp. 641–647.

17. T. S. El-Madany, F. Griessbaum, G. Fratini, J.-Y. Juang, S.-C. Chang, and O. Klemm, «Comparison of sonic anemometer performance under foggy conditions» *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 173, pp. 63–73, may 2013.

18. D. Han, S. Kim, and S. Park, «Two-dimensional ultrasonic anemometer using the directivity angle of an ultrasonic sensor» *Microelectronics Journal*, vol. 39, no. 10, pp. 1195–1199, oct 2008.

19. V. Hans and H. Windorfer, «Comparison of pressure and ultrasound measurements in vortex flow meters» *Measurement*, vol. 33, no. 2, pp. 121–133, mar 2003.

20. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

21. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень:

практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця :
ВНТУ, 2016. – 113 с.

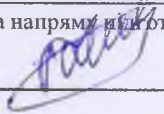
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИЙ ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ ЮВЕЛІРНИХ
ВИРОБІВ З ПОКРАЩЕНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-22м
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно вимірювальна техніка
ОП Комп'ютеризовані інформаційно-
вимірювальні технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Гайдей Я.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: доц. каф. ІРТС


Дудатьєв І.А.

(прізвище та ініціали)

«18» 12 2023 р.

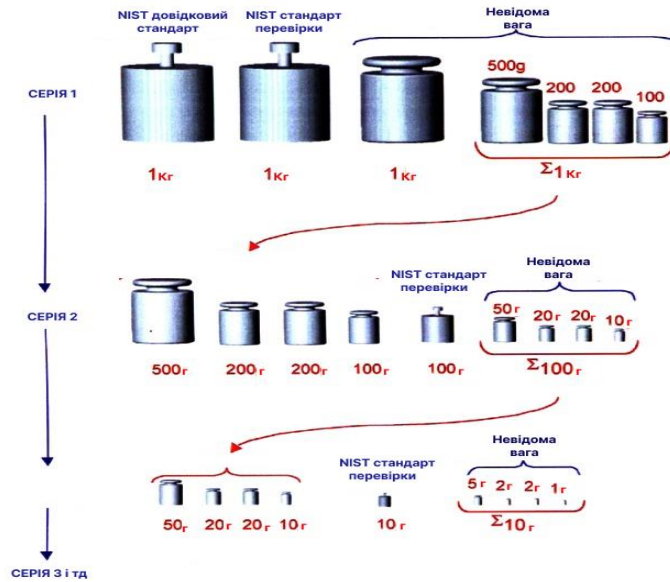


Рисунок 1 - Схематичний опис схем зважування, які використовуються для розповсюдження на частки кілограма

