Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем та автоматики
Кафедра метрології та промислової автоматики

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр
(освітній ступень)

на тему: Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень

Виконав: студент 1 курсу, групи ІЯП-18м
спеціальності
152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка (освітня програма: інженерія якості продукції)
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
Куценко С. В.

Керівник: д. т. н., проф.
Кучерук В. Ю.
(прізвище та ініціали)
"_____" _____ 2019 р.

Рецензент: к. т. н., проф. каф. ЛОТ
Лисенко Г. Л.
(прізвище та ініціали)
"_____" _____ 2019 р.

Вінниця 2019 року

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра метрології та промислової автоматики
Освітній ступень магістр
Спеціальність: 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(освітня програма: інженерія якості продукції)
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МПА
_____ д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.
"____"_____20___року

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

Куценко Сергію Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень
керівник роботи Кучерук Володимир Юрійович д.т.н., проф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "02" 10 2019 року № 254
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи: діапазон вимірювань 0…300/600 мм; точність ±0.3 % від діапазону вимірювання; діапазон робочих частот 1…5 кГц
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Обгрунтувати доцільність метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Проаналізувати сучасний стан метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Розробити структурну та функціональну схему засобу вимірювання лінійних переміщень. Підібрати елементну базу для засобу вимірювання та виконати основні електричні розрахунки. Оцінити загальну похибку вимірювання та розробити методику калібрування. Підтвердити доцільність розробки економічними розрахунками.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Додаток А (обов`язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Технічне завдання. Додаток Б (обов`язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. LVDT-датчик лінійного переміщення. Додаток В. (обов`язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Схема електрична структурна засобу вимірювання лінійних переміщень. Додаток Г. (обов`язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Схема електрична функціональна засобу вимірювання лінійних переміщень.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кучерук В. Ю. д.т.н., проф.		
2	Кучерук В. Ю. д.т.н., проф.		
3	Кучерук В. Ю. д.т.н., проф.		
4	Кучерук В. Ю. д.т.н., проф.		
5	Кучерук В. Ю. д.т.н., проф.		
6	Кучерук В. Ю. д.т.н., проф.		
7	Кучерук В. Ю. д.т.н., проф.		
8	Ратушняк О. Г., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 2 вересня 2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обгрунтування доцільності розробки	02.09.2019 13.09.2019	
2	Аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення	13.09.2019 27.09.2016	
3	Розробка структурної схеми	27.09.2019 07.10.2019	
4	Вибір елементної бази та електричні розрахунки	07.10.2019 18.10.2019	
5	Метрологічний розділ, розробка методики калібрування	18.10.2019 06.11.2019	
6	Економічний розділ	07.11.2019 06.12.2019	

Студент _____ Куценко С. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ д.т.н., проф. Кучерук В. Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ 5
ABSTRACT 6
ВСТУП 7
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙАУДИТ РОЗРОБКИ 11
1.1 Оцінювання комерційного потенціалу нового виробу 11
1.2 Висновки до розділу 1 18
2 ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ 19
3 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ 21
3.1 Аналіз методів вимірювання лінійних переміщень 21
3.2 Аналіз основних типів датчиків лінійного переміщення 23
3.2.1 Реостатні перетворювачі 25
3.2.2 Ємнісні перетворювачі 28
3.2.3 Індуктивні перетворювачі 31
3.2.4 LVDT-датчики переміщення 34
3.2.5 Ультразвукові датчики переміщення 36
3.3 Висновки до розділу 3 39
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ 40
4.1 Висновки до розділу 4 43
5 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ НОВОЇ РОЗРОБКИ 44
5.1 Вибір датчика 44
5.2 Вибір електронного модуля для LVDT-датчика 48
5.3 Вибір мікроконтролера 50
5.4 Вибір перетворювача рівня сигналів 54
5.5 Висновки до розділу 5 57
6 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ 58
6.1 Висновки до розділу 6 59
7 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ 60
7.1 Висновки до розділу 7 62
8 МЕТРОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ 63
8.1 Оцінка загальної похибки вимірювання 63
8.2 Розробка методики калібрування 66
8.3 Висновки до розділу 8 76

9 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 77
9.1 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи 77
9.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки 83
9.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності 84
9.4 Висновки до розділу 9 86
ВИСНОВКИ 88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 89
Додатки 92
Додаток А (обов'язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Технічне завдання 94
Додаток Б (обов'язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. LVDT-датчик лінійного переміщення. 96
Додаток В (обов'язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Схема електрична структурна засобу вимірювання лінійних переміщень 97
Додаток Г (обов'язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Схема електрична функціональна засобу вимірювання лінійних переміщень 98
Додаток Д (обов'язковий) Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Лістинг програми 99

РЕФЕРАТ

В магістерській кваліфікаційній роботі розглядаються методи вимірювання лінійних переміщень, виділяються найбільш перспективні з них. Розроблено на базі диференційного трансформатора для вимірювання лінійних переміщень засіб вимірювання, який за рахунок використання спеціалізованих компонентів забезпечує кращі метрологічні характеристики в порівнянні із засобами вимірювання, заснованими на застарілих принципах. Розроблена методика калібрування запропонованого засобу вимірювання. Економічна доцільність нової розробки підтверджена відповідними розрахунками.

ABSTRACT

In the master's qualification work the methods of measurement of linear displacements are considered, the most perspective ones are distinguished. Developed on the basis of a differential transformer for measuring linear displacements, a measurement tool that, through the use of specialized components, provides better metrological characteristics compared to the measurement tools based on outdated principles. The method of calibration of the proposed measuring instrument is developed. The economic feasibility of the new development is confirmed by appropriate calculations.

ВСТУП

Забезпечення єдності вимірювань як діяльність, що спрямована на досягнення і підтримку єдності вимірювань в Україні є досить складною і відповідальною завдачею. Саме вона визначає головний зміст метрології і метрологічних служб держави. Виходячи з цього, метрологічне забезпечення – це встановлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і потрібної точності вимірювань [1].

В кваліфікаційній роботі **розглядається** один з напрямків метрологічного забезпечення – метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень об’єкта, при розробці, виробництві і експлуатації відповідних технічних пристроїв. Метрологічне забезпечення (МЗ) технічних пристроїв є комплекс науково та організаційно-технічних заходів, а також діяльність установ і фахівців, яка спрямована на забезпечення єдності і точності вимірювань для досягнення бажаних значень визначених характеристик, що відповідають за функціонування технічних пристроїв.

Основною тенденцією у розвитку МЗ є перехід від існуючої раніше порівняно вузької задачі забезпечення єдності до принципово нової задачі забезпечення якості вимірювань. Якість вимірювань характеризується сукупністю властивостей, що забезпечують отримання у встановлений термін результатів вимірювань з необхідною точністю, достовірністю, збіжністю та відтворюваністю.

В даний час суть метрологічного забезпечення прийнято розуміти в широкому і вузькому сенсі [2]. У широкому сенсі воно включає:

- теорію і методи вимірювань, контролю, забезпечення точності та єдності вимірювань;

- організаційно-технічні питання забезпечення єдності вимірювань, включаючи нормативно-технічні документи (державні стандарти, методичні

вказівки, технічні вимоги і умови), що регламентують порядок і правила виконання робіт.

У вузькому сенсі під метрологічним забезпеченням розуміють:

- нагляд за застосуванням законодавчо встановленої системи одиниць фізичних величин, забезпечення єдності та точності вимірювань шляхом передавання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів до зразкових засобів вимірювань і від зразкових до робітників;

- розробку та нагляд за функціонуванням державних та відомчих повірочних схем;

- розробку методів вимірювань найвищої точності та створення на цій основі еталонів (зразкових засобів вимірювань);

- нагляд за станом засобів вимірювань в міністерствах і відомствах.

Основною метою метрологічного забезпечення є:

- підвищення якості продукції, ефективності управління виробництвами;

- забезпечення взаємозамінності деталей, вузлів, агрегатів, створення необхідних умов для ефективності виробництва;

- підвищення ефективності науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, експериментальних випробувань;

- підвищення ефективності використання матеріальних і енергетичних ресурсів, охорони навколишнього середовища.

Вимірювання лінійних переміщень об’єкта займають значне місце в різних галузях науки та техніки, зокрема, в машино – та приладобудуванні, де вимірювання цих величин займають до 70 % від всіх вимірювань в цих галузях. **Завдання вимірювань лінійних переміщень** можна розділити на такі групи:

- вимірювання лінійних переміщень в діапазоні від часток мкм до декількох десятків метрів. В цій групі вимірювань найбільш розповсюдженими є вимірювання розмірів деталей, відхилення розміру від заданого значення, вимірювання параметрів шорсткості поверхні, товщини покрить, тощо;

- вимірювання розмірів від часток метра до сотень метрів при визначенні рівня рідких та сипучих речовин у різних резервуарах та свердловинах, рівня пального в баках різних транспортних засобів тощо;

- визначення координат об'єктів та відстаней між об'єктами, зокрема і космічними, що знаходяться в межах від одиниць міліметра до мільйонів кілометрів та ін.

На сучасному етапі розвитку приладобудування, робототехніки та інших галузей промисловості України актуальними є необхідність отримання високоточних результатів вимірювань лінійних переміщень, що потребує розробки нових ефективних засобів вимірювання переміщень, з метою підвищення їх точності та надійності, а також їх метрологічного забезпечення.

Відомі методи та засоби вимірювання лінійних переміщень, але вони не задовольняють сучасним вимогам, що висуваються до такого класу методів та засобів. Тому розробка нових засобів вимірювання лінійних переміщень, які здатні забезпечувати зазначені характеристики є **актуальною задачею**.

Очевидно, велику роль в цій області відіграє метрологічне забезпечення засобів вимірювання лінійних переміщень, яке передбачає застосування наукових та організаційних норм і правил, а також розробку та виготовлення технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та необхідної точності вимірювань, що складає **мету розробки**.

Для досягнення **поставленої мети** в роботі вирішуються наступні **завдання**:

- проаналізувати існуючі методи і засоби вимірювання лінійних переміщень та оцінити сучасний стан метрологічного забезпечення;
- розробити засіб вимірювання лінійних переміщень;
- розробити методику калібрування засобу вимірювання з розрахунками невизначеності.

Об’єктом роботи є процес вимірювання лінійних переміщень.

Предмет дослідження є шляхи покращення метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі задач використовувались методи наукового пошуку. В ході експериментальних досліджень використовувались методи планування експерименту та чисельні методи.

Наукова новизна полягає у тому, що розроблена методика калібрування засобів вимірювання лінійних переміщень з використанням LVDT сенсорів дозволить використовувати такі засоби в процесі передавання розмірів від еталонів до зразкових ЗВТ.

Практична цінність полягає у тому, що в роботі проведено узагальнення та систематизацію отриманих вхідних даних завдяки чому сформовано програму для підвищення рівня метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень.

З метою підтримки характеристик засобу вимірювання розроблена методика калібрування його метрологічних характеристик в нормальних умовах експлуатації методом звірення з показаннями зразкових приладів.

Висока надійність, порівняно низька вартість, безконтактний принцип дії, практично необмежений термін роботи, широкий діапазон вимірювання лінійних переміщень (від десятків мікрон до ± 0,5 м), висока точність ±0,3% і можливість працювати в самих жорстких умовах експлуатації (–40 ºС…+120 ºС) – роблять ці засоби вимірювання придатними для використання в багатьох технологіях.

Апробація результатів роботи. За результатами магістерської кваліфікаційної роботи зроблено доповідь та опубліковано тези доповіді на XLVII науково-технічній конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики у 2018 році [3] та п’ятій іжнародній науковій конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019)» [4].

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АУДИТ РОЗРОБКИ

1.1 Оцінювання комерційного потенціалу нового виробу

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Для визначення комерційного потенціалу розробки необхідно провести технологічний аудит, за результатами якого робиться висновок щодо подальших напрямів впровадження даної розробки.

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету: Севастьянов В.Н. к.т.н., доц. каф. МПА, Овчинников К.В. к.т.н., доц. каф. АІІТ, Маньковська В.С. к.т.н., доц. каф. МПА.

За допомогою таблиці 1.1 за п’ятибальною шкалою використовуючи 12 критеріїв оцінки комерційного потенціалу розробки експерти надали свої оцінки.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі	Технічні та споживчі	Технічні та споживчі	Технічні та споживчі	Технічні та споживчі

	властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	властивості продукту на рівні аналогів	властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витрачати значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

Продовження таблиці 1.1

12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 1.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 1.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 1.3 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Севастьянов В.Н.	Овчинников К.В.	Маньковська В.С.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	3	2
2	3	3	2
3	2	2	2
4	3	2	3
5	2	2	3
6	1	2	2
7	2	3	2
8	3	3	3
9	1	1	1
10	2	3	2
11	3	3	3

12	2	2	2
Сума балів	$СБ_1$=26	$СБ_2$=29	$СБ_3$=30
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{26+29+30}{3} = 28{,}333$		

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів склала 28, що згідно таблиці 1.2 вважається, що рівень комерційного потенціалу розробки є середнім.

В роботі розробляється пристрій для вимірювання лінійних переміщень та методика калібрування, яка буде корисна спеціалістам метрологічних лабораторій при виконанні процедури калібрування засобів вимірювання лінійних переміщень.

Проведемо порівняння нової розробки з аналогами, які існують на ринку. В якості аналога для розробки було обрано вимірювач лінійний переміщень двухканальний ИЛП-2.

Основними недоліками аналога є границі основної зведеної до діапазону вимірювання похибки в діапазоні вимірювання складає ±2,5%. Також до недоліків можна віднести використання у якості первинного вимірювального перетворювача вихрострумового.

У розробці дана проблема вирішується використанням первинного вимірювального перетворювача LVDT типу. Також система випереджає аналог за такими параметрами як: діапазон вимірювання без застосування спеціальних засобів та способів використання засобу вимірювання; граничні значення допустимої похибки вимірювання.

В таблиці 1.4 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Таблиця 1.4 – Основні технічні показники аналога і нової розробки

Показники Додайте одиниці виміру	Аналог	Нова розробка	Відношення параметрів нової розробки до параметрів аналога
Граничне значення похибки вимірювання	±2,5%	±1,5%	0,6
Діапазон вимірювання	$\pm 10\times10^{-3}$ м	1×10^{-6}..0,5 м	3
Кількість вимірювальних каналів	2	4	2

З огляду на дані таблиці 1.4 можна зробити висновок про те, що існуючий на ринку аналог не задовольняє вимогам за декількома параметрами: по-перше це граничне значення допустимої похибки вимірювання, яке сьогодні при використанні цифрової техніки не повинно перевищувати значення ±1,5 %; по-друге діапазон вимірювання, що дозволяє розширити галузь застосування засобу вимірювання, зробити його більш універсальним; по-третє збільшена кількість вимірювальних каналів, що робить прилад здатним замінити цілий парк вимірювальних пристроїв.

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (1.1) та (1.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 1.5.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Бi}} \tag{1.1}$$

або

$$q_i = \frac{P_{Бi}}{P_{Hi}} \tag{1.2}$$

де $Р_{Нi}$, $Р_{Бi}$ – числові значення *i*-го параметру відповідно нового і базового виробів.

Таблиця 1.5 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник Додайте одиниці виміру	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Граничне значення похибки вимірювання, %	±2,5	±1,5	1,7	35%
Діапазон вимірювання, м	$\pm 10\times10^{-3}$	$1\times10^{-6}..0,5$	3	35%
Кількість вимірювальних каналів	2	4	2	30%

$$q_1 = \frac{2,5}{1,5} = 1,7;$$

$$q_2 = \frac{1\times10^{-6}..0,5}{\pm10\times10^{-3}} = 3;$$

$$q_3 = \frac{4}{2} = 2.$$

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$К_{я.в.} = \sum_{i=1}^{n} q_i \cdot \alpha_i, \quad (1.3)$$

$$К_{я.в.} = 1,7\cdot0,35+3\cdot0,35+2\cdot0,3+1,29\cdot0,1=2,25$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

Приблизна ціна нового товару складе 1650 грн. Занесемо ці та інші показники (взяті з попередніх розрахунків) до табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Нормативні, технічні та економічні параметри інноваційного рішення і товару-виробника

Показники Додайте одиниці виміру	Варіанти	
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
1. Нормативно-технічні показники		
Граничне значення похибки вимірювання, %	±2,5	±1,5
Діапазон вимірювання, м	$\pm 10\times10^{-3}$	$1\times10^{-6}..0,5$
Кількість вимірювальних каналів	2	4
2. Економічні показники		
Ціна придбання, грн	2500	1650

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (К) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \tag{1.4}$$

де $I_{m.n.}$ – індекс технічних параметрів; $I_{e.n.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (1.5)

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{Hei}}{\sum_{i=1}^{n} P_{Бei}}, \tag{1.5}$$

де P_{Hei}, $P_{Бei}$ – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$\text{I}_{\text{е.п.}} = \frac{1650}{2500} = 0,66;$$

$$\text{К} = \frac{2,25}{0,66} = 3,4.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

1.2 Висновки до розділу 1

Врахувавши цінову політику на ринку, а також конкуренцію можна зробити висновок, що постачати розробку необхідно за ціною яка буде на 20-30% нижчою ринкової. Оплата може здійснюватись за допомогою банківських переказів, а також можливість оплати через мережу Internet.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ОБ'ЄКТА

Найважливішою сферою практичної метрології є метрологічне забезпечення вимірювань.

