

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

(тема)

Розробка товщиноміру та дослідження його точносних параметрів

Виконав: студент 2 курсу, гр. ІТМРТм-19-1
Велентеєнко Роман Євгенійович
(прізвище, ініціали)

Спеціальність

ІТМРТ

освітньої програма 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

(код і повна назва напрямку)

Тип програми

освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник

Разумов-Фризюк Є. А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	ІТМРТ
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	172 – Телекомунікації та радіотехніка (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Велентеєнку Роман Євгенійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка товщиноміру та дослідження його точносних параметрів

затверджена наказом по університету від _____ 02.11. 2020 р. № _____ Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 08. 12 . 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Розміри пристрою повинні знаходитися в межах: $145 \times 80 \times 40 \text{ мм}^3$

3.2 Вага макету не повинна перевищувати 0,3 кг.

3.3 Напруга живлення пристрою – 3,7 В

3.4 Діапазон вимірювань – не менше 2 – 200 мм

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Аналіз вхідних даних;

4.2 Порівняння з аналогічними конструкціями;

4.3 Розробка схеми електричної принципової пристрою для вимірювання товщини матеріалів;

4.5 Зробити конструкторсько-технологічні розрахунки;

4.6 Дослідити точність розробленого товщиноміру

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

Схема електрична принципова, кресленник друкованої плати, складальний кресленник дп зі специфікацією. Презентація 30 акр. ф. А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	03.11.2020	
2	Аналіз аналогічних конструкцій	03.11.2020	
3	Постановка задач	06.11.2020	
4	Аналіз методів неруйнівного контролю	08.11.2020	
5	Розробка схеми електричної принципової пристрою для вимірювання товщини матеріалів	14.11.2020	
6	Конструкторсько-технологічні розрахунки	17.11.2020	
7	Проведення дослідження точності	20.11.2020	
8	Оформлення пояснювальної записки	27.11.2020	
9	Подання роботи до ЕК	08.12.2020	

Дата видачі завдання 02 листопада 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Велентеєнко Р. Є.
(прізвище, ініціали)
доц.каф.КІТАМ
Разумов-Фризюк Є. А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 76 сторінок, 23 рисунка, 16 таблиць, 2 додатки, 25 джерел посилання.

ДАТЧИКИ, МЕТОДИ, НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, РОЗРОБКА, ТОВЩИНОМІР, ТОВЩИНОМЕТРІЯ, УЛЬТРАЗВУК

Об'єкт дослідження – процес забезпечення точності ультразвукового товщиноміру.

Предмет дослідження – методи вимірювання товщини конструкційних деталей.

Мета атестаційної роботи магістра – підвищення точності шляхом розробки товщиноміру та дослідження його точносних параметрів

У роботі проведено аналіз літератури за темою роботи, визначені основні вимоги до виміру товщини матеріалів, коли потрібен неруйнівний контроль товщини матеріалу.

Для неруйнівного контролю потрібно розробити портативний пристрій, який повинен мати такі параметри:

- генерація ультразвукового сигналу та прийом ехо-сигналу;
- автоматичний показ результату заміру на дисплеї;
- індикація живлення пристрою та автовимкнення;
- індикація проведення виміру товщини при акустичному контакті зонду з матеріалом;
- можливість внесення калібровок стосовно матеріалу;
- можливість роботи з ультразвуковими роздільно-суміщеними датчиками різної частоти.

За результатами проведеного дослідження опубліковано одну тезу доповідей.

ABSTRACT

Explanatory note contains: 76 pages, 23 figures, 16 tables, 2 applications, 25 sources of links.

NONDESTRUCTIVECONTROL, SENSORS, DEVELOPMENT,
METHODS, THICKNESS GAUGE, THICKNESS MEASUREMENT,
ULTRASOUND

The object of research is the accuracy of ultrasonic thickness gauges.

The subject of research – methods of measuring the thickness of structural parts.

The purpose of the master's certification work is to develop a thickness gauge and study its exact parameters

The analysis of the literature on the topic of the work was carried out, the basic requirements for measuring the thickness of materials when non-destructive testing of material thickness is required were determined.

