

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт з дисципліни  
«Стандартизація, метрологія  
та контроль якості металопродукції»  
для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство»,  
денної та заочної форм навчання

2022

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Стандартизація, метрологія та контроль якості металопродукції» для студентів спеціальності 132.Матеріалознавство», денної і заочної форм навчання /Укл.: В.С. Вініченко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022, 70 с.

Укладач: Вініченко В.С, доцент, канд. техн .наук

Рецензент: Ольшанецький В.Ю., проф., д.т.н.

Відповідальний  
за випуск: Ольшанецький В.Ю, проф., д.т.н.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Фізичне  
матеріалознавство»  
Протокол № 7 від 29.04.22

Рекомендовано до видання  
НМК Інженерно-фізичного  
факультету  
Протокол № 8  
Від «10» травня 2022

**ЗМІСТ**

Вступ	5
Практична робота № 1	7
Вимірювання геометричних розмірів	
Практична робота № 2	15
Систематичні похибки їх виявлення і виключення.	
Практична робота № 3	20
Вилучення грубих похибок з результатів вимірювань	
Практична робота № 4	25
Однократні вимірювання з наближеним оцінюванням похибки	
Практична робота № 5	29
Оцінка похибок при посередніх (непрямих) вимірюваннях	
Практична робота № 6	35
Оцінювання наближення функції, що апроксимує до експериментальної залежності	
Практична робота № 7	40
Електричні вимірювання неелектричних величин	
Практична робота № 8	49
Визначення показників технологічності конструкцій виробів	
Практична робота № 9	53
Визначення якості продукції	
Додаток А	
Правила із техніки безпеки при виконанні практичних робіт	67

## ВСТУП

Знання та навички набуті при вивченні даної дисципліни забезпечать майбутньому фахівцеві впевненість у вирішенні виробничих питань щодо стандартизації та сертифікації матеріалів та робіт пов'язаних з контролем технологічних процесів, розвитком понятійного апарату, вироблення навичок практичного застосування моделей і схем стандартизації та сертифікації продукції. встановлення основних принципів стандартизації.

*Перелік компетентностей, яких набуває студент при вивченні даної дисципліни.*

Загальні компетентності:

- здатність до адаптації та дії в новій ситуації КЗ.06.
- здатність використання інформаційних і комунікаційних технологій КЗ.07.

фахові компетентності:

- здатність забезпечувати якість матеріалів та виробів КС.02;
- здатність ефективно використовувати технічну літературу та інші джерела інформації в галузі матеріалознавства КС.03;
- здатність працювати в групі над великими інженерними проектами у сфері матеріалознавства КС.04;
- здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем КС.05;
- здатність виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати експериментів КС.12;

Результати навчання:

- ПРН9. Уміти експериментувати та аналізувати дані.
- ПРН10. Здатність поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання.
- ПРН13. Знати інженерні дисципліни, що лежать в основі спеціальності, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів програми, в тому числі мати певну обізнаність в їх останніх досягненнях.

- ПРН24. Уміти використовувати базові методи аналізу речовин, матеріалів та відповідних процесів з коректною інтерпретацією результатів.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №1**

### **ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ**

**Мета роботи:** опанувати технології застосування приладів для вимірювання лінійних розмірів, ознайомитись з конструкцією приладів та способами визначення і вилучення систематичних похибок з результатів

#### **1.1 Загальні відомості**

Прилади для вимірювання лінійних розмірів широко застосовуються у науці та техніці. Вони використовуються для вимірювання абсолютних значень розмірів та їх відхилень від заданих значень. Одне з головних місць у вказаних вимірюваннях займає вимірювання довжини. Діапазон лінійних розмірів, що підлягає вимірюванню, знаходиться в межах від часток мікрометра (при вимірюванні мікронерівностей поверхні) до десятків метрів.

На результати вимірювань значний вплив завдають: температура навколишнього середовища, атмосферний тиск, вологість, вібрація та ін. Для того щоб уникнути додаткових похибок, які обумовлені специфікою умов вимірювання, Державним стандартом встановлені наступні вимоги щодо проведення лінійних вимірювань:

- температура навколишнього середовища 20 °С;
- атмосферний тиск 101324,72 Па (760 мм рт. ст.);
- відносна вологість навколишнього повітря 58 %;
- прискорення вільного падіння 9,8 м/с<sup>2</sup>;
- напрямок лінії вимірювання лінійних розмірів до 160 мм зовнішніх поверхонь - вертикальне, в інших випадках – горизонтальне.

Стандартом також встановлено, що результати вимірювань, для можливості їх порівняння, повинні проводитися при зазначених нормальних умовах. Припустимі межі відхилень від нормальних умов вимірювання зазначені в стандартах для різних видів вимірювань.

Велике значення для точності лінійних вимірювань має підтримка стабільної нормальної температури в зоні вимірювань. Щоб уникнути додаткових похибок рекомендується вимірювані вироби витримувати при нормальній температурі від 2 до 36 годин в

залежності від їх маси й допусків на лінійні розміри. Засоби ж вимірювань повинні перебувати в нормальних умовах, що відповідають зазначеним у стандартах, не менш 24 годин до початку вимірювань.

До механічних засобів вимірювання довжини загального призначення відносяться штрихові засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), штангенінструменти, мікрометри, кінцеві міри довжини та ін.

Розрізняють засоби лінійних вимірювань загального й вузькоспеціалізованого призначення. До механічних засобів вимірювання довжини загального призначення відносяться штангенінструменти, штрихові і кінцеві міри довжини, мікрометричні прилади й вимірювальні головки.

*Штриховими мірами* довжини називаються міри, у яких розмір, виражений в одиницях довжини, визначається відстанню між осями двох відповідних штрихів. Штриховими мірами є вимірювальні лінійки, рулетки, брускові штрихові міри.

Брускові штрихові міри довжини уявляють собою металеві або скляні бруски різного перетину, з нанесеними на них штрихами або шкалами.

Основні типи, параметри й розміри брускових штрихових мір стандартизовані. Промисловістю випускаються брускові міри з номінальною довжиною 60...2000 мм. Відхилення, що допускаються, від номінальної довжини нормуються шістьма класами точності, що умовно позначаються цифрами від 0 до 5. Найменша ціна поділки брускових мір довжини 0,01 мм.

*Плоскопаралельні кінцеві міри довжини* (ПКМД) відтворюють одиницю довжини одного фіксованого розміру і виготовляються у вигляді прямокутного паралелепіпеда зі сталі або твердого сплаву із двома взаємно паралельними вимірювальними поверхнями. Відстань між вимірювальними поверхнями визначено з високою точністю. Вимірювальні поверхні відрізняються від інших поверхонь малою шорсткістю, завдяки чому ПКМД мають здатність поверхні однієї міри щільно зчіплюватися з вимірювальною поверхнею іншої міри (притиратись), що обумовлено силами молекулярної взаємодії поверхонь.

ПКМД випускаються в наборах. Їх номінальні значення стандартизовані, тому притираємість мір дозволяє зібрати з них блок необхідної довжини (від 0,1 до 1000 мм).

В залежності від точності виготовлення ПКМД відносять до наступних класів точності: 00; 01; 0; 1; 2; 3.

*Штангенінструменти* - до них відносять засоби лінійних вимірювань, об'єднані загальним принципом побудови відлікових пристроїв, з застосуванням лінійного ноніуса. В залежності від призначення розрізняють штангенциркулі, штангенглибиноміри, штангенрейсмуси.

Штангенциркуль - універсальний засіб вимірювання довжини, діаметрів валів та отворів, глибини отворів.

Штангенглибиномір призначений для вимірювань глибини отворів, пазів і ін.

Штангенрейсмус - засіб вимірювання висотних розмірів виробів.

Принцип побудови ноніуса штангенінструмента полягає в співпаданні відповідних штрихів двох лінійних шкал, інтервали поділок яких відрізняються на певну величину. Це дає змогу використати здатність людського ока точніше визначити співпадання чи неспівпадання штрихів двох дотичних шкал, ніж оцінювати частку поділки основної шкали.

У загальному випадку штангенінструмент (рис. 1.1) складається зі штанги 1 з нерухомою вимірювальною губкою й рамки 2, що переміщується по штанзі, з іншою вимірювальною губкою. На штанзі нанесена шкала із ціною поділок 1 мм. На скосі рамки нанесена допоміжна шкала 5, що називається ноніусом, із ціною поділок 0,9 мм, за якою відраховують дробові частки міліметра. Для фіксування рамки на робочій частині штанги служить гвинт 3. Рамка жорстко пов'язана з лінійкою глибиноміра 6. Верхні губки 4 призначені для виміру внутрішніх розмірів, а нижні – зовнішніх.

При співпаданні нульового штриха шкали ноніуса з нульовим штрихом шкали штанги, перший штрих шкали ноніуса за нульовим штрихом штанги виявляється зміщеним щодо першого штриха шкали штанги на 0,1 мм; відповідно другий штрих шкали ноніуса буде зміщений на 0,2 мм, відносно другого штриха шкали штанги, а десятий на 1 мм, відносно десятого штриха шкали штанги, тобто останній штрих шкали ноніуса точно збігається з штрихом 9 мм на шкалі штанги.



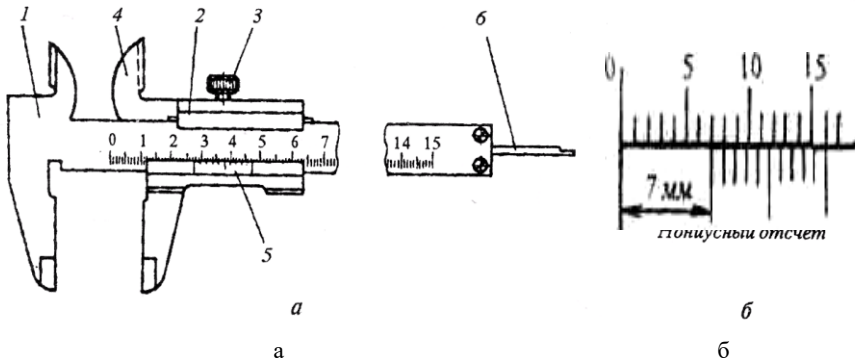


Рисунок 1.1 – Штангенциркуль

Якщо при вимірюванні розміру шкала ноніуса розташовується так, що один з штрихів ноніуса (не нульовий) збігається з яким-небудь штрихом шкали штанги (не нульовим), то результат виміру визначається як сума відліків по шкалі штанги (кількість поділок від нуля штанги до штриха штанги з яким збігається штрих ноніусу) + добуток ціни поділки шкали ноніуса на кількість поділок до штриха ноніуса який збігається зі штрихом штанги. Так, виміряне значення на рис.1.1,б буде дорівнювати  $7 + 0,1 \cdot 1 = 7,1$  мм. Таким чином, за допомогою ноніуса можна зробити відлік розміру з точністю до 0,1 мм. У штангенінструментах часто застосовується розтягнутий ноніус, з ціною поділки 0,05, що забезпечує відлік розміру з точністю до 0,05 мм.

У деяких сучасних моделях штангенінструментів замість ноніуса застосовуються індикатори годинникового типу із ціною поділок 0,01 мм.

*Мікрометричні прилади* (мікрометри, мікрометричні глибиноміри) є більш точними, ніж штангенінструменти. Принцип дії мікрометричних приладів базується на перетворенні обертового руху точного мікрометричного гвинта, встановленого в нерухому гайку, у поступальний рух вздовж осі. Більшість мікрометричних приладів має гвинт із кроком різьби 0,5 мм, тому обертання гвинта в гайці на  $360^\circ$  приводить до його переміщення вздовж осі на 0,5 мм. Це перетворює малі переміщення гвинта вздовж осі у більші лінійні переміщення по колу зовнішньої циліндричної поверхні барабана.

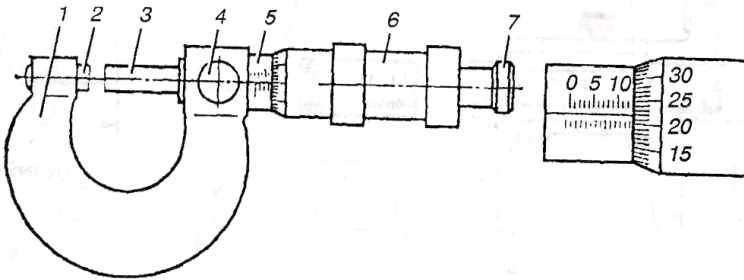


Рисунок 1.2 – Мікрометр

Мікрометр (рис. 1.2) складається із скоби 1, з однієї сторони якої запресована нерухома п'ята 2, а з іншої закріплена мікрометрична головка, що складається з нерухомої гайки 5, барабана 6 у зборі з мікрогвинтом 3 і храповим механізмом 7. При обертанні барабана мікрогвинт робить поступальний рух і приводиться в контакт із вимірюваним об'єктом. Храповий механізм забезпечує при цьому сталість вимірювального зусилля. Гвинт 4 фіксує положення мікрогвинта. Результат вимірювання отримують як суму показів основної шкали, що нанесена вздовж нерухомої гайки 5 та торцевої поверхні барабана 6 який жорстко закріплений на гвинті 3 та разом з ним може рухатись вздовж осі відносно вимірювальної п'яти 2, що закріплена в скобі 1. Поділки на нерухомій гайці нанесені через 0,5 мм, а на шкалі барабана є 50 штрихів. Таким чином, одна поділка шкали барабана відповідає переміщенню мікрогвинта на  $0,5/50 = 0,01$  мм.

Для вимірювань лінійних розмірів прецизійних деталей випускається стаціонарний мікрометр із цифровим електронним відліком, що забезпечує вимірювання розмірів у діапазоні 0...10 мм із похибкою не більше  $\pm 0,002$  мм.