Основними завданнями метрологічного забезпечення вимірювань є розробка і впровадження в народне господарство нових засобів вимірювальної техніки.

В сучасних умовах метрологічне забезпечення має дужі великий вплив на кінцевий результат діяльності промисловості, підприємств, наукових організацій, соціальної сфери. Цей вплив виявляється через використання кінцевих результатів метрологічного забезпечення в раціоналізації вимірювальних процесів, забезпечення єдності і потрібної точності вимірювань.

Правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні регулюються Законом України про метрологію та метрологічну діяльність, згідно з яким єдність вимірювань – це стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а похибки вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі [5].

Основна мета метрологічного забезпечення є покращення якості продукції, раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів. Для досягнення такої мети визначені основні завдання метрологічного забезпечення:

- встановлення одиниць фізичних величин;
- формування системи державних еталонів;
- розроблення методик та засобів передавання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів зразковим і робочим засобам вимірювань;
- розроблення способів досягнення потрібної точності вимірювань;
- розроблення та впровадження в практичну діяльність норм та правил законодавчої метрології;

- проведення державних випробовувань засобів вимірювань;
- розроблення та атестація методик виконання вимірювань;
- державний метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань у державі.

Організація метрологічного забезпечення розробки нового засобу вимірювання покликана забезпечити єдність і точність вимірювань лінійних переміщень.

Основною метою метрологічного забезпечення засобів вимірювання лінійних переміщень є їх калібруваня, яке є частиною комплексної задачі по забезпеченню передачі розмірів одиниці фізичної величин (лінійного переміщення) від еталонів зразковим і далі робочим засобам вимірювань, завдяки чому досягається єдність вимірювань.

Тому розробка метрологічного забезпечення засобу вимірювання лінійних переміщень із врахуванням міжнародних і вітчизняних підходів до виконання такої задачі є актуальною науковою проблемою, вирішення якої дозволить покращити метрологічні характеристики: зменшити похибку, забезпечити економію матеріалів, зменшити габарити та вартість.

3 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Для вирішення задачі створення метрологічного забезпечення необхідно детально вивчити стан розвитку сучасного метрологічного забезпечення та методів, що застосовуються при вимірюванні лінійних переміщень.

3.1 Аналіз методів вимірювання лінійних переміщень

Аналіз методів вимірювання є важливим розділом метрології.

Згідно з ДСТУ 2681-94 метод вимірювання – сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювань для створення вимірювальної інформації [6].

Вимірювання лінійних переміщень займають значне місце в різних галузях науки та техніки, зокрема, в машино – та приладобудуванні, де вимірювання цих величин займають до 60 % від всіх вимірювань в цих галузях [7].

Діапазон вимірювання лінійних переміщень може бути в границях від «сантиметрів» і навіть «метрів» при вимірюванні геометричних, лінійних переміщень деталей машин і механізмів до часток «мікрометра» при вимірюванні деформацій. Такий широкий діапазон вимірювань визначає велику різноманітність методів і засобів за допомогою яких здійснюються такі вимірювання.

Залежно від завдань і умов навколишнього середовища можуть бути використані різні методи вимірювання лінійних переміщень.

Вимірювання переміщень залежно від їх величини здійснюються механічними індикаторами або за допомогою вимірювальних перетворювачів – датчиків (давачів) переміщень, які перетворюють переміщення в електричні сигнали різного типу.

Вимірювання різних неелектричних величин (переміщень, зусиль, і т. п.) електричними методами виконують за допомогою пристроїв та приладів, що перетворюють неелектричні величини в залежні від них електричні, які вимірюють електровимірювальними приладами з шкалами, що проградуйовані в одиницях вимірюваних неелектричних величин.

Перетворювачі неелектричних величин в електричні, або датчики, поділяються на параметричні , засновані на зміні будь-якого електричного або магнітного параметра (опору, ємності, індуктивності, магнітної проникності тощо) під дією вимірюваної величини, і генераторні, в яких вимірювана неелектричних величин перетворюється в залежну від неї е. р. с. (індукційні, термоелектричні, фотоелектричні, п’єзоелектричні та ін.).

Параметричним перетворювачам необхідне стороннє джерело електричної енергії, а генераторні самі є джерелами енергії.

Один і той же перетворювач може бути використрнай для вимірювання різних неелектричних величин і, навпаки, вимірювання якої-небудь неелектричної величини можна виконати за допомогою перетворювачів різних типів.

Для вимірювання лінійних переміщень широко застосовують індуктивні перетворювачі - електромагнітні пристрої, у яких параметри електричних і магнітних кіл змінюються при переміщенні феромагнітного якоря, з’єднаного з об’єктом, що переміщується.

Електричні методи вимірювання лінійних переміщень різних об’єктів широко застосовують у практиці, оскільки вони забезпечують високу точність вимірювань, відрізняються широким діапазоном, дозволяють виконувати вимірювання та реєстрацію їх значень на значній відстані від місця розташування контрольованого об’єкта, дають можливість проводити вимірювання у важкодоступних місцях, дозволяють забезпечити високу точність та чутливість.

В даній роботі буде використано електричний метод перетворення лінійних переміщень в електричний сигнал (пропорційний, аналоговий).

3.2 Аналіз основних типів датчиків лінійного переміщення

Основна задача розділу: проаналізувати сучасні основні типи датчиків лінійного переміщення та систематизувати їх.

Так як датчик - це пристрій, що забезпечує функціональне перетворення зміни деякої величини (будь-якого виду) у сигнал іншої величини, зручний для посилення чи передачі, перетворення але який не піддається безпосередньому сприйманню [8].

Датчики є елементами технічних систем, призначених для вимірювання, сигналізації, регулювання, управління пристроями або процесами. Датчики перетворюють контрольовану величину (тиск, температуру, витрати, концентрацію, частоту, швидкість, переміщення, напругу, електричний струм тощо) в сигнал (електричний, оптичний, пневматичний), зручний для вимірювання, передачі, перетворення, зберігання та реєстрації інформації про стан об'єкта вимірювань.

Значне місце серед датчиків знаходять первинні перетворювачі переміщень, тобто пристрою, вихідною величиною яких є: переміщення, підсилення, тиск та інші фізичні величини, які можуть бути перетворені в переміщення, а їх вихідною величиною є електричний сигнал.

Вимірювання переміщень знаходяться в широкому діапазоні - від часток мікрометра, наприклад, при вимірюванні шорсткостей в процесі виробничого контролю чистоти обробки поверхонь деталей в машинобудуванні до багатьох сотень і тисяч кілометрів при вимірі відстаней в геодезії, навігації чи астрономії.

Для зручності розгляду вимірювальні перетворювачі класифікуються за принципом їх дії, тобто по таких явищах, які використовується для перетворення неелектричної величини в електричну. Розглянемо тільки перетворювачі переміщень, які часто використовуються і відносяться до класу параметричних перетворювачів.

У параметричних вимірювальних перетворювачах неелектрична величина перетворюється в параметр електричного кола: опір – R, ємність – C, індуктивність – L, взаємну індуктивність – M. При використанні таких перетворювачів, на відміну від генераторних, де вихідною величиною є ЕРС, необхідно мати додаткове джерело живлення. Параметричні перетворювачі дуже різноманітні за своєю будовою, призначенням і областю застосування.

Датчиком переміщення називається пристрій, що сприймає контрольоване положении і (або) переміщення об'єкта і перетворює його в вихідний сигнал, зручний для подальшої обробки, зберігання або передачі по каналу зв'язку [8].

Існує два основні методи визначення положення і вимірювання переміщення. У першому випадку датчик виробляє сигнал, який є функцією положення однієї з його частин, пов'язаної з рухомим об'єктом, а зміна цього сигналу характеризує переміщення об'єкта. У другому випадку переміщення об'єкта розглядається як совокупность елементарних переміщень, причому датчик формує імпульс, відповідний кожному елементарному переміщенню. Таким чином, переміщення об'єкта визначається сумою імпульсів датчика.

Розглянемо параметричні перетворювачі [9], які застосовуються на практиці.

Тепзоперетворювач (тензорезистор). Принцип роботи тензорезисторів ґрунтується на тензоефекті, який полягає у зміні опору провідника або напівпровідника під дією механічної напруги або деформації:

Терморезистивний перетворювач (терморезистор). Принцип роботи оснований на залежності опору провідників і напівпровідників від температури. Терморезистивний перетворювач, як правило, виготовляється з платинового або мідного провідника. Застосовують також напівпровідникові термо-резистори (термістори).

Термоелектричні перетворювачі. Термоелектричним перетворювачем, або термопарою, називають з'єднання двох провідників, виготовлених з різних матеріалів або сплавів (наприклад, хромель, копель, анімель). Принцип дії

термопари ґрунтується на так званому ефекті Зеєбека, який полягає в тому, що в точці з'єднання (спаю) двох різнорідних провідників виникає електрорушійна сила (термоЕРС), яка залежить від температури і фізичних властивостей цих двох провідників.

Індуктивний перетворювач. Принцип дії індуктивного перетворювача базується на залежності індуктивності L_x або взаємної індуктивності M_x від взаємного розташування, геометричних розмірів і магнітного опору ділянок магнітопровода.

Ємнісні перетворювачі. Принцип дії ємнісного перетворювача ґрунтується на залежності ємності конденсатора від розмірів і взаємного розташування пластин та від діелектричної проникності матеріалу між ними.

Реостатні перетворювачі. Реостатний перетворювач – це точний (прецизійний) реостат, повзунок якого переміщується під дією величини, що вимірюється.

Індукційні перетворювачі. Принцип дії індукційного перетворювача ґрунтується на законі електромагнітної індукції, згідно з яким змінне магнітне поле наводить у певному контурі, що знаходиться в цьому полі, електрорушійну силу, значення якої прямо пропорційне швидкості зміни даного магнітного поля.

П'єзоелектричні перетворювачі. Принцип дії п'єзоелектричних перетворювачів ґрунтується на явищі п'єзоефекту, який полягає у тому, що під дією сили (тиску) на кристали деяких речовин (наприклад, кристали кварцу) на гранях такого кристалу з'являються електричні заряди.

3.2.1 Реостатні перетворювачі

Розглянемо реостатні перетворювачі, які отримали найбільше практичне застосування.

Принцип дії реостатних перетворювачів заснований на зміні електричного опору провідника під впливом вхідної величини - переміщення.

Вони являють собою реостат, плунжер якого переміщується під впливом лінійного або кутового переміщення. Рівняння перетворення таких перетворювачів у загальному вигляді:

$$R = f(x_{вх}), \qquad (3.1)$$

де R – вихідний опір перетворювача;

$x_{вх}$ – кутове бо лінійне переміщення плунжера.

Складаються реостатні перетворювачі з обмотки, нанесеної на каркас і щітки. Форма каркаса залежить від характеру вимірюваного переміщення (лінійне або кутове), від виду функції перетворення (лінійна або нелінійна) та інших факторів і може мати вигляд циліндра, тора, призми та ін. (рисунок 3.1)

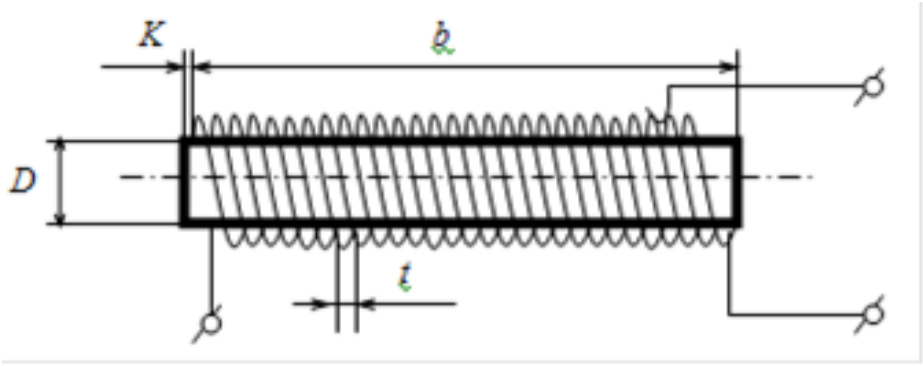

Рисунок 3.1 – Реостатний вимірювальний перетворювач

Габарити перетворювачів визначаються значеннями вимірюваного переміщення, опором обмотки і потужністю, що виділяється в обмотці.

Для отримання нелінійної функції перетворення використовуються функціональні реостатні перетворювачі.

Вихідний величиною реостатних перетворювачів є активний опір, розподілений лінійно або по деякому закону по шляху плунжера і вимірюється звичайно за допомогою мостових схем з логометром у вимірювальній діагоналі. Застосування автоматичних самозрівноважених мостів дозволяє уникнути

впливу опору перехідного контакту в двигунах перетворювача і коливання напруги джерела живлення.

При використанні реостатних перетворювачів для вимірювання неелектричних величин часто ставиться задача отримання лінійної залежності кута відхилення α вимірювача від вимірюваної неелектричної величини, незважаючи на те, що ряд ділянок приладу між перетворювачем і вимірювачем характеризується нелінійної функцією перетворення.

До основних переваг реостатних перетворювачів можна віднести наступне: можливість отримання високої точності і значних за рівнем вихідних сигналів, простоту конструкції, малі габарити і масу, можливість живлення постійним і змінним струмом, високу стабільність параметрів.

Недоліки реостатних перетворювачів такі: наявність ковзного контакту, обмежений термін служби, обмежений діапазон, нелінійність вихідної характеристики, що забезпечує велику похибку лінійності.

Похибка від нелінійності реостатних перетворювачів може бути отримана на рівні 0,1 ÷ 0,03 %. Температурна похибка визначається, перш за все, ТКС (температурним коефіцієнтом опору) проводу і становить, як правило, менше 0,1 % на 10 ^{o}C. Джерелами похибок таких перетворювачів є також нестабільність напруги джерела живлення, опір з'єднувальних проводів та їх зміна від зміни температури довкілля. При роботі реостатних перетворювачів у колах змінного струму необхідно мати на увазі наявність залишкових реактивностей.

Найбільш широко реостатні перетворювачі застосовуються для перетворення лінійних (більше 2 ÷ 3 мм) переміщень об'єкта, здатного розвивати зусилля від 10^{-2} Н і більше.

3.2.2 Ємнісні перетворювачі

Ємнісні перетворювачі засновані на залежності електричної ємності конденсатора від його розмірів, взаємного розташованих його обкладок і від діелектричної проникності середовища між ними. Ємність С між двома паралельними провідними площинами площею S, розділеними малим зазором δ виражається наступною формулою

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{\delta}, \tag{3.2}$$

де ε_0 – діелектрична постійна;

ε – відносна діелектрична проникність середовища між обкладками.

З виразу для ємності видно, що перетворювач може бути побудований з використанням однієї з залежностей $C = f_1(\delta)$, $C = f_2(S)$ і $C = f_3(\varepsilon)$, тобто з зміною довжини зазору δ, з зміною площі S і з зміною діелектричної проникності середовища (рисунок 3.2).

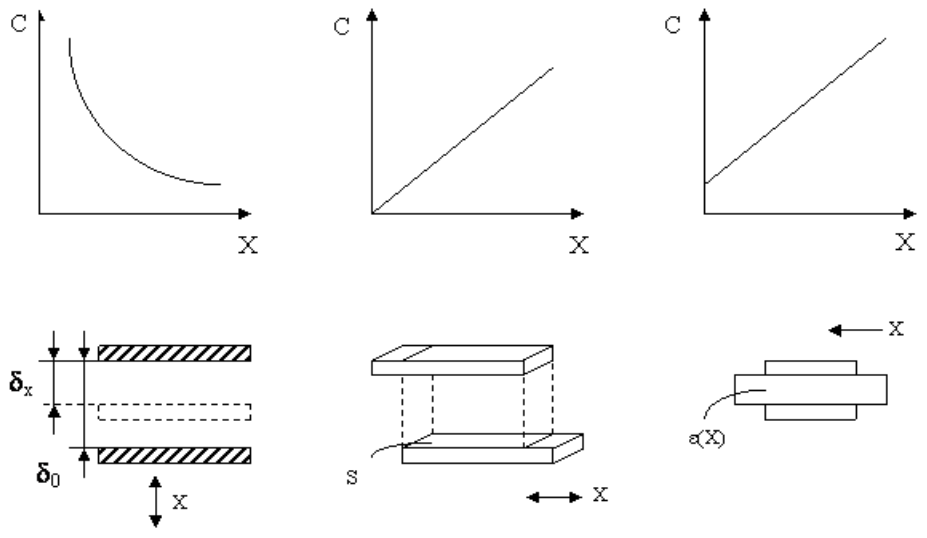

Рисунок 3.2 – Ємнісні перетворювачі переміщення

В якості вимірювальних ланцюгів ємнісних перетворювачів в більшості випадків використовують мости змінного струму. Для зменшення впливу ємностей з'єднувальних проводів розташування всіх елементів моста проводиться в безпосередній близькості від перетворювача або ці елементи розташовують конструктивно разом з перетворювачем. Оскільки ємності більшості перетворювачів становлять 10-100 пФ, у зв'язку з цим навіть на високих частотах їх вихідний опір великий (103-107 Ом), а вихідна потужність перетворювачів настільки мала (мікровольтампери), то їх застосовують тільки у поєднанні з електронними підсилювачами, включеними у вимірювальну діагональ моста.