For non-destructive testing it is necessary to develop a portable device, which should have the following parameters:

- generation of ultrasonic signal and reception of echo signal;
- automatic display of the measurement result on the display;
- device power indication and auto power off;
- indication of thickness measurement at acoustic contact of the probe with the material;
- the possibility of making calibrations for the material;
- the ability to work with ultrasonic split-combined sensors of different frequencies.

According to the results of the study, one thesis was published.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз сучасного стану ультразвукових товщиномірів.....	11
1.1 Аналіз вихідних даних.....	11
1.2 Аналіз аналогічних рішень.....	12
1.2.1 Механічні товщиноміри.....	12
1.2.2 Електромагнітні товщиноміри.....	13
1.2.3 Вихрострумові товщиноміри.....	14
1.2.4 Ультразвукові товщиноміри.....	16
1.2.5 Магнітні товщиноміри.....	18
1.3 Постановка завдання.....	19
1.4 Висновки до 1 розділу.....	21
2 Аналіз ультразвукового контролю.....	22
2.1 Основні особливості ультразвукового контролю.....	22
2.2 Акустичні методи неруйнівного контролю.....	23
2.3 Ультразвукові датчики.....	28
2.4 Висновки до 2 розділу.....	33
3 Теоретичні передумови для розробки товщиноміра.....	34
3.1 Структурна схема товщиноміра.....	34
3.2 Розробка схеми електричної принципової.....	36
3.3 Аналіз елементної бази.....	40
3.4 Розробка друкарської плати і визначення її габаритів.....	43
3.5 Розрахунок електромагнітної сумісності схеми.....	49
3.5.1 Паразитні частоти.....	49
3.5.2 Визначення напруги перешкоди.....	51

3.6 Висновки до 3 розділу.....	51
4 Аналіз експериментальних досліджень точносних параметрів розробленого товщиноміру.....	52
4.1 Проведення експериментальних досліджень та порівняння отриманих результатів з класичним методом вимірювання....	52
4.2 Висновки до 4 розділу.....	62
5 Охорона праці.....	63
5.1 Поняття охорони праці.....	63
5.2 Аналіз умов праці на робочому місці	63
5.3 Ергономічні вимоги до монітора	64
5.4 Ергономічні вимоги до столу	65
5.5 Ергономічні вимоги до крісла	65
5.6 Промислова безпека в навчальній лабораторії.....	66
5.7 Розрахунок вентиляції.....	66
5.8 Розрахунок штучного освітлення.....	68
5.9 Розрахунок кількості приливу повітря з урахуванням чисельності працюючих.....	70
5.10 Висновки до 5 розділу.....	71
Висновки.....	72
Перелік джерел посилань.....	74
Додаток А Конструкторська документація.....	77
Додаток Б Демонстраційний матеріал.....	91

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ДП – друкована плата;

ЕРЕ – електрорадіоелемент;

МК – мікроконтроллер.

НК – неруйнівний контроль;

ПК – персональний комп'ютер;

ПКП– п'єзоелектричні перетворювачі;

ТЗ – технічне завдання;

УЗ – ультразвуковий, ультразвук;

УЗК – ультразвуковий контроль;

ЧРЧ – часове регулювання чутливості;

RS-232 (Recommended Standard 232) – послідовний порт;

USB (Universal Serial Bus) – послідовний інтерфейс;

ВСТУП

Ультразвукова товщинометрія – основний метод, застосування з метою оцінки фактичного значення товщини стінок елементів конструкцій способом одноразових вимірювань в місцях, недоступних для вимірювання товщини механічним вимірювальним інструментом.

Найбільш часто використовувані прилади – ультразвукові товщиномір, які вимірюють час проходження ультразвукового імпульсу від випромінювача до протилежної поверхні об'єкта контролю і назад до перетворювача. Для проведення таких вимірювань доступ до протилежної поверхні об'єкта контролю не потрібний. Завдяки цьому, якщо протилежна поверхню об'єкта контролю є важкодоступною або повністю недоступною, необхідність розрізати об'єкт контролю (що необхідно для використання мікрометра або штангенциркуля) відсутній. За допомогою ультразвукових товщиномірів може бути виміряна товщина виробів з більшості конструкційних матеріалів, таких як метали, пластики, кераміка, композити, епоксидної смоли і скло, а також товщина шару рідини або біологічних зразків [1].

