

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва та архітектури

## **МЕТРОЛОГІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ І ПРИЛАДИ**

Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за  
спеціальністю 174  
«Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка»  
та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Київ 2024

УДК 658.52.011.56

ББК 30ф

Укладачі: В.Ю. Луценко, канд. техн. наук, доцент;  
С.В. Іносов, канд. техн. наук, доцент;  
М.В. Волчков, асистент

Рецензент Л.І. Мазуренко, доктор техн. наук., професор, зав. каф.  
електротехніки та електроприводу КНУБА

Відповідальний за випуск А.В. Запривода, канд. техн. наук, завідувач  
кафедри АТП

Затверджено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів,  
протокол № від грудня 2023 року.

В авторській редакції.

**Метрологія**, технологічні вимірювання і прилади: методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / уклад.: Луценко В.Ю., Іносов С.В., Волчков М.В. – Київ: КНУБА, 2024. – 16с.

Розглянуто приклади вирішення практичних питань, що пов'язані з використанням теорії похибок. Значна увага приділяється вирахуванню похибок в конкретних мет-рологічних ситуаціях.

Призначено для студентів спеціальності для студентів спеціальностей  
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

© КНУБА, 2024

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
Робота № 1. Визначення основних статистичних характеристик масиву експериментальних даних.....	4
Робота № 2. Дослідження похибки візуального зчитування даних з лінійної шкали вимірювального приладу .....	5
Робота № 3. Порівняння двох методів оцінки випадкової похибки за результатами контрольної групи еталонних спостережень .....	6
Робота № 4. Оцінка випадкової похибки індивідуального спостереження за результатами контрольної групи еталонних спостережень .....	7
Робота № 5. Аналіз закону розподілу випадкових похибок.....	8
Робота № 6. Зменшення випадкової похибки вимірювання за рахунок осереднення результатів декількох спостережень. ....	9
Робота № 7. Складова випадкової помилки, що усувається осередненням і неусувний залишок, їх порівняння.....	10
Робота № 8. Порогова помилка типу “Зона нечутливості” .....	12
Робота № 9. Порогова помилка типу “Обмеження розрядності” .....	12
Робота № 10. Накопичування корельованих і некорельованих похибок.....	13
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	15

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Практичні роботи з курсу “Метрологія і технологічні вимірювання і прилади” виконуються з допомогою комп’ютерів. Для виконання робіт використовуються електронні таблиці EXCEL з офісного пакету Microsoft Office в операційному середовищі Windows. В залежності від наявної кількості комп’ютерів і індивідуальних можливостей студентів, чисельність бригад та обсяг самостійної роботи можуть широко варіюватися (від повністю самостійної реалізації алгоритму до простого використання готової програми).

Вихідні дані можуть бути видані за варіантами на бригади студентів, або індивідуально.

Деякі роботи можуть видаватися як домашнє індивідуальне завдання для самостійної обробки даних. Наведений перелік робіт слід розглядати як базовий, бо він може оперативно поповнюватися аналогічними роботами. Зміст робіт викладено досить стисло, враховуючи те, що студенти прослухали необхідні пояснення на лекціях і мають відповідний матеріал в конспектах. Роботи якраз і розраховані на практичну ілюстрацію лекційного матеріалу. Якщо ж, незважаючи на це, будь який пункт завдання здається незрозумілим, треба звернутися за поясненням до викладача, що проводить заняття.

Результати виконаних робіт оформлюються і здаються в письмовій формі. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовки роботи, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки. Як правило, звіт оформлюється під час заняття на окремому аркуші паперу.