*Індикатори годинникової типу* (рис. 1.3) із ціною поділок 0,01 мм є найпоширенішими вимірювальними головками. Вони призначені для роботи в цехових умовах при виконанні вимірювальних і контрольних операцій. Принцип дії індикатора базується на перетворенні за допомогою важільно-зубчастої передачі лінійних переміщень вимірювального стрижня в кутове переміщення стрілок. Лицьову сторону індикатора утворює кругова шкала, на якій

нанесено 100 поділок із ціною ділення 0,01 мм і мала шкала із ціною ділення 1 мм. Передатне число передачі підбрано так, що переміщення вимірювального стрижня на 1 мм викликає обертання малої стрілки на одну поділку. Таким чином, при вимірюванні відлік по малій шкалі дає переміщення вимірювального стрижня в міліметрах, а соті частки міліметра відраховують по великій шкалі.

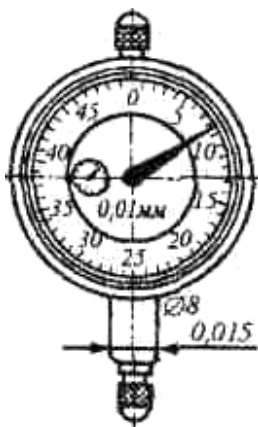


Рисунок 1.3 - Індикатор годинникового типу

Межі вимірювань індикаторів визначаються ходом вимірювального стрижня. Випускаються індикатори годинного типу з межами вимірювань від 0...2 мм до 0...25 мм. Допустима похибка індикаторів нормована двома класами точності (0 і 1). Похибка індикатора класу точності 0 з межами виміру 0...2 мм не перевищує  $\pm 10$  мкм, а індикатора того ж класу з межами виміру 0...25 мм - не перевищує  $\pm 22$  мкм.

Для підвищення точності вимірювання застосовують індикатори, вимірювальний механізм яких забезпечує отримання ціни поділки 0,01 і 0,002 мм.

*Оптико-механічними* називають засоби вимірювання геометричних розмірів, дія яких базується на використанні законів геометричної оптики (вимірювальні мікроскопи, оптиметри) або явищ інтерференції когерентних пучків світла (інтерференційні мікроскопи).

Розповсюдженими приладами для лінійних вимірювань є вимірювальні проектори й вимірювальні мікроскопи.

Вимірювальні проектори призначені для проектування тіньового зображення (контуру) виробів на екран і вимірювання їх лінійних розмірів шляхом безпосереднього порівняння тіньового зображення із кресленням (яке виконано у відповідному масштабі). Випускаються проектори з розмірами екранів від 250×250 мм до 600×700 мм.

Стіл проектора, на якому встановлюється виріб, має можливість переміщуватись у поздовжньому, поперечному напрямках і по вертикалі. Переміщення стола відраховується по відповідних шкалах із ціною поділки 0,01...0,002 мм. Похибка при вимірюванні довжин за допомогою проектора не перевищує  $\pm(0,003...0,005)$  мм.

Деякі типи сучасних проекторів забезпечуються пристроями цифрового відліку переміщення вимірювального стола.

Вимірювальні мікроскопи призначені для вимірювання довжин різних деталей складної форми в прямокутній і полярній системах координат. Розрізняють декілька типів мікроскопів: малий мікроскоп інструментальний; великий мікроскоп інструментальний, а також універсальні мікроскопи. Незважаючи на конструктивні розбіжності, принципова схема вимірювань у всіх мікроскопах загальна – приведення до співпадання візирної лінії з різними точками деталі, переміщенням її у взаємно перпендикулярних напрямках і вимірювання цих переміщень за допомогою мікрометричних або інших відлікових пристроїв. Для цього стіл з виробом переміщується за допомогою мікрометричних гвинтів. Для зручності роботи випускають вимірювальні мікроскопи із цифровим відліком.

## **1.2 Завдання на підготовку до практичної роботи**

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

- а) конструкція штангенінструментів, будова ноніусних шкал та методика їх використання;
- б) конструкція мікрометрів, будова шкал та методика їх використання;
- в) методики визначення та вилучення систематичних похибок для отримання виправленого результату.

### 1.3 Контрольні питання

1. Які ви знаєте штрихові засоби вимірювання?
2. З яких матеріалів виробляють брускові та стрічкові штрихові міри?
3. Що таке ноніусна шкала?
4. Перелічіть типи штангенінструментів та технологію їх використання.
5. Поясніть технологію вимірювання за допомогою мікрометра.
6. Поясніть технологію вимірювання за допомогою індикатора годинникового типу.
7. Внаслідок чого штангенінструменти забезпечують вищу точність вимірювань порівняно з штриховими засобами.
8. Призначення проекторів.

### 1.4 Матеріали і устаткування

Деталі для вимірювання, штангенциркулі, мікрометри, індикатори годинникового типу.

### 1.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### 1.6 Порядок виконання практичної роботи

- 1.6.1 Ознайомитися з деталлю, що контролюється та накреслити її ескіз. Вивчити конструкцію та технології застосування засобів вимірювання.
- 1.6.2 Визначити систематичну похибку кожного інструмента.
- 1.6.3 Виконати вимірювання вказаних викладачем розмірів.
- 1.6.4 Визначити дійсні розміри. Результати занести в таблицю 1.1. та оформити звіт.

Таблиця 1 – Результати експериментальної частини

Позначення розмі	Інструмент	Графічне вимірю	Точність підрахунку,	Систематична похибка, мм	Результат відліку, мм	Дійсний розмір, мм

ру		вання, мм	мм			

### 1.7 Зміст звіту

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз отриманих результатів. Висновки відносно вивчених засобів вимірювання.

### 1.8 Література

1.Боженко, Л.І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні [Текст]: навч. посібник для вузів / Л.І. Боженко,– Львів: Світ, 2003. – С.181-189.

2.Тартаковский, Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие для вузов./ Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов – М.: Высш. шк., 2001. – С.149-154.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### СИСТЕМАТИЧНІ ПОХИБКИ, ЇХ ВИЯВЛЕННЯ І ВИКЛЮЧЕННЯ

**Мета роботи:** опанувати методики виявлення й виключення систематичних похибок.

#### Загальні відомості

Джерелами систематичних складових похибок вимірювань можуть бути всі його компоненти: метод вимірювання, засоби вимірювання та експериментатор. Оцінювання систематичних складових уявляє досить важку метрологічну задачу. Важливість її визначається тим, що знання систематичної похибки дозволяє внести відповідне виправлення в результат вимірювання і тим самим підвищити його точність. Труднощі ж полягають у складності виявлення систематичної похибки, оскільки вона не може бути виявлена шляхом повторних вимірювань (спостережень). Справді, постійна, за величиною для даної групи спостережень, систематична похибка ніяк візуально не виявляється при повторних вимірюваннях. Таким чином, проблема виявлення систематичних похибок є одною з головних в боротьбі з ними.

Виявлення систематичних похибок полягає у вивченні нормативно-технічних документів на ЗВТ та умов здійснення вимірювального експерименту. Результативність цих робіт залежить від інформативності нормативно-технічної документації та кваліфікації експериментатора.

Універсальні методи виявлення систематичних похибок відсутні. Тому застосовують різні способи їх зменшення чи вилучення.

Постійні інструментальні систематичні похибки виявляють за допомогою повірки засобу вимірювань. *Повіркою* називають визначення метрологічним органом похибок засобу вимірювань та встановлення придатності засобу вимірювання до застосування. Повірка проводиться шляхом порівняння показань приладу, що повіряється, з показаннями більш точного (зразкового) засобу вимірювання. Якщо на повіряємій позначці шкали показання приладу,

що перевіряється,  $x_{нов}$ , а зразкового  $x_{зраз}$  то похибка повіряемого приладу, на цій позначці

$$\Delta x_{нов} = x_{нов} - x_{зраз} \quad (2.1)$$

Повірка засобів вимірювання здійснюється відповідно до вимог, які встановлені в нормативно-технічній документації, а її результати вказуються у посвідченні про повірку або в паспорті приладу. Виявлені в такий спосіб систематичні похибки виключаються з результату вимірювання шляхом введення поправлення. З (2.1) виходить, що істинне значення величини  $x_{зраз}$  дорівнює

$$x_{зраз} = x_{нов} - \Delta x_{нов} \quad (2.2)$$

тобто поправлення ( $-\Delta x_{нов}$ ) уявляє собою похибку, взяту із протилежним знаком.

Для виявлення систематичної похибки, що змінюється з часом, рекомендується побудувати графік, на якому нанесені результати спостережень в тій послідовності, у якій вони були отримані. Загальна картина розташування отриманих точок дозволяє виявити наявність закономірної зміни результатів спостережень і зробити висновок про присутність у них систематичної похибки.

Зазвичай видом похибки, що змінюється за певним законом, є похибка, що прогресує за лінійним законом, наприклад, пропорційно часу. Такі похибки можуть бути оцінені й виключені. Так якщо відомо, що при вимірюванні постійної величини  $x_0$  (наприклад, з фізичних міркувань) систематична похибка змінюється лінійно з часом, тобто

$$x_{вимір} = x_0 + Ct \quad (2.3)$$

де  $C = \text{const}$ ,

то для її виключення досить зробити два спостереження  $x_1$  і  $x_2$  з фіксацією часу  $t_1$  і  $t_2$ , (рис. 2.1). Тоді значення, що визначають буде

$$x_0 = \frac{x_1 t_2 - x_2 t_1}{t_2 - t_1} \quad (2.4)$$

Але не завжди зміна систематичної похибки відбувається за лінійним законом. У цьому випадку для контролю лінійного закону зміни систематичної похибки застосовують метод симетричних спостережень. Кілька спостережень виконують через рівні проміжки



часу й потім обчислюють середні арифметичні симетрично розташованих відліків (рис. 2.2), наприклад,

$$\frac{x_1 + x_5}{2} \text{ і } \frac{x_2 + x_4}{2} \quad (2.5)$$

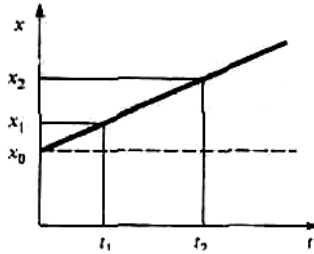


Рисунок 2.1– Лінійне зміння систематичної похибки

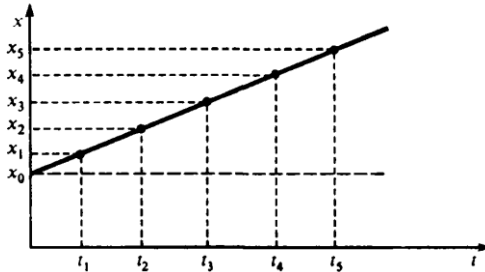


Рисунок 2.2 – Метод симетричних спостережень

Теоретично, при лінійній залежності похибки від часу, ці середні арифметичні повинні бути рівні. Це й дає можливість контролювати хід зміни похибки з часом. Переконавшись, що похибка змінюється за лінійним законом, по формулі (2.4) знаходять результат вимірювань.

Систематичні складові, обумовлені недосконалістю методів вимірювань, обмеженою точністю розрахункових формул, покладених в основу вимірювань, впливом засобів вимірювань на об'єкт,

властивості якого вимірюються, відносять до методичних похибок. Єдиних рекомендацій виявлення й оцінювання методичних складових систематичної похибки немає. Тому, задача вирішується в кожному конкретному випадку індивідуально, на основі аналізу застосованого методу вимірювання, результати якого зазвичай залежать від кваліфікації й досвіду експериментатора.

Особисті систематичні похибки пов'язані з індивідуальними особливостями експериментатора. При проектуванні сучасних засобів вимірювань приймаються міри до того, щоб максимально виключити можливість появи особистих похибок. Тому прийнято вважати особисті похибки малими й при аналізі похибок не приймати їх до уваги. Однак беззастережно погодитися з таким підходом не можна. Неточні дії спостерігача можуть привести до запізнювання або випередження фіксації моментів часу при відліку показань, неточності відліку значень вимірюваної величини по шкалі стрілочного приладу через паралакс й ін. Тому для того щоб уникнути особистих похибок, необхідно точно дотримуватись правил експлуатації засобів вимірювань і набути навичок роботи з вимірювальною технікою.

### **Завдання на підготовку до практичної роботи**

Для виконання лабораторної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

- а) способи виявлення і виключення систематичних похибок з результату вимірювання;
- б) компенсація систематичної похибки в процесі вимірювання.

### **Контрольні питання**

1. Що таке систематична похибка вимірювання? Наведіть приклади.
2. Дайте визначення виправленого результату вимірювання.
3. Яким чином класифікують систематичні похибки?
4. Назвіть способи виявлення змінних систематичних похибок вимірювання.
5. Назвіть способи виявлення постійних похибок вимірювання.
6. Яким чином оцінюють доцільність введення виправлення для усунення систематичної похибки?

## Матеріали і устаткування

Деталі для вимірювання, штангенциркулі, мікрометри.

### Вказівки з техніки безпеки.

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### Порядок виконання практичної роботи

Провести перевірку штангенциркулів за допомогою мікрометрів. Виявити та визначити систематичні похибки та виправити значення результатів вимірювання за даними отриманими у викладача. Результати занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати перевірки штангенциркуля

Покази повіряемого приладу, мм	Покази зразкового приладу, мм	Систематична похибка повіряемого приладу, мм	Виправлений результат

Таблиця 2.2 - Результати вимірювання температури в печі при витримці

Час вимірювання, год.					
Температура, °C					

### Зміст звіту

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз результатів опрацьованих експериментів. Висновки відносно вивчених способів вилучення систематичних похибок.