Для поліпшення лінійності перетворення і збільшення чутливості часто використовують ланцюг з диференціальним ємнісним перетворювачем. Ємності диференціального перетворювача включаються в сусідні плечі моста, а в два інших плеча включаються низькоомні резистори, взаємопов'язані індуктивності або напівобмотки трансформатора живлення. Лінійність вихідної характеристики диференціального ємнісного перетворювача включеного в міст, залежить від опору показника. Для збільшення лінійності вихідної характеристики у вимірювальну діагональ моста з перетворювача з перемінним зазором включають покажчик з великим вхідним опором.

За своїми динамічними властивостями ємнісний перетворювач, як такий, якщо в якості вихідної та вхідної величин вважати відповідно приріст ємності ΔC і зміну $\Delta\delta$ ($\Delta\varepsilon$ або ΔS), відноситься до безінерційних.

До переваг ємнісних перетворювачів можна віднести:

- принципова відсутність шумів;
- відсутність самонагрівання;
- простоту конструкції, малу масу і габарити;
- висока чутливість, мале споживання енергії;
- можливість відповідним вибором форми рухомого і нерухомого електродів отримати задану функціональну залежність між зміною ємності і

вхідним лінійним або кутовим переміщенням (в перетворювачах зі змінною площею перекриття електродів);

- малу силу тяжіння електродів;

- можливість застосування як для статичних, так і для динамічних вимірювань.

Недоліками ємнісних перетворювачів є:

- мала ємність і високий вихідний опір перетворювача;

- залежність результату вимірювання від зміни ємності кабелю.

- похибки, обумовлені залежністю ємності від зовнішніх умов;

- похибку, які обумовлені паразитними струмами витоку.

- похибки, які обумовлені впливом паразитних ємностей між електродами і заземленими деталями конструкції;

- мала вихідна потужність, необхідність використання джерела живлення підвищеної частоти, необхідність високоякісної ізоляції та екранування від зовнішніх впливів полів, обмежений діапазон вимірювання вхідної величини, вплив температури і вологості.

Основна похибка вимірювання визначається конкретними умовами роботи і конструкцією перетворювача та коливається в межах від 1 % до 0,001%.

Область застосування ємнісних перетворювачів із змінним зазором – вимірювання малих переміщень (від часток мікрометра до часток міліметра). Ці перетворювачі мають високу чутливість (до 500 В/мм), малими похибками і простотою конструкції, що в ряді випадків робить їх незамінними. Перетворювачі із зміною площі застосовуються для вимірювання великих лінійних (більше 1 см) переміщень.

3.2.3 Індуктивні перетворювачі

Вимірювання переміщень можливе індуктивним методом, принцип дії якого заснований на зміні індуктивності котушки при переміщенні сердечника.

Більш детально, принцип дії індуктивних перетворювачів заснований на залежності індуктивності або взаємної індуктивності обмоток на магнітопроводі від положення, геометричних розмірів та магнітного стану елементів їх магнітного ланцюга. Іншими словами індуктивний перетворювач являє собою котушку індуктивності або взаємної індуктивності, параметри якої змінюються під впливом вхідної вимірюваної величини.

Індуктівность обмотки, розташованої на магнітопроводі визначається формулою

$$L = \frac{w^2}{z_m}, \qquad (3.3)$$

де W – число витків обмотки;

Zm – магнітний опір магнітопроводу.

Найбільш поширеним типом таких перетворювачів є перетворювач з малим повітряним зазором δ, довжина якого змінюється під впливом вимірюваної механічної величини P (зосередженої сили, тиску, лінійного переміщення). В наслідок зміни повітряного зазору змінюється магнітний опір такого зазору і всього магнітного ланцюга, і відповідно індуктивність котушки, одягненої на сердечник і включеної в ланцюг змінного струму. Зміна індуктивного опору котушки веде до зміни її повного опору Z.

Індуктивність котушки можна також змінювати шляхом зміни площі повітряного зазору, зміною механічної напруги в феромагнітному осерді і його магнітної проникності (магнітопружні перетворювачі) (рисунок 3.3).

Іншим типом індуктивних перетворювачів є перетворювачі з розподіленими параметрами, в яких структуру магнітної системи роблять такою, щоб при переміщенні рухомої котушки в повітряному зазорі змінювався

магнітний потік або змінювався повний потік. ЕРС, що виникає в котушці і буде функцією її переміщення.

За самою своєю природою індуктивні датчики, з одного боку, чутливі до зовнішнього електромагнітного поля, а з іншого, - здатні самі його індукувати. Тому індуктивні датчики необхідно поміщати усередині кожуха, що служить магнітним екраном.

Індуктивні перетворювачі досить широко використовуються для контролю розмірів виробів, переміщень рухомих деталей, зусиль, тисків, ваги вантажів та інших фізичних величин. Таке широке поширення ці перетворювачі отримали завдяки таким перевагам:

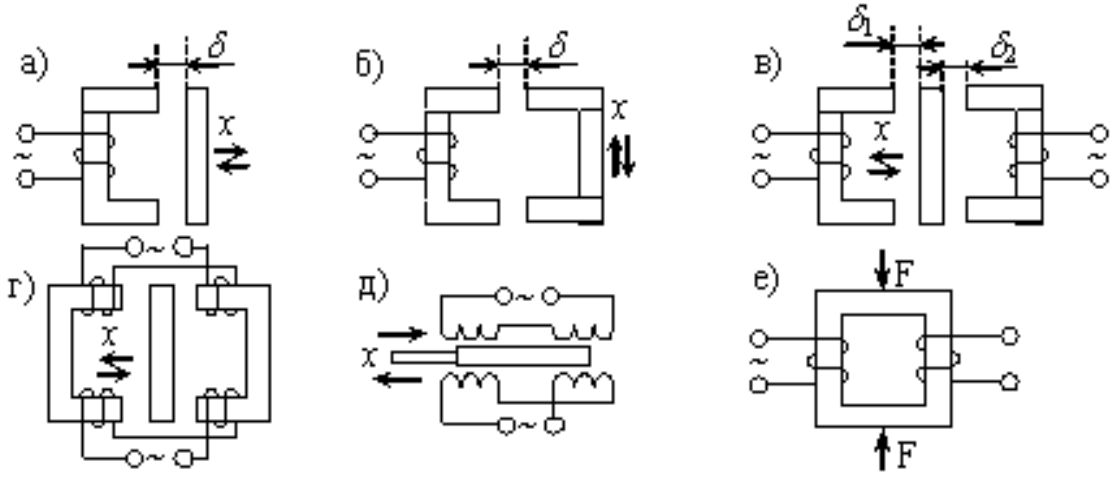

Рисунок 3.3 – Різні типи індуктивних перетворювачів

- велика вихідна потужність, що не вимагає подальшого посилення сигналу;

- висока чутливість до вимірюваної величини;

- широка межа вимірювання;

- достатня точність контролю;

- довговічність в роботі;

- зручність в експлуатації;

- простота конструкції.

Однак вони мають нелінійну характеристику залежності вихідної величини від вхідної, що обумовлює похибку нелінійності, для зменшення якої доводиться працювати на обмеженій ділянці характеристики.

Основні похибки цих перетворювачів обумовлені коливаннями напруги і частоти джерела живлення, а також коливаннями температури навколишнього середовища.

З усього різноманіття індуктивних перетворювачів найбільше застосування отримали перетворювачі зі зміною довжини або площі повітряного зазору (рисунок 3.3, а, б) і серед них диференціальні перетворювачі (рисунок 3.3, в) в силу їх переваг в порівнянні з одинарними.

Значного підвищення лінійності перетворення при одночасному збільшенні чутливості досягається за допомогою диференціальних перетворювачів. На практиці, як правило, використовують іменно такі перетворювачі.

Якір розташований між осердями на однаковій довжині від них, тому в початковому стані магнітні потоки в осердях однакові, отже, однакові індуктивності обмоток і напруги на них, а різниця цієї напруги дорівнює нулю. Коли якір зміщується у бік одного з осердь, магнітний потік в цьому осерді збільшується, а в іншому – зменшується. Індуктивності обмоток і напруги на них стають різними, що призводить до появи вихідного сигналу.

Диференціальний перетворювач складається з двох однакових індуктивних перетворювачів. Під дією вхідної величини $\Delta\delta$ повний опір двох перетворювачів змінюється дзеркально, тобто на одну і ту саму величину, але з протилежним знаком. Диференціальний перетворювач включають в таку вимірювальну схему, яка реагує на алгебричну різницю повних опорів перетворювачів, які входять до складу диференційного перетворювача. За рахунок цього чутливість диференціального перетворювача підвищується в два рази у порівнянні з одинарним.

3.2.4 LVDT-датчики переміщення

В LVDT-датчиках застосований принцип лінійного змінного диференціального трансформатора (LVDT - Linear Variable Differential Transformer) зі змінним коефіцієнтом передачі інформації, який забезпечує великий ресурс і стабільність вимірювань (рисунок 3.4) [10].

LVDT-датчик — електромеханічний перетворювач, який перетворює прямолінійне переміщення об’єкта, з яким він пов’язаний механічно, в електричний сигнал (рисунок 3.5).

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд LVDT-датчиків

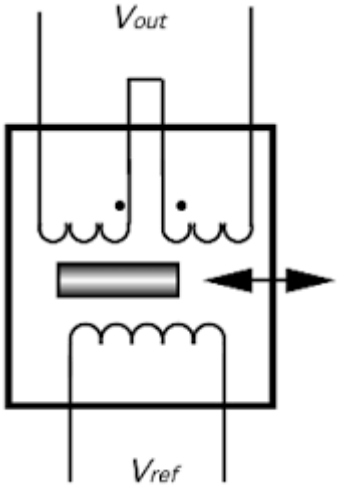

Рисунок 3.5 – Схема LVDT-датчика

На рисунку 3.4 схематично представлена конструкція LVDT-датчика, основними складовими якого є первинна і дві вторинні обмотки (як правило, обмотки розташовані на нерухомому осерді) та рухоме ядро. Первинна обмотка розташована симетрично між двома ідентичними вторинними обмотками. Котушки розташовані на цілісному термостабільному армованому полімері і укладені в герметичну оболонку, що захищає їх від потрапляння вологи та агресивних середовищ. Рухоме ядро, виконане з високо проникного магнітного матеріалу, має циліндричну форму і вільно переміщується по внутрішній порожнині датчика.

Електроживлення первинної обмотки здійснюється змінною синусоїдальною напругою - типове значення 3 В, 3 кГц.

Переміщення сердечника викликає зміну магнітного поля всередині трансформатора. Точніше, коли сердечник переміщується з центрального положення, напруга, індукована в одній з вторинних обмоток, збільшується, а напруга, індукована в інший вторинній обмотці, зменшується. Це породжує диференціальну вихідну напругу (u1-u2), яка лінійно змінюється в залежності від положення сердечника.

Зазвичай диференціальна змінна напруга перетворюється вбудованим електронним модулем в сигнал постійного струму.

Датчики LVDT не мають електричного контакту між штоком і корпусом, що дозволяє проводити вимірювання з високою точністю, високою роздільною здатністю і дуже великим ресурсом.

Висока надійність, порівняно низька вартість, безконтактний принцип дії, практично необмежений термін роботи, широкий робочий температурний діапазон і т.п. – роблять їх придатними для використання в багатьох технологіях.

До вказаних особливостей даних датчиків можна зарахувати ще дуже великий динамічний діапазон вимірюваних переміщень (від десятків мікрон до ± 0,5 м. При вимірюванні однонаправлених перемещень діапазон може складати до ± 0,94 м) і можливість працювати в самих жорстких умовах

експлуатації. Перша випливає з принципу дії, а друга — з конструктивного виконання [11]. LVDT-датчики забезпечують високу точність, лінійність та чутливість.

3.2.5 Ультразвукові датчики переміщення

Ультразвуком називають пружні механічні хитання й хвилі, частота яких перевищує 20 кГц, та які поширюються у вигляді поздовжніх хвиль у різних середовищах. Верхньою межею ультразвукових частот вважають 106 – 107 кГц.

В ультразвукових датчиках реалізований принцип радара – фіксуються відбиті від об’єкта ультразвукові хвилі, тому структурна схема зазвичай представлена джерелом ультразвукових хвиль і реєстратором (рисунок 3.6), які зазвичай укладені в компактний корпус. Визначення тимчасової затримки між моментами відправки і прийому ультразвукового імпульсу дозволяє вимірювати відстань до об’єкта з точністю, яка доходить до десятих часток міліметра.

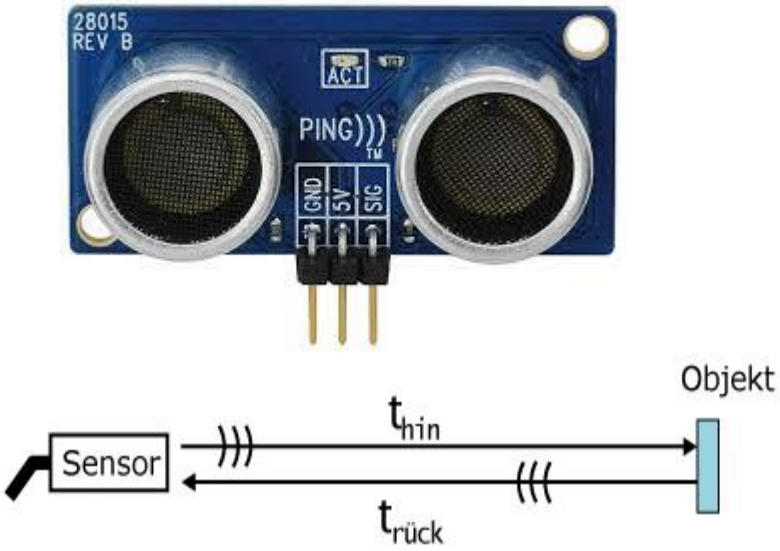

Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд і принцип роботи ультразвукового датчика

Частота коливань пов’язана з довжиною хвилі простим співвідношення:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \tag{3.4}$$

де c – швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в даному середовищі, м/с;

f – частота коливань, кГц.

Поряд з оптичними, ультразвукові датчики на сьогоднішній день є, мабуть, найбільш універсальним і технологічним безконтактним засобом вимірювання.

Датчики такого типу використовуються з метою перетворення лінійних показників відстані до досліджуваного об’єкта в електричні сигнали, які відповідають стандарту 4-20 мА або 0-10 Вольт. Точність вимірювання є не менш 0,5 мм при відстані менше одного метра, а також наближено 1 мм, якщо відстань становить більше одного метра.

Розроблена реляційна модель якісної оцінки (таблиця 3.1) дозволяє при проектуванні нових виробів з урахуванням цільової сфери застосування прискорити процес вибору необхідного типу датчика лінійного переміщення, що буде задовольняти основним вимогам до розроблюваної системи.

Таблиця 3.1 – Реляційна модель якісної оцінки сучасних основних типів датчиків лінійного переміщення

Тип датчика	**Принцип дії**	**Переваги**	**Недоліки**
Індуктивний датчик LVDT	Принцип дії датчиків переміщення LVDT заснований на індуктивному перетворенні механічного руху в електричний сигнал.	Простота виготовлення. Високий ступінь захисту від впливу зовнішніх електромагнітних полів і точність вимірювання. Висока надійність, порівняно низька вартість, безконтактний принцип дії, практично необмежений термін роботи, широкий робочий температурний діапазон.	Періодична знакозмінна динамічна похибка.

Продовження таблиці 3.1

Тип датчика	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Датчик Холла	Ефект Холла – виникнення електричної напруги на бокових поверхнях пластини, через яку протікає електричний струм, якщо на цей струм впливає магнітне поле, перпендикулярно пластині.	Характеризується високою навантажувальною здатністю, лінійною характеристикою перетворення в робочому діапазоні, довгостроковою стабільністю параметрів і малим струмом споживання.	Вихідна напруга знаходиться в лінійній залежності від величини вектора магнітної індукції.За межами робочої області датчик входить в насичення.
Магніто-резистивний датчик	Ефект Гаусса – зміна електричного опору феромагнітних матеріалів в магнітному полі.	Висока чутливість, відсутність магнітного дрейфу, надійність та довговічність.	Недоліком є парна вольт-ерстедна характеристика, що вимагає для нормальної роботи додаткового магнітного зсуву і відносно високого гістерезису.
Фото-електричний датчик	Контролює положення допоміжної лінії, яка наноситься паралельно стиків.	Простота конструкції	Низька точність та завадостійкість при роботі в умовах сильного світлового випромінювання.
Ємнісний датчик	Засновані на залежності електричної ємності конденсатора від його розмірів, взаємного розташування його обкладок і від діелектричної проникності середовища між ними	Відсутність шумів; відсутність самонагрівання; простота конструкції, мала маса і габарити; висока чутливість, мале споживання енергії	Залежність результату вимірювання від зміни ємності кабелю; похибки, обумовлені залежністю ємності від зовнішніх умов похибки, які обумовлені паразитними струмами витоку

3.3 Висновки до розділу 3

Оскільки в датчиках застосований принцип лінійного змінного диференціального трансформатора, то це забезпечує стабільність вимірювань. LVDT-датчики широко використовуються в механообробці, робототехніці, авіації і комп'ютеризованому виробництві.

Датчики переміщення LVDT знаходять застосування в багатьох галузях, і хоча їх вибір досить широкий, все ж дані датчики фірми "WayCon Positionsmesstechnik GmbH" слід виділити з ряду похожих завдяки, як мінімум, з двох причин. По-перше, значний динамічний діапазон вимірювань переміщень, по-друге - здатність працювати в самих жорстких умовах експлуатації.