## Робота № 1.

### Визначення основних статистичних характеристик масиву експериментальних даних

1. Виконати 15 – 25 індивідуальних вимірів (спостережень) однорідної фізичної величини. Наприклад, виміряти опори резисторів з контрольної групи резисторів одного номіналу. Точність вимірювання повинна бути достатньою для надійного виявлення варіації результатів спостережень.
2. Запустити електронні таблиці EXCEL.
3. Ввести результати спостережень в електронну таблицю в два стовпчики (номер по порядку, результат спостереження).
4. Для введеного масиву даних в окремих комірках, користуючись відповідними стандартними функціями, вирахувати: мінімальне значення, 10% персентайл, нижній квартіль, медіану, верхній квартіль, 90% персентайл, максимальне значення, середнє значення, середньоквадратичне відхилення.
5. Побудувати графік інтегрального (кумулятивного) розподілу даних. Для цього відсортувати дані в порядку їх зростання і побудувати графік залежності номера по порядку (функція) від значення даних (аргумент).
6. На той самий графік нанести теоретичну криву кумулятивного нормального розподілу даних з таким самим середнім значенням і середньоквадратичним відхиленням, як і для експериментального масиву даних. Для цього теоретичні значення вирахувати в третьому стовпчику за допомогою стандартної формули нормального розподілу вірогідностей, помноживши її на кількість спостережень. В якості аргументу використати експериментальні значення, в якості параметрів використати експериментальне середнє значення і експериментальне середньоквадратичне відхилення. Третьому параметру присвоїти значення ІСТИНА (вибір формули кумулятивного розподілу). Теоретичні значення за фізичним змістом це вирахований за формулою номер по порядку, який може бути не обов'язково цілим числом. Теоретичний графік – це залежність одержаних теоретичних значень номеру від експериментальних даних.
7. Зробити висновок про відповідність даних нормальному розподілу в межах точності аналізу. Пояснити причини такої відповідності, спираючись на центральну граничну теорему.
8. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

## Робота № 2.

### Дослідження похибки візуального зчитування даних з лінійної шкали вимірювального приладу

1. Запустити електронні таблиці EXCEL.
2. Завантажити файл SCALE.XLS і відкрити лист SCALE.
3. Кожному студентові індивідуально виконати наступні пункти.
4. Візуально зчитати результат вимірювання з шкали в %.
5. Ввести результат в зелену комірку, помічену як “Take a reading and enter here”.
6. Повторювати останні два доки замість червоного попередження “There were crude errors in the data. Go on measuring!” не з’явиться “Data are correct”. Для цього треба підряд виконати не менше 25 правильних зчитувань, без грубих помилок.
7. Переключитися на аркуш Calibration table.
8. Переписати в зошит середню похибку (Mean Error), максимальну і мінімальну похибку (Maximum Error, Minimum Error), середньоквадратичну похибку (Standard Deviation).
9. Змалювати діаграму розкиду похибок (Scatter Diagram).
10. Переключитися на аркуш Ogive
11. Змалювати інтегральний (кумулятивний) графік розподілу похибок (Ogive) з експериментальними точками (Experiment) і теоретичною нормальною апроксимуючою кривою (Normal).
12. Зробити висновки:
  - а) Моя персональна систематична (середня) похибка візуального зчитування складає ..... %. В результат кожного вимірювання я повинен вносити персональну поправку ..... %.
  - б) Моя персональна середньоквадратична похибка візуального зчитування складає ..... %.
  - в) Мої персональні похибки візуального зчитування підкоряються (або не підкоряються) нормальному закону розподілу вірогідностей в межах точності аналізу. Причиною цього я вважаю .....
13. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

### Робота № 3.

#### Порівняння двох методів оцінки випадкової похибки за результатами контрольної групи еталонних спостережень

1. Переписати вступ: Для визначення максимальної випадкової похибки нового приладу або методу вимірювання виконуються 15 – 20 контрольних спостережень (індивідуальних вимірювань) еталонних величин. Похибки реєструються. Потім можливі два методи обробки експериментальних даних: а) визначити середнє значення масиву даних в якості результату вимірювання і визначити максимальне відхилення від нього за абсолютною величиною. Останній результат взяти в якості максимальної випадкової похибки приладу  $\Delta$ , б) визначити середньоквадратичне відхилення масиву даних  $\sigma$  і в якості максимальної похибки  $\Delta$  взяти  $2\sigma$ . Обидва результати слід вважати випадковими, бо в контрольних групах результати будуть іншими.
2. Записати ціль роботи: а) Визначити, який з вказаних методів кращий за стабільністю результатів, б) Визначити, чому множник (квантіль) береться рівним 2.
3. Запустити електронні таблиці EXCEL.
4. Завантажити файл Two sigma.xls де моделюється процедура вимірювання.
5. Відкрити аркуш Max error stability
6. В комірку Quantile Q ввести значення квантіля  $Q=3$
7. Переписати формули, за якими вираховуються обидві оцінки похибки у відповідних комірках.
8. Одержати серію контрольних реалізацій експериментальних спостережень, натискаючи на клавішу F9, кожний раз порівнюючи оцінки похибки за вказаними двома критеріями на діаграмі.
9. Записати висновок: при  $Q=3$  критерій  $2\sigma$  дає в середньому завищену оцінку максимальної похибки.
10. Повторити попередні три пункти з новим значенням квантіля  $Q=2$
11. Записати висновок: При  $Q=2$  обидві оцінки максимальної похибки групуються біля одного середнього значення, що в даному випадку дорівнює ..... %. Тобто  $2\sigma$  це незміщена середня оцінка максимального відхилення для групи з 15 – 20 спостережень.
12. Переключитися на аркуш Data Log, де реєструються оцінки похибок контрольних реалізацій.
13. Натиснути на клавішу F9 не менше 40 разів, щоб набрати статистику контрольних оцінок.
14. Змалювати діаграму розкиду контрольних оцінок.