### Література

Тартаковский, Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие для вузов./ Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов – М.: Высш. шк., 2001. – С.28-32.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

### ВИЛУЧЕННЯ ГРУБИХ ПОХИБОК З РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

**Мета роботи:** опанувати методики вилучення грубих похибок з експериментальних результатів.

#### Загальні відомості

Вилучення грубих похибок з результатів вимірювань здійснюють за допомогою критерію аномальності результату вимірювань, за який приймають інтервал відносно центру розподілу на величину  $\pm t\sigma$ . Якщо модуль похибки будь-якого результату вимірювань є більший від значення інтервалу розсіювання випадкової фізичної величини розміру  $t\sigma$ ,  $|x_i - \bar{x}| \geq t\sigma$ , то таку похибку відносять до аномальних. З цієї нерівності видно, що границі грубих похибок залежать від виду розподілу, обсягу добірки та величини встановленого гарантованого інтервалу.

Для нормального розподілу найпоширенішим є критерій Райта ( $\pm 3\sigma$ ). Спочатку, на підставі добірки результатів вимірювань знаходять центр розподілу та оцінку СКВ, а потім результати, що відповідають нерівності

$$|x_i - \bar{x}| \geq 3\sigma \approx 3S \quad (3.1)$$

приймають за грубі та вилучають з подальшого розгляду. Може статися так, що після вилучення знайдених грубих похибок для нових значень  $\bar{x}$  та  $S$  ще якісь результати потрапляють в категорію значні але застосовувати критерій значних похибок більше ніж один раз не рекомендують.

У разі відсутності визначених центра розподілу та СКВ результатів вимірювань рекомендують користуватись критерієм Смирнова  $t_\beta$  згідно якого за умову наявності грубої похибки приймають

$$\frac{1}{S} |x_i - \bar{x}| \geq t_\beta \quad (3.2)$$

де  $t_\beta$  – табульований квантіль розподілу, що залежить від обсягу добірки та прийнятого рівня вагомості (табл. 3.1).

За критерієм Романовського точкові оцінки центра розподілу та СКВ результатів вимірювань визначають з умови нерівності

$$|x_i - \bar{x}| \geq t_{\beta} S \quad (3.3)$$

де  $t_{\beta}$  – коефіцієнти Стьюдента з заданою ймовірністю  $\beta$  та кількістю ступенів свободи  $K = n - 1$  (табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Квантілі розподілу  $t_{\beta} \leq \frac{1}{S} |x_i - \bar{x}|$

Обсяг добірки $n$	Граничне значення $\beta$ для рівня вагомості $\alpha$			
	0,100	0,07	0,05	0,025
3	1,15	1,15	1,15	1,15
4	1,42	1,44	1,46	1,48
5	1,60	1,64	1,67	1,72
6	1,73	1,77	1,82	1,89
7	1,83	1,88	1,94	2,02
8	1,91	1,96	2,03	2,13
9	1,98	2,04	2,11	2,21
10	2,03	2,10	2,18	2,29
11	2,09	2,14	2,23	2,36
12	2,13	2,20	2,29	2,41
13	2,17	2,24	2,33	2,47
14	2,21	2,28	2,37	2,50
15	2,25	2,32	2,41	2,55
16	2,28	2,35	2,44	2,58
17	2,31	2,38	2,48	2,62
18	2,34	2,41	2,50	2,66
19	2,36	2,44	2,53	2,68
20	2,38	2,46	2,56	2,71

Іноді користуються ще критерієм грубої похибки  $k$ , який залежить від обсягу добірки  $n$  та прийнятої граничної ймовірності  $\beta$  (табл.3.3).

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти Стьюдента  $t_{\beta}$ .

$K=n=1$	$\beta$				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
<i>l</i>	2	3	4	5	6
1	6,31	12,70	31,80	63,70	636,60
2	2,92	4,30	6,96	9,92	31,60
<i>l</i>	2	3	4	5	6
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,90
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	2,02	2,57	3,36	4,03	6,87
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,89	2,36	3,00	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
40	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
20	1,72	2,09	2,53	2,85	3,85
30	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
50	1,68	2,01	2,40	2,68	3,50
100	1,66	1,98	2,36	2,63	3,39
500	1,65	1,96	2,33	2,59	3,31

Таблиця 3.3 – Значення критерію грубої похибки  $k$  для обсягу добірок  $n$  та граничної ймовірності  $\beta$ 

$n$	$\beta$			$n$	$\beta$		
	95,00	96,00	99,73		95,00	96,00	99,73
9	4,42	7,10	11,49	25	3,84	5,14	6,25
10	4,31	6,99	10,26	30	3,80	5,00	5,95
12	4,16	6,38	8,80	40	3,75	4,82	5,56
15	4,03	5,88	7,66	50	3,73	4,70	5,34
20	3,90	5,41	6,73	60	3,72	4,62	5,20

Оцінки  $\bar{X}$ ,  $S$  та  $\varepsilon$  визначають після вилучення із добірки грубих результатів вимірювань. Для рівномірного розподілу за границі грубої похибки беруть величину  $\pm 1,8S$ .

*Приклад.* В результаті вимірювань діаметрів отвору у втулках отримані результати, наведені в табл. 3.4. Потрібно перевірити наявність грубих похибок в отриманих результатах

*Розв'язання.* Побудована на підставі результатів вимірювань гістограма, зображена на рис. 3.1. Приймаючи для цієї гістограми нормальний розподіл, знаходимо оцінки  $\bar{x}$ ,  $S$ .

Таблиця 3.4 – Результати вимірювань діаметрів отвору у втулках

Діаметр отворів, мм	3,42	3,43	3,44	3,45	3,46	3,47	3,48	3,49	3,50
Кількість отворів $n_j$	1	2	4	5	4	2	1	0	1

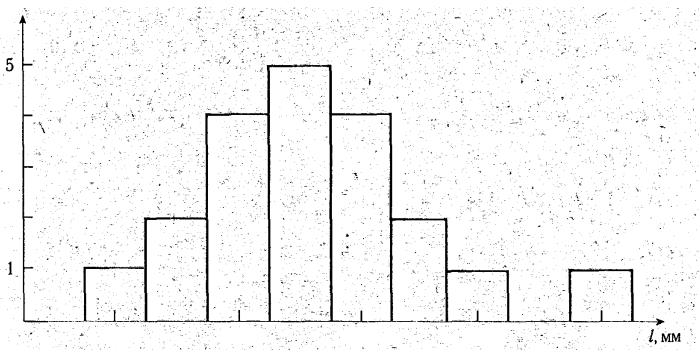


Рисунок 3.1 – Гістограма

Наявність грубих похибок перевіримо, як для нормального розподілу, за допомогою критерію Райта. Найвіддаленішим від інших результатів є значення діаметра 3,5. Його відхилення

$$X_i - \bar{X} = 3,50 - 3,452 = 0,048,$$

а границя похибки

$$3S = 3 \cdot 0,019 = 0,057.$$

Оскільки

$$X_i - \bar{X} = 0,048 < 3S = 0,057,$$

то цей результат вимірювань можна й не відносити до грубих похибок і не вилучати з розрахунків.

Згідно з критерієм Смирнова та табл. 3.1 для  $n < 25$  рівня вагомості  $\alpha = 0,050$  та обсягу добірки  $n = 20$  знаходимо  $\beta = 2,56$ . За цим критерієм наявність грубої похибки підтверджується, оскільки

$$X_i - \bar{X} = 0,048 \geq t_\beta \cdot S = 2.56 \cdot 0.019 = 0.048$$

За критерієм Романовського для  $\bar{x} = 3,45$  і  $S = 0,015$  з табл. 3.2 знаходимо значення коефіцієнта Стьюдента для обсягу добірки  $n - 1 = 19$  і граничної ймовірності  $0,95 - t_{0,95} = 2,093$ . Оскільки  $X_i - \bar{X} = 0.05 \geq t_{0,95} \cdot S = 0,03$  наявність грубої похибки підтверджується.

### **Завдання на підготовку до практичної роботи**

Для виконання лабораторної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

- а) поняття про значні похибки;
- б) критерії виключення грубих похибок з результатів вимірювання.

### **Контрольні питання**

1. Охарактеризуйте критерій “трьох сігм” і його модифікації.
2. В чому сутність застосування критерію Романовського для виключення значних похибок з вибірки?
3. Скільки разів доцільно застосовувати критерії для виключення значних похибок з вибірки?

### **Матеріали і устаткування**

Деталі для вимірювання, штангенциркулі, мікрометри.

### **Вказівки з техніки безпеки**

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### **Порядок виконання практичної роботи**

Провести вимірювання розмірів деталей отриманих у викладача. Оцінити закон розподілу отриманих результатів.



Виявити і виключити грубі похибки з даних отриманих при вимірюванні деталей.

### **Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз отриманих результатів. Висновки щодо застосовуваних критеріїв для виявлення і виключення грубих похибок.

### **Література**

Боженко, Л.І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні [Текст]: навч. посібник для вузів / Л.І. Боженко, – Львів: Світ, 2003. – С.92-96.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

### ОДНОКРАТНІ ВИМІРЮВАННЯ З НАБЛИЖЕНИМ ОЦІНЮВАННЯМ ПОХИБКИ

**Мета роботи:** опанувати методику наближеного оцінювання похибки при однократних вимірюваннях

#### Загальні відомості

За результат таких вимірювань приймають значення відліку  $x$ , а оцінювання похибок здійснюється на основі нормативних даних про властивості використаних засобів вимірювань (границь припустимої основної похибки, додаткових похибок і ін.). Оскільки ці дані відносяться до багатьох засобів вимірювань даного типу, то у конкретного екземпляра приладу даного типу, який використовується для вимірювання, дійсні властивості можуть значно відрізнятись від нормованих. Проте, якщо не має іншої достовірної інформації про реальні метрологічні характеристики конкретного даного приладу, здійснюють оцінку похибок вимірювань на основі граничних норм. Такі оцінки дають можливість оцінити похибку. Проте, для корегування результату вимірювання, вони недостатньо надійні.

Загальну схему оцінювання похибок можна представити в такий спосіб. Вибравши, виходячи з умов вимірювальної задачі, необхідний засіб вимірювання (прилад), уточнюють умови вимірювань (нормальні, робочі) і оцінюють можливі додаткові похибки приладу, що виникають під дією різних факторів, які впливають на результати.

В результаті для оцінювання похибки вимірювання маємо відомості про похибку засобу вимірювання:

- допустима границя основної похибки приладу  $\Delta_{пр}$ ;
- додаткові похибки  $\Psi_1, \dots, \Psi_m$ .

Методичні похибки повинні бути враховані заздалегідь. Особисті похибки при вимірюваннях вважаються малими і їх не враховують.

Таким чином, задача зводиться до визначення підсумку складових похибки  $\Delta_{пр} \Psi_1 \dots, \Psi_m$ .

Верхня оцінка похибки результату вимірювань  $\Delta_{\Sigma}$  (без урахування знака) може бути визначена як підсумок складових за їх абсолютною величиною:

$$\Delta_{\Sigma} = \left| \Delta_{np} \right| + \sum_{i=1}^m |\psi_i| \quad (4.1)$$

Більш реальна оцінка похибки може бути отримана статистичним підсумовуванням складових похибки. Оскільки основна і додаткова похибки засобу вимірювання задані границями, то, вважаючи їх випадковими величинами з рівномірним розподілом, границі їх суми обчислюють за формулою

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2} \quad (4.2)$$

де  $\theta_i$  – границя не виключеної складової систематичної похибки;  $k$  – коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю (при  $P = 0,95$   $k = 1.1$ );  $m$  – кількість не виключених складових.

Довірчу ймовірність для розрахунку границь не виключених систематичних похибок (НСП) приймають такою як і при розрахунку границь випадкової похибки результату вимірювань.

**Приклад,** Пристрій вимірювання навантаження розривної машини має основну похибку 0,5 % від верхнього значення шкали 1000 кг. Додаткова похибка від впливу температури за паспортними даними становить 0,25 % на кожний градус. Систематична похибка, що виявлена при повірці машини складає + 0,55 %.

Визначимо похибку при однократному вимірюванні навантаження якщо показання приладу машини становлять 752 кг, а температура – 22 °С. В даному випадку інструментальна складова похибки вимірювання обумовлена основною і додатковою похибками.

При показаннях приладу 752 кг границя допустимої відносної похибки приладу на цій поділці у відсотках дорівнює

$$\delta = \frac{0,5\% \cdot 1000 \text{ кг}}{752 \text{ кг}} = 0,66\%$$

Додаткова похибка від впливу підвищеної на 2° температури становить

$$0,25\% \cdot 2 = 0,5\%.$$

Систематична абсолютна похибка при навантаженні 752 кг буде

$$\Delta_{\text{сист}} = \frac{752 \cdot 0,55\%}{100\%} = 4,14 \text{ кг}$$

З урахуванням поправки на систематичну складову виправлений результат буде

$$752\text{кг} - 4,14\text{кг} = 747,86\text{кг}$$

Знайдемо верхню границю похибки результату вимірювання підсумовуванням (перший спосіб)

$$\delta_x = 0,66\% + 0,5\% = 1,16\%$$

Перейдемо до абсолютної похибки

$$\Delta = \frac{747,86\text{кг} \cdot 1,16\%}{100\%} = 8,67\text{кг}$$

Таким чином маємо  $\Delta = \pm 8,67$  кг.

Застосувавши статистичне підсумовування отримаємо

$$\delta = 1,1\sqrt{0,66\%^2 + 0,5\%^2} = 0,91\%$$

Абсолютна похибка за цим результатом буде

$$\Delta = \frac{747,86\text{кг} \cdot 0,91\%}{100\%} = 6,80\text{кг}$$

Таким чином маємо за другим способом підсумовування

$$\Delta = \pm 6,80 \text{ кг}$$

Як видно верхня границя абсолютної похибки при використанні статистичного підсумовування на 1,87 кг менше ніж при простому підсумовування абсолютних значень без урахування знаків.