Так як ультразвук погано поширюється в повітрі, між перетворювачем і поверхнею об'єкта контролю наноситься невелика кількість контактної рідини. Зазвичай в ролі контактної рідини виступає гліцерин, пропіленгліколь, вода або масло. Ультразвуковий імпульс, що випромінюється перетворювачем, проникає в об'єкт контролю, проходить до протилежної поверхні, відбивається від неї і повертає назад на перетворювач. Подібно ехолоту, товщиномір точно вимірює часовий інтервал між відправленням зондуючого імпульсу і отриманням відбитого ехо-сигналу, що становить звичайні але кілька мікросекунд. Для проведення вимірювань може знадобитися налаштування параметру, званого зсувом нуля, необхідна для компенсації часу апаратної затримки імпульсу в самому товщиномірі і

перетворювачі. Отриманий часовий інтервал товщиномір ділить на два, отримуючи час проходження ультразвуку в одну сторону. Це значення множиться на швидкість поширення ультра звуку в даному матеріалі. Таким чином розраховується товщина об'єкта контролю.

Значення швидкості ультразвуку є суттєвою частиною цих розрахунків. Різні матеріали проводять ультразвукові хвилі з різною швидкістю. Крім цього, в деяких матеріалах, особливо в пластмасах, швидкість ультразвуку коливається зі зміною температури. Таким чином, налаштування ультразвукового товщиноміра на правильну швидкість ультразвуку в матеріалі, з якого виконаний об'єкт контролю, є дуже важливим. Для цього використовуються опорні зразки відомої товщини з точно такого ж матеріалу, як і об'єкт контролю

При будь-якому вимірі товщини вибір товщиноміру і перетворювачу залежить від матеріалу, з якого виконаний об'єкт контролю, діапазону вимірюваної товщини і необхідної точності вимірювань. Крім цього, необхідно враховувати форму об'єкта контролю, його температуру та інші спеціальні умови.

Виходячи зі вступу маємо, що метою є розробка ультразвукового товщиноміра та дослідження його точносних параметрів, предметом дослідження є методи вимірювання товщини конструкційних деталей, об'єктом дослідження є процес забезпечення точності ультразвукового товщиноміру.

Актуальність роботи полягає в тому, що однією з найважливіших областей застосування ультразвукового товщиноміра є вимір залишкової товщини стінок металічних труб, резервуарів або балонів, схильних до корозії з внутрішнього боку на комунальних та держваних підприємствах країни.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ТОВЩИНОМІРІВ

1.1 Аналіз вихідних даних

Призначення і загальна характеристика пристрою, що розроблюється:

- портативний мікропроцесорний пристрій для вимірювання товщини однорідних матеріалів на виробництві (труби, пласті металу, кераміка і тд.);
- генерування ультразвукового сигналу та прийом ехо-сигналу;
- автоматичний показ результату на дисплеї;
- автоматичне вимкнення живлення (від 1 хвилини та до 15 хвилин);
- індикація живлення пристрою;
- індикація проведення виміру товщини при акустичному контакті зонду з матеріалом;
- можливість вносити калібровки стосовно матеріалу;
- можливість роботи з ультразвуковими роздільно-суміщеними датчиками різної частоти.

Так як пристрій, що проектується є професійним радіоелектронним приладдям, що використовується на підприємствах для заміру товщини матеріалу, він має відповідати таким параметрам:

- захист від удару, пилу, та надмірної вологості;
- широкому діапазону товщин;
- акумуляторну батарею з можливістю зарядки;
- підтримка ультразвукових датчиків різної частоти вимірювання;
- виведення результату виміру на дисплей для користувача;
- збереження даних в пам'яті прибору з можливістю перегляду в реальному часі;

– з'єднання з ПК через порт USB або RS-232 для обліку вимірювань, внесення нових калібровок сервісним інженером (оновлення пристрою).

1.2 Аналіз аналогічних рішень

Товщиноміри діляться за принципом їх роботи, сферою застосування, а також способу проведення вимірювань на:

- механічні;
- електромагнітні;
- вихроструміві;
- ультразвукові;
- магнітні.

