

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра (автоматизації, метрології та енергоефективних технологій)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

«Зменшення систематичної похибки цифрового вольтметра шляхом введення
поправок до показань»
(тематика кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДЕА-Ів23мг,
спеціальності: 175 Інформаційно-вимірювальні
технології

(підпис виконавця кваліфікаційної роботи)

[підпис] / Артем ВОРОЖКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник [підпис] / Віктор ХОМЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент [підпис] / Тетяна ГОНТАР
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри [підпис] / Тетянадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль [підпис] / Світлан КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК [підпис] / Світлан КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
Спеціальність 175 Інформаційно-вимірні технології
Освітньо-професійна програма «Якість, стандартизація та сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри


(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу (дипломну роботу/дипломний проєкт)
другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувачу (ці) вищої освіти Артему ВОРОЖКІНУ
(ім'я, прізвище)

- Тема «Зменшення систематичної похибки цифрового вольтметра шляхом введення поправки до показань»
затверджена наказом по університету № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.
- Термін здачі закінченої роботи «05» грудня 2024 р.
- Вихідні дані до роботи/проєкту: Об'єктом дослідження є один із методів редукції систематична похибка – внесення поправок до результату вимірювання.
- Зміст роботи/проєкту (перелік питань, що їх належить розробити): Визначення та аналіз систематичної похибки, Вивчення та аналіз способів підвищення точності вимірювань, Експериментальне дослідження внесення поправки в показання цифрового вольтметра, Соціальна відповідальність.
- Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Презентація, виконана в програмі Microsoft PowerPoint
- Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
1-4	Віктор ХОМЕНКО			

7. Дата видачі завдання «02» вересня 2024 р.

Керівник роботи


(підпис) Віктор ХОМЕНКО
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання


(підпис) Артем ВОРОЖКІН
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи
(дипломної роботи/дипломного проєкту)

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Потв. керівника навчального закладу
1	Вивчення та аналіз систематичної помилки	12.10.2024-19.10.2024	
2	Вивчення та аналіз способів підвищення точності вимірювань	19.10.2024 – 30.10.2024	
3	Експериментальне дослідження внесення поправки в показання цифрового вольтметра	30.10.2024 – 15.11.2024	
	Соціальна відповідальність	15.11.2024-22.11.2024	
	Оформлення пояснювальної записки та презентації	22.11.2024-30.11.2024	

Здобувач (ка) вищої освіти

(підпис)

Артем ВОРОЖКІН

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Світл. КЛЮЧКА

(ім'я, прізвище)

(підпис)

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему

«Зменшення систематичної похибки цифрового вольтметра шляхом введення поправки до показань»

Артем ВОРОЖКІН

Магістерська робота складається з 54 сторінки, 7 рисунків, 14 таблиць, список літератури містить 22 джерела.

Дослідження зосереджене на зменшенні систематичної похибки цифрового вольтметра шляхом розробки введення поправок до його показань.

У процесі роботи проведено вивчення систематичної похибки, чинників її виникнення та способів компенсації систематичної похибки. Проведено експериментальні дослідження внесення поправки в показання п'яти екземплярів цифрового вольтметра Mastech MY-64. Результати експериментальних досліджень були оброблені методом найменших квадратів для визначення параметрів градуювальних характеристик.

У результаті роботи було підтверджено доцільність введення поправки в показання цифрового вольтметра з метою зменшення систематичної похибки.

Галузь застосування: стандартизація та метрологія, вимірювальна техніка, електроніка, управління якістю.

ПОХИБКА ВИМІРЮВАНЬ, ПОПРАВКА, КОМПЕНСАЦІЯ СИСТЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ, МЕТОД НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ, ГРАДУЮВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

ABSTRACT

for the Master's thesis on the topic

«Reducing the systematic error of a digital voltmeter by introducing a correction to the readings»

Artem VOROZHKIN

The Master's thesis consists of 54 pages, 7 figures, 14 tables, and the reference list contains 22 sources.

The research focuses on reducing the systematic error of a digital voltmeter by developing the introduction of corrections to its readings.

In the process of work, a study of the systematic error, the factors of its occurrence and methods of compensating for the systematic error was carried out. Experimental studies of introducing a correction into the readings of five copies of the Mastech MY-64 digital voltmeter were conducted. The results of the experimental studies were processed by the least squares method to determine the parameters of the calibration characteristics.

As a result of the work, the feasibility of introducing a correction into the readings of a digital voltmeter in order to reduce the systematic error was confirmed.

Field of application: standardization and metrology, measuring equipment, electronics, quality management.

ERROR OF MEASUREMENTS, CORRECTION, COMPENSATION
OF SYSTEMATIC ERROR, METHOD OF LEAST SQUARES, GRADING
CHARACTERISTICS

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

У кваліфікаційній роботі застосовано такі терміни з відповідними визначеннями.

ПОПРАВКА: значення величини, що вводиться в показання з метою виключення систематичної похибки.

РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАННЯ: значення величини, отримане шляхом її вимірювання.

НЕВИПРАВЛЕНИЙ РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАННЯ: середнє арифметичне результатів спостережень до введення поправок з метою усунення систематичних похибок.

ВИПРАВЛЕНИЙ РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАНЬ: результат вимірювання, одержуваний після внесення поправок у не виправлений результат вимірювання.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 СИСТЕМАТИЧНА ПОХИБКА	11
1.1 Групи систематичних похибок	12
Висновок по розділу	13
2 СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ	14
2.1 Загальні способи компенсації систематичної похибки	17
Висновок по розділу	20
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВНЕСЕННЯ ПОПРАВКИ В ПОКАЗАННЯ ЦИФРОВОГО ВОЛЬТМЕТРА	21
3.1 Постановка задачі	21
3.2 Отримання експериментальних даних	22
3.3 Розрахунок параметрів лінійних градуовальних характеристик екземплярів СІ методом найменших квадратів	26
3.4 Введення поправки в результат вимірювання	28
3.5 Розрахунок СКО результату вимірювання та СКО поправки.	29
3.6 Розрахунок імовірності корисного ефекту введення поправки залежно від динамічного діапазону та від температури довкілля середовища.	32
3.7 Аналіз процедури введення поправки стосовно екземплярів СІ одного типу.	34
Висновок по розділу	37
4 СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ	38

4.1 Професійна соціальна безпека	38
4.1.1 Відхилення показників мікроклімату	39
4.1.2 Недостатня освітленість робочої зони	40
4.1.3 Підвищений рівень електромагнітних випромінювань	42
4.1.4 Електробезпека.....	44
4.2 Екологічна безпека.....	45
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	46
4.4 Правові та організаційні питання забезпечення безпеки	48
4.4.1 Ергономічні вимоги до робочого місця	48
4.4.2 Забарвлення і коефіцієнти відбиття	48
4.4.3 Особливості законодавчого регулювання проєктних рішень	49
Висновок по розділу.....	50
ВИСНОВОК	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Розвиток науки і техніки, підвищення вимог до якості продукції та ефективності виробництва спричинили радикальні зміни вимог до вимірювань. Один із головних аспектів цих вимог - забезпечення можливості достатньо достовірної оцінки похибки вимірювань. Відсутність даних про точність вимірювань або недостатньо достовірні її оцінки повністю або більшою мірою знецінюють інформацію про властивості та характеристики об'єктів, якість продукції, про ефективність технологічних процесів тощо, одержувану в результаті вимірювань.

Недостовірна оцінка похибки результату вимірювань тягне за собою економічні втрати, а іноді й технічні несправності. Прагнення звести похибку до мінімуму - одна з характерних тенденцій розвитку практичної метрології. Ця тенденція відіграє найбільшу роль там, де необхідна точність вимірювань наближається до точності, яку можуть забезпечувати зразкові СВ (еталони).

Метою даної роботи є аналіз введення поправки в показання цифрових засобів вимірювань і проведення експериментальних досліджень для підтвердження доцільності корекції результатів вимірювань цифрового вольтметра.

Завдання дослідження.

1. Вивчити систематичну похибку і чинників її виникнення.
2. Проаналізувати способи підвищення точності вимірювань, а також загальні способи компенсації систематичної похибки.

3. Провести експериментальні дослідження внесення поправки до показань п'яти екземплярів цифрового вольтметра Mastech MY-64.

Об'єктом дослідження є один із способів зменшення систематичної похибки – запровадження поправок у результат виміру.

Методи дослідження. Для досягнення сформульованої мети та завдань використано комплекс взаємодоповнюючих методів дослідження: – теоретичні методи включають аналіз наукової, технічної та методичної літератури з досліджуваної теми та суміжних галузей для вивчення концептуальних положень, базових понять і категорій дослідження; аналіз стану машинобудівної промисловості; а також узагальнення, абстрагування, класифікацію та проєктування з метою забезпечення та підтримки необхідного рівня якості виробів.

Новизна отриманих результатів та їх теоретичне значення полягає в уточненні та конкретизації теоретичних і експериментальних положень у машинобудівній промисловості. Окрім того, було розвинуто концепції щодо забезпечення та підтримання необхідного рівня якості виробів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що проведений аналіз та узагальнення даних про брак за попередні два роки дозволили зробити висновки щодо якості продукції, що випускається, та розробити рекомендації для її покращення.

1 СИСТЕМАТИЧНА ПОХИБКА

Похибка результату вимірювання - різниця між результатом вимірювання величини та дійсним (опорним) значенням величини.

Систематична похибка результату вимірювання - складова похибки вимірювання, що залишається постійною або закономірно змінюється під час повторних вимірів однієї й тієї самої величини, проведених з однаковою ретельністю.