15. Записати висновок: Оцінка максимальної похибки через  $2\sigma$  має менше випадкове відхилення, ніж оцінка через максимальне відхилення в контрольній групі спостережень. В даному прикладі середня оцінка максимальної похибки дорівнює ..... % Розкид результату відносно середньої оцінки на  $\pm$  .....%.

16. Записати загальний висновок: Непрямий метод оцінки максимальної похибки через  $2\sigma$  є більш надійним, ніж пряма оцінка через максимальне відхилення в контрольній групі спостережень. Але навіть він не дозволяє оцінити похибку точніше, ніж  $\pm 1/3$  за даними типової контрольної групи з 15 – 20 спостережень.

17. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

#### **Робота № 4.**

##### **Оцінка випадкової похибки індивідуального спостереження за результатами контрольної групи еталонних спостережень**

1. Переписати вступ: Для визначення максимальної випадкової похибки нового приладу або методу вимірювання виконуються 15 – 25 контрольних спостережень (індивідуальних вимірювань) еталонних величин. Похибки реєструються. Максимальна випадкова похибка приладу  $\Delta$  оцінюється за формулою:  $\Delta = Q \cdot \sigma$ , де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення контрольних спостережень,  $Q$  – квантіль (коефіцієнт запасу), що вибирається в діапазоні 2 – 3. При наступних технологічних вимірюваннях одержана максимальна похибка  $\Delta$  вважається характеристикою приладу (константою), а результат будь-якого вимірювання записується так: (результат) = (показання приладу)  $\pm \Delta$  (вважається, що систематична похибка скомпенсована).

2. Переписати ціль роботи: Визначити вірогідність того, що дійсне значення вимірюваної величини вийде за вираховані межі  $\pm \Delta$

3. Запустити електронні таблиці EXCEL.

4. Завантажити файл Observation Error Evaluation.xls, де моделюється процес вимірювання.

5. В комірку Quantile  $Q$  ввести значення квантіля  $Q=2$

6. Кожному студенту індивідуально одержати нову контрольну реалізацію експериментальних спостережень, натискаючи на клавішу F9. Змалювати діаграму результатів. Червоними точками показані перші контрольні спостереження, за якими вираховується похибка  $\Delta$ . Синіми точками показані наступні технологічні спостереження. Для останніх на діаграмі відмічена оцінка діапазону похибки  $\pm \Delta$ .



7. Переписати формулу, за якою вираховується оцінка похибки у комірці Error evaluation.
8. Кожному студенту індивідуально підрахувати і записати, скільки разів точне значення вимірюваної величини (100%) вийшло за межі діапазону  $\pm \Delta$ . Наприклад, 2 рази з 50.
9. Всім присутнім студентам об'єднати свої результати і вирахувати середню вірогідність того, що фактична похибка індивідуального технологічного спостереження перевищить вираховану межу  $\Delta$ .
10. Записати висновок: Якщо при розрахунку максимальної похибки прийняти  $Q = 2$ , то вірогідність того, що в результаті індивідуального технологічного спостереження дійсне значення вимірюваної величини вийде за вираховані межі  $\pm \Delta$ , складає приблизно ..... %.
11. Повторити останні 5 пунктів при  $Q=3$ .
12. Записати висновок: Якщо прийняти  $Q = 3$ , то реальна похибка майже ніколи не перевищить вирахованої межі.
13. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