На основі розрахунків, наведених нижче, був вибраний датчик RL600 фірми "WayCon Positionsmesstechnik GmbH", Німеччина (Адреса: Mehlbeerenstr.4 82024 Taufkirchen, Germany).

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Розглянемо два варіанти схеми та порівняємо їх між собою відповідно до визначених критеріїв, а також дамо короткий опис роботи кожної з них та виберемо оптимальну схему [12].

На основі вибраної схеми буде розроблено засіб вимірювання лінійних переміщень. При виборі кращої схеми будуть розглянуті наступні характеристики кожної з них: собівартість, продуктивність, надійність, простота реалізації, габарити, точність. Розглянемо першу схему, яка показана на рисунку 4.1.

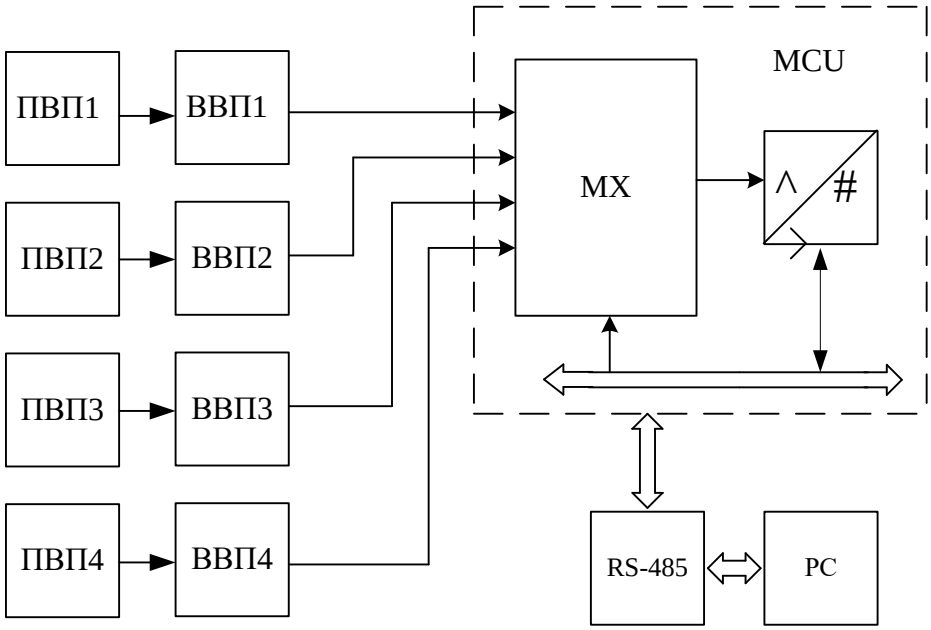

Рисунок 4.1 – Перший варіант реалізації структурної схеми

Позначення на схемі:

ПВП - первинний вимірювальний перетворювач;

ВВП - вторинний вимірювальний перетворювач;

МХ – мультиплексор;

^/# – аналого-цифровий перетворювач;

MCU – мікроконтролер;

RS-485 – інтерфейс;

PC – персональний комп’ютер.

Принцип роботи наведеної схеми полягає в тому, що вимірювані величини (лінійні переміщення) вимірюються первинними вимірювальними перетворювачами (LVDT-датчиками) і перетворюються в аналогові сигнали (напругу) за допомогою вторинних вимірювальних перетворювачів, вихідний сигнал з яких поступає на мультиплексор мікроконтролера.

Далі з мультиплексора інформація потрапляє на встроенний АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий код. Далі за допомогою інтерфейсу обміну даних RS-485 інформація передається на ПК (PC).

Ця схема характеризується високою швидкодією, малою габаритністю, значна частина вартості засобу припадає на вартість датчиків.

Другий варіант структурної схеми зображений на рисунку 4.2.

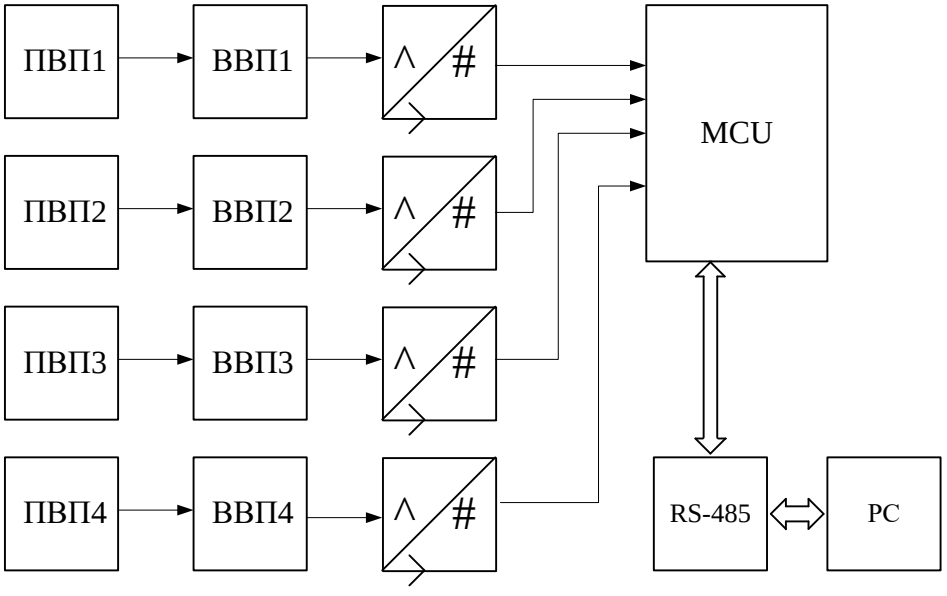

Рисунок 4.2 – Другий варіант реалізації структурної схеми

Позначення на схемі:

ПВП - первинний вимірювальний перетворювач;

ВВП - вторинний вимірювальний перетворювач;

^/# - аналого-цифровий перетворювач, який перетворює аналогову величину у цифровий код;

MCU – мікроконтролер;

RS485 – інтерфейс;

PC – персональний комп’ютер.

Принцип дії цієї системи аналогічний попередній, але в цій схемі перетворений сигнал з кожного вимірювального каналу безпосередньо подається на відповідний окремий АЦП. Далі з АЦП вимірювальна інформація знімається мікроконтролером і за допомогою інтерфейсу передається на ПК.

Ця система має високу швидкодію, але в той же час підвищується собівартість розробки через те що в даній схемі використовується кілька АЦП.

Для того, щоб порівняти вище наведені структурні схеми занесемо основні параметри системи до таблиці 4.1 і порівняємо їх.

Таблиця 4.1 – Порівняння структурних схем

Параметр	I	II	Ідеальна система
Собівартість	0	0	1
Швидкодія	1	1	1
Надійність	1	0	1
Простота реалізації	1	0	1
Габарити	1	1	1
Точність	1	0	1
ΣE_i	5	2	6
K	0,83	0,33	1

Узагальнений коефіцієнт якості знайдемо за наступною формулою:

$$K = \frac{\sum E_i}{E_n}. \quad (3.1)$$

.

Коефіцієнт якості першої схеми:

$$K_1 = 5/6 = 0,83.$$

.

Коефіцієнт якості другої схеми:

$$K_2 = 2/6 = 0,33.$$

.

Отже, критерій якості першої структурної схеми більший, ніж для другої схеми. Тому з цих розрахунків можна зробити висновок, що для поставленої нами задачі найкраще підходить структурна схема, представлена на рисунку 4.1 і в додатку Б.

4.1 Висновки до розділу 4

В розділі розробляєтьсяструктура засобу вимірювання лінійних переміщень. Представлені два варіанта структурниз схем з яких застосувавши критеріальний аналіз обраний більш перспективний. Серед параметрів, які забезпечують обраній структурі переваги є: по-перше надійність, яка в свою чергу опосередковано пов’язана з простотою реалізації і по-друге точність, яку забезпечує використання спеціалізованих електричних компонентів для поєднання LVDT датчика з процессором.

5 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ НОВОЇ РОЗРОБКИ

Засіб вимірювання складається з таких модулів: первинний вимірювальний перетворювач, вторинний вимірювальний перетворювач, аналого-цифровий перетворювач.

5.1 Вибір датчика

Вибираємо LVDT–датчик серії RL фірми "WayCon Positionsmesstechnik GmbH" [13].

Компанія Waycon Positionsmesstechnik GmbH відома в усьому світі як провідний виробник приладів для визначення місця розташування, вимірювання відстані і кута повороту.

Точність, якість і висока експлуатаційна гнучкість – це стандарти компанії в розробці, виробництві і продажу високоякісних датчиків, що використовуються в самих різних областях промисловості.

Серія RL це висока надійність і точність в маленькому корпусі, яка розроблена для використання в промисловості і в лабораторних умовах. У зв'язку з тим, що у датчика високий ступінь захисту і сталевий корпус, його можна використовувати також під водою.

Основні характеристики LVDT-датчиків наведені в таблиці 5.1.

Принцип дії LVDT-датчика [13].

Індуктивні датчики переміщення диференціально-трансформаторного типу LVDT (Linear Variable Differential Transformer) широко застосовуються завдяки своїй високій надійності, порівняно низькій вартості та практично необмеженому терміну застосування. Їм властиві також високі завадозахищеність, точність та чутливість. Основні похибки у вимірювальних системах з виростанням індуктивних датчиків переміщення – це похибки вимірювання. При цьому значний вклад у похибку вимірювання (окрім

інструментальних складових) вносять похибки від дестабілізуючих факторів в умовах вимірювання – таких як, електромагнітні завади, температура. Ці фактори найбільше впливають на датчик LVDT.

Таблиця 5.1 – Характеристики LVDT-датчиків

Параметр	Од. вим.	Значення			
		WL/5mm-T	WL/10mm-T	RL300	RL600
Діапазон вимірювань	мм	0...5	0...10	0...300	0...600
Точність	%	±0.2		±0.3	
Вібростійкість	$м/с^2$	150		100	
Напруга живлення	В	2,5		3	
Несуча частота	кГц	4.8		3	
Діапазон температур	°С	-20...80		-40...120	
Матеріал корпусу		нержавіюча сталь			
Довжина кабелю	м	3		до 100	

На рисунку 5.1 проілюстровано принцип дії LVDT-датчика. Якщо рухоме ядро знаходиться строго в центрі (так звана нульова позиція), то магнітне поле, яке створюється первинною обмоткою Р, симетричне, отже магнітні потоки через вторинні обмотки S1 і S2 рівні, а значить рівні і ЕРС Е1 та Е2, індуковані в цих обмотках, а значить дорівнює нулю диференціальна напруга. Якщо ж рухоме ядро зміщується відносно нульового положення, це приводить до спотворення симетрії магнітного поля — через одну з вторинних обмоток, в залежності від положення ядра, проходить більший магнітний потік, ніж через іншу. Отже, в такому випадку відрізняються і ЕРС, індуковані у вторинних обмотках, - чим більший магнітний потік, тим більша ЕРС.

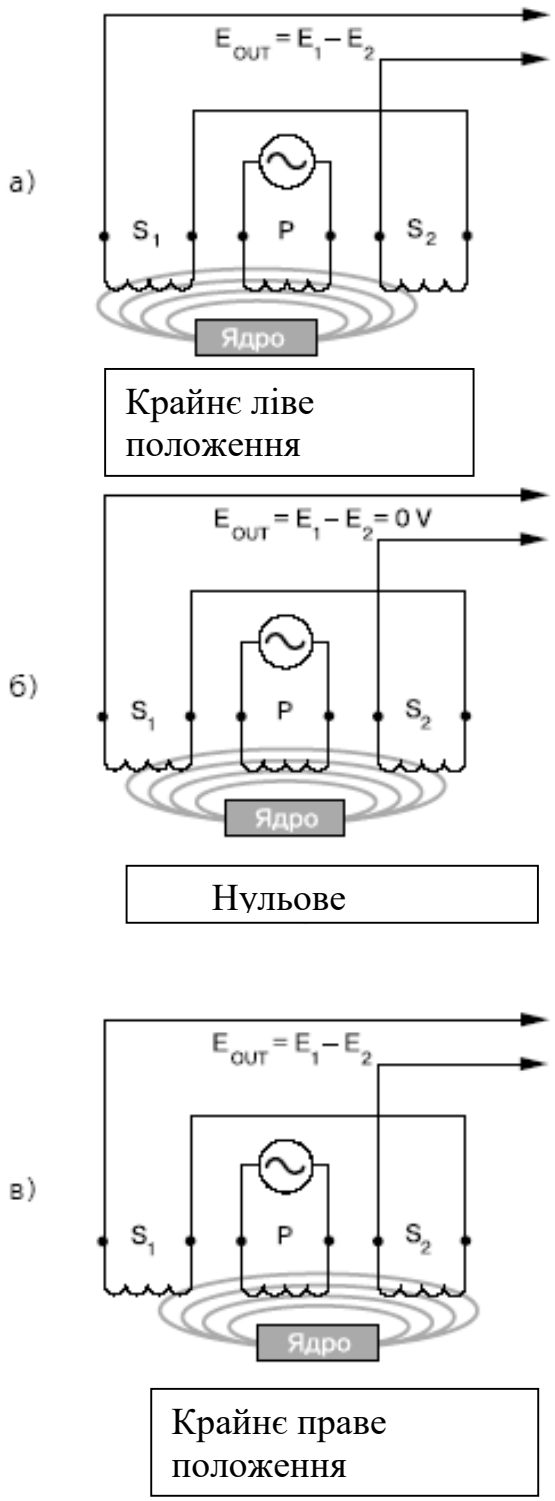

Рисунок 5.1 – Принцип дії LVDT-датчика

З принципу дії та конструкції LVDT-датчика слідує ряд очевидних переваг. Нижче наведені основні з них.

Відсутність рухомих частин — одна з головних переваг LVDT-датчика. При використанні в штатному режимі немає механічного контакту між рухомим ядром та котушками. Ця перевага особливо важлива при вимірюваннях малих переміщень, наприклад при контролі вібрацій.

Висока чутливість: відсутність тертя і фізичний принцип дії дозволяють вимірювати дуже малі переміщення ядра при добрій повторюваності результатів вимірювання. Мінімальна величина вимірювання обмежується шумом і роздільною здатністю даного приладу.

Практично необмежена механічна зносостійкість є наслідком відсутності рухомих частин в датчику. Із-за відсутності тертя і механічних контактів між ядром і котушками немає чинників, які надають негативний вплив на механічну зносостійкість. Отже, підвищується надійність, що дуже важливо при використанні, наприклад, в аерокосмічній промисловості і ядерній енергетиці, а також в інших, де надійність є ключовим параметром.

Підвищений захист від витоків за межі трансформатора. Внутрішній отвір більшості LVDT-датчиків відкритий з обох сторін, тому в разі «зашкалювання» (переміщення контрольованого об’єкта і жорстко пов’язаного з ним ядра за передбачену межу) не відбувається механічного пошкодження датчика — рухливе ядро просто вилітає за межі датчика, не завдаючи йому ніяких пошкоджень. Ця невразливість дуже хороша для застосувань в тензометрах і екстензометрах (приладах для вимірювання подовжень), які застосовуються в тестах на розтяг матеріалів.

Котушки в датчику механічно відокремлені від рухомого ядра, причому котушки поміщені в герметичну капсулу. Ця обставина часто використовується для застосування LVDT-датчиків в гідроприводах та сервоприводах.

Стійкість до впливу зовнішнього навколишнього середовища. Матеріали і конструкція, використовувані в LVDT, антикорозійні, зносостійкі та міцні, що робить LVDT малосприйнятливими до негативних впливів зовнішнього середовища.

Зазвичай LVDT-датчики працюють в розширеному діапазоні робочих температур і можуть застосовуватися також в кріогенній техніці, при підвищених температурах і радіаціях, наприклад у ядерних реакторах.

Для електроживлення LVDT-датчиків необхідна синусоїдальна змінна напруга (зазвичай 3 В / 3 кГц), формування якої є завданням електронного модуля. Інша функція модуля полягає в перетворенні і посиленні диференціально-змінної напруги в знакозмінний вихідний сигнал з урахуванням напрямку руху (зсуву фази диференціальної напруги від напруги на первинній обмотці). Сьогодні відомі також різні електронні модулі – від мікросхем до друкованих плат.

5.2 Вибір електронного модуля для LVDT-датчика

Компанія Analog Devices є лідером з виробництва інтегральних перетворювачів для різних типів датчиків [14].

Для LVDT-датчиків вона випускає мікросхеми AD598 і AD698, які містять всі необхідні вузли для електронного модуля, який буде формувати сигнал збудження датчика і перетворювати його синусоїдальний вихідний сигнал в постійну напругу.

Мікросхеми вимагають підключення мінімального числа зовнішніх компонентів, які задають частоту збудження датчика, коефіцієнт підсилення і інші параметри перетворення.

Мікросхема AD598 призначена для роботи з п'ятививідним LVDT-датчиком. Вона має вбудований генератор чистого синусоїдального сигналу для збудження первинної обмотки диференціального трансформатора датчика.

В якості перетворювача сигнала з датчика використовується мікросхема AD598AP, яка призначена для роботи с п’ятививодним LVDT-датчиком, вторинні обмотки якого включені зустрічно (рисунок 5.2).