Систематичні похибки не залежать від збільшення числа вимірювань, оскільки згідно з визначенням залишаються постійними або змінюються закономірно в процесі вимірювання. Систематичні похибки можуть бути виявлені на основі теоретичних оцінок результатів, шляхом порівняння результатів, отриманих різними методами, на різних приладах. Є можливості визначити систематичні похибки шляхом ретельного дослідження ЗВ або методу вимірювань шляхом побудови залежності результатів від будь-якого змінного параметра, наприклад, кліматичних умов, часу, електромагнітних полів, напруги живлення тощо. У низці випадків необхідно виконати об'ємну дослідницьку роботу для виявлення умов, що створюють систематичні похибки і, відповідно, представити або графік, або таблицю поправок, або визначити аналітичну залежність систематичної похибки від цього параметра.

Результат вимірювання залежить від кількох чинників, кожен з яких спричиняє певну систематичну похибку. У цьому разі виявлення аналітичного виду похибки значно ускладнюється, доводиться проводити трудомісткі ретельні дослідження, які не завжди приводять до бажаного

результату. Проте невиявлена систематична похибка небезпечніша за випадкову, оскільки випадкова може бути зведена до мінімуму відповідною методикою вимірювання, а систематична невиявлена похибка може призвести до грубої помилки результату вимірювання.

Особливу категорію систематичних похибок становлять неточно виміряні фізичні та фундаментальні константи, що використовуються під час вимірювання. Те ж саме стосується неточностей у стандартних довідкових даних, або до неточної атестації стандартних зразків. Поява більш точних довідкових даних вимагає перерахунку всіх результатів вимірювань з їх використанням, або переградування шкал СІ. [1]

1.1 Групи систематичних похибок

Розглянемо групи систематичних похибок, які відрізняються між собою причиною виникнення. В основному розрізняють такі 4 групи:

1) інструментальні похибки, пов'язані з недопрацюванням конструкції приладу або неправильною технологією його виготовлення.

2) похибки зовнішніх впливів. Досить часто у вимірювальній практиці доводиться мати справу з впливом кліматичних умов - температури, вологості, тиску. Крім того, найпоширенішим джерелом такого роду похибок є вплив зовнішніх електромагнітних полів і нестійкість напруги в мережі живлення вимірювальних приладів.

3) похибки методу вимірювання. Такий вид похибки може бути пов'язаний як із недостовірними знаннями про властивості об'єкта

вимірювання, так і з однаковим впливом різних чинників на датчик вимірювального приладу.

4) суб'єктивні похибки, пов'язані або з неуважністю оператора, або з низькою кваліфікацією персоналу, що обслуговує прилад. Найбільше значення цей вид похибки має під час використання приладів із візуальним відліком, до них можна віднести стрілочні електровимірювальні прилади. Значна частина промахів також може бути пов'язана із суб'єктивними похибками.

Висновок по розділу

У першому розділі було проведено вивчення систематичної похибки, а також факторів її виникнення. Розглянуто та проаналізовано чотири групи систематичних похибок.

2 СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Підвищення точності вимірювань є одним із головних резервів підвищення якості продукції та ефективності виробництва. Завдання підвищення точності вимірювань вирішують таким алгоритмом.

На початковому етапі аналізують вимірювальні завдання і ті цілі, для яких використовують РІ, а також усю сукупність умов, що впливають на точність вимірювань. Цей аналіз проводять для застосовуваної методики виконання вимірювань, точність якої визнано незадовільною через можливі значні несприятливі наслідки, зумовлені похибкою вимірювань.

Спосіб підвищення точності вимірювань обирають тільки після виявлення та оцінювання окремих складових похибки вимірювань і визначення домінуючих складових похибки. При цьому враховуються не тільки інструментальні, а й методичні та суб'єктивні складові похибки вимірювань, а також систематичний і випадковий характер усіх складових похибки вимірювань.

Основними способами підвищення точності вимірювань є такі способи:

- 1) заміна менш точного засобу вимірювань на більш точний (придбання або розробка спеціальних засобів вимірювань);

Такий спосіб підвищення точності вимірювань дає більший ефект за домінуючих інструментальних складових похибки вимірювань.

Цей спосіб доступний не у всіх випадках. Можливості вибору більш точних засобів вимірювань часто дуже обмежені. Зазвичай такі обмеження пов'язані з умовами, в яких експлуатуються засоби

вимірювань. Також беруть до уваги те, що підвищення точності вимірювань тягне за собою збільшення вартості цих засобів вимірювань.

2) обмеження умов застосування засобів вимірювань;

Цей спосіб підвищення точності вимірювань має сенс, коли домінують додаткові похибки засобів вимірювань, що викликані значними відхиленнями дійсних значень зовнішніх впливових величин від нормальних. Для більшості засобів вимірювань виявлено суттєві складові похибки за досить великих відхилень дійсних значень від нормальних значень температури довкілля, діючих вібрацій, параметрів живлення або інших впливових величин, що проявляються у виробничих умовах.

У таких випадках вживають відповідних заходів, які знижують вплив на похибку вимірювань істотних зовнішніх впливових величин (установлення спеціальних екранів для захисту від впливу електромагнітних полів, кондиціонерів у приміщенні, стабілізаторів напруги живильної мережі, амортизаторів для зниження вібраційних впливів та ін.).

3) індивідуальне градуювання засобу вимірювань;

Цей спосіб підвищення точності вимірювань ефективний, коли домінують систематичні складові похибки засобів вимірювань. Наприклад, для термометрів опору і термопар систематична складова похибки за вузького діапазону вимірюваних температур домінує і залишається майже незмінною протягом тривалого часу (кількох місяців). Ця похибка може бути значно знижена шляхом введення в результати вимірювань поправок, отриманих під час індивідуального градуювання.

4) виконання багаторазових спостережень із подальшим усередненням їхніх результатів;

Цей спосіб ефективний у разі домінування випадкової складової похибки вимірювань.

Відомо, що випадкова складова похибки вимірювань середнього значення менша за випадкову складову похибки вимірювань поточних значень. Для підвищення точності вимірювань поточних значень необхідно, щоб усереднення не призводило до суттєвого згладжування інформації про процес зміни вимірюваної величини. Застосування цього способу можливе, якщо протягом інтервалу часу усереднення не відбувається помітної зміни поточних значень вимірюваної величини і водночас протягом цього ж інтервалу суттєво змінюється похибка вимірювань поточних значень.

5) автоматизація вимірювальних процедур;

Такий захід, крім зниження трудомісткості вимірювань, сприяє виключенню суб'єктивних похибок, що виникають під час опрацювання діаграм, обчислення проміжних і кінцевих результатів вимірювань, приготування проб для аналізів та інших операціях, які виконує людина.

6) розроблення або вдосконалення методик виконання вимірювань;

Якщо домінують методичні складові похибки вимірювань, то цей спосіб підвищення точності вимірювань є єдино ефективним.

За істотної методичної похибки вимірювань середніх або інтегральних значень, зумовленої обмеженням числом "точок" вимірювань або відхиленнями дійсних значень від номінальних значень невимірюваних величин, що входять до функції у вигляді констант,

відповідне вдосконалення методики виконання вимірювань дає помітний ефект у підвищенні точності вимірювань. Методики виконання вимірювань можуть бути вдосконалені зміною алгоритму обробки результатів вимірювань.

2.1 Загальні способи компенсації систематичної похибки

Існує ціла низка способів, застосовних до систематичних похибок.

Розглянемо ці способи.

1) Отримання апріорної інформації про похибки і введення відповідних поправок у результат вимірювання.

Поправку визначають експериментально під час перевірки або в результаті досліджень. Введення поправки, знайденої з деякою обмеженою точністю, усуває тільки одну, цілком визначену систематичну похибку. Найчастіше в результат вимірювань необхідно вносити кілька поправок, що призводить до зростання його дисперсії.

Дійсно, під час виправлення результату y , шляхом введення поправки q за формулою (2.1)

$$y_{\text{випр}} = y - q \quad (2.1)$$

дисперсія $y_{\text{випр}}$ дорівнюватиме сумі дисперсій y і q , тобто

$$S(y)_{\text{випр}}^2 = S(y)^2 + S(q)^2, \quad (2.2)$$

звідки

$$S(y_{\text{випр}}) = \sqrt{S(y)^2 + S(q)^2}. \quad (2.3)$$

Максимальна довірна межа похибки результату вимірювання до введення поправки визначається за формулою

$$\Delta_{\text{невипр}} = \Delta_c \pm t_p S(y), \quad (2.4)$$

де t_p - коефіцієнт Стюдента при числі заданих числі вимірювань n і довірчій ймовірності p_d .

Максимальна довірна межа похибки результату вимірювання після введення поправки визначається за формулою

$$\Delta_{\text{испр}} = \Delta_c - q \pm t_p \sqrt{S(y)^2 + S(q)^2}. \quad (2.5)$$

Поправку доцільно вводити доти, доки $\Delta_{\text{испр}} > \Delta_{\text{невипр}}$, тобто

$$\Delta_c - q \pm t_p \sqrt{S(y)^2 + S(q)^2} > \Delta_c \pm t_p S(y). \quad (2.6)$$

Звідси

$$q > q_{\text{гр}} = t_p S(y) \left(\sqrt{1 + \frac{S(q)^2}{S(y)^2}} - 1 \right) \quad (2.7)$$

При малих співвідношеннях $S(q)/S(y)$, застосовуючи розкладання радикала в ряд

$$\sqrt{1 + \alpha^2} \approx 1 + \frac{\alpha^2}{2}, \quad (2.8)$$

отримаємо $q > 0,5 * S(q)^2 / S(y)^2$. Із цієї нерівності видно, що якщо оцінка середнього квадратичного відхилення поправки $S(q) \rightarrow 0$, то поправку має сенс вводити завжди.