1.2.1 Механічні товщиноміри

Товщиномір мокрого шару призначений для оперативного контролю неотверділих лакофарбових покриттів, щоб потім зробити висновки про товщину сухої плівки. Контроль товщини нанесення лакофарбового покриття дозволяє уникнути виникнення проблем пов'язаних з покриванням, швидкістю сушки, зовнішнім виглядом покриття, перевитратою фарби і тд. Товщиноміри мокрого шару виготовляються з пластмаси, алюмінію або нержавіючої сталі згідно вимог стандартів ISO 2808-2007, ASTM D 4414 (гребінка), ГОСТ Р 51694-2000. При контролі товщини мокрого шару за допомогою гребінки, останню вдавлюють в покриття перпендикулярно поверхні і притискають до підстави. Через кілька секунд її витягують для огляду. Товщина мокрого шару знаходиться в діапазоні між максимальним значенням «мокрого» зубця і мінімальним значенням «сухого» зубця гребінки.



Рисунок 1.1 – Механічний товщиномір «Гребінка»

1.2.2 Електромагнітні товщиноміри

У приладах даного виду для вимірювань використовуються як магнітна індукція, так і ефект Холла, що дозволяє проводити вимірювання щільності магнітного поля. Для створення магнітного поля найчастіше використовується м'який феромагнітний стрижень з котушкою. Також, в свою чергу, для виявлення будь-яких змін в магнітному потоці застосовується другий стрижень з котушкою. Товщина покриття визначається шляхом вимірювання щільності магнітного потоку. Допустимий відсоток похибки вимірювань для приладів даного типу дорівнює $\pm 3\%$. Багатофункціональний електромагнітний товщиномір захисних покриттів всіх типів, має також можливість контролю геометричних і електрофізичних характеристик виробів, якості підготовки поверхні і параметрів навколишнього середовища при проведенні фарбувальних робіт. Контрольовані покриття:

– Неферромагнітними діелектричні і електропровідні (гальванічні, лакофарбові, порошкові, пластикові та ін.) покриття на металевих ферромагнітних підставах;

– діелектричні (лакофарбові, порошкові, аноднооксидні і ін.) На електропровідних неферромагнітних підставах;

– бітумні та інші спеціальні покриття товщиною до 120 мм на металевих виробках;

– покриття з кольорових металів на виробках з кольорових металів;

захисні покриття всередині труб. Контрольовані параметри:

– шорсткість поверхні після піскоструминної обробки;

– товщина бетону до арматури і контроль її розташування;

– електропровідність неферромагнітних металів;

– товщина металевих неферромагнітних листів.



Рисунок 1.2 – Електромагнітний товщиномір А1270

1.2.3 Вихрострумові товщиноміри

Для проведення вимірювань непроводящих покриттів без їх руйнування використовуються товщиноміри з вихрострумовим принципом дії. На поверхні зонда приладу за допомогою струму (з частотою від десятків КГц до одиниць МГц), що проходить через котушку, на яку

намотана тонка мідна проволока, генерується змінне магнітне поле. При наближенні зонда до струмопровідної поверхні, змінне магнітне поле генерує на ній вихрові струми (струми Фуко). Вихрові струми створюють власні (протилежні первинного) електромагнітні поля, які можуть бути вимірні основною або другорядною обмоткою. Зазвичай вихрострумів товщиноміри застосовуються для вимірювання товщини неметалічних покриттів на підставі з кольорових металів.

Підстави з чорних металів мають ненормований опір, в результаті на таких підставах з'являється дуже велика похибка вимірювання і застосування вихрострумів товщиномірів стає неможливим. Спільне застосування магнітного і вихрострумів товщиномірів дозволяє визначити товщину комбінованого покриття, нанесеного на феромагнітний підставу.

Наприклад, в разі оцинкованої сталі з нанесеною фарбою, можна магнітним товщиноміром заміряти товщину покриття фарба + цинк, а вихрострумів товщиноміром заміряти товщину фарби (цинкове покриття буде служити підставою для вихрострумів товщиноміра. Обмеження в застосуванні вихрострумів товщиномірів в частині мінімального радіусу підстави, його шорсткості і товщини аналогічні магнітним товщиномірам. При цьому додається ще вплив скін – ефекту. Чим вище робоча частота вихрострумів товщиноміру, тим менше глибина проникнення в основу струмів Фуко.