Результат представляють у формі

$(747,86 \pm 8,67)$  кг за першим способом;

$(747 \pm 6,80)$  кг за другим способом

### **Завдання на підготовку до практичної роботи**

Для виконання лабораторної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

а) підстави для використання однократних вимірювань з наближеним оцінюванням похибки;

б) алгоритм наближеної оцінки похибки при однократних вимірюваннях.

## **Контрольні питання**

1. Що таке нормальні умови вимірювань?
2. Яким чином визначають методичну та особисту складові похибки?
3. Які припущення дозволяють використовувати статистичне підсумовування складових похибки?
4. За яким способом підсумовування отримують більш реальну оцінку похибки?

## **Матеріали і устаткування**

Розривна машина та технічна документація на неї. Динамометр для проведення перевірки розривної машини.

### **Вказівки з техніки безпеки.**

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### **Порядок виконання практичної роботи**

Провести перевірку розривної машини і визначити систематичну складову похибки при вказаних викладачем значеннях навантаження. Оцінити похибку при значеннях навантаження вказаних викладачем.

### **Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз отриманих результатів. Висновки щодо використання застосовуваних способів оцінки похибок при однократних вимірюваннях.

### **Література**

Тартаковский, Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие для вузов./ Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов – М.: Высш. шк., 2001. – С.48-50.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### ОЦІНКА ПОХИБОК ПРИ ПОСЕРЕДНІХ (НЕПРЯМИХ) ВИМІРЮВАННЯ

**Мета роботи:** опанувати методику оцінювання похибки при посередніх вимірюваннях

#### 5.1 Загальні відомості

При посередніх вимірюваннях значення, що визначають знаходять розрахунком на основі вимірювання інших величин, пов'язаних з вимірюваною величиною відомою залежністю

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (5.1)$$

Результатом посереднього вимірювання є оцінка величини  $A$ , яку знаходять підстановкою у формулу (5.1) оцінок аргументів  $a_i$ . Оскільки кожний з аргументів  $a_i$  вимірюється з деякою похибкою, то задача оцінювання похибки результату зводиться до підсумку похибок вимірювання аргументів. Однак особливість посередніх вимірювань полягає в тому, що внесок окремих похибок вимірювань аргументів у похибку результату залежить від виду функції (5.1).

Для оцінки похибки істотний поділ посередніх вимірювань на лінійні й нелінійні посередні вимірювання.

*При лінійних посередніх вимірюваннях функціональна залежність має вигляд*

$$A = \sum_{i=1}^m b_i \cdot a_i \quad (5.2)$$

де  $b_i$  — постійні коефіцієнти при аргументах  $a_i$ .

Будь-які інші функціональні залежності (5.1) є нелінійними посередніми вимірюваннями.

Результат лінійного посереднього вимірювання обчислюють по формулі (5.2), підставляючи до неї виміряні значення аргументів.

Похибки вимірювання аргументів можуть бути задані своїми границями  $\Delta a_i$  або довірчими границями  $\Delta a_i(P)_i$  з довірчими ймовірностями  $P_i$ .

При малому числі аргументів (менше п'яти) просту оцінку похибки результату  $\Delta A$  одержують підсумовуванням граничних

похибок (без урахування знаку), тобто підстановкою границь  $\Delta a_1, \Delta a_2, \dots, \Delta a_m$  у вираз

$$\Delta \dot{A} = \Delta \dot{a}_1 + \Delta \dot{a}_2 + \dots + \Delta \dot{a}_m \quad (5.3)$$

Проте ця оцінка є занадто завищеною, оскільки таке підсумування фактично означає, що похибки вимірювань усіх аргументів одночасно мають максимальне значення і збігаються за знаком. Імовірність такого збігу практично дорівнює нулю. Для знаходження більш реалістичної оцінки застосовують статистичне підсумування похибок аргументів. Припускаючи, що в заданих границях похибки аргументів розподілені рівномірно, довірчі границі  $\Delta A(P)$  похибки результату вимірювання розраховують за формулою:

$$\Delta A(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \Delta a_i^2} \quad (5.4)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю (при  $P = 0,95$   $k = 1.1$ ).

Якщо похибки вимірювання аргументів задані довірчими границями з однаковими довірчими ймовірностями, то припускаючи, що розподіл цих похибок нормальний, довірчі границі результату знаходять за формулою:

$$\Delta A(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 [\Delta a_i(P)]^2} \quad (5.5)$$

При різних довірчих ймовірностях похибок аргументів їх необхідно привести до одного і того ж значення  $P$ .

*Нелінійні посередні вимірювання* характеризуються тим, що результати вимірювань аргументів піддаються функціональним перетворенням. Але, як показано в теорії ймовірностей, будь-які, навіть найпростіші функціональні перетворення випадкових величин, приводять до зміни законів їх розподілу.

У випадку складної функції (5.1) і особливо якщо це функція декількох аргументів, пошук закону розподілу похибки результату пов'язано зі значними математичними труднощами. Тому при нелінійних посередніх вимірюваннях доводиться відмовлятися від використання інтервальних оцінок похибки результату, обмежуючись наближеною верхньою оцінкою її границь. В основі наближеного

оцінювання похибки нелінійних посередніх вимірювань лежить лінеаризація функції (5.1) і подальша обробка результатів, як при лінійних вимірюваннях.

Запишемо вираз для повного диференціала функції  $A$ :

$$dA = \frac{\partial A}{\partial a_1} da_1 + \frac{\partial A}{\partial a_2} da_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial a_m} da_m \quad (5.6)$$

За визначенням повний диференціал функції – це приріст функції, викликаний малими приростами її аргументів.

Якщо врахувати, що похибки вимірювань аргументів завжди є малими величинами в порівнянні з номінальними значеннями аргументів, можна замінити в (5.6) диференціали аргументів  $da_i$  на похибки вимірювань  $\Delta a_i$ , а диференціал функції  $dA$  на похибку результату вимірювання  $\Delta A$

$$\Delta A = \frac{\partial A}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial A}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial a_m} \Delta a_m \quad (5.7)$$

Припускаючи, що як і раніше розподіли похибок аргументів підкоряються рівномірному закону, при числі  $m < 5$  границі похибки результату можна визначити за формулою (5.3). У тому випадку, коли похибки аргументів задані їх довірчими границями, оцінку похибки результату вимірювання розраховують за формулою (5.5).

Застосувавши формулу (5.7), одержимо кілька простих правил оцінювання похибки результату посереднього вимірювання.

*Правило 1.* Похибки в сумах і різницях. Якщо значення  $a_1$  і  $a_2$  використовуються для розрахунку суми або різниці  $A = a_1 \pm a_2$ , то підсумовують абсолютні похибки (без урахування знаку):

$$\Delta \dot{A} = \Delta \dot{a}_1 + \Delta \dot{a}_2 \quad (5.8)$$

*Правило 2.* Похибки в добутках і частках. Якщо значення  $a_1$  і  $a_2$  використовуються для обчислення

$$A = a_1 \cdot a_2 \text{ або } A = a_1 / a_2 \quad (5.9)$$

то підсумовують відносні похибки

$$\delta A = \delta a_1 + \delta a_2 \quad (5.10)$$



де  $\delta\dot{a} = \Delta\dot{a} / \dot{a}$

*Правило 3.* Величина, яка вимірюється, помножується на точне число.

Якщо  $a$  використовується для обчислення добутку

$$\dot{A} = \dot{A} \cdot \dot{a} \quad (5.11)$$

у якому  $B$  не має похибки, то

$$\delta A = |B| \delta a \quad (5.12)$$

*Правило 4.* Піднесення в степінь. Якщо  $a$  використовується для обчислення ступеня  $A = a^n$ , то

$$\delta A = n \cdot \delta a \quad (5.13)$$

*Правило 5.* Похибка у довільній функції однієї змінної. Якщо  $a$  використовується для обчислення функції  $A(a)$ , то

$$\delta A = \frac{dA}{da} \delta a \quad (5.14)$$

Використання цих правил дозволяє одержати не занадто завищену оцінку граничної похибки результату нелінійного посереднього вимірювання при невеликому числі аргументів ( $m < 5$ ).

**Приклад.** Виконується посереднє вимірювання електричної потужності, що розсіюється на резисторі опором  $R$  при протіканні по ньому струму  $I$ . Так як  $P = I^2 R$ , то, застосовуючи правила 2 і 4, одержимо

$$\delta P = \delta R + 2\delta I \quad (5.15)$$

Вказані правила доцільно застосовувати при визначенні відносних видовжень  $\delta_p$ ,  $\delta_{l_0}$ , та  $\delta_5$ .

Деформації для визначення відносного видовження  $\delta_p$  визначають на відрізку робочої частини зразка віддаленої від місця утворення шийки і галтелей. При цьому, якщо даний відрізок подовжується рівномірно, значення параметра  $\delta_p$  не залежить від обраної довжини цього відрізка і відстані між рисками, які нанесені на однаковій відстані одна від одної до випробувань. Після випробувань вказані відстані будуть збільшені ( $l_k$ ), але практично однакової довжини, а  $\delta_p$  – розраховується за формулою:

$$\delta_p = \frac{l_k - l_0}{l_0} \quad (5.16)$$

де  $l_0$  – довжина відрізка на робочій частині зразка до випробувань;  $l_k$  після випробувань.

Параметр  $\delta_{10}$  визначають на відрізку робочої частини зразка навколо місця його розриву. Довжина цього відрізка розраховується за формулою

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0} \quad (5.17)$$

де  $F_0$  – площа поперечного перерізу зразка.

Параметр  $\delta_5$  визначають аналогічно  $\delta_{10}$ , але значення  $l_0$  розраховується за формулою

$$l_0 = 5,65\sqrt{F_0} \quad (5.18)$$

## 5.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

- а) обробка результатів посередніх лінійних вимірювань;
- б) сутність методу ліанерізації та обробка результатів посередніх нелінійних вимірювань;
- в) правила оцінювання похибки результату посереднього нелінійного вимірювання.

## 5.3 Контрольні питання

1. Який вигляд має функціональна залежність при посередніх лінійних вимірюваннях?
2. За якою формулою обчислюють похибку результату при лінійних посередніх вимірюваннях?
3. Які припущення використовують при розрахунку похибки у випадку нелінійних посередніх вимірювань?
4. За якою формулою обчислюють похибку результату, якщо похибки аргументів задані довірчими границями з однаковими довірчими ймовірностями?
5. Яким чином розраховують похибку результату якщо похибки аргументів задані довірчими границями з різними довірчими ймовірностями?

6. З якої причини обчислювати похибку результату, як підсумок граничних похибок аргументів без урахування знаку некоректно при нелінійних посередніх вимірюваннях?

### **5.4 Матеріали і устаткування**

Розривна машина та технічна документація на неї. Розривні зразки.

### **5.5 Вказівки з техніки безпеки.**

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### **5.6 Порядок виконання практичної роботи**

Провести випробування зразків на розрив. Оцінити похибку при визначенні відносних видовжень  $\delta_5$ ,  $\delta_{10}$ ,  $\delta_p$ .

### **5.7 Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз метрологічних особливостей та методики визначення відносних видовжень і отриманих результатів. Висновки щодо використання застосовуваних методів оцінки похибок при посередніх вимірюваннях.

### **5.8 Література**

Тартаковский, Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие для вузов./ Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов – М.: Высш. шк., 2001. – С.50-53.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

### ОЦІНЮВАННЯ НАБЛИЖЕННЯ ФУНКЦІЇ, ЩО АПРОКСИМУЄ ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ

**Мета роботи:** опанувати методику оцінювання похибки в визначенні коефіцієнтів апроксимуючої функції

#### 6.1 Загальні відомості

Метою спільних вимірювань є встановлення функціональної залежності між величинами, наприклад, твердості матеріалу від температури відпускання.

Для встановлення зазначеної залежності послідовно вимірюють значення температури і одночасно вимірюють величину твердості, одержавши у такий спосіб координати залежності  $y = f(x)$ , яка досліджується. Оскільки результати вимірювань температури і твердості містять похибки, отримані координати не будуть належати істинній залежності. Тому при виконанні сумісних вимірювань, по-перше, виникає задача апроксимації залежності  $y = f(x)$  за експериментальними даними так, щоб вона як найкраще описувала істинну залежність. По-друге, необхідно відповісти на питання – чи дійсно апроксимуюча функція щонайкраще наближається до істинної залежності і якою мірою можна оцінити наближення експериментальної залежності до істинної.

Підхід до рішення подібних задач можливий на основі застосування методу найменших квадратів. У цьому методі оцінки параметрів залежності визначають з умови, що сума квадратів відхилень розрахункових значень апроксимуючої функції від експериментальних значень повинна бути мінімальна.

При обґрунтуванні методу найменших квадратів у математичній статистиці передбачається, що результати вимірів  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, m$  задовольняють наступним умовам:

- значення аргументів  $x_i$  відомі точно;
- систематичні похибки виключені і результати вимірювань  $y_i$  містять лише випадкові похибки, які незалежні і мають однакові дисперсії;
- похибки вимірювань  $y_i$  мають нормальний розподіл.

При цих умовах метод найменших квадратів дає незміщені оцінки параметрів залежності, що мають мінімальні дисперсії.

Розглянемо важливий для практики випадок побудови методом найменших квадратів лінійної залежності  $y = A + Bx$ , де  $A$  і  $B$  — постійні. Графік функції — пряма лінія з кутовим коефіцієнтом  $B$ , що перетинає вісь ординат у точці  $A$  (рис. 6.1).