Вторинні обмотки диференціального трансформатора підключені до схеми виділення різницевого сигналу. Випрямлене значення різницевого

сигналу ділиться на випрямлене значення сумарного сигналу обмоток і перетворюється в однополярну або біполярну напругу, яка пропорційна зміщенню сердечника диференціального трансформатора від початкової точки.

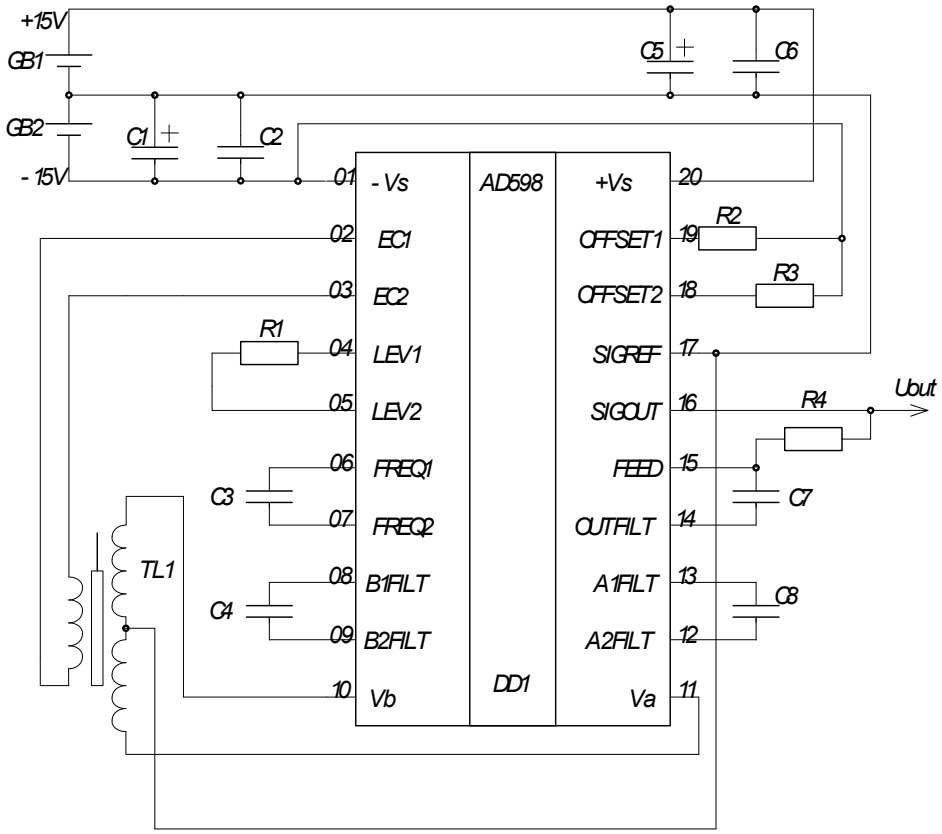

Рисунок 5.2 – Типова схема підключення LVDT-датчика до AD598

В мікросхемі AD598 застосована унікальна запатентова схема, що дозволяє уникнути проблем, пов’язанних з традиційним підходом при використанні LVDT-датчиків. Перевагою цієї схеми є відсутність необхідності додаткового підстроювання параметрів перетворення в процесі роботи. Також зміна фази синусоїдального сигналу первинної обмотки датчика щодо сигналу вторинної обмотки не впливає на точність його перетворення.

AD598 дозволяє управляти LVDT-датчиком на відстані до 100 м, так як результат перетворення мало залежить від фазового зсуву в колі і абсолютних значень амплітуди вихідного сигналу.

LVDT-датчик є електромеханічним перетворювачем, що реагує на зміщення сердечника. Положення сердечника визначається співвідношенням напруг на вторинних обмотках.

Первинна обмотка датчика збуджується зовнішнім синусоїдальним сигналом, а вторинні обмотки, з'єднані послідовно, служать приймачем індукованого сигналу. Різниця сигналів з цих обмоток пропорційна зсуву сердечника.

5.3 Вибір мікроконтролера

Оберемо мікроконтролер для реалізації даного засобу вимірювання. ATMega48/ATMega88/ATMega168 [15] – 8 бітові КМОП мікроконтроллери з низьким споживанням на базі AVR RISC архітектура. Виконуючи команди за один цикл, ATMega48/ATMega88/ATMega168 досягають продуктивності 1 MIPS при частоті задаючого генератора 1 МГц, що дозволяє розробникові оптимізувати відношення споживання до продуктивності.

AVR – найбільша виробнича лінії серед інших флеш-микроконтролерів корпорації Microchip. Atmel представила перший 8-розрядний флэш-микроконтроллер в 1993 році і відтоді безперервно удосконалює технологію. Прогрес цієї технології спостерігався в зниженні питомого енергоспоживання (мА/МГц), розширення діапазону живлячої напруги (до 1.8 В) для продовження ресурсу батарейних систем, збільшенні швидкодії до 16 млн. операцій в секунду, вбудуванням реально-тимчасових емуляторів і відладчиків, реалізації функції самопрограмування, вдосконаленні і розширенні кількості периферійних модулів, вбудовуванні спеціалізованих перефирійних пристроїв (радіочастотний передавач, USB-контроллер, драйвер ЖКИ, програмована логіка) та ін.

Успіх AVR- мікроконтроллерів пояснюється можливістю простого виконання проекту з досягненням необхідного результату в найкоротші терміни, чому сприяє доступність великого числа інструментальних засобів

проектування, що поставляються, як безпосередньо корпорацією Atmel, так і сторонніми виробниками. Провідні сторонні виробники випускають повний спектр компіляторів, програматорів, асемблерів, відладчиків, роз'ємів і адаптерів. Відмінною рисою інструментальних засобів від Atmel є їх невисока вартість.

Іншою особливістю AVR- мікроконтроллерів, яка сприяла їх популяризації, це використання RISC- архітектури, яка характеризуються потужним набором інструкцій, більшість яких виконуються за один машинний цикл. Це означає, що при рівній частоті тактового генератора вони забезпечують продуктивність в 12 (6) разів більше продуктивності попередніх мікроконтроллерів на основі CISC- архітектури (наприклад, MCS51). З іншого боку, у рамках одного застосування із заданою швидкодією, AVR-мікроконтроллер може тактуватися в 12 (6) разів меншою тактовою частотою, забезпечуючи рівну швидкодію, але при цьому споживаючи набагато меншу потужність.

Таким чином, AVR- мікроконтроллери представляють ширші можливості по оптимізації продуктивності/енергоспоживання, що особливо важливо при розробці додатків з батарейним живленням. Мікроконтроллери забезпечують продуктивність до 16 млн. оп. у секунду і підтримують флэш-память програм різної місткості: від 1 до 256 кбайт. AVR- архітектура оптимізована під язик високого рівня C/C++, а більшість представників сімейства megaAVR містять 8-канальний 10-розрядний АЦП, а також сумісний з IEEE 1149.1 інтерфейс JTAG або debugWIRE для вбудованої відладки. Крім того, усі мікроконтроллери megaAVR з флэш-памятью місткістю 16 кбайт і більше можуть програмуватися через інтерфейс JTAG.

ATMega48 має наступні характеристики: 4КБ внутрішньосистемної програмованої Flash пам'яті програми, 256 байтну EEPROM пам'ять даних, 512 байтну SRAM, 23 лінії введення-виведення загального користування, 32 робочих регістра загального призначення, три гнучких таймера/лічильника зі схемою порівняння, внутрішні та зовнішні джерела переривання, послідовний

програмований USART, проводний інтерфейс, 6 канальний АЦП (8 - канальний у приладів в TQFP і MFL корпусах) , 4 із (6) каналів яких мають 10 – бітну розрядність, а два – 8-бітну, програмований вартовий таймер з вбудованим генератором, SPI порт і п'ять програмно ініціалізуємими режимами пониженого споживання. У режимі Idle зупиняється ядро, а SRAM, таймери/лічильники, SPI порт і система переривань продовжують функціонувати. У Power-down режимі вміст регістрів зберігається, але відключаються всі внутрішні функції мікропроцесора до тих пір, поки не відбудеться переривання чи апаратне скидання. У режимі Power-save асинхронні таймери продовжують функціонувати, дозволяючи відраховувати тимчасові інтервали в той час, коли мікропроцесор знаходиться в режимі спокою. У режимі ADC Noise Reduction зупиняється обчислювальне ядро і всі модулі введення-виведення, за винятком асинхронного таймера і самого АЦП, що дозволяє мінімізувати шуми протягом виконання аналого-цифрового перетворення. У Standby режимі генератор працює, в той час як інша частина приладу не діє. Це дозволяє швидко зберегти можливість швидкого запуску приладів при одночасному зниженні споживання.

ATMega48 підтримується різними програмними засобами та інтегрованими засобами розробки, такими як компілятори C, макроассемблери, програмні відладчики/симулятори.

AVR ядро об'єднує потужну систему команд з 32 8-розрядними регістрами загального призначення і конвеєрне звернення до пам'яті програм.

Виконання відносних переходів і команд виклику реалізуються з прямою адресацією всього обсягу (4К) адресного простору. Адреси периферійних функцій містяться в просторі пам'яті вводу/виводу. Архітектура ефективно підтримує як мови високого рівня, так і програми на мовах асемблера.

Максимальне споживання приладів в активному режимі складає 3.0 мА і в пасивному режимі 1.2 мА (при VCC = 3 В і f = 4 МГц). В режимі зупинки, при працюючому вартовому таймері, мікроконтролер споживає 15 мкА.

Port B (PB5... PB0) 6-розрядний двонаправлений порт I/O із вбудованими навантажувальними резисторами. Вихідні буфери забезпечують витікаючий струм до 20 мА. При використанні виводів порта в якості входів і установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм буде витікати тільки при підключених вбудованих навантажених опорах. Порт B використовується також при реалізації різноманітних спеціальних функцій.

Port C (PC5... PC0) 6-розрядний двунаправлений порт I/O із вбудованими навантажувальними резисторами. Вихідні буфери забезпечують витікаючий струм 20 мА. При використанні виводів порта в якості входів і установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм буде витікати тільки при підключених вбудованих навантажувальних опорах. Входи порта використовуються також як аналогові входи аналого-цифрового перетворювача.

Port D (PD7.. PD0) 8-розрядний двунаправлений порт I/O із вбудованими навантажувальними опорами. При використанні виводів порту в якості входів і установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм буде витікати тільки при підключених вбудованих навантажувальних резисторах.

RESET Вхід скидання. Для виконання скидання необхідно утримувати низький рівень на вході протягом двох машинних циклів.

XTAL1 Вхід інвертуючого підсилювача генератора і вхід схеми вбудованого генератора тактової частоти.

XTAL2 Вихід інвертуючого підсилювача генератора.

AVCC Напруга живлення аналого-цифрового перетворювача. Виводи під’єднується до зовнішнього VCC через низькочастотний фільтр.

AREF Вхід аналогової напруги порівняння для аналого-цифрового перетворювача. На цей вивід, для забезпечення роботи аналого-цифрового перетворювача, подається напруга в діапазоні між AGND і AVCC.

AGND Цей вивід повинен бути під’єднаний до окремої аналогової землі, якщо плата оснащена нею. В іншому випадку вивід від’єднується до загальної землі.

Мікроконтролер ATMega48 має такі технічні характеристики:

- діапазон напруги живлення**:** від 1.8 до 5.5 В;
- діапазон робочої частоти: - від 0 до 1 МГц;
- клас точності 0,05.

Програмування таких мікроконтролерів можна здійснити за допомогою програматора LDM-PA 2.01. Для програмування використовується вільно поширена програма прошивки PonyProg2000.

5.4 Вибір перетворювача рівня сигналів

Процес передачі між засобом вимірювання лінійного переміщення і персональним комп’ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу RS – 485 [15].

Інтерфейс RS-485 є найбільш поширеним в промисловій автоматизації для обміну інформацією між засобом вимірювання і ПК. За всіма основними показниками даний інтерфейс є найкращим з усіх можливих при сучасному рівні розвитку технології. Основними його перевагами є:

- двосторонній обмін даними всього по одній парі кручених проводів;
- робота з декількома трансиверами, підключеними до однієї і тієї ж лінії, тобто є можливість організації мережі;
- велика довжина лінії зв'язку;
- досить висока швидкість передачі.

При проектуванні, слід враховувати ряд важливих факторів: кількість передавачів і приймачів, швидкість передачі даних та відстань обіну даними. За допомогою інтерфейсу RS 485 можна передавати код, як в послідовному так і в

паралельному форматі. У 99 % випадків передача даних відбувається у послідовному форматі.

Згідно стандарту на інтерфейси RS-485, драйвер інтерфейсу не повинен виходити з ладу при закороченні будь-якого із сигнальних дротів на шину живлення або на корпус. Також згідно стандарту всі драйвери цих інтерфейсів повинні мати захист від перегріву і автоматично вимикатись при нагріві до 150 ºС.

Мережа, побудована на інтерфейсі RS-485, являє собою прийомопередавач з'єднаний за допомогою крученої пари - двох скручених проводів. В основі інтерфейсу RS-485 лежить принцип диференціальної (балансової) передачі даних. Суть його полягає в передачі одного сигналу по двох проводах. Причому по одному проводі (умовно А) йде оригінальний сигнал, а по іншому (умовно В) - його інверсна копія. Іншими словами, якщо на одному проводі "1", то на іншому "0" і навпаки. Таким чином, між двома проводами крученої пари завжди є різниця потенціалів: при "1" вона позитивна, при "0" - негативна.

Саме цією різницею потенціалів і передається сигнал. Такий спосіб передачі забезпечує високу стійкість до синфазної перешкоди. Синфазною називають заваду, що діє на двох проводів лінії однаково.

Апаратна реалізація інтерфейсу - мікросхеми приймачів і передавачів з диференціальними входами/виходами (до лінії) і цифровими портами.

Отже в даній роботі буде використано інтерфейс RS-485 [16]. Цифровий вихід приймача (RO) підключається до порту приймача UART (RX). Цифровий вхід передавача (DI) до порту передавача UART (TX). Оскільки на диференціальній стороні приймач і передавач з'єднані, то під час прийому потрібно відключати передавач, а під час передачі – приймач.

Для цього служать керуючі входи – дозвіл приймача (RE) і дозволу передавача (DE). Тому що вхід RE інверсний, то його можна з'єднати з DE і переключати приймач і передавач одним сигналом з будь-якого порту мікроконтролера. При рівні "0" - робота на прийом, при "1" - на передачу.

Приймач, одержуючи на диференціальних входах (AB) різниця потенціалів (UAB) переводить їх у цифровий сигнал на виході RO. Чутливість приймача може бути різної, але гарантований граничний діапазон розпізнавання сигналу виробники мікросхем приемопередавачів пишуть у документації. Звичайно ці пороги складають ± 200 мв. Тобто, коли UAB > +200 мв - приймач визначає "1", коли UAB < -200 мв - приймач визначає "0".

Усі пристрої підключаються до однієї крученої пари однаково: прямі виходи (A) до одного проводу, інверсні (B) - до іншого. Вхідний опір приймача з боку лінії (RAB) звичайно складає 12 кОм, тому що потужність передавача не безмежна, це створює обмеження на кількість приймачів, підключених до лінії. Відповідно до специфікації RS-485 з обліком резисторів, передавач може вести до 32 приймачів. Однак є ряд мікросхем з підвищеним вхідним опором, що дозволяє підключити до лінії значно більше ніж 32 пристрої.

Максимальна швидкість зв'язку по специфікації RS-485 може досягати 10 Мбіт/сек. Максимальна відстань - 1200 м. Якщо необхідно організувати зв'язок на відстані більшому 1200 м або підключити більше пристроїв, чим допускає навантажувальна здатність передавача - застосовують спеціальні повторювачі (репитери).

Стандартні параметри інтерфейсу RS-485:

- припустиме число передавачів / приймачів 10;
- максимальна довжина кабелю 1200 м;
- максимальна швидкість зв'язку 10 Мбіт/с;
- діапазон напруг "1" передавача +2...+10 В;
- діапазон напруг "0" передавача -2...-10 В;
- діапазон синфазної напруги передавача -3...+3 В;
- припустимий діапазон напруг приймача -7...+7 В.

5.5 Висновки до розділу 5

Основною задачею для створення метрологічно надійного засобу вимірювання лінійних переміщень є вибір правильного вторинного вимірювального перетворювача для спряження LVDT датчика з мікроконтролером для отримання, обробки та передавання вимірювальної інформації. І якщо до мікроконтролера або до пристрою, що забезпечить передавання вимірювальної інформації лінією зв'язку до персонального комп'ютера жорстких вимог не висувається, то до вибору вторинного вимірювальног оперетворюва слід віднестись дуже відповідально. І саме тому в якості вторинного вимірювального перетворювача слід обрати готове технічне рішення у вигляді готового перетворювача сигналу з LVDT датчика в рівень постійної напруги. Такий підхід забезпечує незмінність нормованих метрологічних характеристик вторинного перетворення за різних умов експлуатації засобу і спрощує конструкцію засобу в цілому.

6 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Розроблена схема електрична функціональна засобу вимірювання лінійних переміщень наведена на рисунку 6.1 і в додатку Г.