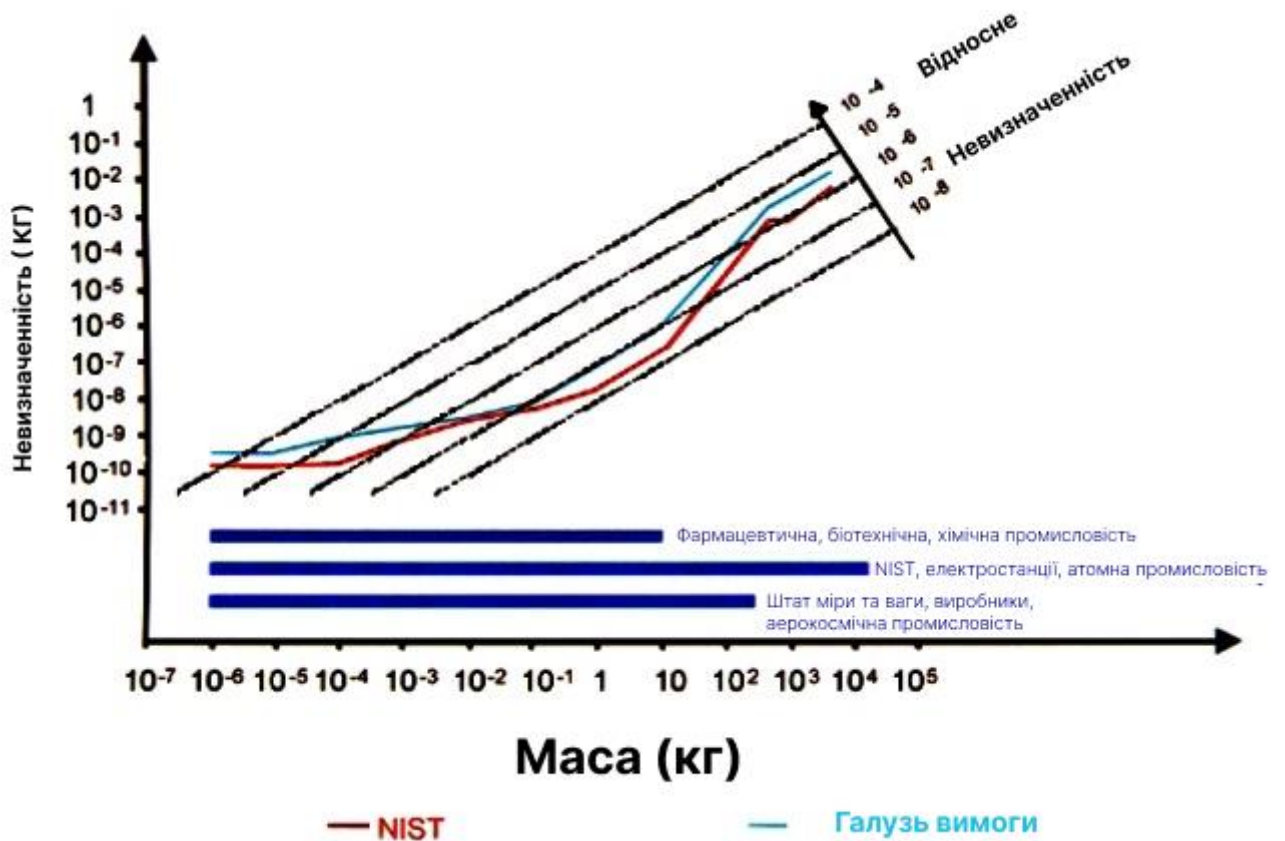


Рисунок 2 – Стандартна невизначеність калібрування маси в NIST. На цьому графіку також нанесено розрахункові потреби галузі в масовій метрології

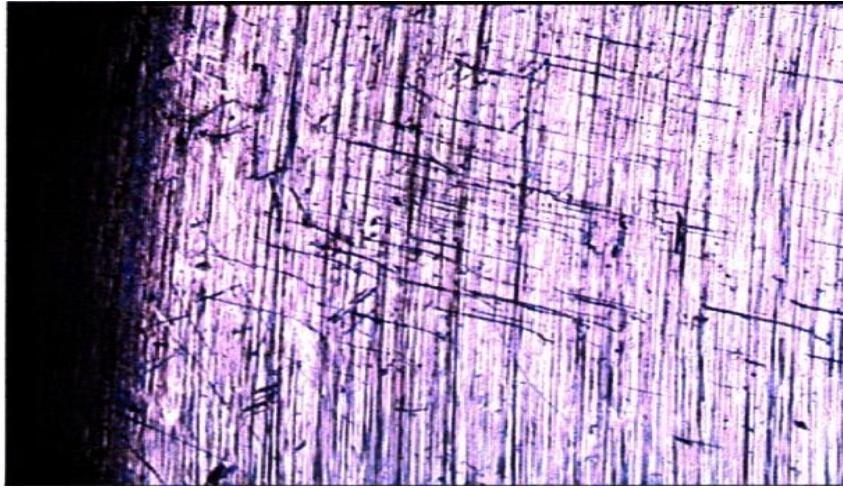


Рисунок 3 - Профіль оптичної мікроскопії нижньої поверхні К4 біля краю, що виявляє лінії обробки та сліди зносу