У деяких випадках це дозволяє працювати з дуже тонкою підставою, але в іншому випадку цей фактор має від'ємне значення. В результаті для різних завдань потрібно застосування вихрострумів товщиномірів з різною робочою частотою. В цілому застосування магнітних і вихрострумів товщиномірів для вимірювання товщини лакофарбових покриттів обумовлено з здатністю проводити вимірювання з високою точністю в діапазоні від 1 до 1000мкм



Рисунок 1.3 – Товщиномір вихрострумівий BT-201

1.2.4 Ультразвукові товщиноміри

Ультразвуковий товщиномір – прилад для вимірювання товщини однорідних матеріалів(металл, кераміка, пластмас, скло, композит и тд). Для цього приладу характерна наявність ультразвукового датчику в зонді, який працює по принципу посилення імпульсу через покриття. Коли імпульс відбивається від зворотної сторони поверхні, він повертається до датчика та перетворюється в високочастотний сигнал. Ехо сигналу перетворюється в цифровий сигнал та аналізується для визначення товщини матеріалу. Допустима похибка для прибору даного типу становить $\pm 3\%$.

Ультразвуковий товщиномір використовується у випадках, коли є доступ тільки до одного боку матеріалу, товщину якого потрібно визначити, наприклад: трубопровід, або ті місця де неможливо провести механічні вимірювання(обмежений доступ), або це не є цілесообразним(потрібне розрізання матеріалу). Перевага використання такого методу вимірювання – визначення товщини матеріалу без його розрізання ,або вирізання окремої частини матеріалу [2].

Діапазон вимірювання товщини залежить від вибраного перетворювача та матеріалу та може бути в межах від 0,08 мм та до 653 мм.

Всі ультразвукові товщиноміри працюють на основі дуже точного вимірювання часу необхідного звуковому імпульсу, генерованого перетворювачем, для проходження через тестовий зразок. Оскільки звукові хвилі відбиваються від поверхні матеріалу, вимір відлуння від далекої сторони зразка може бути використано з метою вимірювання його товщини, таким же чином, як радар або сонар для вимірювання відстані. Дозвіл може бути в межах 0,001. Вся інформація про вимір буде перетворена у цифровий сигнал та виведеться користувачеві на дисплей у реальному часі.

Ультразвуковий товщиномір має ряд переваг у порівнянні механічним і оптичним методами вимірювання у виробництві та експлуатації, з метою контролю якості, надійністю і моніторингу стану. Сучасний ультразвуковий товщиномір – економічно ефективний і зручний спосіб для проведення неруйнівного контролю. Таким чином за допомогою цього пристрою можна досягти високої точності та надійності виміру. Завдяки можливостям виробу, а саме ультразвуковим вимірюванням, можна добре заощадити на матеріалі(розрізання та деформація матеріалу не потрібні), а також зусиллях при вимірах [3].



Рисунок 1.4 – Товщиномір ультразвуковий Константа Булат 3

1.2.5 Магнітні товщоміри

Принцип роботи магнітних товщомірів заснований на використанні властивостей постійних магнітів. Дозволяють робити вимір немагнітних покриттів нанесених на магнітні підстави. Процес виміру здійснюється на основі оцінки сили взаємодії магніту товщоміра і підстави вимірюваного покриття. Зміна товщини покриття змінює силу взаємодії магніту і підстави вимірюваної спеціально відкаліброваною шкалою. За допомогою такого приладу важко досягти результатів виміру високої точності тому, що на похибку виміру значно впливають магнітні властивості матеріалу на які нанесено покриття. Калібрувати прилад потрібно за допомогою робочих зразків, виготовлених з тої ж сталі, що й контрольовані деталі з покриттям заданої товщини. Такий товщомір дуже простий в використанні, має низьку ціну та просту конструкцію. Якість вимірів залежить від магнітних властивостей матеріалу, тому калібрування приладу потрібне перед кожним використанням.