2) Визначення поправочних формул і кривих, що відображають вплив на результат вимірювання умов вимірювання (температури довкілля T , тиску P , амплітуди U і частоти f живильної напруги тощо).

$$X = X_{\text{изм}} + f_1(T) + f_2(P) + f_3(U) + f_4(f) + \dots \quad (2.9)$$

За лінійного зв'язку умов вимірювання з його результатом вираз (2.9) записується через коефіцієнти впливу

$$X = X_{\text{изм}} + k_1 T + k_2 P + k_3 U + k_4 f + \dots, \quad (2.10)$$

3) Виключення джерела похибки.

Ретельне встановлення апаратури (юстування), видалення джерел випромінювання шляхом екранування, стабілізація напруги живлення, зменшення впливу механічних впливів (вібрацій, трясіння), обмеження

температурних коливань (шляхом розміщення в термостаті), усунення особистих похибок.

Висновок по розділу

У другому розділі висвітлено методи покращення точності вимірювань та обговорено основні підходи до компенсації систематичних похибок, що сприяє підвищенню надійності результатів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВНЕСЕННЯ ПОПРАВКИ В ПОКАЗАННЯ ЦИФРОВОГО ВОЛЬТМЕТРА

3.1 Постановка задачі

Однією з найважливіших у діяльності метрологів є завдання передання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів робочим СІ. Під час передання розмірів одиниць дедалі більшого поширення набуває спосіб градуювання, під час якого не просто контролюють відповідність похибок СІ, що повіряється, встановленим нормам, а визначають значення повірних мір, поправки до показань приладів або будують градуювальні характеристики СІ. Цей метод дає мінімальну втрату точності при передачі розмірів одиниць.

Наразі в стандартах ухвалено детермінований підхід до нормування й оцінювання *похибок електровимірювальних приладів*.

Але з підвищенням точності електровимірювальних приладів, з появою приладів, що працюють на нових принципах, зі створенням вимірювальних систем перспективним є ймовірнісний підхід до нормування й оцінки похибок. Похибки СІ в загальному випадку розглядаються як випадкові величини, а тому під час нормування похибок приладів та їхньої повірки слід застосовувати статистичні методи. [6]

Одна з ключових умов підвищення точності, це дотримання нормальних умов навколишнього середовища. Але іноді доводиться проводити вимірювання у виробничих умовах, які різною мірою можуть

відрізнятися від нормальних. Зміна умов, пов'язаних із впливом тих чи інших чинників, веде до появи додаткової похибки.

Таким чином, для розгляду питання впливу довкілля на показання приладів, було взято найпоширеніше джерело додаткової похибки - температуру. За допомогою камери тепла, холоду та вологи, було змодельовано необхідні умови для прояву похибки від температури.

3.2 Отримання експериментальних даних

Для проведення аналізу було розглянуто експериментальні дані, отримані під час дослідження цифрового вольтметра. Для простежування поведінки окремих зразків у межах одного типу приладів, було досліджено 5 робочих цифрових вольтметрів МУ-64 фірми Mastech.

Експеримент проводився у випробувальній лабораторії ТОВ "Полімермаш". Схему експерименту наведено на рис. 3.1, де ДЖ - джерело живлення Matrix MPS-3003LK-2; ЦВЕ - мультиметр цифровий АРРА-305; ЦВ1, ЦВ2, ЦВ3, ЦВ4, ЦВ5 - мультиметри цифрові Mastech МУ-64; П - перемикач. Метрологічні характеристики даних ЗВ, наведені в таблиці 1. [7,8,9]

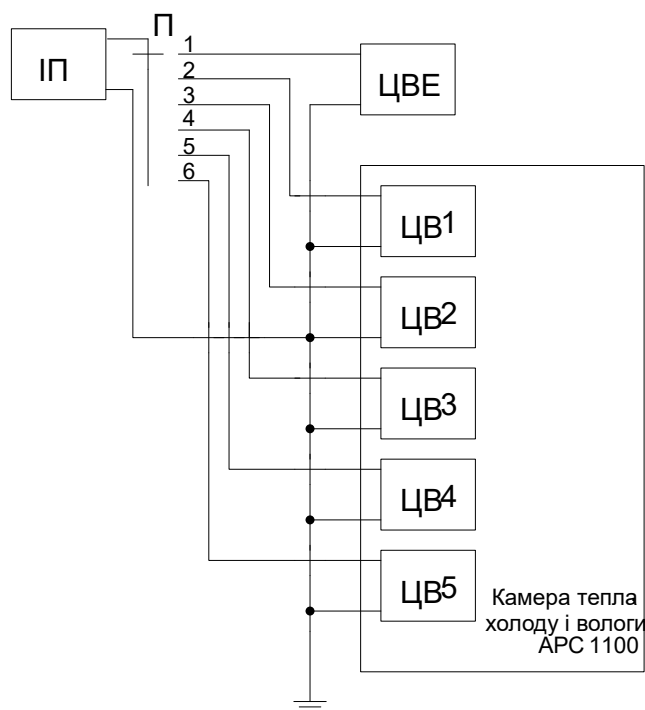


Рис. 3.1 - Схема експерименту

Табл. 3.1 - Метрологічні характеристики засобів вимірювань, що використовуються в експерименті.

Засоби вимірювання та випробувальне обладнання	Метрологічні характеристики
Джерело живлення Matrix MPS - 3003LK-2	Діапазон вимірювань напруги постійного струму $U_{изм}^*$ (0,1-30) В, діапазон вимірювань сили постійного струму $I_{изм}$ (0,01-3) А
Мультиметр цифровий APPA-305	Діапазони вимірювань напруги постійного струму $U_{изм}$ (0,0001-4) В, (0,001-40) В, межі допустимої абсолютної похибки $\pm (0,06 \% U_{изм} + 2 \text{ епр})^{**}$
Мультиметр цифровий Mastech MY-64	Діапазони вимірювань напруги постійного струму $U_{изм}$ (0,001-2) В, (0,01-20) В, межі допустимої абсолютної похибки $\pm (0,5 \% U_{изм} + 1 \text{ епр})$; Діапазон робочих температур від 0 °С до 40 °С, відносна вологість не більше 80%

Камера тепла, холоду і вологи ARS-1100	Діапазон відтворюваних температур від 75 °С до +180 °С, відносна вологість від 10 % до 98 %
* Виміряне значення **Значення одиниці молодшого розряду	

Робочі вольтметри були поміщені в камеру тепла, холоду і вологи ARS-1100 (далі - камера) для дослідження впливу зміни умов довкілля на показання використовуваних засобів вимірювань та їхні похибки. На камері були встановлені значення температури/вологості, відповідно до табл. 3.2.

Табл. 3.2 - Встановлені значення температури/вологості на камері .

Температура, °С	Відносна вологість, %
10	60
20	
30	
40	

На вхід еталонного і робочих мультиметрів були подані вихідні напруги з ІП, при цьому були встановлені відповідні межі вимірювання, відповідно до табл. 3.3.

Табл. 3.3 - Вимірювані значення напруги на виході ІП і відповідні межі вимірювання еталонного та робочих вольтметрів

Вихідна напруга ІП, В	Межа вимірювання ЦВЕ, В	Межа вимірювання ЦВ1-ЦВ5, В
0,6	4	2
1,0		

1,6	40	20
1,98		
2,0		
6,0		
10,0		
16,0		
19,8		

Результати вимірювань постійної напруги були занесені в табл. 3.4 – 3.5.

Табл. 3.4 - Результати вимірювань постійної напруги цифрових вольтметрів, при температурі навколишнього середовища 10 °С і 20 °С

$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$	$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$
10	0,6	0,601	0,597	0,601	0,602	0,598	20	0,6	0,601	0,599	0,601	0,602	0,599
		0,602	0,600	0,602	0,602	0,599			0,600	0,598	0,600	0,601	0,599
		0,599	0,598	0,600	0,600	0,597			0,601	0,599	0,601	0,602	0,599
	1	1,002	0,998	1,003	1,001	0,996		1	1,001	0,997	1,000	1,002	0,998
		1,003	0,998	1,003	1,003	0,998			1,001	0,998	1,001	1,003	0,999
		0,994	0,998	1,002	1,003	0,998			1,001	0,998	1,002	1,003	0,999
	1,6	1,601	1,594	1,601	1,602	1,594		1,6	1,601	1,596	1,601	1,604	1,597
		1,603	1,597	1,604	1,605	1,597			1,601	1,596	1,601	1,604	1,597
		1,603	1,597	1,603	1,604	1,596			1,601	1,596	1,600	1,603	1,597
	1,98	1,984	1,976	1,984	1,985	1,975		1,98	1,980	1,975	1,980	1,984	1,976
		1,984	1,976	1,985	1,986	1,976			1,981	1,974	1,980	1,983	1,975
		1,985	1,976	1,985	1,986	1,976			1,981	1,975	1,980	1,984	1,976
	2	2,00	1,98	2,00	2,00	1,99		2	2,00	2,00	2,01	2,02	2,00
		2,00	1,99	2,00	2,00	1,99			2,00	1,99	2,00	2,01	1,99
		1,99	1,99	2,00	2,00	1,99			2,00	1,99	2,00	2,00	1,99
	6	6,01	5,98	6,01	6,02	5,98		6	6,00	5,98	6,00	6,02	5,99
		6,00	5,98	6,01	6,01	5,98			6,00	5,98	6,00	6,01	5,98
		6,01	5,99	6,02	6,02	5,99			6,01	5,98	6,00	6,02	5,99
	10	10,02	9,97	10,01	10,02	9,98		10	10,01	9,97	9,99	10,02	9,97
		10,01	9,97	10,02	10,03	9,97			10,01	9,97	9,99	10,02	9,97
		10,02	9,97	10,02	10,03	9,97			10,01	9,97	10,00	10,03	9,98
	16	16,03	15,93	16,03	16,03	15,95		16	16,01	15,94	15,99	16,03	15,96
		16,02	15,95	16,02	16,04	15,96			16,01	15,94	15,98	16,03	15,96
		16,02	15,95	16,03	16,04	15,96			16,00	15,94	15,98	16,03	15,96
	19,8	19,82	19,73	19,83	19,85	19,72		19,8	19,81	19,72	19,78	19,83	19,75
		19,82	19,73	19,83	19,85	19,74			19,80	19,72	19,77	19,83	19,74
		19,83	19,74	19,83	19,85	19,75			19,81	19,73	19,78	19,83	19,74