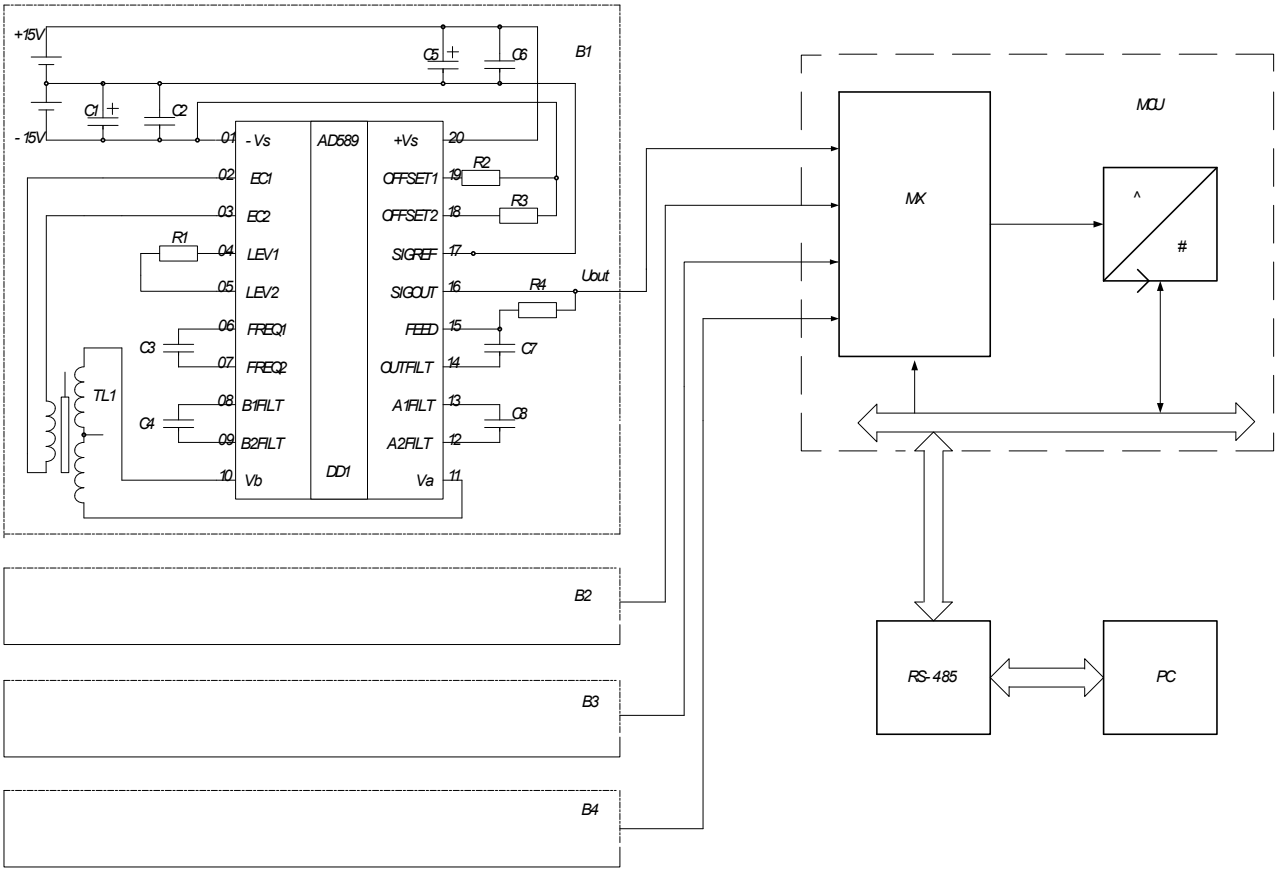

Рисунок 6.1 – Функціональна схема засобу вимірювання лінійних переміщень

Розглянемо роботу засобу вимірювання лінійних переміщень.

Для електроживлення LVDT-датчиків необхідна синусоїдальна змінна напруга (зазвичай 3 В/3 кГц), формування якої є завданням електронного модуля. Інша функція модуля полягає в перетворенні і посиленні

диференціально-змінної напруги в знакозмінний вихідний сигнал з урахуванням напрямку руху.

Електронний модуль реалізований на мікросхемі AD598, яка містить для цього всі необхідні вузли. Мікросхема формує сигнал збудження датчика, а також перетворює та підсилює його вихідний синусоїдальний сигнал в постійну напругу.

Після того, як з персонального комп'ютера буде поданий запит про стан з відповідного датчика (В1-В4), мікроконтролер подає сигнал вбудованому мультиплексору про підключення того чи іншого датчика, в результаті чого аналоговий сигнал з відповідного датчика поступає на вхід АЦП, в якому перетвориться в цифровий код, який обробляється мікроконтролером.

Обмін інформацією між вимірювальним блоком і персональним комп'ютером здійснюється через інтерфейс RS–485, за допомогою якого закодована інформація в послідовному форматі передається в комп’ютер в якому розшифровується і подається в зручній для оператора формі.

Розроблена програма яка керує мікроконтролером (лістинг програми наведений в додатку Д) працює за стандартним алгоритмом почергового опитування виходу вбудованого АЦП та перетворення вимірювальної інформації. Написана на мові С/С++ та відлагоджена в середовищі IAR AVR 6.1.

6.1 Висновки до розділу 6

Відомі типи електричних компонентів, що використовуються в схемі засобу вимірювання та їх функціональне навантаження дозволяють оцінити основні метрологічні характеристики такі як: граничне значення основної похибки вимірювання лінійного переміщення, функцію перетворення вимірювального каналу тощо. Тому розроблена функціональна схема дозволяє перейти безпосередньо до електричних розрахунків, що дозволить оцінити основну похибку та розробити методику калібрування засобу вимірювання.

7 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Розглянемо схему перетворювача на мікросхемі AD598. Ця мікросхема застосовується з п’ятививодним LVDT-датчиком і може бути включена як з біполярним, так і з однополярним живленням (див рис. 5.2).

У мікросхемі AD598 використана спеціальна схема декодера, що виконує обробку сигнала датчика. Після випрямлення сигнали каналів A і B перемножуються з комплементарними цифровими сигналами циклу d і (1-d) відповідно. Різниця цих оброблених сигналів подається на інтегратор, далі – на компаратор. На виході компаратора формуються комплементарні сигнали d і (1 - d), які повертаються на перемножувач, замикаючи тим самим петлю обробки. По суті, декодер представляє собою двоканальний сигма-дельта модулятор. На вході інтегратора формується сигнал (A + B) × d - B. Оскільки вхід інтегратора має прив'язку до нульового потенціалу, на виході компаратора виходить цифрова модульована послідовність d = B / (A + B). Ця та комплементарна їй (1 - d) послідовність керують струмовим ключем Iref і формують на виході суматора сигнал, рівний Iref × (A - B) / (A + B). Далі з цього сигналу віднімається зсув нуля і результат надходить на інтегратор, перетворювач струм-напруга. Коефіцієнт підсилення перетворювача визначається зовнішнім резистором Rscale. У підсумку на виході мікросхеми виходить напруга

$$U_{вих.} = I_{ref} \times R_{scale} \times (A - B) / (A + B), \qquad (7.1)$$

яка пропорційна зміщенню сердечника датчика.

Для розрахунку номіналів елементів схеми визначимо деякі параметри перетворювача.

Виберемо максимальне значення переміщення Fmax. Треба відзначити, що перевагою LVDT-датчика є те, що його осердя рухається всередині

трансформатора вільно, практично без тертя. Це дозволяє використовувати LVDT в точних пристроях вимірювання переміщення.

Частоту збудження первинної обмотки слід вибирати на порядок вище Fmax. Виберемо Fp = Fmax×10. При виборі частоти Fp необхідно, щоб вона знаходилась в діапазоні частоти сигналу збудження, зазначеній в специфікації для LVDT-датчика.

Для вибору оптимального значення резистора R1 слід підключити обраний датчик до мікросхеми, подати, згідно специфікації, напругу збудження Vp і виміряти окремо напруги на обох вторинних обмотках LVDT-датчика Va і Vb при максимальних зсувах осердя датчика щодо його початкового положення в обидві сторони.

Для кращої лінійності перетворення і низького рівня шуму необхідно, щоб максимальні вихідні напруги вторинних обмоток датчика Va і Vb знаходилися в діапазоні від 1 до 3,5 В.

Напруги Va і Vb встановлюють підбором номіналу резистора R1 (див. рис. 5.2), що визначає величину напруги збуждения Vp. Виставивши його, слід перевірити, щоб вихідний сигнал збудження не був спотворений через обмеження його амплітуди величиною напруги живлення. Амплітудне значення напруги на вторинних обмотках датчика при цтому повинно бути принаймні на 2,5 В нижче напруги живлення.

Номінал конденсатора C3 вибирається зі співвідношення:
C3 = 35 мкФ.

Номінали конденсаторів фільтрів C4, C7 і C8 можна вибрати однаковими: 100 мкФ.

Для вибору номіналу R4 необхідно знати чутливість датчика S і d – максимальне значення зміщення його осердя в одну сторону. Як правило, LVDT-датчики випускаються вже з каліброваним значенням чутливості S. Значення d наведено в специфікації до датчика. Номінал резистора R4 обчислюється за формулою:

$$R4\ (\text{кОм}) = Vout(\text{В}) \times (Va(\text{В}) + Vb(\text{В})) / (S\ (\text{мВ/В/мм}) \times Vp(\text{В}) \times \times Iref(\text{мкА}) \times d(\text{мм})) \quad (7.2)$$

Примітка: в дужках наведена розмірність використовуваних величин. Vout - максимальна напруга на виході AD598. Вона повинно бути менше напруги живлення на 2,5 В при максимальному зміщенні сердечника датчика на d (мм). Сума напруг (VA + VB) виділяється в п. 3, Vp – напруги збудження на первинній обмотці датчика, Iref = 500 мкА.

Резисторами R2 і R3 виставляють напругу зміщення нуля датчика:

$$Vos = 1{,}2\ \text{В} \times R4 \times (1 / (R3 + 5\ \text{кОм}) - 1 / (R2 + 5\ \text{кОм})). \quad (7.3)$$

Якщо немає необхідності підлаштовувати зміщення, резистори R2 і R3 не підключаються взагалі.

7.1 Висновки до розділу 7

Для забезпечення оптимальних значень параметрів вимірювального сигналу в процесі перетворення були проведенві електричні розрахунки перетворювача, який пов’язує вихід датчика LVDT з входом вбудованого в мікроконтролер аналого-цифрового перетворювача. Проведені розрахунки показують, що для забезпечення максимальної лінійност передатної характеристики необхідно забезпечити максимальне значення напруги на вторинних обмотках датчика в районі 3,5 В. Проте чутливість можна налаштувати імпиричним шляхом підбираючи значення опору R4, що не здійснить критичного впливу на погіршання метрологічних характеристик вимірювального каналу.

8 МЕТРОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Для визначення загальної похибки вимірювального каналу переміщення, очевидно необхідно знати закони розподілу на кожному етапі перетворення вимірювальної величини для правильної їх композиції. Оскільки закони розподілу невідомі на даному етапі можна зробити припущення про їх нормальний характер і оцінити значення загальної похибки приблизно.

8.1 Оцінка загальної похибки вимірювання

З огляду на схему електричну функціональну (додаток Г) загальна похибка вимірювання буде складатись з: похибки первинного вимірювального перетворення; похибки вторинного вимірювального перетворення; похибки аналого-цифрового перетворення та похибки обчислення.

Похибка первинного вимірювального перетворення буде визначатись в першу чергу недосконалістю виготовлення первинного вимірювального перетворювача. Особливості конструкції давача зумовлюють виникнення в першу чергу похибку не лінійності характеристики перетворення. Для первинного вимірювального перетворювача RL300/600 з діапазоном перетворення переміщення від 0 до 300/600 мм нелінійність передатної характеристики становит ±0,3 %. В абсолюних одиницях це буде складати 0,9 мм. Отже $\sigma_1 = 0,9$ мм.

Похибку вторинного вимірювального перетворення згідно [18] визначають як комбінацію похибки коефіцієнта підсилення, мультиплікативну та адитивну складову підсилення сигналу. Для прикладу, в неайгіршому випадку похибка вторинного перетворення для AD598AD буде визначатись як: похибка підсилення при +25 ºС (±1% від розмаху) + мультиплікативна складова від -40 ºС до +25 ºС (50 ppm/ ºС від максимального значення частоти живлення × 65 ºС) + адитивна складова від -40 ºС до +25 ºС (50 ppm/ ºС від максимального значення частоти живлення × 65 ºС) = 1,65 % від розмаху. Отже $\sigma_2 = 0,4125$ В.

Похибку аналого-цифрового перетворення можна представити як комбінацію декількох складових, серед яких можна виділити інтегральну нелінійність, диференціальну нелінійність та похибку квантування. Оскільки диференціальна та інтегральна нелінійність відносяться до випадкових похибок і вони незалежать одна від одної їх доцільно додавати за формулою:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\Delta X_n}{X_n}\right)^2 \quad (8.1)$$

де $X_1 \ldots X_n$ – номінальні значення;

$\Delta X_1 \ldots \Delta X_n$ – похибки випадкових виличин;

Y – номінальне значення вимірювальної величини;

ΔY – абсолютна похибка вимірювальної величини.

Диференційна нелінійність (DNL) для аналого-цифрового перетворювача вбудованого в мікроконтролер ATMega48 [15] з урахуванням того, що опорна напруга за абсолютним значенням буде дорівнювати 5 В становитиме 1×LSB – 4,88 мВ. Інтегральна нелінійність (INL) становитиме 1,5×LSB [15] 1,5×4,88 =7,32 (мВ). А похибка квантування буде визначатися як 0,5×LSB=0,5×4,88=2,44 (мВ). Отже відносна похибка АЦП буде визначатися з виразу:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{4{,}88\times10^{-3}}{5{,}0}\right)^2 + \left(\frac{7{,}32\times10^{-3}}{5{,}0}\right)^2 + \left(\frac{2{,}44\times10^{-3}}{5{,}0}\right)^2 =$$
$$= 0{,}95\cdot10^{-3} + 2{,}14\cdot10^{-3} + 0{,}24\cdot10^{-3} = 3{,}33\cdot10^{-6} \quad (8.2)$$

Спираючись на значення відносної похибки знайдемо абсолютне значення похибки аналого-цифрового перетворення:

$$\Delta Y = 5{,}0 \times \sqrt{3{,}33\cdot10^{-6}} = 0{,}009 \text{ (В)}$$
$$\sigma_3 = 0{,}009(\text{В})$$

Похибка обчислення буде мыстити чотири складових [19], а саме:

- похибка математичної моделі – пов’язана з її невідповідністю фізичный реальності, оскільки абсолютна істина недосяжна. Якщо математична модель пророблена не достатньо детально, то, які б методи не застосовувались для розрахунку, результати будуть недостатньо надійними, а в деяких випадках – абсолютно неправильними.

- похибка вихідних даних, прийнятих для розрахунку. Цю похибку неможливо усунути, але можна оцінити для вибору алгоритму розрахунку для забезпечення заданої точності обчислень.

- похибка методу – зумовлена дискретним характером будь-якого чисельного алгоритму. Це означає, що замість вирішення вихідного завдання алгоритмічно, знаходять вирішення іншої задачі, близького до шуканого. Похибка методу – основна характеристика будь-якого чисельного алгоритму. Очевидно, що похибка методу повинна бути в 2-5 разів менше похибки, що не можна усунути з результату обчислення.

- похибка заокруглення – пов’язана з використанням в обчислювальних машинах чисел, які мають кінцевою точністю представлення.

При множенні і діленні наближених чисел необхідно брати до уваги кількість значущих цифр, які характеризують відносну точність числа, а не кількість десяткових знаків, які обумовлюють його абсолютну похибку [20]. Статистична оцінка показує, що при N однакових діях середнє значення сумарної помилки більше одиничної в рази, якщо немає систематичних причин для накопичення похибки. Систематичні причини виникають, якщо, наприклад в алгоритмі віднімаються близькі за величиною числа.

При будь-яких розрахунках треба встановлювати таку точність обчислень, щоб похибка заокруглення була істотно менше всіх інших похибок. З урахуванням вище наведених тезісів можна зробити висновок про те, що похибкою обчислення в даному випадку можна знехтувати.

І загальна похибка вимірювання переміщення визначатиметься як:

$$\sigma_L = \sqrt{k_1 \times \sigma_1^2 + k_2 \times \sigma_2^2 + k_3 \times \sigma_3^2} = \sqrt{0{,}9^2 + 0{,}4125^2 + 0{,}009^2}$$

$$= \sqrt{0{,}81 + 0{,}17 + 0{,}000081} = 0{,}98 \text{ (мм)}$$

8.2 Розробка методики калібрування

З 1 січня 2016 року набрав чинності Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 05.06.2014 р. № 1314-VII [5]. Прийняття Закону у новій редакції спрямоване на імплементацію українського законодавства до європейських стандартів та гармонізацію основних понять в сфері метрології з міжнародним словником. Положення Закону викладено відповідно до вимог Директиви Міжнародної організації законодавчої метрології OIML D1 "Розгляд закону про метрологію". Згідно цього Закону основою метрологічного забезпечення нових засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є їх калібрування.

Калібрування – сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов’язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу [5].

Суть калібрування полягає у визначенні характеристик ЗВТ, з цією метою проводиться порівняння з відповідним еталоном, а не у встановленні придатності до використання ЗВТ.

Калібруванню в добровільному порядку можуть підлягати засоби вимірювальної техніки, які застосовуються у сфері або поза сферою законодавчо регульованої метрології .