Рисункок 1.5 – Товщомір магнітній Константа K5

Використані матеріали до першого розділу представлені у фаховій статті «СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ТОЛЩИНОМЕТРИИ» / Харківський національний університет радіоелектроніки; МАТЕРІАЛИ XXIV МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ «РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ У XXI СТОЛІТТІ», том 2 [редкол: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків:ХНУРЕ, 2020- Вип. 43 - 44 с. [4]

1.3 Постановка завдання

На підприємствах для точного виміру товщини матеріалу використовують товщиноміри різного типу вимірювання товщини. Найбільш точним, а також зручним методом вимірювання товщини матеріалу являється ультразвуковий метод. Ультразвуковий метод має ряд переваг у порівнянні механічним і оптичним методами вимірювання у виробництві та експлуатації, з метою контролю якості, надійністю і моніторингу стану [5].

Сучасний ультразвуковий товщиномір – економічно ефективний і зручний спосіб для проведення неруйнівного контролю, а саме у випадках, коли є доступ тільки до одного боку матеріалу, товщину якого потрібно визначити, наприклад: трубопровід, або ті місця де неможливо провести механічні вимірювання (обмежений доступ), або це не є цілесообразним (потрібне розрізання матеріалу). Діапазон вимірювання товщини залежить від вибраного перетворювача та матеріалу та може бути в межах від 0,08 мм та до 653 мм. Таким чином за допомогою цього пристрою можна досягти високої точності та надійності виміру.

Завдяки можливостям виробу, а саме ультразвуковим вимірюванням, можна добре заощадити на матеріалі ,а також на це буде важливим для розділення праці на підприємстві тому, що для роботи з ультразвуковим товщиноміром потрібен один працівник.

Більшість сучасних портативних товщиномірів оснащено внутрішньою пам'яттю для збереження результатів вимірів, які можна буде переглянути використовуючи сам товщиномір. Також прилади мають порти USB або RS-232 для передавання даних в програмному забезпеченні на комп'ютер для більш детального огляду проведеного виміру, а також налаштування калібровок приладу щодо різних типів матеріалу(швидкість звуку, товщина, назва матеріалу)

Мета роботи – розробка портативного пристрою для неруйнівного контролю товщини однорідних матеріалів за допомогою ультразвукового методу.

Виходячи з ТЗ, для неруйнівного контролю потрібно розробити портативний пристрій для вимірювання товщини матеріалів, який повинен мати такі параметри:

- генерування ультразвукового сигналу та оцифровка ехо-сигналу;
- автоматичний показ результату на дисплеї;
- автоматичне вимкнення живлення (від 1 хвилини та до 15 хвилин);
- індикація живлення пристрою;
- індикація проведення виміру товщини при акустичному контакті зонду з матеріалом;
- можливість внесення калібровок стосовно матеріалу;
- можливість роботи з ультразвуковими роздільно-суміщеними датчиками різної частоти.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити ряд основних завдань:

- проаналізувати принцип роботи аналогічних конструкцій;
- проаналізувати метод неруйнівного контролю;
- розробити структурну схему ультразвукового товщиноміру;
- розробити схему електричну принципову пристрою;
- розробити алгоритм роботи пристрою.

Магістерську атестаційну роботу магістра виконати керуючись методичними вказівками [6] згідно ДСТУ 3008-2015 [7].

1.4 Висновки до 1 розділу

В першому розділі атестаційної роботи було розглянуто:

- аналіз вихідних даних;
- механічні товщиноміри;
- електромагнітні товщиноміри;
- вихрострумові товщиноміри;
- магнітні товщиноміри;
- ультразвукові товщиноміри.

2 АНАЛІЗ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ

2.1 Основні особливості ультразвукового контролю

Ультразвуковий контроль – метод, запропонований С. Я. Соколовим в 1928 році і заснований на дослідженні процесу поширення ультразвукових коливань з частотою 0,5 – 25 МГц в контрольованих виробках за допомогою спеціального обладнання – ультразвукового зонду товщиноміра, або ж дефектоскопа. Є одним з найпоширеніших методів неруйнівного контролю на виробництві, на його частку приходиться 32% обсягу контролю всіх виробів. Незважаючи на високий рівень автоматизації праці в розвинених країнах, частка ручного ультразвукового контролю матеріалу залишається найбільшою. Це пов'язано з тим, що великі обсяги робіт проводяться на об'єктах, що не можуть бути схильними до руйнування та деформації та знаходяться в експлуатації: атомні електростанції, трубопроводи різного призначення, транспортні засоби і т.д. Характерною рисою зазначених об'єктів є велика різноманітність конструкцій та матеріалів, отже, методика ультразвукового контролю не одна, тому роботи з контролю погано піддаються автоматизації.