Табл. 3.5 - Результати вимірювань постійної напруги цифрових вольтметрів, за температури довкілля 30 °C і 40 °C

$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$	$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$
30	0,6	0,599	0,598	0,600	0,601	0,599	40	0,6	0,599	0,598	0,598	0,601	0,599
		0,599	0,599	0,600	0,602	0,599			0,598	0,598	0,599	0,601	0,599
		0,599	0,599	0,599	0,601	0,599			0,598	0,598	0,599	0,601	0,599
	1	0,999	0,998	0,998	1,002	0,998		1	0,997	0,997	0,997	1,001	0,998
		0,999	0,998	0,999	1,002	0,998			0,997	0,997	0,998	1,002	0,999
		0,998	0,997	0,999	1,002	0,998			0,997	0,997	0,998	1,002	0,999
	1,6	1,597	1,596	1,598	1,603	1,597		1,6	1,596	1,595	1,597	1,603	1,598
		1,598	1,597	1,598	1,604	1,597			1,595	1,595	1,596	1,603	1,598
		1,598	1,596	1,598	1,604	1,597			1,595	1,595	1,595	1,603	1,597
	1,98	1,977	1,975	1,977	1,984	1,976		1,98	1,973	1,974	1,975	1,984	1,978
		1,977	1,975	1,977	1,984	1,975			1,974	1,973	1,975	1,984	1,977
		1,977	1,975	1,978	1,985	1,976			1,973	1,974	1,975	1,984	1,977
	2	2,00	1,99	2,00	2,00	1,99		2	1,99	1,99	1,99	2,00	1,99
		1,99	1,99	2,00	2,00	1,99			1,99	2,00	1,99	2,00	2,00
		2,00	2,00	2,00	2,01	2,00			1,99	1,99	1,99	2,00	1,99
	6	6,00	5,99	5,99	6,02	5,99		6	5,99	5,98	5,98	6,01	5,99
		6,00	5,99	5,99	6,02	5,99			5,99	5,98	5,97	6,01	5,99
		6,00	5,98	5,99	6,01	5,98			5,99	5,98	5,98	6,01	5,99
	10	10,00	9,97	9,98	10,02	9,98		10	9,98	9,97	9,96	10,02	9,99
		10,00	9,97	9,98	10,02	9,98			9,98	9,97	9,97	10,02	9,99
		10,00	9,97	9,97	10,02	9,98			9,98	9,97	9,95	10,02	9,98
	16	16,00	15,96	15,96	16,04	15,97		16	15,97	15,95	15,93	16,04	15,98
		15,99	15,95	15,95	16,03	15,96			15,97	15,95	15,92	16,03	15,97
		16,00	15,96	15,96	16,04	15,97			15,97	15,95	15,93	16,04	15,98
	19,8	19,79	19,74	19,75	19,84	19,75		19,8	19,76	19,73	19,70	19,84	19,76
		19,80	19,75	19,75	19,84	19,75			19,76	19,74	19,71	19,85	19,77
		19,79	19,74	19,74	19,84	19,75			19,76	19,73	19,70	19,84	19,76

3.3 Розрахунок параметрів лінійних градувальних характеристик екземплярів СІ методом найменших квадратів

Розглянемо експериментальні дані, отримані під час дослідження цифрового вольтметра (табл. 3.4, табл. 3.5). Вимірювання виконувалися з багаторазовими спостереженнями $n_i = 3$. Кількість точок на межі вимірювання постійної напруги $i=1\dots m$, де $m=4$ на межі вимірювань 2 В і

$m=5$ на межі вимірювань 20 В. Отримані результати вимірювань $\bar{y}_i$ були обчислені за формулою (3.1)

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} y_i}{n_i} \quad (3.1)$$

Оцінка дисперсії похибки S_i^2 у точці y_i обчислюється за формулою (3.2)

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} (y_i - \bar{y}_i)^2}{n_i - 1} \quad (3.2)$$

Оскільки вхідна величина X у даному випадку є контрольованою змінною (на вході встановлювали заздалегідь задане значення X_i), то для побудови ГХ можна застосовувати МНК.

Для побудови лінійної ГХ загального виду $Y = a + bX$, необхідно обчислити оцінки a і b за МНК. Ваги, що визначаються за експериментальними даними, приймаються рівними $\omega = n_{ii} / S_i^2$.

Середнє (зважене) значення $\bar{X}$ вхідних величин X_i , знаходиться за формулою

$$\bar{X} = \frac{\sum \omega_i X_i}{\sum \omega_i} \quad (3.3)$$

Середнє значення $\bar{y}$ результатів вимірювань $\bar{y}_i$, знаходиться за формулою

$$\bar{y} = \frac{\sum \omega_i \bar{y}_i}{\sum \omega_i} \quad (3.4)$$

Оцінки коефіцієнтів b і a обчислюються за формулами (3.5)-(3.6).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \bar{y}_i (X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \omega_i (X_i - \bar{X})^2}, \quad (3.5)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{X} \quad (3.6)$$

Результати оцінок коефіцієнтів a і b за методом найменших квадратів для п'яти цифрових вольтметрів Mastech MY-64 (ЦВ1-ЦВ5) наведені в таблицях А.1-А.5 (у проміжних обчисленнях утримуються зайві значущі цифри).

3.4 Введення поправки в результат вимірювання

Після того, як було обчислено оцінки коефіцієнтів a і b , було записано рівняння лінійних ГХ вигляду $Y = a + bX$, для кожного цифрового вольтметра, які відповідають певній межі вимірювання за заданих температур навколишнього середовища. На підставі цих рівнянь, були обчислені виправлені значення за формулою і середні значення поправок, які наведено в татабл.3.6.

Табл. 3.6 - Середні значення поправок

$t, ^\circ\text{C}$	X_N ,В	x , В	$1\bar{q}$,В	$2\bar{q}$,В	$3\bar{q}$,В	$4\bar{q}$,В	$5\bar{q}$,В
10	2	0,6	0,0010	0,0008	0,0004	0,0009	0,0005
		1	0,0031	0,0001	0,0003	0,0007	0,0007
		1,6	0,0006	0,0011	0,0009	0,0009	0,0007
		1,98	0,0003	0,0003	0,0005	0,0005	0,0007
	20	2	0,0020	0,0111	0,0020	0,0020	0,0022
		6	0,0022	0,0021	0,0049	0,0043	0,0019
		10	0,0048	0,0014	0,0066	0,0069	0,0028
		16	0,0007	0,0084	0,0042	0,0049	0,0044
		19,8	0,0053	0,0047	0,0023	0,0007	0,0122

20	2	0,6	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0002
		1	0,0001	0,0002	0,0006	0,0003	0,0006
		1,6	0,0001	0,0001	0,0006	0,0003	0,0002
		1,98	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002
	20	2	0,0048	0,0054	0,0031	0,0065	0,0054
		6	0,0021	0,0016	0,0005	0,0022	0,0029
		10	0,0013	0,0012	0,0012	0,0013	0,0015
		16	0,0031	0,0005	0,0022	0,0020	0,0031
		19,8	0,0018	0,0031	0,0031	0,0007	0,0045
	30	0,6	0,0015	0,0005	0,0001	0,0002	0,0001
		1	0,0016	0,0002	0,0004	0,0003	0,0002
		1,6	0,0029	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004
		1,98	0,0036	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003
		2	0,0056	0,0056	0,0043	0,0022	0,0076
		6	0,0015	0,0033	0,0009	0,0030	0,0032
		10	0,0019	0,0007	0,0034	0,0007	0,0022
		16	0,0070	0,0020	0,0043	0,0023	0,0036
		19,8	0,0087	0,0061	0,0055	0,0019	0,0055
	40	0,6	0,0004	0,0002	0,0004	0,0002	0,0003
		1	0,0003	0,0003	0,0005	0,0006	0,0007
		1,6	0,0004	0,0000	0,0004	0,0002	0,0003
		1,98	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0004
		2	0,0033	0,0030	0,0020	0,0022	0,0058
		6	0,0007	0,0015	0,0042	0,0009	0,0016
		10	0,0006	0,0020	0,0067	0,0024	0,0026
		16	0,0018	0,0025	0,0039	0,0023	0,0030
		19,8	0,0092	0,0030	0,0011	0,0031	0,0057

3.5 Розрахунок СКО результату вимірювання та СКО поправки.