### **Робота № 5.**

#### **Аналіз закону розподілу випадкових похибок**

1. Переписати вступ: Всі формули і результати теорії похибок базуються на гіпотезі нормального розподілу випадкових похибок. Якщо в конкретному випадку є підозра, що розподіл відрізняється від нормального (наприклад, переважає похибка заокруглення даних, що має рівномірний розподіл), виникають такі питання: а) чи треба коректувати розрахункові формули; б) чи можна взагалі виявити відхилення реального розподілу від нормального за результатами типової для метрології контрольної групи з 15 – 25 спостережень.
2. Запустити електронні таблиці EXCEL.
3. Завантажити файл Distribution recognition.xls
4. Наступні три пункти повторити для двох варіантів розподілу даних: а) нормальний розподіл (введіть “true” в комірку experimental distribution); б) рівномірний розподіл (введіть “false” в комірку experimental distribution).
5. Змалювати кумулятивний (інтегральний) графік розподілу експериментальних даних (сині точки) і апроксимуючої нормальної кривої (червона лінія) для даної реалізації. Записати середнє значення: Average = .... і середньоквадратичне відхилення: Standard deviation = .....

6. Натиснути на клавішу F9 не менше 20 разів, щоб набрати статистику реалізацій контрольних груп даних.
7. Записати середнє значення середньоквадратичних розходжень між експериментальними даними і теоретичною нормальною кривою по всіх реалізаціях: Average discrepancy = ....
8. Порівняти вказані розходження для нормального і рівномірного розподілу даних. Звернути увагу що вони приблизно однакові.
9. Записати висновок: Дані з рівномірним розподілом мають стільки ж шансів бути прийнятим за нормальні, як і дані з дійсно нормальним розподілом, за результатами аналізу типової для метрології контрольної групи з 15 – 25 спостережень.
10. Записати загальний висновок: а) Аналіз закону розподілу реальних випадкових похибок неможливий при ручному вимірюванні, коли кількість спостережень обмежена; б) За виключенням особливих випадків, випадкові похибки слід вважати розподіленими нормально; в) Навіть значні відхилення від нормальності розподілу непомітні в реальному експерименті і не впливають суттєво на результати розрахунку похибок.
11. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

### **Робота № 6.**

#### **Зменшення випадкової похибки вимірювання за рахунок осереднення результатів декількох спостережень.**

1. Переписати вступ: Для зменшення випадкової похибки виконуються 15 – 25 спостережень вимірюваної величини. Результати спостережень (індивідуальних вимірювань) реєструються. Вираховується їх середнє значення. Це і буде результат вимірювання. Похибка середнього буде менша, ніж похибка самих даних в  $\sqrt{n}$  разів, де  $n$  – кількість спостережень. Ця похибка оцінюється за формулою:  $\Delta = Q \cdot \sigma / \sqrt{n}$ , де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення даних спостережень,  $Q$  – квантіль, що вибирається в діапазоні 2 – 3. Сказане відноситься тільки до некорельованих (незалежних) центрованих випадкових похибок.
2. Переписати ціль роботи: Визначити вірогідність того, що дійсне значення результату виміру вийде за вираховані межі  $\pm \Delta$ .
3. Запустити електронні таблиці EXCEL
4. Завантажити файл Random error averaging.xls, де моделюється процедура вимірювання.
5. В комірку Quantile  $Q$  ввести значення квантіля  $Q=2$

6. Кожному студенту індивідуально одержати нову контрольну реалізацію експериментальних спостережень, натискаючи на клавішу F9. Змалювати діаграму результатів. Синіми точками показані результати спостережень. Синя лінія показує, як змінюється результат осереднення в залежності від кількості спостережень  $n$ , що осереднюються. Навколо останньої на діаграмі відмічена оцінка діапазону похибки  $\pm \Delta$ , що зменшується пропорційно  $\sqrt{n}$ .

7. Переписати формули, за якими вираховується результат вимірювання в стовпчику Average і оцінюється похибка в стовпчику Error estimation для типового випадку, коли  $n = 25$ . Переписати значення результату вимірювання і оцінки похибки для конкретної реалізації.

8. Переключитися на аркуш DataLog, де реєструються результати попереднього пункту для останніх 50 реалізацій. Наступні два пункти виконуються кожним студентом індивідуально.

9. Натиснути на клавішу F9 не менше 50 разів, щоб одержати нові статистичні дані.

10. Кожному студенту індивідуально підрахувати і записати, скільки разів точне значення вимірюваної величини (100%) вийшло за межі діапазону  $\pm \Delta$ . Наприклад, 2 рази з 50.

11. Всім присутнім студентам об'єднати свої результати і вирахувати середню вірогідність того, що фактична похибка конкретного вимірювання перевищить вираховану межу  $\Delta$ .