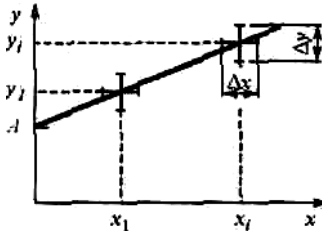


Рисунок 6.1 – Графік лінійної залежності

Виконавши спільні вимірювання  $x_i$  і  $y_i$  з абсолютною точністю, можна було б очікувати, що кожна точка  $(x_i, y_i)$  лягла б на теоретичну лінію. У дійсності — кожна експериментальна точка потрапляє в поле прямокутника зі сторонами, що відповідають границям похибок вимірювань  $x_i$  і  $y_i$ . Якщо ж похибки вимірювань  $x_i$  малі і ними можна знехтувати, експериментальні точки будуть мати відхилення від ідеальної прямої тільки в границях похибки вимірювання  $y_i$ .

Приймемо припущення, що похибки вимірювання  $x_i$  значно менші порівняно з похибками при визначенні  $y_i$ . Тоді задача визначення найкращої прямої лінії, що апроксимує набір з  $m$  експериментальних точок  $(x_i, y_i)$ , ...,  $(x_m, y_m)$ , зводиться до знаходження значень постійних  $A$  і  $B$ .

В теорії методу найменших квадратів показано, що найкращі оцінки для невідомих постійних  $A$  і  $B$  це ті, для яких мінімальне значення виразу:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{[y_i - (A + Bx_i)]^2}{\sigma_y^2} \quad (6.1)$$

де  $\sigma_y$  — середнє квадратичне відхилення похибки вимірювання  $y$ .

Продиференціювавши (6.1) по  $A$  і  $B$  і прирівнявши похідні нулю, одержимо систему рівнянь для визначення  $A$  і  $B$ . Опускаючи математичні перетворення, приведемо формули для розрахунку оцінок даних постійних:

$$A = \frac{\left( \sum_{i=1}^m \tilde{\sigma}_i^2 \right) \left( \sum_{i=1}^m y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^m x_i \right) \left( \sum_{i=1}^m x_i y_i \right)}{G} \quad (6.2)$$

і

$$B = \frac{m \left( \sum_{i=1}^m x_i y_i \right) - \left( \sum_{i=1}^m x_i \right) \left( \sum_{i=1}^m y_i \right)}{G} \quad (6.3)$$

де

$$G = m \left( \sum_{i=1}^m x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^m x_i \right)^2 \quad (6.4)$$

Формули (6.2) і (6.3) дають оцінки постійних  $A$  і  $B$  для прямої лінії  $v = A + Bx$ , засновані на  $m$  точках, отриманих спільними вимірюваннями.

Уявлення про наближення апроксимуючої функції до істинної залежності одержимо, оцінивши похибки у визначенні постійних  $A$  і  $B$ . Такі оцінки можливо виконати, якщо звернути увагу на те, що оцінки (6.2) і (6.3) для  $A$  і  $B$  — точно визначені функції вимірних значень  $y_1, \dots, y_m$ . Похибки  $A$  і  $B$  визначаються розрахунком за правилами посередніх вимірювань, виходячи з похибок вимірювань  $\Delta y_1, \dots, \Delta y_m$ .

Середнє квадратичне відхилення похибки виміру  $\sigma_y$  може бути відомо до початку вимірів, або обчислено за результатами вимірювань, як

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{m-2} \sum_{i=1}^m [y_i - (A + Bx_i)]^2 \quad (6.5)$$

Тоді

$$\sigma_A^2 = \sigma_y^2 \sum_{i=1}^m \frac{x_i^2}{G} \quad (6.6)$$

і

$$\sigma_B^2 = \frac{m\sigma_y^2}{G} \quad (6.7)$$

де  $G$  визначено по (6.4).

Конкретні методики апроксимації інших залежностей розглядаються в спеціальній літературі.

## **6.2 Завдання на підготовку до практичної роботи**

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

- а) застосування методу найменших квадратів для апроксимації лінійних залежностей;
- б) вимоги до результатів вимірювання при використанні методу найменших квадратів;
- в) способи оцінки похибок при сумісних вимірюваннях;
- г) методика оцінки наближення експериментальної залежності до істинної.

## **6.3 Контрольні питання**

1. Які умови повинні виконуватись при застосуванні метода найменших квадратів.
2. Які оцінки для коефіцієнтів рівняння одержаного методом найменших квадратів є найкращими.
3. У який спосіб визначають значення коефіцієнтів залежності, яка використовується для апроксимації.
4. Яким чином визначають похибки коефіцієнтів залежності, яка використовується для апроксимації.

## **6.4 Матеріали і устаткування**

Міст для вимірювання опору електричному струмові, зразки для проведення перевірки моста і визначення систематичної складової похибки вимірювання.

## **6.5 Вказівки з техніки безпеки.**

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

## **6.6 Порядок виконання практичної роботи**

Провести перевірку моста для вимірювання опору електричного струму і визначити систематичну складову похибки. Провести апроксимацію отриманих результатів. Визначити похибку коефіцієнтів апроксимуючої функції.

## **6.7 Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз отриманих результатів. Висновки щодо доцільності використання методів оцінки похибок при апроксимації експериментальних даних лінійною залежністю.

## **6.8 Література**

Тартаковский, Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие для вузов./ Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов – М.: Высш. шк., 2001. – С. 53-56.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

### ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

**Мета роботи:** опанувати методику електричних вимірювань неелектричних величин

#### 7.1 Загальні відомості

Серед багатьох фізичних величин більша частина відноситься до неелектричних (температура, вологість, швидкість, прискорення, переміщення і ін.). При вимірюваннях таких величин часто виникають задачі дистанційного вимірювання, передачі, реєстрації і обробки вимірювальної інформації. Щонайкраще ці задачі вирішуються шляхом перетворення вимірюваної неелектричної величини  $X_{не}$  в електричний сигнал  $X_e$  пов'язаний з вимірюваною величиною однозначною функціональною залежністю  $X_e = f(X_{не})$ . Отриманий електричний сигнал вимірюється засобами електричних вимірювань або може бути переданий по лінії зв'язку на значну відстань.

Перетворення неелектричної величини в електричну здійснюється за допомогою вимірювальних перетворювачів ВП – датчиків. Структурна схема будь-якого засобу вимірювань неелектричних величин електричними методами містить такий вимірювальний перетворювач.

Вимірювальні перетворювачі класифікують по роду вимірюваної величини (температури, тиску, вологості й ін.) і по вихідній величині (генераторні, параметричні).

Вихідним сигналом *генераторних датчиків* є ЕРС, напруга, струм або електричний заряд, що функціонально пов'язані з вимірюваною величиною. У *параметричних перетворювачах* вихідною величиною є зміна параметра електричного ланцюга (опір, індуктивність).

Найважливішими метрологічними характеристиками вимірювальних перетворювачів є: номінальна статична характеристика перетворення, чутливість, основна і додаткова похибки, динамічні характеристики і ін.

Промисловістю випускаються як окремі вимірювальні перетворювачі неелектричних величин, так і прилади для вимірювань

неелектричних величин, невід'ємною частиною яких є відповідний датчик.

Оскільки засоби електричних вимірювань, які використані при вимірюваннях неелектричних величин, мають, як правило, незрівнянно кращі метрологічні характеристики в порівнянні з датчиками неелектричних величин, то основний внесок у похибку результату вимірювання вноситься складовою, обумовленою похибкою датчика. Це необхідно мати на увазі при виборі датчиків неелектричних величин для рішення конкретної вимірювальної задачі.

Розглянемо принципи дії й конструкцію деяких перетворювачів неелектричних величин.

### **Генераторні вимірювальні перетворювачі.**

*Термоелектричні перетворювачі (термопари).* Ці перетворювачі застосовуються для вимірювання температури. Термопара, складається із двох різнорідних провідникових матеріалів кінці яких з'єднані. Точки з'єднання провідників називаються спаями термопари. Якщо температури спаїв однакові, то струм у термоелектричному ланцюзі відсутній. Якщо температури спаїв відрізняються, то в ланцюзі виникає термоелектрорушійна сила (ТЕРС)  $E$ , що залежить від різниці температур спаїв

$$E = f(t_1 - t_2) \quad (7.1)$$

Якщо підтримувати температуру одного спаю, постійної, то ТЕРС буде залежати від температури іншого спаю

$$E = f(t_1) \quad (7.2)$$

Цю залежність використовують для вимірювання температури за допомогою термопар. Для виміру ТЕРС електровимірювальний прилад вмикають у розрив другого спаю, який називають холодним, а перший спай називають гарячим (робочим) спаєм. Його розташовують в місці вимірювання температури.

Щоб ТЕРС термопари однозначно визначалася температурою гарячого спаю, необхідно температуру холодного спаю підтримувати завжди однаковою.

Для виготовлення електродів термопар використовують як чисті метали, так і спеціальні сплави стандартизованого складу. Градувальні таблиці для стандартних термопар складені за умови, що температура вільних кінців становить  $0^\circ\text{C}$ . На практиці не завжди

вдається підтримувати це значення температури холодних кінців. У таких випадках у показання термопару вводять поправку на температуру холодних кінців. Існують схеми для автоматичного введення поправок.

Конструктивно термопару виконують з двох ізольованих термоелектродів з робочим спаєм, який одержують зварюванням, розташованими у захисній арматурі, яка захищає термопару від зовнішніх впливів і ушкоджень. Робочі кінці термопару виведені в голівку термопару, обладнану зажимами для підключення термопару в електричний ланцюг.

Залежно від конструкції термопару можуть мати теплову інерцію, що характеризується постійною за часом від одиниць секунд до декількох хвилин. Це обмежує можливість їх застосування для вимірювання температур, що швидко змінюються.

Вимога постійності температури вільних кінців термопару змушує по можливості видаляти їх з місця вимірювання. Для цієї мети застосовують так звані компенсаційні провідники, що підключаються до вільних кінців термопару з дотриманням полярності. Компенсаційні провідники складаються з різнорідних провідників, які в інтервалі можливих коливань температури вільних кінців розвивають у парі між собою таку ж ТЕРС, як і термопара. Тому, якщо місця підключення компенсаційних провідників до термопару перебувають при температурі  $t_2$ , а температура в місці підключення компенсаційних провідників до приладу  $t_0$ , то ТЕРС термопару буде відповідати її градієнту при температурі вільних кінців  $t_0$ .

Максимальна ТЕРС яка створюється у стандартних термопарах становить від одиниць до десятків мілівольтів.

Для вимірювання ТЕРС можуть застосовуватися магнітоелектричні, електронні (аналогові і цифрові) мілівольтметри і потенціометри постійного струму. При використанні мілівольтметрів магнітоелектричної системи варто мати на увазі, що вимірювана мілівольтметром напруга на його клеммах буде

$$U = IR_B \quad (7.3)$$

де  $I$  – струм в ланцюзі термопару,  $R_B$  – опір мілівольтметра.

Так як джерелом струму в ланцюзі є термопара, то

$$I = E / (R_B + R_{\text{св}}) \quad (7.4)$$

де  $R_{\text{св}}$  – опір ділянки ланцюга зовнішнього по відношенню до мілівольтметра (тобто електродів термопару і компенсаційних

провідників). Тому напруга, яка вимірювалась за допомогою мілівольтметром, буде дорівнювати

$$U = E / (1 + R_{\text{сiâ}} / R_B) \quad (7.5)$$

Таким чином, показання мілівольтметра тим більше відрізняються від ТЕРС термопари, чим більше відношення  $R_{\text{зоe}}/R_B$ . Для зменшення похибки від впливу зовнішнього опору мілівольтметри, призначені для роботи з термопарами (так звані пірометричні мілівольтметри) використовуються з термопарами конкретного типу і при певному номінальному значенні  $R_{\text{зоe}}$ , що вказується на шкалі приладу. Пірометричні мілівольтметри серійно випускаються класів точності від 0,5 до 2,0.

Вхідний опір електронних мілівольтметрів дуже великий, і вплив опору  $R_{\text{зоe}}$  на показання малий.

### Параметричні вимірювальні перетворювачі

*Термометри опору.* Термометри опору як і термопари, призначені для вимірювання температури газоподібних, твердих і рідких тіл, а також температури поверхні. Принцип дії термометрів базується на використанні властивості металів і напівпровідників змінювати свій електричний опір з температурою. Для провідників із чистих металів ця залежність в області температур від 0°C до 630°C має вигляд

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad (7.6)$$

де –  $R_t$ ,  $R_0$  – опір провідника при температурі  $t$  і 0°C;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  - коефіцієнти;  $t$  - температура, °C.

Для провідників із чистого металу  $\alpha \approx 6 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>.

Для напівпровідникових матеріалів залежність опору від температури має вигляд

$$R_T = A \exp(B/T) \quad (7.7)$$

де  $A$ ,  $B$  - постійні;  $T$  – температура, К.

Вимірювання температури термометром опору зводиться до вимірювання його опору  $R_t$ , з наступним переходом до температури  $t$  (по формулам або градуіровочним таблицям).

Розрізняють дровові і напівпровідникові термометри опору. Дрововий термометр опору уявляє собою тонкий дріт із чистого металу, закріплений на каркасі з температуростійкого матеріалу

(чутливий елемент), поміщеного в захисну арматуру. Виводи від чутливого елемента підведені до головки термометра.

Вибір дротів для виготовлення термометрів опору із чистих металів, а не сплавів, обумовлений тим, що температурний коефіцієнт (ТКО) чистих металів більше, ніж ТКО сплавів і, отже, термометри на основі чистих металів мають більшу чутливість.

Промисловістю випускаються платинові, нікелеві і мідні термометри опору. Для забезпечення взаємозамінності і єдиної градуїровки термометрів значення їх опору  $R_0$  і ТКО стандартизовані.