Калібрування ЗВТ проводиться:

- науковими метрологічними центрами;

- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, акредитованими національним органом України з акредитації;

- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших іноземних держав або міжнародних еталонів відповідних одиниць вимірювання.

Калібрування ЗВТ та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.

Ст. 27 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» вимагає, щоб калібрування ЗВТ та оформлення результатів проводилися «…відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології». Щодо оформлення результатів калібрування, то таким національним стандартом є ДСТУ ISO/IEC 17025-2006, гармонізований із міжнародним стандартом, оскільки ДСТУ 3989-2000 негармонізовано і орієнтовано на «старий» Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» і негармонізоване розуміння терміна «калібрування».

Для ЗВТ встановлено три види калібрування: первинне, періодичне та позачергове.

Первинне калібрування ЗВТ проводять під час випуску з виробництва та ремонту.

Періодичне калібрування застосовують до ЗВТ, які перебувають в експлуатації або ж призначені для продажу. Міжкалібрувальний інтервал визначається самим користувачем з врахуванням рекомендованого значення, отриманого під час затвердження типу ЗВТ чи його метрологічної атестації. Визначені чи проконтрольовані метрологічні характеристики ЗВТ повинні зберігатися в межах норм до наступного калібрування.

Позачергове калібрування може здійснюватися до закінчення міжкалібрувального інтервалу за рішенням користувача, якщо є необхідність упевнитись в придатності ЗВТ. Або, якщо пошкоджене калібрувальне тавро, загублене свідоцтво, ЗТВ вводиться в експлуатацію після тривалого зберігання чи минуло більш як половини міжкалібрувального інтервалу і ЗВТ використовують як комплектувальний виріб.

У разі контролю позитивні результати калібрування засвідчують відбитком калібрувального тавра або свідоцтвом про калібрування, та записом у відповідному розділі експлуатаційних документів.

Місце нанесення відбитку повинно бути визначене методикою калібрування. Коли контролюють метрологічні характеристики, то їх значення можуть бути подані в додатку чи на звороті свідоцтва. Якщо ж метрологічні характеристики визначають, то результати визначення повинні бути обов’язково зафіксовані.

За результатами калібрування ЗВТ можуть бути визнаними непридатними. В цьому випадку свідоцтво анулюють і гаситься відбиток попереднього тавра. Також на вимогу користувача може бути видана відповідна довідка.

Організація та порядок калібрування подібно є такими ж, як і при повірці. ЗВТ подають укомплектованими, разом з необхідними засрбами, документами щодо експлуатації, свідоцтвами про останнє калібрування або метрологічну атестацію та, за необхідності, з іншими документами. Калібрування відбувається в стаціонарних та пересувних повірювальних і калібрувальних лабораторіях, а також на місці виготовлення, ремонту чи експлуатації.

Первинному калібруванню підлягає кожний засіб, що виходить з виробництва.

Методики калібрування розроблені за єдиною формою, та мають наступну структуру: Призначення, Сфера застосування, Терміни та визначення, Загальні вимоги, Опис методики (обладнання, операції підготовки, операції калібрування, отримання первинних даних та їх обробка), Обробка результатів (обчислення невизначеностей калібрування, інтерпретація результатів), Літературні джерела, Додатки.

7.2.1 У розділі "Призначення" вказано, на який тип ЗВТ розповсюджується дана методика, в даній роботі це засіб вимірювання лінійних переміщень.

7.2.2 У розділі "Сфера застосування" наведені послідовні обстеження стосовно діапазону струму, що вимірюється, а також стосовно метрологічних характеристик ЗВТ і еталонів, на які розповсюджується дана методика.

7.2.3 У розділі "Терміни та визначення" наводяться визначення фізичної величини, що вимірюється та терміни, пов'язані із особливостями засобу вимірювання лінійних переміщень, що калібруєтья. Можуть наводитися деякі основні терміни у галузі метрології.

7.2.4 У розділі "Загальні вимоги" описані типи та основні конструкційні (методи вимірювання, блок-схеми) та експлуатаційні особливості вимірювання лінійних переміщень, що підлягає калібруванню. Також описується метод калібрування та відповідні еталони. Вказуються одиниці вимірювання відповідної величини та їх позначення.

7.2.5 У розділі "Опис методики":

7.2.5.1 Обладнання. Зазначаються еталони, необхідні для проведення калібрування, а також допоміжне обладнання. Описуються особливості застосування та обслуговування цього обладнання.

7.2.5.2 Операції підготовки. Описуються операції, що передують безпосередньому використанню обладнання при калібруванні.

7.2.5.3 Операції калібрування. Процес калібрування, взагалі, може відбуватися згідно трьох основних послідовностей: первинне калібрування - настроювання - кінцеве калібрування; калібрування без настроювання; настроювання - кінцеве калібрування. Частіше застосовується перша послідовність, якщо за своєю конструкцією ЗВТ дозволяє настроювання. Якщо ЗВТ не дозволяє настроювання, то розглядається лише друга послідовність. Третя послідовність застосовується, як правило, при калібруванні після ремонту. Визначається кількість калібрувальних точок у діапазоні вимірювання лінійних переміщень, їх послідовність та кількість повторних вимірювань. Наводяться схеми з'єднання еталонів з ЗВТ, що калібруються, описуються маніпуляції з органами управління еталонами.

7.2.5.4 Отримання первинних даних та їх обробка. Для кожної калібрувальної точки записують значення, що відтворюється еталоном; покази ЗВТ, що калібрується; похибку, визначену для кожної калібрувальної точки. Надалі порівнюються отримані та допустимі значення похибок ЗВТ для визначення необхідності проведення його настроювання. Реєстрація даних калібрування може бути реалізована вручну або автоматично. В останньому випадку потрібно виконати атестацію (оцінювання) програмного забезпечення до проведення процедури калібрування та зберегти усі первинні значення параметрів для можливості відтворити реалізований процес автоматичного калібрування.

7.2.6 У розділі "Обробка результатів":

7.2.6.1 Обчислення невизначеностей калібрування.

Призначення та підрахунок складових невизначеностей реалізуються відповідно до критеріїв, визначених в документі.

Визначається рівняння для величини, що як функція від значення цієї величини. Описується процедура встановлення величин складових невизначеності. Розраховується сумарна та розширена невизначеність. Можуть бути наведені кілька варіантів розрахунку сумарної невизначеності (наприклад, при суттєвій та несуттєвій варіації показів ЗВТ тощо).

7.2.6.2 Представлення результатів.

Встановлюються певні допустимі границі, починаючи з яких необхідно буде проводити настроювання засобу вимірювання лінійних переміщень. Встановлюються критерії придатності засобу вимірювання лінійних переміщень для прийняття рішення щодо ремонту або щодо його подальшого застосування із збільшеними допустимими границями похибки. Надаються рекомендації користувачам із встановлення міжкалібрувального інтервалу для даного засобу вимірювання. Підкреслюється відповідальність користувача за правильне встановлення міжкалібрувального інтервалу в залежності від метрологічної історії (результатів останніх калібрувань, настроювань, ремонтів), умов експлуатації та величини встановленої похибки даного засобу.

7.2.7 У розділі "Літературні джерела" вказані національні і міжнародні нормативні документи та інша довідкова література, що була використана при складанні методики. Робиться посилання на настанови з експлуатації еталонів та засобу вимірювання лінійних переміщень.

7.2.8 У розділі "Додатки" вказані форми протоколів первинних даних із переліком встановлених у методиці калібрувальних точок. Може наводиться принципи дії засобу вимірювання лінійних переміщень та числові приклади обробки результатів калібрування цього засобу.

Калібрувальна лабораторія або випробовувальна лабораторія, що здійснює свої власні калібрування, повинна мати та застосовувати процедуру оцінювання невизначеності вимірювання для всього калібрування.

Примітка 1. Ступінь необхідної ретельності під час оцінювання невизначеності вимірювання залежить від таких чинників:

- вимоги методу випробовування;

- вимоги замовника;

- наявність вузьких границь, на які спираються рішення про відповідність технічним умовам.

Примітка 2. У випадках, коли загальновизнаний метод випробовуваня установлює границі значень основних джерел невизначеності вимірювання та

форму подання результатів обчислювання, вважається, що лабораторія відповідає цьому пункту, дотримуючись методу випробовувань та інструкцій про звітність.

Під час оцінювання невизначеності вимірювання всі складові невизначеності, що є істотними у даній ситуації, повинні бути взяті до уваги за допомогою відповідних методів аналізу.

Примітка 1. Джерелами невизначеності є використовувані вихідні еталони та зразкові речовини, використані методи та обладнання, навколишнє середовище, властивості та стан виробу, що калібруванню, та оператор.

Примітка 2. Прогнозовану поведінку виробу, який калібрують, як правило, не беруть до уваги під час оцінювання невизначеності вимірювання.

Розробка методики калібрування засобів вимірювальної техніки відповідно вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025 [17].

Невизначеність вимірювання – невід'ємний параметр, пов'язаний з результатом вимірювання, який характеризує дисперсію значень, що можуть бути достатньо обґрунтовано приписані вимірюваній величині [19].

За методами розрахунку невизначеності поділяють на дві групи:

- **невизначеності типу А** — невизначеності результату вимірювання, оцінені шляхом статистичного аналізу результатів повторних спостережень;

- **невизначеності типу В** — оцінені нестатистичними методами.

Оцінювання за типом А.

- штангенрейсмус ШР-500-0,05 ГОСТ 164-90: діапазон вимірювань від 40 до 500 мм, межі допустимої абсолютної похибки вимірювань ± 0,05 мм;

- міри довжини кінцеві плоскопаралельні ПКМД, набір № 1, ГОСТ 9038-90, (1,0-100) мм;

- калібратор процесів Fluke 753 (рег. №49876-12): діапазон вимірювань постійної напруги від мінус 30 до 30 В, межі допустимої основної абсолютної похибки вимірювань ± (0,02% U + 0,005 В), де U – показання калібратора, В;

Діапазони вимірювання зразкового та засобу, що калібрується не повинні відрізнятися більш ніж на 25 %. Можна використовувати прилади з більшою межею вимірювання, але вищого класу точності.

Після перевірки і включення схеми виконують калібрування засобу вимірювання лінійних переміщень, вважаючи зразковими показами міри довжини кінцеві плоскопаралельні. Калібрування кожної поділки виконують двічі аналогічно. Покази приладів записують в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Розрахункові та експериментальні дані (стрілками показано порядок заповнення таблиці).

Покази засобів вимірювання лінійних переміщень					Похибки			Поправка Δq, мм
що калібрується		зразкового			абсолютна	відносна	приведена	
Хід угору $L_{уг.}$, мм	Хід униз $L_{ун.}$, мм	Хід угору $L_{зр.уг.}$, мм	Хід униз $L_{зр.ун.}$, мм	Середнє знач. $\overline{L}$, мм	ΔL, мм	$\gamma_{відн.}$, %	$\gamma_{пр.}$, %	
	↓	↓	↑					

В разі проведення вимірювань з багаторазовими спостереженнями для величини одержують ряд результатів повторних спостережень $L_1, L_2, \ldots L_k$.

Обчислюють оцінку значення вимірюваної величини

$$L = \overline{L} = \sum_{k=1}^{n} \frac{L_k}{n}, \tag{8.3}$$

де L_k (k = 1, 2, ..., n) – результати окремих спостережень;

Оцінюють стандартну невизначеність результату вимірювання

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} \left(L_k - \overline{L}\right)^2}{n-1}}. \tag{8.4}$$

Оцінюють стандартну невизначеність середнього арифметичного

$$u_A(\bar{L}) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(L_k - \bar{L})^2}{n(n-1)}} \ . \qquad (8.5)$$

Методика калібрування засобів вимірювання переміщень, що розроблена згідно вимог [21] та документу Європейської кооперації з акредитації [22] складається з наступних розділів:

- сфера застосування;
- нормативні посилання;
- операції калібрування;
- засоби калібрування;
- вимоги безпеки;
- умови проведення калібрування;
- проведення калібрування;
- обробка результатів вимірювань і оцінювання невизначеності вимірювань;
- оформлення результатів калібрування.

Основні розділи методики калібрування засобів вимірювання товщини діелектричних покрить містять наступні операції:

- ознайомлення з технічною документацію на ЗВТ і замовленням на калібрування;
- зовнішній огляд і опробування;
- підготовка до калібрування;
- проведення калібрування;
- складання математичної моделі вимірювань;
- обробка результатів вимірювань і розрахунок невизначеності вимірювань.

Засоби калібрування – комплект стандартних зразків кінцевих мір довжини [23], допоміжні ЗВТ та обладнання.

Математична модель вимірювання переміщення:

$$\Delta l = (l_c - l_н) + \delta l_T + \delta l_Д, \tag{8.6}$$

де l_c – виміряне середнє арифметичне значення лінійного переміщення, мм;

$l_н$ – номінальне значення лінійного переміщення, мм;

δl_T – поправка на лінійне переміщення, мм;

$\delta l_Д$ – поправка на дискретність, мм.

Для кожної величини лінійного переміщення виконується по десять вимірювань. Оцінюється невизначеність за типом А. Математичне сподівання результату вимірювань рівне середньоарифметичному значенню.

Визначаєтьяс стандартне відхилення результатів вимірювання:

$$S(L) = \sqrt{\frac{1}{9}\sum_{n=1}^{10}(l_i - l_c)^2}. \tag{8.7}$$

Визначається стандартна невизначеність вимірювань:

$$U(l_c) = \frac{S(L)}{\sqrt{10}}. \tag{8.8}$$

Стандартна невизначеність (за типом В), пов’язана з дискретністю показів засобу вимірювання лінійних переміщень визначається наступним чином: для рівномірного закону розподілу з межами рівними половині ціни найменшого розряду індикатора вимірювача лінійного переміщення невизначеність розраховується за формулою:

$$U(\delta l_Д) = \frac{l_Д}{2\sqrt{3}}, \tag{8.9}$$

де $l_Д$ – величина найменшого розряду вимірювача лінійних переміщень.

Сумарна невизначеність визначається за формулою:

$$U(l) = \sqrt{U(l_c)^2 + U(l_д)^2}, \quad (8.10)$$

а розширена невизначеність:

$$U = k \cdot U(l), \quad (8.11)$$

де k – коефіцієнт охоплення; (для рівня довіри 0,95 і нормального закону розподілу k=1,96).

8.3 Висновки до розділу 8

Аналіз вимірювального каналу показує, що значення основної похибки вимірюваня буде суттєво залежати від чотирьох складових, а саме: похибок первинного та вторинного вимірювального перетворення, похибки аналого-цифрового перетворення та похибки обчислення результату вимірювання. Попередні розрахунки показують, що при заданих переметрах електричних компонентів вимірювального каналу переміщення загальна похибка вимірювання не повинна перевищувати 0,98 мм, що для діапазону вимірювання 0…600 мм у відносних одиницях становитиме 0,17 %. Розроблена методика калібрування засобу вимірювання лінійних переміщень дозволяє використовувати його в процесі передавання розмірів від еталонів до зразкових ЗВТ.

9 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

9.1 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Основна заробітна плата – винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці. Вона встановлюється у вигляді тарифних ставок (окладів) і відрядних розцінок для робітників та посадових окладів для службовців. Стаття «Основна заробітна плата робітників» містить витрати на виплату основної заробітної плати робітникам, зайнятим виробництвом продукції.

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) З розраховується за формулою:

$$З = \frac{M}{T_P} \cdot t \ ,[грн.], \tag{9.1}$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника.

T_P – число робочих днів, $T_р = 22$;

t – число днів роботи розробника.

Розрахунки основної заробітної плати зведемо в таблицю 9.1:

Таблиця 9.1 – Розрахунок основної заробітної плати розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад,грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	9400	427.3	5	2136
Інженер	6500	295.5	26	7682
Всього				9818

Основна заробітна плата робітників $З_p$ розраховується за формулою:

$$З_p = \sum_{i=1}^{n} t_i \cdot C_i, \tag{9.2}$$

де n – число робіт по видах та розрядах;

t_i – норма часу на виконання конкретної операції, годин;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує певну роботу, грн./год.:

$$C_i = \frac{М_м \cdot К_i}{Т_р \cdot Т_{зм}}, \quad (9.3)$$

де $М_м$ – мінімальна місячна оплата праці, грн.;

$К_i$ – тарифний коефіцієнт робітника даного розряду;

$Т_р$ – число робочих днів в місяці (Тр=21…23 дні);

$Т_{зм}$ – тривалість зміни, годин ($Т_{зм}$ = 8 годин).

Мінімальна місячна оплата праці робітника з 01.01.2019 року складає 4173,00 грн.

$К_i$ – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду. Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 9.2:

Таблиця 9.2 – Тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду

Розряд	$К_i$
1	1,00
2	1,09
3	1,18
4	1,27
5	1,36
6	1,45
7	1,54
8	1,64

Інформацію про основну заробітну плату заносимо до таблиці 9.3

Таблиця 9.3 – Основна заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1	2	3	4	5
1.Підготовчі	2	3	28,0	56,0

2.Монтажні	4	3	28,0	111,9
3.Складальні	2	4	30,1	60,2
4.Налагоджувальні	4	5	32,2	129,0
5.Випробувальні	3	4	30,1	90,3
Всього				447,4

До статті «Додаткова заробітна плата» відносяться витрати на виплату виробничому персоналу підприємства додаткової заробітної плати за працю понад установлені норми, заохочувальні виплати за поточну виробничу діяльність, компенсаційні виплати тощо. Звичайно, ці витрати встановлюються у відсотках до основної заробітної плати на підставі відповідних розрахунків на підприємстві:

$$З_д = 11\% \cdot З_\Sigma, \tag{9.4}$$

$$З_д = 11\% \cdot (9818 + 447,4) = 1129,22 (грн.).$$

Витати на соціальні заходи виникають внаслідок здійснення обов’язкової сплати єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування. Відрахування на соціальні заходи здійснюється від суми всіх витрат на оплату праці робітників, зайнятих безпосередньо виробництвом продукції:

$$В_{сз} = (З_\Sigma + З_д) \cdot \frac{\beta}{100\%}, \tag{9.5}$$

де в – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %.