Середньоквадратичне відхилення результатів одиничних вимірювань у ряді вимірювань - характеристика S розсіювання результатів вимірювань у ряді рівноточних вимірювань однієї й тієї самої фізичної величини, що обчислюється за формулою (3.7):

$$(y_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (3.7)$$

де: y_i - результат i -го одиничного вимірювання;

$\bar{y}$ - середнє арифметичне значення n одиничних результатів вимірювань величини.

СКО S є оцінкою стандартного відхилення сигма-параметра розподілу результатів вимірювань і одночасно оцінкою стандартного відхилення розподілу випадкової похибки цих результатів.

СКО невіправлених результатів вимірювань $S(y_i)$ і СКО поправок $S(q_i)$ наведені в табл. 3.7 і 3.8, відповідно.

Табл. 3.7 - Середньоквадратичне відхилення несправлених результатів вимірювань

$t, ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{В}$	$x, \text{В}$	$S(y_1), \text{В}$	$S(y_2), \text{В}$	$S(y_3), \text{В}$	$S(y_4), \text{В}$	$S(y_5), \text{В}$
10	2	0,6	0,0012	0,0012	0,0006	0,0010	0,0006
		1	0,0049	0,0002	0,0004	0,0010	0,0010
		1,6	0,0010	0,0016	0,0012	0,0014	0,0012
		1,98	0,0005	0,0004	0,0008	0,0008	0,0008
	20	2	0,0024	0,0087	0,0030	0,0030	0,0030
		6	0,0023	0,0026	0,0050	0,0045	0,0026
		10	0,0042	0,0015	0,0072	0,0072	0,0044
		16	0,0010	0,0136	0,0046	0,0078	0,0067
		19,8	0,0049	0,0049	0,0031	0,0010	0,0131
20	2	0,6	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0003
		1	0,0002	0,0004	0,0009	0,0004	0,0006
		1,6	0,0002	0,0002	0,0006	0,0004	0,0002
		1,98	0,0004	0,0003	0,0001	0,0003	0,0003
	20	2	0,0031	0,0041	0,0041	0,0070	0,0067
		6	0,0026	0,0023	0,0006	0,0032	0,0032
		10	0,0012	0,0012	0,0017	0,0017	0,0017
		16	0,0045	0,0006	0,0026	0,0026	0,0032
		19,8	0,0021	0,0031	0,0040	0,0010	0,0049
30	2	0,6	0,0004	0,0008	0,0002	0,0002	0,0002
		1	0,0003	0,0003	0,0006	0,0003	0,0003
		1,6	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003
		1,98	0,0001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
	20	2	0,0024	0,0025	0,0029	0,0025	0,0025
		6	0,0021	0,0031	0,0010	0,0031	0,0031
		10	0,0010	0,0010	0,0046	0,0010	0,0010
		16	0,0029	0,0029	0,0050	0,0029	0,0058

		19,8	0,0079	0,0079	0,0075	0,0025	0,0025
40	2	0,6	0,0005	0,0003	0,0006	0,0003	0,0003
		1	0,0004	0,0004	0,0006	0,0009	0,0009
		1,6	0,0003	0,0001	0,0006	0,0003	0,0003
		1,98	0,0004	0,0005	0,0003	0,0001	0,0005
	20	2	0,0020	0,0040	0,0020	0,0020	0,0048
		6	0,0010	0,0021	0,0038	0,0010	0,0021
		10	0,0006	0,0032	0,0078	0,0035	0,0026
		16	0,0026	0,0032	0,0026	0,0026	0,0026
		19,8	0,0040	0,0036	0,0012	0,0036	0,0036

Табл. 3.8 - Середньоквадратичне відхилення значень поправок

$t, ^\circ\text{C}$	X_N, B	x, B	$S(q_1), \text{B}$	$S(q_2), \text{B}$	$S(q_3), \text{B}$	$S(q_4), \text{B}$	$S(q_5), \text{B}$
10	2	0,6	0,0002	0,0007	0,0005	0,0001	0,0002
		1	0,0042	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007
		1,6	0,0009	0,0009	0,0011	0,0008	0,0009
		1,98	0,0003	0,0002	0,0004	0,0004	0,0001
	20	2	0,0024	0,0088	0,0026	0,0027	0,0029
		6	0,0007	0,0007	0,0037	0,0045	0,0024
		10	0,0042	0,0007	0,0014	0,0023	0,0039
		16	0,0006	0,0117	0,0022	0,0064	0,0046
		19,8	0,0038	0,0017	0,0022	0,0005	0,0131
20	2	0,6	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
		1	0,0001	0,0002	0,0008	0,0002	0,0003
		1,6	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001
		1,98	0,0004	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002
	20	2	0,0031	0,0041	0,0021	0,0043	0,0022
		6	0,0008	0,0015	0,0001	0,0029	0,0007
		10	0,0011	0,0008	0,0017	0,0017	0,0001
		16	0,0024	0,0002	0,0006	0,0009	0,0014
		19,8	0,0021	0,0022	0,0020	0,0005	0,0010
30	2	0,6	0,0004	0,0006	0,0001	0,0001	0,0001
		1	0,0003	0,0002	0,0006	0,0001	0,0003
		1,6	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0003
		1,98	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003
	20	2	0,0027	0,0063	0,0014	0,0015	0,0049
		6	0,0017	0,0031	0,0006	0,0030	0,0025
		10	0,0010	0,0006	0,0019	0,0005	0,0010
		16	0,0029	0,0018	0,0032	0,0007	0,0050
		19,8	0,0069	0,0027	0,0040	0,0017	0,0025
40	2	0,6	0,0002	0,0002	0,0003	0,0001	0,0001
		1	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0002
		1,6	0,0003	0,0000	0,0003	0,0002	0,0001
		1,98	0,0004	0,0004	0,0001	0,0000	0,0001

	20	2	0,0020	0,0022	0,0012	0,0020	0,0048
		6	0,0006	0,0011	0,0034	0,0008	0,0007
		10	0,0004	0,0026	0,0078	0,0021	0,0012
		16	0,0023	0,0032	0,0027	0,0005	0,0025
		19,8	0,0040	0,0036	0,0005	0,0036	0,0036

3.6 Розрахунок ймовірності корисного ефекту введення поправки залежно від динамічного діапазону та від температури довкілля середовища.

Було проведено оцінку ймовірності доцільності (позитивного ефекту від) введення поправки. Для цього порівнювали середнє значення q поправки з граничним значенням поправки $q_{гр}$, підрахованим за формулою (3.7) за $t_p = 2$, кількості вимірів $n = 3$ і довірчої ймовірності $p_d = 0,95$, і результат порівняння вважали позитивним (+), якщо виконувалася нерівність

$$q > q_{гр} \quad (3.8)$$

Результати порівняння подано в татабл.3.9.

Табл. 3.9 - Результати порівняння середнього значення поправки з граничним значенням поправки

$t, ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{В}$	$x, \text{В}$	ЦВ1	ЦВ2	ЦВ3	ЦВ4	ЦВ5
10	2	0,6	+	+	+	+	+
		1	-	+	+	+	+
		1,6	-	+	-	+	+
		1,98	+	+	+	+	+
	20	2	+	+	+	-	-
		6	+	+	+	+	+
		10	+	+	+	+	-
		16	+	-	+	+	+
		19,8	+	+	+	+	+

20	2	0,6	+	+	+	+	+
		1	+	+	+	+	+
		1,6	+	+	+	+	+
		1,98	-	+	+	+	+
	20	2	+	+	+	+	+
		6	+	+	+	-	+
		10	+	+	-	-	+
		16	+	+	+	+	+
		19,8	+	+	+	+	+
30	2	0,6	+	+	+	+	+
		1	+	+	-	+	-
		1,6	+	+	+	+	+
		1,98	+	+	+	+	+
	20	2	+	-	+	+	+
		6	+	+	+	+	+
		10	+	+	+	+	+
		16	+	+	+	+	-
		19,8	+	+	+	+	+
40	2	0,6	+	+	+	+	+
		1	+	+	+	+	+
		1,6	+	+	+	+	+
		1,98	+	-	+	+	+
	20	2	+	+	+	+	+
		6	+	+	+	+	+
		10	+	+	+	+	+
		16	+	-	+	+	+
		19,8	+	+	+	+	+

Імовірність позитивного ефекту від введення поправки обчислювали як відношення числа позитивних результатів порівняння за формулою (3.8) до числа всіх результатів порівняння за фіксованих X_N і температури t . З результатів розрахунків випливає, що часткова неефективність введення поправки може проявлятися в будь-якій точці діапазону вимірювань. Найбільший ефект від введення поправки спостерігається за високої температури 40 °С з імовірністю 0,95, а найменший позитивний ефект спостерігається за температури 10 °С з імовірністю 0,84. За температур 20 °С і 30 °С ефект від поправки виявився позитивним із рівною ймовірністю 0,91.

3.7 Аналіз процедури введення поправки стосовно екземплярів СІ одного типу.

Для виконання цього аналізу було взято п'ять екземплярів цифрового вольтметра Mastech MY-64.

Аналіз проводили під час порівняння несправлених і виправлених результатів вимірювання постійної напруги за вихідної напруги джерела живлення $x = 6$ В.

$$\Delta 1 = y_{\text{випр}} - x \quad (3.9)$$

$$\Delta 2 = y - x, \quad (3.10)$$

де: x - вихідна напруга ДЖ, В;

y - невивправлений РВ, В;

$y_{\text{випр}}$ - вивправлений РВ, В.

Графіки порівняння похибок для ЦВ1-ЦВ5 представлено на рис. 3.2-3.6. Значення результатів вимірювань були взяті за модулем, для зручності подання.