Основними перевагами УЗК методів вимірювання товщини серед других методів є незалежність результатів вимірювань від неоднорідності та непостійності магнітної та електричної структури матеріалу виробу, можливість контролю сумарної товщини біметалічних виробів(наприклад, виробів з феромагнітних та неферомагнітних металів та сплавів), відсутність шкідливого впливу випромінювання на людину(рентгенівське випромінювання) та принципова можливість вимірювання як малих та великих товщин [10].

В наш час використовуються товщиноміри, які основані на ехо-імпульсному методі, тобто методу акустичної локації, яким вимірюється час

проходження імпульсу ультразвукових коливань від поверхні його вводу в матеріал(шар, стінка і т.д.) до протилежної поверхні та назад. Цей час лінійно та однозначно зв'язаний з товщиною контрольованого матеріалу. Для проведення вимірювання необхідно налаштувати товщиномір за допомогою стандартних зразків, які зроблені з матеріалів вимірюваного об'єкта. Товщина, кривизна і шорсткість зразка повинні відповідати виробу який досліджується.

При роботі з товщиноміром використовують п'єзоелектричні перетворювачі: роздільно-суміщені ПЕП і суміщені ПЕП. Вони мають високу чутливість і низький рівень шуму. Залежно від товщини вимірювання застосовують ПЕП з частотами в діапазоні від 2 МГц(великі товщини) до 10 МГц(малі товщини). Для вимірювання малих товщин (менше 10 мм) можуть застосовуватися високодемпфировані ПЕП з частотою до 20 МГц. Діаметри перетворювачів від 5 до 25 мм.

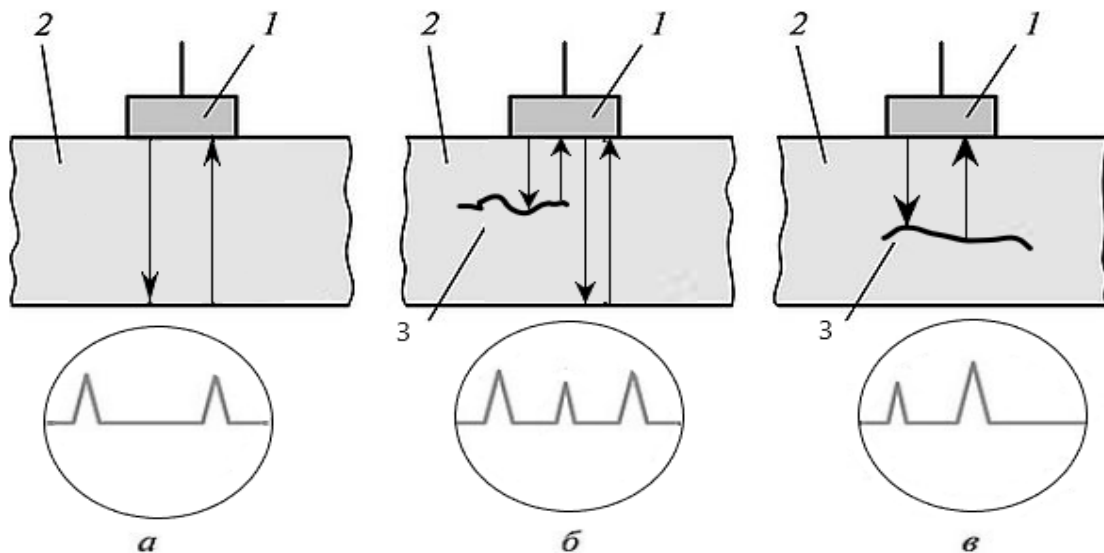
Як відомо ультразвукові товщиноміри відносяться до засобів непрямого вимірювання, тобто фактично ми вимірюємо не товщину виробу, а час проходження ультразвуку через нього. Шукане значення товщини прилад обчислює, перемножуючи цей час на швидкість ультразвуку в матеріалі виробу, тому правильність вимірювання визначається не тільки тим, наскільки вірно виміряний час, а й наскільки правильно була задана швидкість ультразвуку вимірюваного матеріалу.