12. Записати висновок: Якщо при розрахунку похибки прийняти  $Q = 2$ , то вірогідність того, що в конкретному вимірюванні дійсне значення вимірюваної величини вийде за вираховані межі  $\pm \Delta$ , складає приблизно ..... %.

13. Повторити пункти 5, 8 – 11 при  $Q = 3$ .

14. Записати висновок: Якщо прийняти  $Q = 3$ , то реальна похибка майже ніколи не перевищить вирахованої межі.

15. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

### **Робота № 7.**

#### **Складова випадкової помилки, що усувається осередненням і неусувний залишок, їх порівняння.**

1. Переписати вступ: Результат осереднення результатів спостережень наближується до певної межі по мірі збільшення кількості спостережень. Але ця межа може не співпадати з точним значенням вимірюваної величини.

Цей залишок неможливо зменшити осередненням спостережень. Якщо ж цей залишок ще й випадково змінюється для контрольних груп спостережень, то його неможливо усунути поправкою, як систематичну похибку. Така складова випадкової помилки принципово не може бути усунута обробкою даних.

2. Переписати ціль роботи: Визначити, як додаються обидві складові випадкової помилки.

3. Запустити електронні таблиці EXCEL.

4. Завантажити файл Unremovable random error.xls, де моделюється процес вимірювання.

5. Кожному студенту індивідуально одержати нову контрольну реалізацію експериментальних спостережень, натискаючи на клавішу F9. Змалювати діаграму результатів. Синіми точками показані результати спостережень. Червона лінія показує, як змінюється результат осереднення в залежності від кількості спостережень  $n$ , що осереднюються.

6. Змалювати сімейство графіків осереднення декількох реалізацій для трьох варіантів:

Варіант	Unremovable random error – випадкова похибка, що не усувається осередненням	Removable random error – випадкова похибка, що усувається осередненням
1	1%	0%
2	0%	1%
3	1%	1%

7. Для третього варіанту вирахувати загальну помилку від обох складових. Для цього натискати клавішу F9, доки лічильник Measurements counter не перейде через нуль. Після цього натискати клавішу F9 сорок разів, щоб набрати статистичні дані по реалізаціях. Загальна помилка буде автоматично вирахована в комірці Total error.

8. Записати висновок: У випадку, коли обидві складові випадкової похибки однакові і дорівнюють 1%, загальна випадкова похибка буде .....%.

9. Записати загальні висновки: а) Обидві складові випадкової помилки додаються геометрично. Загальна помилка вираховується як корінь квадратний із суми квадратів складових; б) Для типового варіанту, коли обидві складові однакові, загальна похибка буде в  $\sqrt{2}$  рази більша, ніж окремі складові; в) Для типового варіанту осереднення результатів спостережень не може підвищити точність більше, ніж в 1.4 рази; г) Для типового варіанту немає сенсу усереднювати більше, ніж 3 – 4 спостереження, бо це не призведе до підвищення точності виміру.

10. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

### **Робота № 8.**

#### **Порогова помилка типу “Зона нечутливості”**

1. Переписати вступ: Порогові помилки – це нелінійні явища, які зводяться до того, що на малі відхилення вимірюваної величини прилад зовсім не реагує. Типовий варіант – похибка типу “Зона нечутливості” або “Мертва зона”. Приклад фізичної реалізації – тертя в підшипниках стрілки приладу або зазор в механічній передачі від первинного перетворювача до індикатора.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.

3. Завантажити файл Dead zone.xls, в якому моделюється процес вимірювання.

4. Наступні два пункти повторити для трьох варіантів: Dead zone = 0%, 3%, 5%.

5. Натиснувши на клавішу F9 стежити за динамікою зміни вимірюваної величини Input і показань приладу Output.

6. Змалювати графік траєкторії відображуючої точки в фазових координатах Input/Output.

7. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки.

### **Робота № 9.**

#### **Порогова помилка типу “Обмеження розрядності”**

1. Переписати вступ: Порогові помилки – це нелінійні явища, які зводяться до того, що на малі відхилення вимірюваної величини прилад зовсім не реагує. Типовий варіант – похибка типу “Обмеження розрядності”. Приклад фізичної реалізації – введення результату вимірювання неперервної величини в комп’ютер через аналого-цифровий перетворювач з обмеженою кількістю розрядів.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.

3. Завантажити файл Coding.xls, в якому моделюється процес вимірювання.

4. Натиснувши на клавішу F9 стежити за динамікою зміни вимірюваної величини Input і показань приладу Output.