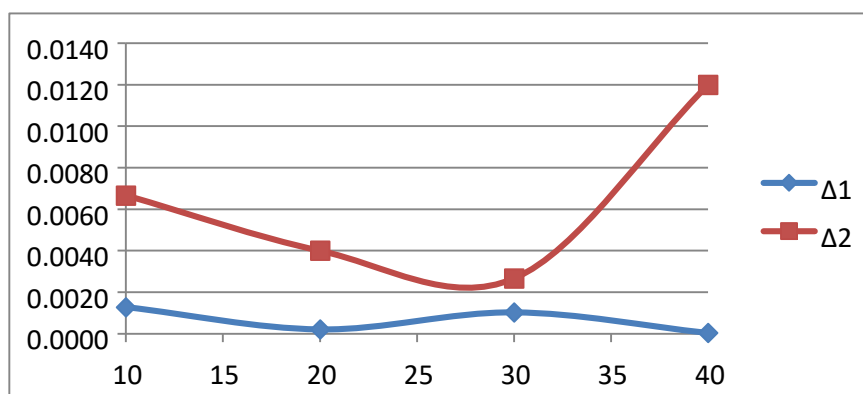


Рис. 3.2 - Графіки похибок виправлених і не виправлених результатів вимірювання для ЦВ1

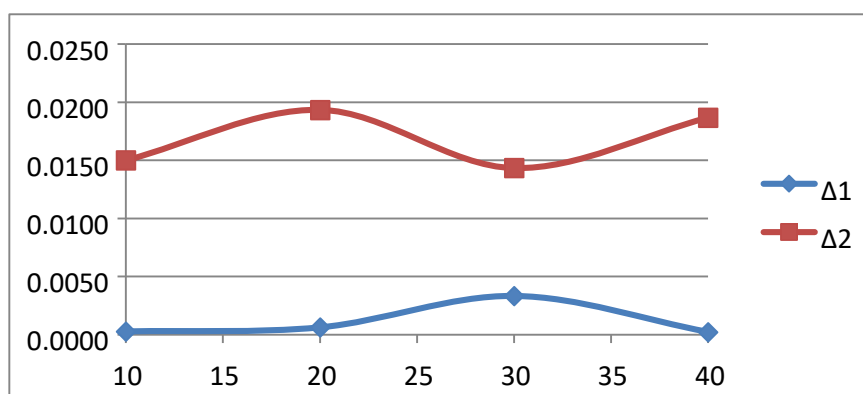


Рис. 3.3 - Графіки похибок виправлених і не виправлених результатів вимірювання для ЦВ2

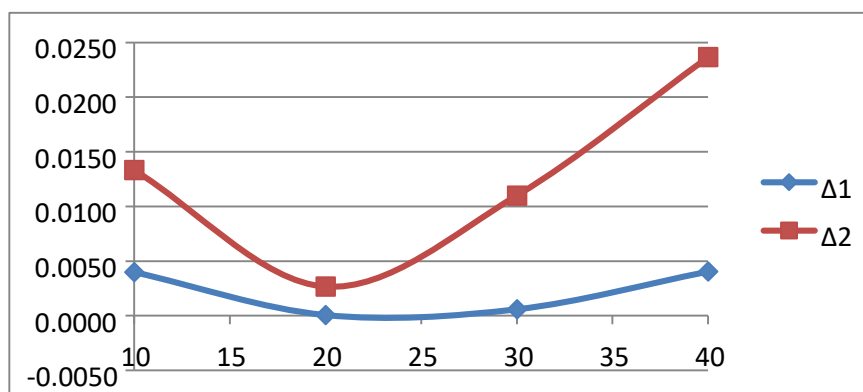


Рис. 3.4 - Графіки похибок виправлених і не виправлених результатів вимірювання для ЦВ3

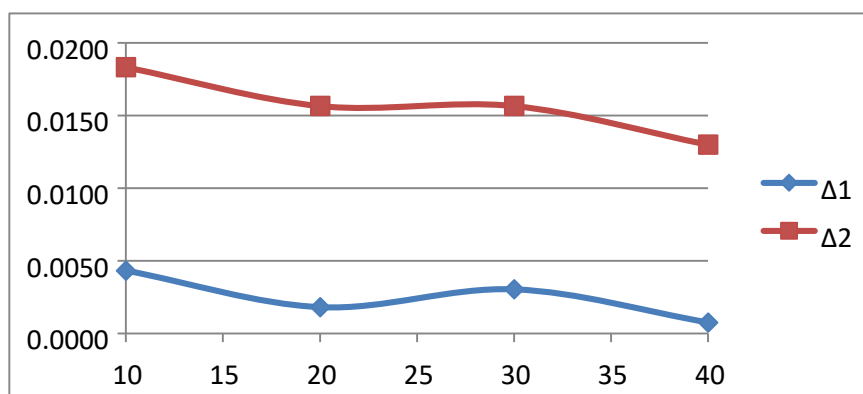


Рис. 3.5 - Графіки похибок виправлених і не виправлених результатів вимірювання для ЦВ4

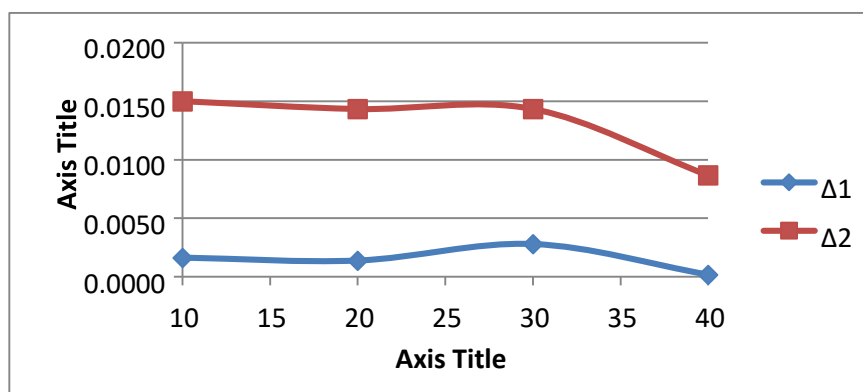


Рис. 3.6 - Графіки похибок виправлених і не виправлених результатів вимірювання для ЦВ5

Розташування кривих показує близькість результату вимірювання до вихідного значення. З рис. 3.3 і 3.5 видно, що похибка не виправлених результатів екземплярів ЦВ2 і ЦВ4 змінюється від 0,013 В до 0,020 В на всьому діапазоні температур. Примірники ЦВ1 і ЦВ3 (рис. 3.2 і 3.4) виявилися менш стійкими до зміни температури навколишнього середовища: графіки похибок мають підйом за температури 40 °С.

З експериментальних даних за номінальної вимірюваної напруги, що дорівнює 6 В, випливає, що, завдяки введенню поправки, похибку виправленого результату вдалося зменшити від 2 до 80 разів залежно від температури довкілля та примірника СІ.

Висновок по розділу

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень внесення поправки в показання п'яти екземплярів цифрового вольтметра Mastech MY-64. Результати експериментальних досліджень були оброблені методом найменших квадратів для визначення параметрів градуювальних характеристик.

4 СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ

У даному розділі розглянуто питання, пов'язані з організацією робочого місця та умов, в яких буде реалізовуватися розробка, отримана під час написання ВКР, а саме, спосіб підвищення точності вимірювань шляхом введення поправок до невиправленого результату вимірювання, згідно з нормами виробничої санітарії, техніки безпеки, охорони праці та довкілля.

Розробку, отриману під час написання цієї роботи, використовуватиме інженер-метролог. Робочим місцем є лабораторія, робочою зоною є стіл із приладами.

4.1 Професійна соціальна безпека

Табл. 4.1 - Фізичні небезпечні та шкідливі фактори під час виконання робіт з підвищення точності вимірювань, шляхом введення поправок у результати вимірювань.

Шкідливі та небезпечні фактори (за ГОСТ 12.0.003-74)	Нормативні документи
1. Підвищена напруженість електромагнітного поля; 2. Перевищення рівня електромагнітних випромінювань; Недостатня освітленість робочої зони. Підвищена або знижена температура повітря робочої зони;	Вимоги під час виконання робіт сидячи встановлюються ГОСТ 12.2.032-78 [13]. Параметри мікроклімату встановлюються СанПіН 2.2.4-548-96 [14]. Вимоги до природного і штучного освітлення встановлюються СП 52.13330.2011 [15]. Параметри електромагнітного випромінювання встановлюються СанПіН 2.2.4.1191-03 [16]. Вимоги з електробезпеки встановлюються ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17]. Вимоги з пожежної безпеки встановлюються ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ [18]. Вимоги щодо вибухобезпеки встановлюються ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [19]. Вимоги до організації праці встановлюються Трудовим кодексом Російської Федерації від 30.12.2001 N 197-ФЗ [20].

4.1.1 Відхилення показників мікроклімату

Мікроклімат виробничих приміщень - метеорологічні умови внутрішнього середовища приміщень, які визначаються поєднаннями температури, вологості, швидкості руху повітря і теплового випромінювання, що діють на організм людини; комплекс фізичних чинників, що впливають на теплообмін людини з навколишнім середовищем, на тепловий стан людини та визначають самопочуття, працездатність, здоров'я і продуктивність праці. Показники мікроклімату: температура повітря та його відносна вологість, швидкість його руху, потужність теплового випромінювання.

Основні види робіт, що виконуються інженером-метрологом, за ступенем фізичної тяжкості належать до категорії легких робіт. Оптимальні величини показників мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень, відповідно до періоду року та категорії робіт, згідно з СанПіН 2.2.4.548 [14], наведені в табл. 4.1, а допустимі величини показників наведені в табл. 4.2.