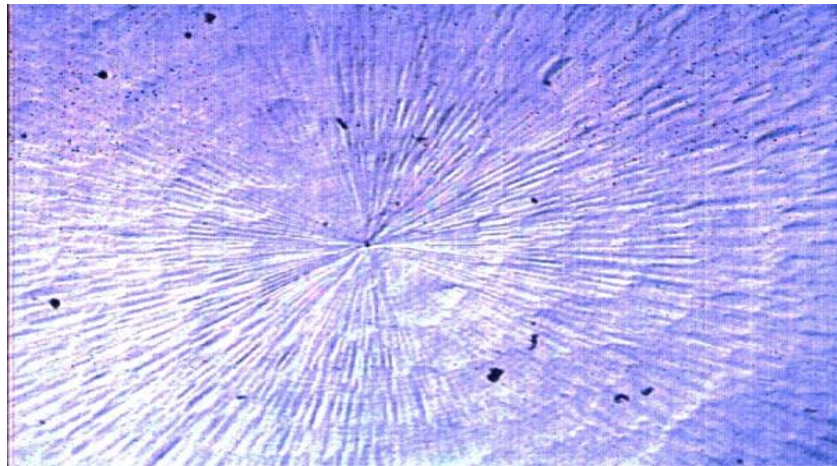


Рисунок 4 - Профіль оптичної мікроскопії К79 у центрі показує нерівномірний розподіл зерна за розміром