Напівпровідникові термометри опору (термістори) уявляють собою бусинки, диски або стрижні з напівпровідникового матеріалу з виводами для підключення у вимірювальний ланцюг.

Промисловість серійно випускає багато типів термісторів у різному конструктивному оформленні.

Розміри термісторів, як правило, малі - біля декількох міліметрів, а окремі типи десятих часток міліметра. Для запобігання від механічних ушкоджень і впливу середовища термістори захищають покриттями зі скла або емалі, а також металевими чохлами.

Термістори звичайно мають опір від одиниць до сотень кілоОм; їх ТКО у робочому діапазоні температур на порядок більше, ніж у дрових термометрів. Як матеріали для робочого тіла термісторів використовують суміші оксидів нікелю, марганцю, міді, кобальту, які змішують зі зв'язувальною речовиною, надають йому необхідну форму й спікають при високій температурі. Застосовують термістори для вимірювання температур у діапазоні від  $-100$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Інерційність термісторів порівняно невелика. До числа їх недоліків варто віднести нелінійність температурної залежності опору, відсутність взаємозамінності через великий розкид номінального опору і ТКО, а також незворотна зміна опору в часі.

Вимірювання електричного опору термометрів виконується за допомогою мостів постійного і змінного струму або компенсаторів. Особливістю термометричних вимірювань є обмеження вимірювального струму для того, щоб виключити розігрів робочого тіла термометра. Для дрових термометрів опору рекомендується вибрати такий вимірювальний струм, щоб потужність, що розсіюється термометром, не перевищувала  $20\text{...}50$  мВт. Припустима розсіювальна

потужність, у термісторах значно менше і її значення рекомендується визначати експериментально для кожного термістора.

*Тензочутливі перетворювачі (тензорезистори).* У конструкторській практиці зазвичай необхідні вимірювання механічних напружень і деформацій в елементах конструкцій. Найпоширенішими перетворювачами цих величин в електричний сигнал є тензорезистори. В основу роботи тензорезисторів покладено властивість металів і напівпровідників змінювати свій електричний опір під дією прикладених до них сил. Найпростішим тензорезистором може бути відрізок дроту, жорстко зв'язаний з поверхнею деталі, що деформується. Розтягнення або стиснення деталі викликає пропорційне розтягнення або стиснення дроту, в результаті чого змінюється його електричний опір. В межах пружних деформацій відносна зміна опору дроту пов'язана з відносним видовженням співвідношенням

$$\Delta R / R = K_T \Delta l / l \quad (7.8)$$

де  $l$ ,  $R$  — початкові довжина і опір дроту;  $\Delta l$ ,  $\Delta R$  — приріст довжини і опору;  $K_T$  — коефіцієнт тензочутливості.

Величина коефіцієнта тензочутливості залежить від властивостей матеріалу, з якого виготовлений тензорезистор, а також від способу кріплення тензорезистора до виробу. Для металевих дротів з різних металів  $K_T = 1...3,5$ .

Розрізняють дровові і напівпровідникові тензорезистори. Для виготовлення дровових тензорезисторів застосовуються матеріали, що мають досить високий коефіцієнт тензочутливості і малий температурний коефіцієнт опору. Найбільш вживаним матеріалом для виготовлення дровових тензорезисторів є дріт діаметром 20...30 мкм з константану.

Конструктивно, дровові тензорезистори уявляють собою ґрати, що складаються з декількох петель дроту, наклеєних на тонку паперову (або іншу) підкладку. Залежно від матеріалу підкладки тензорезистори можуть працювати при температурах від  $-40$  до  $+400$  °С. Існують конструкції тензорезисторів, які здатні працювати при температурах до  $800$  °С, вони прикріплюються до поверхні деталей за допомогою цементу.

Основними характеристиками тензорезисторів є номінальний опір  $R$ , база  $l$ , і коефіцієнт тензочутливості  $K_T$ .

Промисловістю випускається різноманітний асортимент тензорезисторів з величиною бази від 5 до 30 мм, номінальними опорами від 50 до 2000 Ом, з коефіцієнтом тензочутливості  $2 \pm 0,2$ .

Подальшим розвитком дрових тензорезисторів є фольгові і плівкові тензорезистори, чутливим елементом яких є ґратка зі смужок фольги або найтонша металева плівка, що нанесена на підкладку на лаковій основі.

Тензорезистори виготовляються на основі напівпровідникових матеріалів. Найбільш сильно тензоефект виражений у германія, кремнію. Основною відмінністю напівпровідникових тензорезисторів від дрових є велика (до 50%) зміна опору при деформації завдяки великій величині коефіцієнта тензочутливості (від  $-100$  до  $+200^\circ\text{C}$ ).

Вимірювання опору тензорезисторів виконується тими ж методами і засобами, що і термометрів опору.

Для вимірювання механічних напружень в елементі конструкції тензорезистор наклеюють на досліджуваний елемент у заданому перетині, таким чином, щоб його повздовжня вісь співпадала з напрямком деформації (рис. 7.1).

Якщо на елемент конструкції діє сила  $F$ , то величина механічних напружень в ньому  $\sigma = F/S$  пов'язана з відносною деформацією  $\varepsilon = \Delta l/l$  співвідношенням  $\sigma = \varepsilon E$ , де  $S$  — поперечний переріз елемента;  $E$  — модуль пружності матеріалу;  $l$  — довжина зразка. З огляду на (7.8) одержимо

$$\sigma = E \frac{\Delta R}{R K_T} \quad (7.9)$$

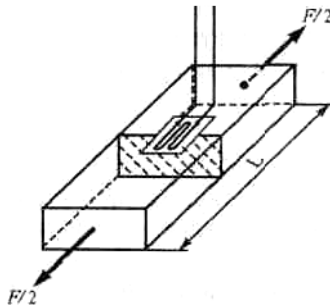


Рисунок 7.1 - Тензометр на об'єкті дослідження

Після вимірювання  $\Delta R$  тензорезистора можна за відомими  $R$ ,  $K_T$  і  $E$  визначити напруження  $\sigma$ .

*Індуктивні перетворювачі.* Індуктивні перетворювачі застосовуються для вимірювань переміщень, розмірів, відхилень форми і розташування поверхонь. Перетворювач складається з нерухомої котушки індуктивності з магнітопроводом та якоря, що також є частиною магнітопроводу, який переміщується відносно котушки індуктивності. Для одержання якомога більшої індуктивності магнітопровід котушки і якорь виготовляються з феромагнітних матеріалів. При переміщенні якоря (з'єданого, наприклад, із щупом вимірювального пристрою) змінюється індуктивність котушки і, отже, змінюється струм, що протікає в обмотці.

На рис. 7.2 наведено схему індуктивного перетворювача зі змінним повітряним зазором  $\delta$ , який застосовується для вимірювань переміщень у межах 0,01...10 мм.

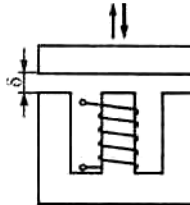


Рисунок 7.2 - Індуктивний перетворювач переміщень

Індуктивні перетворювачі зі змінним зазором мають високу чутливість і реагують на зміну зазору порядку 0,1...0,5 мкм. Індуктивні перетворювачі широко застосовують у сучасних засобах лінійних і кутових вимірювань: профілографіях, контрольних автоматах і в електронних аналогових і цифрових приладах для активного контролю лінійних розмірів. Наведена похибка індуктивних перетворювачів не перевищує 1...2% .

## 7.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:



- а) визначення значень неелектричних величин шляхом перетворення їх в електричні величини;
- б) генераторні перетворювачі. Принцип дії, конструкція, характеристики термоелектричних перетворювачів – термопар. Причини виникнення похибок та методи їх зменшення;
- в) параметричні перетворювачі. Термометри опору, їх конструкція, характеристики та застосування;
- г) тензочутливі перетворювачі, їх характеристика, конструкція та застосування;
- д) індукційні перетворювачі, їх характеристика, конструкція та застосування.

### **7.3 Контрольні питання**

1. Навести приклади вимірювання неелектричних величин перетворенням їх в електричні.
2. Яким чином класифікують перетворювачі?
3. Навести основні метрологічні характеристики перетворювачів.
4. Яка різниця між генераторними і параметричними перетворювачами?
5. Для чого використовують компенсаційні провідники?
6. Яким чином вхідний опір мілівольтметра впливає на похибку вимірювання?
7. Які матеріали використовують для виготовлення термометрів опору?
8. Навести основні характеристики та конструкцію термометрів опору.
9. Охарактеризувати параметри, конструкцію, можливості та матеріали тензорезисторів.
10. Охарактеризувати параметри, конструкцію та можливості індуктивних перетворювачів.

### **7.4 Матеріали і устаткування**

Потенціометр, мілівольтметр, термопара, термометр опору та технічна документація на них. Електропіч.

### **7.5 Вказівки з техніки безпеки**

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### **7.6 Порядок виконання практичної роботи**

Провести вимірювання температури в різних зонах простору печі приладами вказаними в пункті 7.4. Оцінити рівномірність розподілу температури по простору печі та похибку її вимірювання.

### **7.7 Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз отриманих результатів. Висновки щодо результатів використання застосовуваних способів при посередніх вимірюваннях температури.

### **7.8 Література**

Тартаковский, Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие для вузов./ Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов – М.: Высш. шк., 2001. – С. 133-143.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБІВ

**Мета:** опанувати методику оцінювання технологічності конструкцій виробів.

#### 8.1 Загальні відомості

Показники технологічності конструкцій виробів машинобудування характеризують ефективність конструкторських і технологічних рішень, прийнятих і реалізованих під час проектування, виготовлення та використання виробів. До показників технологічності конструкцій виробів належать трудомісткість виготовлення, технологічна вартість, питома трудомісткість виготовлення та використання, питома технологічна вартість, питома матеріаломісткість, питома енергоємність, коефіцієнт використання матеріалу, коефіцієнти уніфікації, стандартизації тощо.

Для порівняння показників технологічності конструкцій виробів залежно від виду та їх складності використовують один або декілька з перелічених показників. Наприклад, для добору показників технологічності конструкцій виробів металургійної промисловості перевагу віддають показникам матеріаломісткості, енергоємності та коефіцієнта використання матеріалу; для виробів машинобудування – показникам трудомісткості виготовлення, питомій матеріаломісткості та енергоємності; для виробів радіоелектронної промисловості – показникам питомої матеріаломісткості, уніфікації, стандартизації тощо.

Питому трудомісткість виготовлення виробу визначають як

$$q_T = \frac{T_T}{A}, \quad (8.1)$$

де  $q_T$  – питома трудомісткість виготовлення виробу, год/у.о;  $T_T$  – трудомісткість виготовлення виробу, год;  $A$  — основний параметр виробу, умовні одиниці.

Питому технологічну вартість виробу записують у вигляді

$$q_v = \frac{V_s}{A}, \quad (8.2)$$

де  $q_v$  – питома технологічна вартість, грн/у.о;  $V_s$  – технологічна вартість виготовлення та експлуатації виробу, грн.

Питому матеріаломісткість виробів визначають як

$$q_m = \frac{G_v}{A}, \quad (8.3)$$

де  $q_m$  – питома матеріаломісткість виробу, кг/у.о;  $G_v$  – маса готового виробу, кг.

Питома енергоємність виробу

$$q_e = \frac{W_e}{A}, \quad (8.4)$$

де  $q_e$  – питома енергоємність, кВт·год/у.о;  $W_e$  – кількість витраченої електричної енергії на виготовлення виробу, кВт·год.

Коефіцієнт використання матеріалів визначають як

$$k_m = \frac{G_v}{G_m} \quad (8.5)$$

де  $k_m$  – коефіцієнт використання матеріалів;  $G_m$  – маса матеріалів, витрачених для виготовлення виробу, кг;

$$G_m = G_z + G_{ux}$$

$G_z$  – маса заготовок, з яких виготовляють деталі виробів, кг;  $G_{ux}$  – маса відходів матеріалів, кг.

Коефіцієнт уніфікації чи стандартизації записують у вигляді

$$k_y = \frac{n_y}{n_o}, \quad (8.6)$$

де  $k_y$  – коефіцієнт уніфікації чи стандартизації,  $n$  – кількість уніфікованих або стандартних складових частин у виробі, шт;  $n_o$  – кількість складових частин виробу, шт.

## **8.2 Завдання на підготовку до практичної роботи**

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати питання щодо добору показників оцінки технологічності виробів в металургійній та машинобудівній промисловості.

### **8.3 Контрольні питання**

1. Якими показниками визначають технологічність конструкції виробів в металургійній промисловості?
2. Якими показниками визначають технологічність конструкції виробів в машинобудівній промисловості?

### **8.4 Матеріали і устаткування**

Технічна документація на вироби.

### **8.5 Вказівки з техніки безпеки**

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### **8.6 Порядок виконання практичної роботи**

Провести оцінювання технологічності конструкцій виробів з використанням технічної документації отриманої у викладача.

### **8.7 Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз метрологічних особливостей методики оцінювання технологічності конструкцій виробів. Висновки щодо результатів виконаної роботи.

### **8.8 Література**

Боженко, Л.І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні [Текст]: навч. посібник для вузів / Л.І. Боженко, – Львів: Світ, 2003. – С.270-271.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

### ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

**Мета роботи:** опанувати методики визначення якості продукції.

#### 9.1 Загальні відомості

В умовах ринкової економіки вирішальне значення набуває конкурентноздатність продукції (виробу, послуги, процесу). Щоб був попит на ті або інші вироби, вони повинні мати певні споживчі властивості: справно працювати у відповідності зі своїм функціональним призначенням, бути прийнятними за ціною, задовольняти вимогам безпеки, екології, естетики.

Сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення, називають *якістю*.

Конкурентна боротьба виробників продукції за ринки збуту та безперервне підвищення вимог до її якості сприяли розвитку окремої галузі науки, яка пов'язана з кількісною оцінкою якості продукції і називається *кваліметрія*.

Кваліметрія вивчає питання оцінювання якості. Для того щоб управляти якістю, насамперед необхідно вміти цю якість оцінити, а в ідеальному випадку – виміряти. Сама собою узагальнена властивість, яку називають якістю, не є фізичною величиною і у метрологічному розумінні не може бути виміряна, оскільки не існує стандартної міри цієї властивості. Проте на підставі аналогій з вимірами фізичних величин у кваліметрії отримані практичні рекомендації щодо оцінювання якості, у тому числі і кількісному.

Відповідно до правил метрології визначити або виміряти одну величину можна лише шляхом порівняння її з іншою, відомою величиною, яку прийнято за одиницю порівняння або міру. У метрології такими мірами є одиниці фізичних величин. Як аналоги фізичних величин у кваліметрії використовують показники якості. Отже, *щоб оцінити якість, потрібно порівняти показники якості продукції з показниками якості однорідної продукції, прийнятої за міру*. На основі порівняння можна визначити показники якості якого з об'єктів порівняння вище, а це вже оцінювання за шкалою порядку. Якщо можливо визначити на скільки вище або нижче, або в скільки разів вище або нижче, то якість буде оцінено по шкалі інтервалів або

по шкалі відношень. Звідси зрозуміло, що у кваліметрії на перший план виступає проблема оцінювання показників якості.

Поняття «фізична величина» і «показник якості» близькі, але не тотожні. Фізична величина відображає об'єктивні властивості природи, а показник якості - суспільну потребу в конкретних умовах. Так, маса – фізична величина, а маса виробу – показник його транспортабельності; освітленість – фізична величина, а освітленість на робочому місці – ергономічний показник.

Якість являє собою складну, багатомірну властивість продукції яка є узагальненою характеристикою її споживчих властивостей. Для оцінювання вона є спрощеною моделлю, що враховує лише невелике число компонентів, що визначають якість. По мірі необхідності модель якості може вдосконалюватися (при оцінюванні якості можуть розглядатися нові властивості продукції). Не виключається і спрощення моделі.

Розглянемо властивості та правила формування показників якості. Залежно від того, чи відносяться показники якості до категорії фізичних величин, або до величин нефізичного характеру (економічним, гуманітарним, соціальним), показники якості зазначаються в одиницях фізичних величин, або в одиницях призначуваних за згодою (наприклад, у балах, по бальній шкалі).

Показники якості поділяються на одиничні та комплексні. *Одиничні показники* - це одна з властивостей, що визначає якість; *комплексні* формуються з декількох одиничних показників.

Комплексні показники якості можуть бути сформовані з одиничних на підставі відомих функціональних залежностей між ними, а можуть являти собою комбінацію з одиничних, прийняту за згодою. Так, вибравши як одиничні показники якості радіоапаратури напругу живлення  $U$  і споживаний струм  $I$ , можна одержати комплексний показник – споживану потужність  $P$ , з використанням функціональної залежності  $P = UI$ .

Прикладом комплексного показника якості, прийнятого за згодою, є коефіцієнт ( $K_T$ ) готовності апаратури, що визначається формулою:

$$\hat{E}_{\bar{A}} = \frac{\dot{O}_0}{\dot{O}_0 + \dot{O}_{\bar{A}}} \quad (9.1)$$

де  $T_0$  - напрацювання до виходу з ладу;



$T_B$  - середній час відновлення.

У випадку відсутності об'єктивної функціональної залежності для формування комплексних показників якості, застосовують суб'єктивний спосіб – розрахунок комплексного показника за принципом середнього зваженого, з використанням однієї з формул:

- середнє арифметичне зважене

$$\bar{Q}_{cba} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot Q_i \quad (9.2)$$

- середнє гармонійне зважене

$$\tilde{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{g_i}} \quad (9.3)$$

середнє геометричне зважене

$$\bar{Q}_{cbg} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n g_i} \prod_{i=1}^n Q_i^{g_i} \quad (9.4)$$

За допомогою вагових коефіцієнтів  $g_i$  враховується важливість або цінність (вага) кожного одиничного показника якості  $Q_i$ . Звичайно найбільш важливими вважають показники призначення, тобто показники, що визначають основні функції, для виконання яких призначена продукція. Завдання визначення важливості показників якості як правило вирішується виходячи з умови:

$$\sum_{i=1}^n g_i = 1 \quad (9.5)$$

Практикою визначені наступні рекомендації:

- середнє арифметичне зважене використовується для обчислення комплексного показника якості в тому випадку, коли поєднуються однорідні показники, що мають незначне розсіювання (9.2);

- при значному розсіюванні показників рекомендується використовувати середнє гармонійне зважене (9.3);

- у випадку коли поєднують неоднорідні показники, що відносяться до різнорідної продукції або різних умов її застосування і мають значне розсіювання універсальним прийомом формування комплексного показника здійснюють за принципом середнього геометричного зваженого (9.4).

Якщо до складу комплексного показника входять різнорідні показники якості, їх необхідно виразити у відносній формі.

При оцінюванні властивостей продукції комплексним показником якості, не виключені спроби компенсувати низькі значення одних одиничних показників, необґрунтованим завищенням інших. Для виключення такої можливості комплексний показник якості помножують на *коефіцієнт вето*. Цей коефіцієнт знижується до нуля при виході кожного з найважливіших одиничних показників за припустимі межі і дорівнює одиниці у всіх інших випадках. Завдяки цьому, комплексний показник якості падає до нуля, якщо хоча б одне з важливих властивостей продукції неприпустимо мале.

Отримані на основі одиничних показників, комплексні показники якості можна продовжувати поєднувати в комплексні показники більш високого рівня. Таким чином, структура показників якості є багаторівневою. При переході до показників більш високого рівня модель якості продукції стає все більш грубою, доки не зведеться до оцінки якості одним єдиним показником – *узагальненим показником*.

Комплексні показники якості можуть бути сформовані стосовно до певної групи властивостей продукції. Такі показники називаються *груповими*. Так, для промислової продукції груповими показниками якості, є показники призначення, надійності, безпеки.

Різновидом комплексного показника, що дозволяє оцінити якість із економічних позицій, є *інтегральний показник якості*. Його визначають як відношення сумарного корисного ефекту від використання продукції до величини витрат на її створення і експлуатацію. Прикладом інтегрального показника якості автомобіля можуть служити питомі витрати на 1 км пробігу.

$$K_y = \frac{Z_c + Z_e}{L} \quad (9.6)$$

де  $Z_c$  і  $Z_e$  — відповідно, собівартість і витрати на експлуатацію автомобіля до капітального ремонту;  
 $L$  — пробіг автомобіля до капітального ремонту.

Для визначення значень показників якості можуть бути використані інструментальні і експертні методи.

Інструментальні методи застосовуються в обмежених випадках, коли показники якості уявляють собою фізичні величини і існують вимірювальні інструменти (засоби вимірювання), що мають нормовані метрологічні характеристики. Інструментальне визначення показників якості зводяться, таким чином, до рішення звичайних вимірювальних завдань метрології.

Експертні методи оцінювання показників якості застосовують тоді, коли використання технічних засобів вимірювання, неможливо або економічно не виправдано. Наприклад, експертні методи використовують, для оцінювання ергономічних і естетичних показників, у спорті, у гуманітарних областях наук. При цьому використовуються всі види вимірювальних шкал.

Різновидами експертного методу є органолептичний і соціологічний методи.

Органолептичний метод оцінювання заснований на визначенні властивостей об'єкта за допомогою органів почуттів людини: зору, слуху, дотику. Наприклад, оцінка якості чаю дегустаторами.

При застосуванні соціологічних методів використовують масові опитування населення або його груп, і тоді кожен індивідум виступає в ролі експерта.

Загальним для всіх експертних методів є уявлення про людину-експерта як про деякий «нетехнічний» засіб вимірювання. При цьому вважають, що міру певної властивості людина створює у своїй уяві. Грунтуючись на такому методологічному підході, експертні оцінки показників якості зазвичай називають результатом вимірювання, а саму процедуру оцінювання - вимірюванням якості. Але необхідно відзначити, що людина-експерт не зберігає свої здатності до оцінювання постійними. Вона вчиться, накопичує досвід, пристосовується, піддається зовнішнім впливам, пам'ятає і забуває. Тому враховуючи визначення поняття «вимірювання», прийнятого в метрології, експертні оцінки не є вимірюванням, а являються лише грубим оцінюванням.

Проте, експертні оцінки споживчих властивостей продукції, недоступних вимірюванням, відкривають можливість порівняння, класифікації об'єктів за інтенсивністю оцінюваних властивостей.

Експертну оцінку якості продукції може дати один фахівець, однак з метою підвищення вірогідності оцінки, перевага надається груповому методу оцінювання.

Основою для відбору кандидатів в експертну комісію є перевірка їхньої компетентності шляхом тестування. Для цього кожному кандидатові пропонується відповісти на питання спеціальних анкет. Отримані відповіді оцінюються по бальній шкалі, і при задовільних результатах кандидат включається в групу.

При формуванні групи істотні труднощі пов'язані із проблемою забезпечення погодженості і незалежності оцінок експертів. З одного боку, група може завдавати серйозного тиску на своїх членів групи та примушувати, наприклад, одного з них погоджуватися з більшістю, навіть якщо той розуміє, що точка зору більшості помилкова. З іншого боку - найбільш впливові члени групи можуть вплинути на загальну думку.

На завершальному етапі формування комісії доцільно провести самооцінку і взаємну оцінку експертів. Самооцінка полягає в тому, що кожний із членів групи в обмежений час відповідає на питання анкети, порівнює їх з відповідними правильними відповідями і, таким чином, перевіряє свої знання, з надаванням собі оцінки. Практика доводить, що експертні групи з високими самооцінками рідше помиляються в оцінці якості об'єктів. Взаємна оцінка здійснюється за тією ж методикою з тією лише різницею, що експерти оцінюють один одного.

Всі ці заходи повинні забезпечити необхідну погодженість вражень при оцінюванні властивостей реальних об'єктів. Для перевірки погодженості вражень  $m$  експертів кожному з них пропонується дати оцінку певній властивості об'єкта  $Q_i$ . Якщо оцінка атестуемого експерта не являється крайньою (найбільшою або найменшою) в отриманому ряді оцінок, то кваліфікаційний рівень його можна вважати таким, що відповідає рівню комісії. В іншому випадку дану ним оцінку вважають «суперечливою» груповій думці при довірчій ймовірності 0,95 (або  $\alpha = 0,05$ ), якщо

$$Q_i - \bar{Q} \geq \beta S \quad (9.7)$$

де  $\bar{Q}$  – середнє арифметичне значення оцінки;

$S$  — середнє квадратичне відхилення (СКВ) індивідуальних оцінок у групі.

Значення коефіцієнта  $\beta$  для  $\alpha = 0,05$  приймають із табл. 9.1 залежно від кількості членів групи.

Таблиця - 9.1 - Значення коефіцієнта  $\beta$  для  $\alpha = 0,05$  в залежності від кількості членів групи.

Число експертів в групі	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт $\beta$	1,15	1,46	1,67	1,82	1,94	2,03	2,11	2,18

**Приклад.** В результаті опитування десяти фахівців ( $m = 10$ ), отримані наступні індивідуальні оцінки деякої властивості:

$Q_1 = 10, Q_2 = 8, Q_3 = 15, Q_4 = 11, Q_5 = 13, Q_6 = 12, Q_7 = 9, Q_8 = 10, Q_9 = 8, Q_{10} = 11$ .

Групова оцінка  $\bar{Q} = (10+8+15+11+13+12+9+10+8+11) : 10 = 10,7$ .

Оцінимо на суперечливість оцінку третього експерта, у якого вона максимальна.

Розрахунок СКВ дає:  $S = 4,9$ . По табл. 13.2 при  $\alpha = 0,05$  і  $m=10$  знаходимо, що  $\beta = 2,18$ . Оскільки  $15 - 10,7 < 4,9 \cdot 2,18$ , то оцінку третього експерта варто вважати несуперечливою з імовірністю 0,95.

Більш глибокою є оцінка погодженості оцінок групи за коефіцієнтом конкордації  $W$ , що уявляє собою загальний коефіцієнт рангової кореляції для групи.

Така оцінка здійснюється за кількісними оцінками деяких властивостей (факторів), що чинять вплив на один кінцевий результат (якість).

Коефіцієнт конкордації розраховується за формулою

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} \quad (9.8)$$

де  $m$  - кількість експертів в групі;

$n$  кількість факторів, що оцінюються.

Залежно від ступеня погодженості оцінок експертів, коефіцієнт конкордації може приймати значення від нуля (при відсутності погодженості) до одиниці (при повній єдності).

Для оцінки значимості коефіцієнта конкордації необхідно і досить щоб

$$(n-1)m \cdot W \geq \chi^2 \quad (9.9)$$

Значення  $\chi^2$  приймають залежно від числа ступенів свободи,  $\gamma = n - 1$  і прийнятої довірчої ймовірності.

**Приклад.** П'яти експертам було запропоновано проранжувати сім факторів, що впливають на технологічний процес. Результат ранжирування представлений у табл. 9.2.

В результаті розрахунку одержимо: СКО -  $S = 7,83$ ; коефіцієнт конкордації  $W = 0,526$ . Такий коефіцієнт конкордації виявляється значимим для  $\alpha = 0,05$ . Це дає підставу стверджувати, що існує не випадкова погодженість в оцінках експертів.