Табл. 4.2 - Оптимальні параметри мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт за рівню енерговитрат, Вт	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Категорія Іа (до 139)	23 - 25	40 - 60	0,1
Теплий	Категорія Іа (до 139)	20 - 22	40 - 60	0,1

Табл. 4.2 - Допустимі параметри мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Категорія Ia (до 139)	20 - 21,9	15 - 75	0,1
Теплий	Категорія Ia (до 139)	21 - 22,9	15 - 75	0,1

В приміщенні необхідно передбачити систему опалення, що функціонує в зимовий час. Вона забезпечує достатнє, постійне і рівномірне нагрівання повітря.

В відповідно до характеристики приміщення визначено передбачувану витрату свіжого повітря. Норми подачі свіжого повітря наведено в табл. 4.3.

Табл. 4.3 - Норми подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата свіжого повітря, що подається в приміщення, м³ /на одного людини на годину
Обсяг до 20 м³ на людину	Не менше 30
20...40 м³ на людину	Не менше 20
Понад 40 м³ на людину	Природна вентиляція

4.1.2 Недостатня освітленість робочої зони

Освітленість - світлова величина, що дорівнює відношенню світлового потоку, що падає на малу ділянку поверхні, до її площі. Освітленість вимірюється в Люксах (СІ) і позначають її буквою Е.

Хороше освітлення діє тонізуюче, створює гарний настрій, покращує перебіг основних процесів нервової вищої діяльності. Поліпшення

освітленості сприяє поліпшенню працездатності навіть у тих випадках, коли процес праці практично не залежить від зорового сприйняття.

Працюючи при освітленні поганої якості або низьких рівнів, люди можуть відчувати втому очей і перевтому, що призводить до зниження працездатності. У низці випадків це може призвести до головного болю. Причинами в багатьох випадках є занадто низькі рівні освітленості, сліпуча дія джерел світла та співвідношення яскравостей, яке недостатньо добре збалансоване на робочих місцях. Головні болі також можуть бути спричинені пульсацією освітлення, що здебільшого є результатом використання електромагнітних пускорегулювальних апаратів (ПРА) для газорозрядних ламп, які працюють на частоті 50 Гц.

Освітленість на робочому місці має відповідати характеру зорової роботи; рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні та відсутність різких тіней; величина освітлення постійна в часі (відсутність пульсації світлового потоку); оптимальна спрямованість світлового потоку та оптимальний спектральний склад; усі елементи освітлювальних установок мають бути довговічними, вибухо-, пожежобезпечними, електробезпечними.

Робота з приладами належить до зорових робіт середньої точності для приміщень житлових і громадських будинків. Згідно з СП 52.13330 [15], такі приміщення повинні задовольняти вимогам, зазначеним у табл. 4.4.

Табл. 4.4 - Вимоги до освітлення приміщень житлових і громадських будинків при зоровій роботі середньої точності

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквіва-	Розряд глядачів	Підрозряд зорової	Відносна продовж-	Штучне освітлення		Природне освітлення
					Освітленість	Коефіцієнт	КЕО ен , %, при

	стрічковий розмір об'єкт розрізнення, мм	тальної роботи	роботи	жительність зорової роботи при напрямку зору на робочу поверхню, %	на робочій поверхні від системи загального освітлення, лк	пульсації освітленість і Кп , %, не більше	Верхньому або комбінованому	Бічному
Високої точності	більше 0,5	В	1	не менше 70	150	20	2,0	0,5
			2	менше 70	100	20	2,0	0,5

4.1.3 Підвищений рівень електромагнітних випромінювань

Як джерело електромагнітного випромінювання в даній роботі розглядаються засоби вимірювання та електричні прилади.

Ступінь і характер впливу електромагнітного поля на організм людини залежать: від інтенсивності випромінювання; частоти коливань; поверхні тіла того, хто опромінюється; індивідуальних особливостей організму; режиму опромінення (безперервний або переривчастий); тривалості дії; комбінованої дії інших чинників виробничого середовища. У діапазонах промислової частоти, радіочастот, інфрачервоного і частково ультрафіолетового світла електромагнітні поля чинять тепловий вплив.

Якщо механізм терморегуляції тіла не здатний розсіяти це надлишкове тепло, можливе підвищення температури тіла. Деякі органи і тканини людини, що мають слабо виражену терморегуляцію, більш чутливі до опромінення (мозок, очі, нирки, кишечник). Перегрівання окремих тканин і органів призводить до їхніх захворювань, а підвищення температури тіла на 1 °C і вище взагалі неприпустиме.

Вплив електромагнітних випромінювань полягає не тільки в їхньому тепловому впливі. Мікропроцеси, що протікають в організмі під дією випромінювань, полягають у поляризації макромолекул тканин і

орієнтації їх паралельно електричним силовим лініям, що може призводити до зміни властивостей молекул; особливо для людського організму важлива поляризація молекул води.

Тривалий і систематичний вплив на людину полів високих і ультрависоких частот спричиняє:

- підвищену стомлюваність;
- головний біль;
- сонливість;
- гіпертонію;
- болі в ділянці серця.

Тривалий і систематичний вплив на людину полів надвисоких частот викликає, крім того:

- зміни в крові;
- катаракту (помутніння кришталика ока);
- нервово-психічні захворювання.

Згідно з СанПіН 2.2.4.1191, гранично допустимі рівні енергетичних експозицій електромагнітного поля діапазону частот від 30 кГц до 300 ГГц не повинні перевищувати значень, наведених у табл. 4.5.

Табл. 4.5 - Гранично допустимий рівень енергетичних експозицій електромагнітного поля діапазону частот від 30 кГц до 300 ГГц

Діапазони частот	Гранично допустимі рівні енергетичної експозиції		
	За електричною складовою, $(В/м)^2 \times \text{год}$	За магнітною складовою, $(А/м)^2 \times \text{год}$	За щільністю потоку енергії $(\text{мкВт}/\text{см}^2) \times \text{год}$
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	-
3 - 30 МГц	7000,0	-	-
30 - 50 МГц	800,0	0,72	-
50 - 300 МГц	800,0	-	-
300 МГц - 300 ГГц	-	-	200,0

4.1.4 Електробезпека

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Усі електричні прилади, що використовуються в роботі, повинні підключатися до мережі живлення, що має захисне заземлення.

З'єднувати і роз'єднувати вилки, розетки електричних з'єднань допускається тільки при вимкненому мережевому вимикачі.

Основними причинами ураження людини електричним струмом можуть бути такі:

- безпосередній дотик до струмоведучих частин, що опинилися під напругою;
- зіткнення з конструктивними частинами, що опинилися під напругою.

Електричний струм, проходячи через організм людини, чинить тепловий (опіки, нагрівання судин), механічний (розрив тканин, судин під час судомних скорочень м'язів), хімічний (електроліз крові), біологічний (подразнення і збудження живої тканини) або комбінований вплив.

Основними засобами і способами захисту від ураження електричним струмом є:

- недоступність струмоведучих частин для випадкового дотику;
- захисне заземлення, занулення або відключення;
- вивішування попереджувальних написів;
- контроль за станом ізоляції електричних установок;

- використання додаткових засобів захисту.

Вимоги електробезпеки електроустановок виробничого та побутового призначення на стадіях проєктування, виготовлення, монтажу, налагодження, випробувань та експлуатації, а також технічні способи і засоби захисту, що забезпечують електробезпеку електроустановок різного призначення, наведені в ДСТУ Р 12.1.019-2009.

4.2 Екологічна безпека

У зв'язку з тим, що основним засобом роботи є засоби вимірювання та електричні прилади, серйозною проблемою є електроспоживання. Це тягне за собою загальне зростання обсягу споживаної електроенергії. Для задоволення потреби в електроенергії доводиться збільшувати потужність і кількість електростанцій. Це призводить до порушення екологічної обстановки, оскільки електростанції у своїй діяльності використовують різні види палива, водні ресурси, а також є джерелом шкідливих викидів в атмосферу.

Ця проблема є світовою. На сьогодні в багатьох країнах впроваджено альтернативні джерела енергії (сонячні батареї, енергія вітру). Ще одним способом розв'язання цієї проблеми є використання енергозберігаючих систем.

До відходів, вироблених у приміщенні, де ведуться роботи з виключення похибки, можна віднести стічні води і побутове сміття.

Стічні води будівлі належать до побутових стічних вод. За їх очищення відповідає міський водоканал.

Основний вид сміття - це відходи друку, побутове сміття (у т. ч. люмінісцентні лампи), несправне електрообладнання, коробки від техніки, використаний папір. Утилізація відходів друку разом із побутовим сміттям відбувається у звичайному порядку.

Утилізація засобів вимірювань і електричних приладів здійснюється безпосередньо працівниками підприємств, відповідно до нормативних документів.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайними ситуаціями в подібних приміщеннях можуть бути пожежі. Основи пожежної безпеки визначено за ГОСТ 12.1.004 [18] і ГОСТ 12.1.010 [19].

Усі виробництва за пожежною небезпекою підрозділяються на 5 категорій: А, Б, В, Г, Д. Лабораторія, у якій буде виконуватися робота, належить до категорії В.

Виробництва категорії В характеризуються наявністю рідини з температурою спалаху парів вище 61 °С; горючого пилу або волокон, нижня межа вибухонебезпечності яких більш як 65 г/м³ до об'єму повітря; речовин, здатних тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним; твердих горючих речовин і матеріалів.

Причинами пожежі можуть бути:

- струми короткого замикання;
- електричні перевантаження;
- виділення тепла, іскріння в місцях поганих контактів під час з'єднання проводів;

- куріння в недозволених місцях.