5. Змалювати графік траєкторії відображуючої точки в фазових координатах Input/Output.

6. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, графік.

### **Робота № 10.**

#### **Накопичування корельованих і некорельованих похибок.**

1. Переписати вступ: На місцевості треба відкласти відстань 1000 м, користуючись мірною сталюю стрічкою довжиною 20 м. Для цього проводяться 50 послідовних вимірювань з проміжними кілочками. При одиночному вимірюванні випадкова похибка орієнтовно складає  $\pm 1$  см. Температурна похибка, зв'язана з залежністю довжини стрічки від температури ( $\pm 20$  °C), ніхтовно менша ( $\pm 0.5$  см). Але випадкова похибка некорельована (незалежна) і теоретично накопичується пропорційно  $\sqrt{n}$ , де  $n$  – кількість вимірювань (бо похибки частково компенсують одна одну). Температурна ж похибка корельована, і накопичується пропорційно  $n$ . Тому на всій відстані температурна похибка ( $\pm 0.5 \cdot 50 = \pm 25$  см) буде переважати випадкову ( $\pm 1 \cdot \sqrt{50} = \pm 7$  см). Якщо температура реєструється, то температурна похибка може бути скомпенсована відповідною поправкою. В цьому випадку вона вважається систематичною, а не випадковою.

2. Переписати ціль роботи: а) На статистичній моделі перевірити теоретичні положення; б) Визначити залежність температурної поправки від температури.

3. Запустити електронні таблиці EXCEL.

4. Завантажити файл Measuring tape.xls, в якому моделюється процес вимірювання.

5. Встановити номінальне значення температури 20 °C в комірці Temperature і нульову корекцію в комірці Correction.

6. Натискати на клавішу F9, доки лічильник числа реалізацій не покаже 25.

7. Змалювати графік накопичування випадкових похибок Error в см з відстанню Distance в м. Червона лінія – це похибки конкретної реалізації. Чорні лінії – це теоретичний діапазон  $\pm\sqrt{n}$ . Сині лінії – це верхня і нижня границі похибок серед 25 реалізацій.

8. Записати висновок: Максимальне і мінімальне значення випадкової похибки на відстані 1000 серед 25 реалізації складають ... і ... см. Це узгоджується (не узгоджується) в межах точності експерименту з розрахунковим інтервалом  $\pm 7$  см.

9. Встановити значення температури Temperature = 0 °C і підібрати і записати значення корекції (Correction for temperature) в см/км таке, щоб в

середньому для 25 реалізацій компенсувати лінійне накопичування температурних похибок з відстанню.

10. Повторити попередній пункт для значень температур  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , записуючи підібрані значення корекції.

11. Намалювати графік залежності корекції в см/км від температури в  $^{\circ}\text{C}$  в діапазоні температур від  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

12. Переписати формулу врахування температурної поправки з будь-якої комірки в стовпчику даних Corrected.

13. Записати загальний висновок: а) Некорельована випадкова похибка накопичується пропорційно кореню з відстані. б) Корельована температурна похибка накопичується пропорційно відстані; в) Температурна похибка може бути скомпенсована поправкою, що залежить від температури.

14. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шикалов В.С. Технологічні вимірювання : навчальний посібник. –Київ : Кондор, 2007.–168 с.
2. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: Навч. посіб. – 3-е вид., - К.: Знання, 2006 – 242 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
3. Кульбовський І.І. Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка в системах та мережах: Методичні вказівки до самостійного виконання самостійної роботи для студентів денної форми навчання: К.: ДУІТ.2018. 15с.
4. Величко О.М., Кучерук В.Ю. та ін.. Основи стандартизації та сертифікації. Підручник для студентів вищ. навч. закл. / О.М. Величко, В.Ю. Кучерук, Т.Б. Гордієнко, В.М. Севастьянов: за заг. ред. О.М. Величка. – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 364 с.
5. Тарасова В.В., Малиновський А.С., Рибак М.Ф. Метрологія, стандартизація і сертифікація. Підручник /За заг. ред. В.В.Тарасової. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 264 с.
6. Дорожавец М. Основи метрології та вимірювальної техніки Т.1 / М. Дорожавец , В. Мотало, Б. Стадник та інш. – М. : Індрик, 2005.-532с
7. А.М. Гуржій, Н.І. Поворознюк „Електричні і радіотехнічні вимірювання” Київ, Навчальна книга, 2002. - 287 с.