Теоретично, ефективність групової оцінки зі збільшенням кількості експертів зростає. На практиці ж число експертів у групі рекомендується не менш 7 і не більше 20 чоловік. Занадто мале число експертів різко знижує вірогідність групової оцінки, занадто велике – за відсутністю підвищення ефективності цієї оцінки може сприяти зайвим дебатам.

Таблиця 9.2 – Результати ранжирування факторів експертами

Експерт	Оцінюваний фактор						
	1	2	3	4	5	6	7
Перший	1	2	6	4	7	3	5
Другий	1	2	7	6	3	5	4
Третій	7	1	6	4	2	5	3
Четвертий	3	1	5	6	4	7	2
П'ятий	1	2	6	4	5	7	3
Сума рангів	13	8	30	24	21	27	17
Відхилення від середньої суми рангів	-7	-12	10	4	1	7	-3
Квадрати відхилень	49	144	100	16	1	49	9

Оцінки експертів з'ясовуються шляхом їх індивідуального або групового опитування. При проведенні оцінювання перед ними можуть бути поставлені наступні задачі:

- зробити ранжирування однорідних об'єктів за ступеню виразності заданого показника якості;

- дати кількісну оцінку показників якості продукції в умовних одиницях (частках одиниць, балах) або оцінити вагомість цих показників.

Для побудови ранжирувального ряду (тобто шкали порядку) звичайно застосовують спосіб попарного співставлення об'єктів. Спочатку об'єкти співставляються між собою попарно і для кожної пари результат співставлення виражається у формі «більше - менше», «краще - гірше». Потім, на підставі результатів попарного співставлення, здійснюється ранжирування.

**Приклад.** Результат попарного співставлення експертом шести науково-дослідних робіт студентів, представлених на конкурс, наведений у табл. 9.3, де перевазі  $i$ -ї роботи над  $j$ -ю відповідає 1, а протилежному відношенню 0. Необхідно розставити роботи за якістю.

Ранжирувальний ряд (шкала порядку) має вигляд

$$Q_3 \geq Q_1 \geq Q_2 \geq Q_6 \geq Q_5 \geq Q_4$$

де  $Q$  – оцінка якості роботи за шкалою порядку.

Таблиця 9.3 – Результати співставлення науково-дослідних робіт студентів

$i$	$j$						Разом
	1	2	3	4	5	6	
1		1	0	1	1	1	4
2	0		0	!	1	1	3
3	1	1		1	1	1	5
4	0	0	0		0	0	0
5	0	0	0	1		0	1
6	0	0	0	1	1		2

Для кількісної експертної оцінки показників якості застосовують безрозмірні шкали - у частках одиниць або балах. Бальна шкала дозволяє приписати об'єктам кількісні характеристики, що відображають інтенсивність тієї або іншої властивості продукції, що визначає його якість. Основною характеристикою бальної шкали є діапазон (бальність) шкали - кількість градацій, що включає шкала, тобто кількість оціночних точок. Число градацій визначається характером розв'язуваного завдання, кваліфікацією експертів, необхідною вірогідністю результату. У нашій країні прийняті десяти-, двадцятип'яти- і стобальні шкали.

Принцип побудови бальної шкали проілюструємо прикладом побудови шкали бальних оцінок для віднесення продукції до певної сортності. Для цього:

- встановлюють максимальну загальну оцінку продукції в балах;
- кожному окремому показнику якості, що входить у прийнятну модель якості продукції, експерти приписують певну вагомість, для встановлення його ролі у формуванні якості;
- виходячи із загальної максимальної оцінки, з урахуванням вагомості окремих показників, встановлюють бальну оцінку кожного показника якості;
- встановлюють знижки від показників якості ідеальної продукції, при різному ступені зниження рівня якості. Наприклад, якщо ідеальна якість поверхні виробу оцінюється в 7 балів, то при наявності незначних подряпин вона знижується на 2 бали;
- визначають число ступенів якості виходячи з можливих бальних оцінок відповідної властивості. Наприклад, можуть бути прийняті чотири ступені якості: відмінне, гарне, задовільне та погане.

Оцінки, одержані членами експертної комісії, обробляють з метою знаходження узагальненої оцінки якості продукції. При ранжируванні спочатку необхідно перевірити масив даних, отриманих експертами, на однорідність.

Для перевірки однорідності масиву даних розраховують сумарну оцінку рангів:

$$R = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^m R_{ij} \right)^2 \quad (9.10)$$

де  $j$  – номер рангу;  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ;

$n$  – число рангів;  $i$  – номер експерта;  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;

$m$  – число експертів;

$R_{ij}$  – ранги кожного експерту.

Масив даних вважається однорідним, якщо  $R > R_{кр}$ .

Значення критичної оцінки суми рангів  $R_{кр}$  знаходять по табл.9.4, розрахованої для рівня значимості 0,05.

Якщо погодженість даних достатня, то по оцінкам окремих експертів знаходять узагальнену оцінку у вигляді узагальненої ранжировки:



$$R_j = \sum_{i=1}^n R_{i1} \dots \sum_{i=1}^m R_{in} \quad (9.11)$$

Якщо погодженість даних недостатня, то потрібно ознайомити експертів з отриманими результатами, вжити заходи до підвищення їх кваліфікації і провести повторну експертизу.

Значення критичної оцінки знаходять помноженням числа, знайденого в полі таблиці при заданих  $n$  і  $m$ , на множник, поміщений у нижньому рядку таблиці 9.4.

**Приклад.** Оцінки п'яти експертів про сім об'єктів експертизи виражені у такий спосіб:

перший експерт  $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7$ ;

другий експерт  $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_6 < Q_4 < Q_1 < Q_7$ ;

третій експерт  $Q_3 < Q_2 < Q_5 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7$

четвертий експерт  $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_4 < Q_6 < Q_7$ ;

п'ятий експерт  $Q_5 < Q_3 < Q_1 < Q_2 < Q_6 < Q_4 < Q_7$ .

Таблиця 9.4 – Значення критичної суми рангів  $R_{кр}$  розрахованої для рівня значимості 0,05.

Число експертів	Кількість рангів						
	3	4	5	6	7	8	9
2	6,6	1,2	2,2	3,6	5,0	7,1	9,7
3	12,6	2,6	4,7	7,6	11,1	15,8	21,6
4	21,7	4,5	8,1	13,3	19,7	28,1	38,4
5	33,1	6,9	12,4	20,8	30,8	43,8	60,0
6	47,0	9,8	17,6	30,0	44,4	63,1	86,5
7	63,0	13,1	23,8	40,7	60,5	85,0	115,0
8	81,7	17,0	29,8	48,3	73,2	105,0	145,0
9	102,6	21,4	37,5	60,9	92,8	135,0	185,0
10	126,1	26,3	46,2	75,0	113,8	160,0	225,0
Множник	10	100	100	100	100	100	100

Потрібно: по сумі рангів кожного об'єкта експертизи побудувати ранжирувальний ряд, що є результатом групового оцінювання; визначити вагомість членів ряду.

Для перевірки однорідності масиву розраховується сумарна оцінка рангів по (9.10.); одержуємо  $R = 17956$ . По табл. 9.4 визначається  $R_{кр} = 3080$ . Умова  $R > R_{кр}$  виконується, тому масив вважаємо однорідним.

Знаходиться сума рангів для кожного об'єкта

$$\text{для } Q_1 - 4 + 6 + 4 + 4 + 3 = 21;$$

$$Q_2 - 3 + 3 + 2 + 3 + 4 = 15;$$

$$Q_3 - 2 + 2 + 1 + 2 + 2 = 9;$$

$$Q_4 - 6 + 5 + 6 + 5 + 6 = 28;$$

$$Q_5 - 1 + 1 + 3 + 1 + 1 = 7;$$

$$Q_6 - 5 + 4 + 5 + 6 + 5 = 25;$$

$$Q_7 - 7 + 7 + 7 + 7 + 7 = 35.$$

Звідси результат групового оцінювання буде

$$Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7.$$

Для знаходження вагомості коефіцієнтів знаходиться сума рангів всіх об'єктів; вона дорівнює 140. Тоді вагові коефіцієнти будуть

$$g_1 = \frac{21}{140} = 0,15; \quad g_2 = \frac{15}{140} = 0,11; \quad g_3 = \frac{9}{140} = 0,06;$$

$$g_4 = \frac{28}{140} = 0,2;$$

$$g_5 = \frac{7}{140} = 0,05; \quad g_6 = \frac{25}{140} = 0,18; \quad g_7 = \frac{35}{140} = 0,25; \quad \sum_{i=1}^7 g_i = 1.$$

## 9.1 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання лабораторної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

- а) кваліметрія її задачі;
- б) способи оцінки якості матеріалів та виробів;
- в) способи отримання узагальнених параметрів якості;
- г) методика обробки даних експертної оцінки якості.

## 9.2 Контрольні питання

1. Яка різниця між поняттями «фізична величина» і «показником якості»?
2. Охарактеризувати одиничні і комплексні показники якості.

3. За якими правилами формують комплексні показники якості?
4. Для чого застосовується коефіцієнт вагомості?
5. В яких випадках використовується середнє арифметичне зважене, середнє гармонійне зважене, середнє геометричне зважене?
6. Охарактеризувати коефіцієнт вето та його застосування.
7. Охарактеризувати груповий та інтегральний показник якості.
8. Які методи можуть бути використані для визначення значень показників якості?
9. Що є основою для підбору експертів для визначення якості продукції або матеріалів?
10. За якою методикою виробляється самооцінка та взаємна оцінка експертів?
11. Що таке коефіцієнт конкордації, в яких межах він змінюється?
12. За якою методикою будують ранжирувальний ряд?
13. Охарактеризувати бальну шкалу та методику її побудови.
14. Яким чином перевіряють однорідність масиву даних?

### **9.3 Матеріали і устаткування**

Зразки листового металу. Результати проведення випробувань і оцінки якості поверхні листового металу.

### **9.4 Вказівки з техніки безпеки**

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

### **9.5 Порядок виконання практичної роботи**

Провести розрахунки комплексних показників якості за даними отриманими у викладача. Сформуувати експертну комісію та оцінити збіжність її оцінок. Розрахувати узагальнену оцінку якості матеріалів за даними отриманими від викладача. Зробити висновки по отриманим результатам.

### **9.6 Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості. Аналіз отриманих результатів. Висновки щодо використання інструментальних та експертних способів оцінки якості матеріалів та виробів.

### **9.7 Література**

Тартаковский, Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие для вузов./  
Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов – М.: Высш. шк., 2001. – С.163-173.

## **Додаток А**

### **Правила із техніки безпеки при виконанні практичних робіт**

1. Роботу починають виконувати тільки з дозволу викладача.

2. До роботи з обладнанням допускаються особи, які вивчили конструктивні особливості та технічний опис конкретної випробувальної машини, а також пройшли перевірку знань електричної техніки безпеки.

3. На обладнанні механічної лабораторії можуть працювати особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та мають допуск на право виконання робіт на обладнанні лабораторії.

4. В термічній та препараторських лабораторіях можуть працювати особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та визначили конструктивні особливості печей та витяжних шаф. Всі струмопровідні частини електропечей повинні бути ізольовані та огорожені, а інші неструмопровідні частини – надійно заземлені.

#### **Вимоги безпеки перед початком роботи**

1. Вивчити інструкцію з виконуємої роботи.
2. Перевірити наявність необхідних приладів та інструментів.
3. Доповісти викладачеві про можливість виконання роботи.
4. Студенти не повинні приступати до роботи, доки не будуть проінструктовані з техніки безпеки.

5. Робота біля електроприладів повинна виконуватись з використанням ізоляційних засобів (діелектричні килимки, ізоляційні підставки).

6. Перевірити справність приладів та обладнання. Підготувати до роботи інструмент.

7. Завантаження та розвантаження виробів виконувати за допомогою спеціального захватного знаряддя.

8. Проведення ремонту обладнання самостійно студентами забороняється.

#### **Вимоги безпеки під час виконання роботи**

1. Забороняється студентам вмикати та вимикати електричні прилади та електропечі без дозволу керівника лабораторних робіт.

2. Усякі ремонти, налагодження електрообладнання необхідно виконувати електромонтеру, що обслуговує лабораторію.

3. Забороняється працювати в лабораторії на самоті. Обов'язкова присутність керівника лабораторних робіт. Вмикання, зміна режимів роботи установки, проведення замірів та вимикання установки для запобігання несправностей, необхідно виконувати тільки з дозволу викладача в суворій відповідності з положенням, наведеному у технічному описанні.

4. Особам, які не закріплені за даною установкою, виконувати будь-які ремонтні роботи забороняється.

### **Вимоги безпеки в термічній, механічній та препараторських лабораторіях**

1. Вмикання та вимикання електричного обладнання повинно здійснюватись тільки з дозволу викладача, який проводить заняття.

2. При виявленні несправності усіх видів слід негайно припинити роботу. Забороняється ремонтувати обладнання студентам та особам, які не мають кваліфікаційної групи по ТБ.

3. Завантаження та розвантаження печей дозволяється тільки у вимкненому стані.

4. Працювати при несправному заземленні і без діелектричного килимка забороняється.

### **Вимоги безпеки після закінчення роботи**

Після проведення випробувань в механічній лабораторії необхідно: відключити усі секції установок від електропостачання та вимкнути прилади.

В термічній та препараторських лабораторіях після закінчення робіт необхідно вимкнути печі, вимкнути вентиляцію, рубильник електропостачання, прибрати робочі місця.

### **Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

При пожежі чи загорянні необхідно:

1. Викликати пожежну частину за телефоном 101.
2. Вимкнути електромережу, вентиляцію, обладнання.
3. Сповістити керівника лабораторії і викладача.
4. Негайно покинути приміщення лабораторії.