Гасіння палаючого електрообладнання під напругою має здійснюватися наявними вогнегасниками ОУ-5. Щоб запобігти пожежі в лабораторії, необхідно:

- утримувати приміщення в чистоті, прибирати своєчасно сміття. Після закінчення роботи поводитьсь вологе прибирання всіх приміщень;
- робота повинна проводитися тільки при справному електрообладнання;
- на видному місці має бути вивішений план евакуації з приміщення із зазначенням обладнання, яке потрібно евакуювати насамперед;
- той, хто йде з приміщення останнім, повинен перевірити, чи вимкнені нагрівальні прилади, електроприлади тощо, а також вимкнути силову та освітлювальну електричну мережу.
- Також необхідне дотримання організаційних заходів:
- правильна експлуатація приладів, установок;
- правильне утримання приміщення;
- протипожежний інструктаж співробітників аудиторії;
- видання наказів з питань посилення ПБ;
- організація добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій;
- наявність наочних посібників тощо.

У випадках, коли не вдається ліквідувати пожежу самотійно, необхідно викликати пожежну охорону і покинути приміщення, керуючись планом пожежної евакуації.

4.4 Правові та організаційні питання забезпечення безпеки

4.4.1 Ергономічні вимоги до робочого місця

У процесі роботи всі використовувані предмети повинні перебувати в зоні досяжності. Оптимальне розміщення предметів праці та документації в зонах досяжності наведено на рис. 4.7.

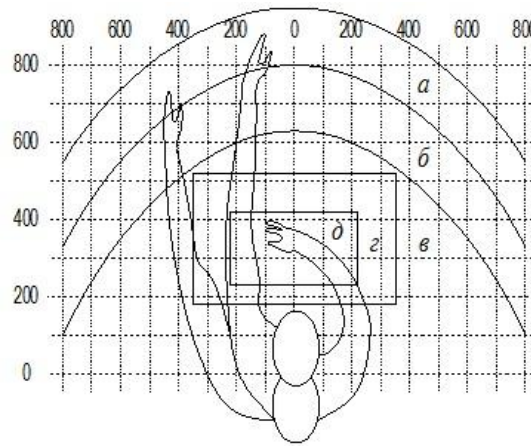


Рис. 4.7 - Оптимальне розміщення предметів праці та документації в зонах досяжності

На рис. 4.7 введено такі позначення:

- а - зона максимальної досяжності;
- б - зона досяжності пальців при витягнутій руці;
- в - зона легкої досяжності долоні;
- г - оптимальний простір для грубої ручної роботи;
- д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

4.4.2 Забарвлення і коефіцієнти відбиття

Забарвлення приміщень і меблів має сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття, гарного настрою.

Джерела світла, такі як світильники та вікна, які дають відбиття від поверхні екрана, значно погіршують точність знаків і спричиняють за собою перешкоди фізіологічного характеру, що можуть виразитися в значній напрузі, особливо під час тривалої роботи. Віддзеркалення, включно з віддзеркаленнями від вторинних джерел світла, має бути зведене до мінімуму. Для захисту від надмірної яскравості вікон можуть бути застосовані штори та екрани.

Залежно від орієнтації вікон рекомендується таке забарвлення стін і підлоги:

Вікна орієнтовані на південь: - стіни зеленувато-блакитного або світло-блакитного кольору; підлога - зелена.

Вікна орієнтовані на північ: - стіни світло-помаранчевого або оранжево-жовтого кольору; підлога - червонувато-помаранчева.

Вікна орієнтовані на схід: - стіни жовто-зеленого кольору, підлога - зелена або червонувато-оранжева.

Вікна орієнтовані на захід: - стіни жовто-зеленого або блакитно-зеленого кольору; підлога зелена або червонувато-оранжева.

4.4.3 Особливості законодавчого регулювання проєктних рішень

Державний нагляд і контроль в організаціях незалежно від організаційно-правових форм і форм власності здійснюють спеціально уповноважені на те державні органи та інспекції відповідно до законів.

Згідно з трудовим кодексом України [20]:

- тривалість робочого дня не повинна перевищувати 40 годин на тиждень.

- під час регламентованих перерв доцільно виконувати комплекси вправ і здійснювати провітрювання приміщення.
- Існують також спеціалізовані органи, які здійснюють державний контроль і нагляд в організаціях щодо дотримання наявних правил і норм.
- До таких органів належать:
- Державна інспекція праці;
- Державна експертиза умов праці Державна служба з праці та зайнятості населення, державна служба з екологічного, технологічного та атомного нагляду
- (Держгіртехнагляд, Держенергонагляд, Держатомнагляд України)).
- Державна служба з нагляду у сфері захисту прав споживачів і благополуччя людини (Держсанепіднагляд України) та ін.

Висновок по розділу

У четвертому розділі зазначено такі шкідливі та небезпечні чинники, що чинять негативний вплив на організм людини, як неоптимальний мікроклімат приміщення, електромагнітне випромінювання, недостатність освітлення та електричний струм. Так само зазначено характер шкідливого впливу цих чинників на організм і наслідки їх тривалого або надмірного впливу.

Так само було зазначено НС, які можуть статися на робочому місці та дії, які необхідно виконати в разі їх виникнення.

ВИСНОВОК

При написанні кваліфікаційної роботи було вивчено один зі способів зменшення систематичної похибки - введення поправки в результат вимірювання, і реалізовано його етапи в програмному пакеті Microsoft Excel 2010.

Проведено експериментальні дослідження внесення поправки в показання п'яти екземплярів цифрового вольтметра Mastech MY-64. Для цієї мети було визначено параметри їхніх градуовальних характеристик на основі даних вимірювань прецизійного цифрового вольтметра APRA-305 з допомогою методу найменших квадратів. З рівнянь лінійних градуовальних характеристик для кожного цифрового вольтметра, заданої межі вимірювання та температури довкілля було обчислено виправлені значення та середні значення поправок.

Проведено оцінку ймовірності доцільності (позитивного ефекту від) введення поправки. З результатів розрахунків випливає, що часткова неефективність введення поправки може проявлятися в будь-якій точці діапазону вимірювань. Найбільший ефект від введення поправки спостерігається за високої температури 40 °C, імовірність - 0,95, а найменший позитивний ефект спостерігається за температури 10 °C, імовірність - 0,84. За температур 20 °C і 30 °C ефект від поправки виявився позитивним із рівною ймовірністю 0,91.

З експериментальних даних за номінальної вимірюваної напруги, що дорівнює 6 В, випливає, що, завдяки введенню поправки, похибку

виправленого результату вдалося зменшити від 2 до 80 разів залежно від температури довкілля та примірника СІ.

Отримані результати дають змогу рекомендувати спосіб введення поправки в результати вимірювань СІ з метою зменшення систематичної похибки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов, О. П., Петров, І. В. Основи метрології та вимірювальної техніки. – Київ: Вища школа, 2018. – 352 с.
2. Кравченко, М. О. Систематичні похибки вимірювань: класифікація, аналіз та методи компенсації. // Метрологія і вимірювальна техніка. – 2020. – №4. – С. 45-53.
3. ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. – Geneva: ISO, 2020.
4. Коваленко, Л. М., Тищенко, О. Г. Метрологічні аспекти оцінки систематичних похибок у цифрових приладах. // Електрорадіотехніка і метрологія. – 2020. – №5. – С. 38-47.
5. Іванов, О. П., Петров, І. В. Основи метрології та вимірювальної техніки. – Київ: Вища школа, 2018. – 352 с.
6. Smith, J. R. Improving Measurement Precision: Techniques and Tools. // Journal of Measurement Science. – 2021. – Vol. 47, No. 3. – P. 123-131.
7. Johnson, R. M. Techniques for Enhancing Measurement Accuracy in High-Precision Systems. – New York: Springer, 2019. – 289 p.
8. Алімов, Д. К. Підвищення точності вимірювань за допомогою сучасних технологій. – Львів: Львівська політехніка, 2021. – 200 с.
9. Fluke Corporation. Improving Measurement Accuracy: A Guide to Calibration and Error Reduction. – Everett: Fluke Press, 2020. – 110 p.
10. IEC 61010-1:2010. Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use. – Geneva: IEC, 2021.
11. Nakamura, Y. Advanced Techniques for Improving Measurement Accuracy. // Journal of Instrumentation Science. – 2020. – Vol. 55.
12. Сидоров, В. Г., Чернов, Л. С. Підвищення точності вимірювань у вимірювальних системах: теорія та практика. – Харків: Технополіс, 2021. – 248 с.

13. Petrov, D. N., Ivanov, A. S. Compensation of Systematic Errors in Measurement Systems. // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2021. – Vol. 70.
14. Алімов, Д. К. Методи введення поправок до результатів вимірювання. – Львів: Львівська політехніка, 2019. – 200 с.
15. Johnson, R. M. Error Analysis in Modern Measurement Systems. – New York: Springer, 2018. – 289 p.
16. Воронін, С. П., Кузьменко, І. А. Метод найменших квадратів у визначенні систематичних похибок. // Техніка і точність. – 2022. – №4. – С. 19-26.
17. IEC 61010-1:2010. Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use. – Geneva: IEC, 2021.
18. Nakamura, Y. Strategies for Systematic Error Mitigation in Measurement Systems. // Journal of Instrumentation Science. – 2020. – Vol. 55.
19. Сидоров, В. Г., Чернов, Л. С. Аналіз систематичних похибок у вимірюваннях: теорія та практика. – Харків: Технополіс, 2021. – 248