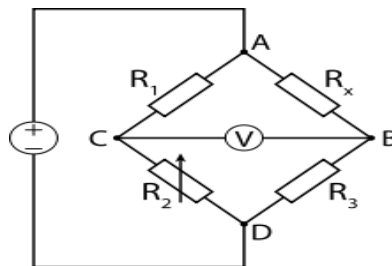


Рисунок 6 – Конструкції тензорезисторів

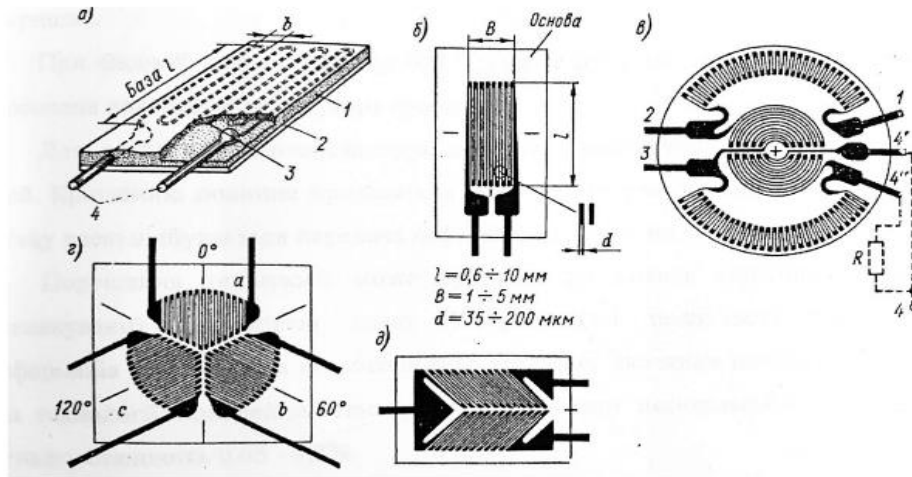


Рисунок 5 - Вимірювальний міст з вольтметром у діагоналі

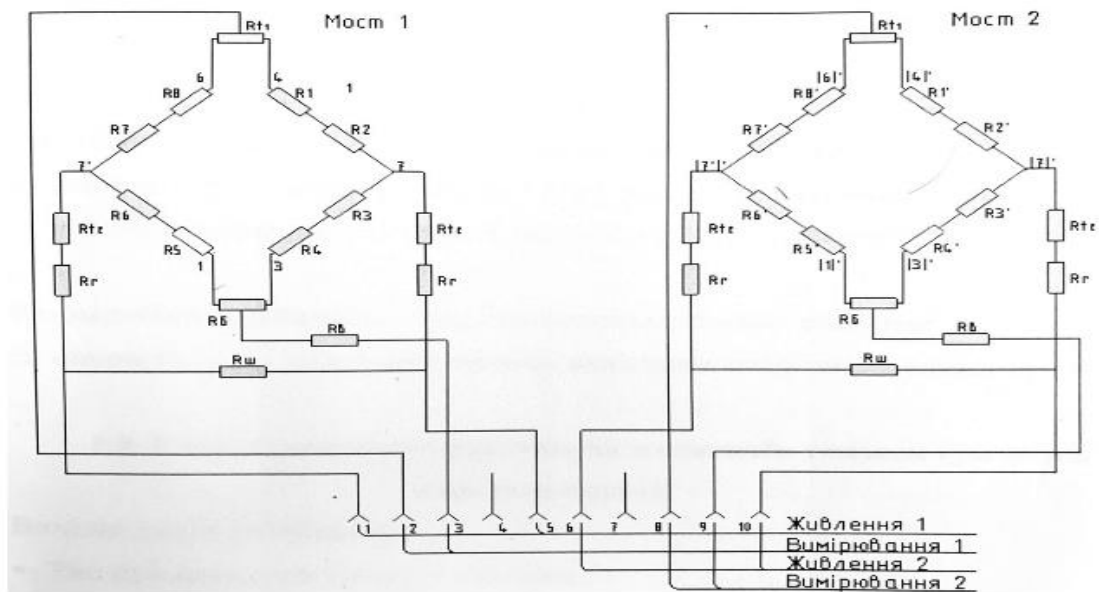


Рисунок 7 - Принципова схема тензометричного перетворювача

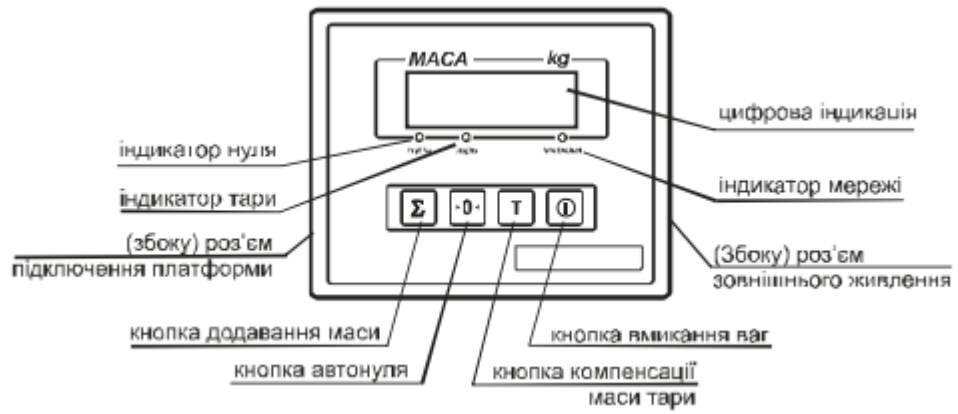


Рисунок 8 - Ваговий індикатор (електронний блок)

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИЙ ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ ЮВЕЛІРНИХ
ВИРОБІВ З ПОКРАЩЕНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Тензорезистивний засіб вимірювання ваги ювелірних виробів з покращеними метрологічними характеристиками»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

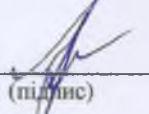
Підрозділ кафедра ІРТС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

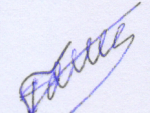
Оригінальність 93,5% Схожість 6,5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

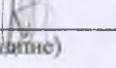
1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Звягін О.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

ності, який був

Ознайомлені з повним звітом подібності  керований системою
Unicheck щодо роботи. (підпис)

Автор роботи  Гайдей Я.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Дудат'єв І.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)