З 1.01.2016 року ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування встановлена залежно від класу професійного ризику виробництва і для бюджетної сфери в=22,0% .

$$В_{сз} = (9818 + 447,4 + 1129,22) \cdot \frac{22,0\%}{100\%} = 2506,86 (грн.).$$

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування у загальному можуть бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot T}{Ткор \cdot 12} \quad [грн], \tag{9.6}$$

де Ц – балансова вартість даного виду обладнання (приміщень), грн.;

$Т_{кор}$ – час користування;

Т – термін використання обладнання (приміщень), цілі місяці.

Згідно пункта 137.3.3 Податкового кодекса амортизація нараховується на основні засоби вартістю понад 2500 грн.

Всі проведені розрахунки амортизаційних відрахувань заносимо в табл. 9.4.

Таблиця 9.4 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень	Балансова вартість, грн.	$t_{кор}$ (р)	Термін використання міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Комп'ютер	11000	2	1	458.33
Приміщення	100000	20	1	416.67
Всього				875.00

Норма витрат матеріалу – це плановий показник, який визначає максимально допустимі затрати відповідних ресурсів на виробництво одиниці продукції в умовах певного рівня техніки і організації виробництва.

Витрати на матеріали М, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$М = \sum_{1}^{n} Н_i \cdot Ц_i \cdot К_i - \sum_{1}^{n} В_i \cdot Ц_в \quad \text{грн.}, \tag{9.7}$$

де $Н_i$ – витрати матеріалу *і*-го найменування, кг;

$Ц_i$ – вартість матеріалу *і*-го найменування, грн./кг.;

$К_i$ – коефіцієнт транспортних витрат, $К_i$ = (1,1…1,15);

$В_i$ – маса відходів матеріалу *і*-го найменування, кг;

$Ц_в$ – ціна відходів матеріалу *і*-го найменування, грн/кг;

n – кількість видів матеріалів.

Інформацію про використані матеріали подамо у вигляді табл. 9.5.

Таблиця 9.5 – Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Скло текстоліт	120	0,6	72
Припой ПОС-61	60	0,12	7,2
Флюс БС-2	34	0,03	1,02
Спирт обензин СВС-50	25	0,4	10
Дріт монтажний	5	0,2	1
Кріплячі елементи	15	0,1	1,5
Всього			92,72
З врахуванням коефіцієнта транспортування			101,99

Витрати на комплектуючі вироби, які використовують при виготовленні одиниці продукції, розраховуються, згідно їх номенклатури, за формулою:

$$К=\sum_{i=1}^{n} Н_i \cdot Ц_i \cdot К_i, \quad (9.8)$$

де $Н_i$ – кількість комплектуючих *i*-го виду, шт.;

$Ц_i$ – покупна ціна комплектуючих *i*-го найменування, грн.;

$К_i$ – коефіцієнт транспортних витрат (1,1…1,15).

Таблиця 9.6 – Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування	Витрачено, шт.	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Первинний перетворювач RL600	4	650	2600
Перетворювач AD598	4	150	600
Конденсатори	21	0.6	12.6
Резистори	38	0.35	13.3
Транзистори	12	1.5	18
МікроконтролерATmega48	1	45	45
Пластмаса(полістерол)	1	15	15
Витратні матеріали	1	40	40
Всього (з врахуванням транспортних витрат)			3678.29

До статті «Паливо та енергія на технологічні цілі» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються у процесі виробництва продукції. У даному випадку будемо враховувати лише витрати на електроенергію. Витрати на енергію визначаються на основі витрат на одиницю продукції та тарифів на енергію за допомогою залежності:

$$В_е = В \cdot П \cdot Ф \cdot К_п, \quad (9.9)$$

де В – вартість 1 кВт енергії, грн. В = 8,44 грн./кВт*год.;

П – установлена потужність обладнання, кВт. При паяні використовується паяльник потужність П = 500 Вт або П = 0,5 кВт;

Ф – фактична кількість годин роботи обладнання, год. Ф = 100 год.;

$К_п$ – коефіцієнт використання потужності, $К_п$ = 0,65.

$$В_е = 8,44 \cdot 0,5 \cdot 100 \cdot 0,65 = 274,3 (грн).$$

Інші витрати $B_{ін}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати $B_{ін}$ можна прийняти як (100…300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$B_{ін} = (1..3) \cdot (З + З_р). \quad (9.10)$$

$$B_{ін} = 1 \cdot (9818 + 447,4) = 10265,59 (грн.)$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$В = 9818+447,4+1129,22+2506,86+875+3678,29+274,3+10265,59 = 29096,8 грн.$$

Загальна вартість всієї МКНР визначається за формулою:

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha} \quad (9.11)$$

$$B_{заг} = \frac{29096,8}{0,8} = 36371,05(грн.)$$

Прогнозування загальних втрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B}{\beta},$$

(9.12)

де $\beta -$ коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії розробки дослідного зразка, то коефіцієнт $\beta = 0,7$.

Звідси:

$$ЗВ = \frac{36371,05}{0,7} = 51958,65(грн.).$$

9.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $ДП_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta П_i = \sum_1^n \left(\Delta Ц_o \cdot N + Ц_o \cdot \Delta N\right)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\upsilon}{100}\right)$$

(9.13)

де $\Delta Ц_0$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

Цо – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

л – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт *л* = 0,8333.

р – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. р = 0,25;

х – ставка податку на прибуток. У 2019 році – 18%.

Припустимо, що при впроваджені результатів наукової розробки покращується якість, що дозволяє підвищити ціну його реалізації на 350 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 100 шт., протягом другого року – на 180 шт., протягом третього року на 250 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 70 шт., а її ціна 1650 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\Delta П_1 = \left[350 \cdot 70 + (1650 + 350) \cdot 100\right] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 38350,54 (\text{грн.})$$

$$\Delta П_2 = \left[350 \cdot 70 + (1650 + 350) \cdot (100 + 180)\right] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 120162,84 (\text{грн.})$$

$$\Delta П_3 = \left[350 \cdot 70 + (1650 + 350) \cdot (100 + 180 + 250)\right] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 205576,09 (\text{грн.})$$

9.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Теперішню вартість інвестицій PV, що вкладаються в наукову розробку приймемо рівну загальним витратам PV = ЗВ = 51958,65 грн.

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$ згідно наступної формули:

$$E_{абс} = (ПП - PV) \tag{9.14}$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

$$ПП = \sum_{1}^{T} \frac{\Delta П_i}{(1+\tau)^t}, \tag{9.15}$$

де $\Delta П_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн.;

Т – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

t – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{38350,55}{(1+0,2)^1} + \frac{120162,84}{(1+0,2)^2} + \frac{205576,09}{(1+0,2)^3} = 234926,19(грн.) .$$

$$E_{абс} = (234926,19 - 51958,65) = 182967,54(грн.).$$

Оскільки $E_{абс} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій $E_в$. Для цього користуються формулою:

$$E_в = \sqrt[T_ж]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1,$$

$T_ж$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_в = \sqrt[3]{1+\frac{182967,54}{51958,65}} - 1 = 0,65 = 65\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \tag{9.16}$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні d= (0,14…0,2);

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина f = (0,05...0,1).

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23.$$

Так як $E_в > \tau_{\min}$ то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_в} \tag{9.17}$$

$$T_{ок} = \frac{1}{0,65} = 1,53 \text{ (роки)}$$

Так як $T_{ок} \leq$ 3...5-ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

9.4 Висновки до розділу 9

В економічній частині оцінено комерційний потенціал створення метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень, який виявився на середньому рівні. В результаті порівняння системи, що розробляється з існуючим аналогом на ринку виявлено, що вона буде якіснішою і конкурентоспроможнішою.

Витрати на виконання науково-дослідної роботи по кожній з статей витрат на створення метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень складуть 29096,8 грн. Загальна ж величина витрат на виконання та впровадження результатів даної НДР буде складати 51958,65 грн.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 1,5 роки при прогнозованому прибутку 234926,19 грн. за три роки.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі було проведено обгрунтування доцільності метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень. Виконано аналіз методів вимірювання лінійних переміщень. На основі аналізу методів показана актуальність розробки нового засобу вимірювання лінійних переміщень та обгрунтована структурна схема засобу вимірювання. Обраний датчика лінійних переміщень.

Розроблений засіб вимірювання лінійних переміщень має суттєві переваги перед існуючими. Він є більш чутливим, точним та дешевшим у порівнянні з іншими засобами вимірювання. Завдяки використання мікроконтролера ATmega48 значно зменшується кількість елементів, а, отже і вартість розробки.

Розроблена методика калібрування засобу вимірювання лінійних переміщень. Попередні розрахунки показують, що при заданих переметрах електричних компонентів вимірювального каналу переміщення загальна похибка вимірювання не повинна перевищувати 0,98 мм, що для діапазону вимірювання 0…600 мм у відносних одиницях становитиме 0,17 %. Розроблена методика калібрування засобу вимірювання лінійних переміщень дозволяє використовувати його в процесі передавання розмірів від еталонів до зразкових ЗВТ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Метрологія. Метрологічне забезпечення. Основні положення : ДСТУ 2682-94 – [Чинний від 01.01.1995]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 15 с. – (Національний стандарт України).
2. Василевський О. М. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : навчальний посібник / О. М. Василевський, В. О. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 214 с.
3. Метрологічне забезпечення вимірювань переміщення об’єкта. Тези доповіді на XLVII науково-технічній конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики. – Вінниця. – 2018. – 2 с.
4. Куценко, С. В. Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщення об’єкта. Матеріали п’ятої міжнародної конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019)», м. Вінниця, 29-31 жовтня. 2019 р. С. 46.
5. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" № 1314-VII від 05.06.2014.
6. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94. – [Чинний від 01.01.1995]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 68 с. – (Національний стандарт України).
7. Методи вимірювань. Аналіз методів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/fepes/pruladobyd/2015/15-07/other/lekcziya_4__5__metodi_vimiryuvan_.pdf – Назва з екрана.
8. Переміщення датчик [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://vseslova.com.ua/word/Переміщення_датчик-79471u – Назва з екрана.
9. Основи метрології та електричних вимірювань: [підручник] / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
10. LVDT – Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/LVDT – Назва з екрана.
11. Индуктивные датчики (LVDT) - WayCon [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://waycon.ru/about_us.html – Назва з екрана.

12. Методичні вказівки до виконання курсового проекту по курсу «Інформаційно-вимірювальні системи» для спеціальності 6.051001 – «Метрологія та вимірювальна техніка» / П. І. Кулаков. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 48 с.
13. LVDT-датчики перемещения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/printing/doc/739/ – Назва з екрана.
14. Преобразователи сигнала LVDT-датчика от Analog Devices [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://forum.qrz.ru/attachments/inzhenernyy-forum-radiolyubitelskie-tehnologii/50364d1305638163-pomogite-podobrat-rezistory-i-kondyory-dlya-shemy-d__documents-settings_valeri_local-settings_application-data_opera_opera_cache_g_0031_opr063.pdf – Назва з екрана. (дата звернення 29.11.2019)
15. ATMega48, ATMega88, ATMega168 8 битные AVR микроконтроллеры с 4/8/16 КБ внутрисистемно программируемой Flash памяти. Режим доступу: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Atmel/micros/avr/atmega48_88_168.htm.
16. ADM485 5-вольтовий малоспоживаючий приймач-передавач RS-485. Режим доступу: http://catalog.gaw.ru/index.php?page=component_detail&id=17401
17. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
18. AD598 LVDT Signal Conditioner. Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD598.pdf (дата звернення 29.11.2019)
19. Калиткин, Н. Н. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ : учебник для студ. учереждений высш. проф. образования / Н. Н. Калиткин, Е. А. Альшина. – М. : Издательский центр “Академия”, 2013. – 304 с.
20. Точність обчислень, класифікація похибок [електронний ресурс]. http://dssp.petrsu.ru/p/tutorial/meth_calc/files/02.shtml (дата звернення 29.11.2019)
21. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 загальні вимоги до компетентності до випробувльних та калібрувальних лабораторій.
22. EA-4/02 M 2013 Вираження невизначеності вимірювань при калібруванні.

23. Концевые меры длины [електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.instrument.co.ua/c-izmer/koncevye-mery-dliny.html (дата звернення 29.11.2019)
24. Основи теорії невизначеності вимірювань: підручник / О. М. Василевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с.

Додатки

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Кафедра метрології та промислової автоматики
(повна назва кафедри)

З А Т В Е Р Д Ж У Ю

Завідувач кафедри МПА

д.т.н., професор Кучерук В.Ю.

_____
(підпис)

«____» _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магісткрську кваліфікаційну роботу

Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень

08-03.МКР.007.00.000.ТЗ

Керівник бакалаврської дипломної роботи

д.т.н., проф. Кучерук В. Ю.

«____» _____ 2019 р.

Розробив студент гр. ІЯП-18м

Куценко С. В.

«____» _____ 2019 р.

Вінниця ВНТУ 2019

Додаток А
(обов’язковий)

Технічне завдання на бакалаврську дипломну роботу

1 Підстава для проведення робіт

Підставою для виконання бакалаврської дипломної роботи на тему: «Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень» є наказ № 254 від 02.103.2019 р.

Термін виконання робіт:

початок 02.09.2019 р.
кінець 06.12.2019 р.

2 Мета та вихідні дані для проведення робіт

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень.

Вихідними даними для проведення робіт є індивідуальне завдання на бакалаврську дипломну роботу від 28.08.2019 р.

3 Етапи виконання робіт

Виконавцем всіх перерахованих в даному розділі етапів є: студент групи ІЯП-18м Куценко Сергій Валерійович факультету комп’ютерних систем та автоматики Вінницького національного технічного університету, а замовником є: кафедра метрології та промислової автоматики.

№ Етапу	Зміст етапу	Строки виконання
Е1	Обгрунтування доільності розробки та аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень	02.09.2019 27.09.2019
Е2	Розробка структури засобу вимірювання, проведення необхідних електричних розрахунків	27.09.2019 18.10.2019
Е3	Оцінка загальної похибки вимірвання, розробка методики калібрування, підтвердження доцільності розробки економічними розрахунками	18.10.2019 06.12.2019

4 Призначення і галузь застосування

Розроблена структура засобу вимірювання та методика калібрування призначені для забезпечення єдності вимірювань зокрема та підвищенні якості вимірювань лінійних переміщень в цілому. Результати роботи можуть бути використані в метрологічних лабораторіях на підприємствах для забезпечення надійності технологічних процесів та підвищення ефективності та економічної доцільності підприємства в цілому.

5 Технічні дані

5.1 Діапазон вимірювань 0…300/600 мм

5.2 Точність ±0.3 % від діапазону вимірювання

5.3 Вібростійкість 100 м/с^2

5.4 Діапазон робочих частот 1…5 кГц

5.6 Діапазон робочих температур -40…120 °С

6 Джерела розробки

6.1 ДСТУ 3741:2015 Метрология. Государственная поверочная схема для средств измерений длины

6.2 ДСТУ ISO/TS 14253-2:2006 (ISO/TS 14253-2:1999, IDT) Національний стандарт України. Вимоги до геометричних розмірів виробів. перевірка вимірюванням робочих зразків та засобів вимірювальної техніки Частина 2. Рекомендації з оцінювання невизначеності вимірів геометричних розмірів виробів, калібрування засобів вимірювальної техніки та контролю виробів

6.3 ДСТУ ISO 10360-2:2006 Технические требования к геометрии изделий (GPS). Приемные и контрольные испытания координатно-измерительных машин. Часть 2. Координатно-измерительные машины для измерения размеров (ISO 10360-2:2001, IDT)

6.4 ДСТУ ГОСТ 8.050:2009 ГСИ. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений

6.5 Шонфельдер, Г. Измерительные утройства на базе микропроцессора ATmega: пер. с нем. / Шонфельдер Герт, Шнайдер Корнелиус. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 288 с.: ил. – (Электроника)

6.6 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

Студент групи ІЯП–18м _____ Куценко С. В.

Додаток Б
(обов’язковий)

LVDT-датчик лінійного переміщення

Рисунок Б.1 – Зовнішній вигляд LVDT-датчиків

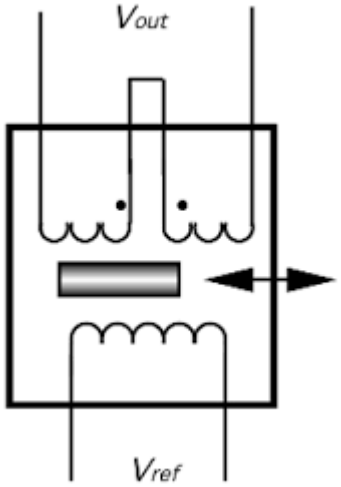

Рисунок Б.2 – До принципу дії LVDT-датчика