2.2 Акустичні методи неруйнівного контролю

В ультразвуковій товщинометрії для вимірювання товщини використовуються кілька методів: Ехо-імпульсний, Ехо-Ехо, Зонд-Ехо-Покриття [11].

Ехо-імпульсний метод – найбільш поширений: перетворювач генерує коливання (тобто виступає в ролі генератора) і він же приймає відбиті від дефектів ехо-сигнали (приймач). Даний спосіб набув широкого поширення за

рахунок своєї простоти, так як для проведення контролю потрібен тільки один перетворювач (рис. 2.1). Крім того, це один з небагатьох методів ультразвукової дефектоскопії, що дозволяє досить точно визначити координати дефекту, такі як глибину залягання і положення в досліджуваному об'єкті (щодо перетворювача).



1 – перетворювач; 2 – матеріал; 3б та 3в – дефект

Рисунок 2.1 – Схема Ехо-імпульсного методу

Випромінюючий перетворювач можна одночасно використовувати в якості приймача. У момент посилення імпульсу на екрані приладу виникає сплеск. Ультразвуковий імпульс проходить через деталь 2 і, відбиваючись від її протилежного боку, повертається до випромінювача. Прихід відбитого сигналу також реєструється приладом (рис. 2.1, а). Якщо на шляху ультразвуку в деталі є дефект 3, то на екрані приладу з'явиться новий додатковий сигнал (рис. 2.1, б). Якщо дефект повністю перекриває ультразвукової пучок, то на екрані приладу сплеск від відбитого імпульсу буде відсутній, повернеться тільки ехо дефекту, за його розмірами видно що дефект в матеріалі значний (рис. 2.1, в). Величина цього сигналу дає уявлення про розміри дефекту, а інтервал між введенням в виріб початкового

імпульсу і прийомом відбитого сигналу дозволяє визначити глибину його залягання. Реєстрація ехо-сигналів здійснюється шляхом перетворення в електричні імпульси відбитих хвиль, посилення і реєстрації на екрані дефектоскопа. Причому посилення сигналу відбувається не лінійно, тобто більш потужний сигнал посилюється в меншій мірі, ніж слабший. Також в підсилювачах передбачена поправка на глибину залягання дефекту: чим довше запізнювання ехо-сигналу, тим більше він посилюється.

В товщинометрії дефекти не будуть розпізнані тому, що прилад реєструє введення зондуючого імпульсу та його ехо від донної поверхні матеріалу. Якщо дефект буде значним, то товщини матеріалу дізнатися не вийде, на екрані приладу показники будуть хибні або ж відсутні. У разі незначного дефекту в матеріалі (пори від газів незначних розмірів, мікротріщини) при підсиленні імпульсу можна дізнатися орієнтовну товщину матеріалу і товщина буде мати незначну розбіжність з зразком калібрування[12].

Метод Ехо-Ехо – основний метод при вимірюванні товщини матеріалу через покриття для багатьох приладів неруйнівного контролю, що володіють цією опцією.

Розрахунки для вимірювання товщини:

– $t_{e1} = (t_{л.з.1} + t_{л.з.2}) + 2 \cdot t_{покр.} + 2 \cdot t_{мет.}$, где $t_{л.з.}$ – час лінії затримки, $t_{покр.}$ – час проходження ультразвуку через покриття, $t_{мет.}$ – час проходження ультразвуку через метал;

– $t_{e2} = (t_{л.з.1} + t_{л.з.2}) + 2 \cdot t_{покр.} + 2 \cdot t_{мет.}$ – час приходу сигналу ехо 2;

– $t_{вим.} = t_{e1} - t_{e2} = 2 \cdot t_{мет.}$ – тривалість часового інтервалу між сигналами;

– $H_{мет.} = 0,5 C_{мет.} \times t_{вим.}$, де $C_{мет.}$ – швидкість ультразвуку в металі.

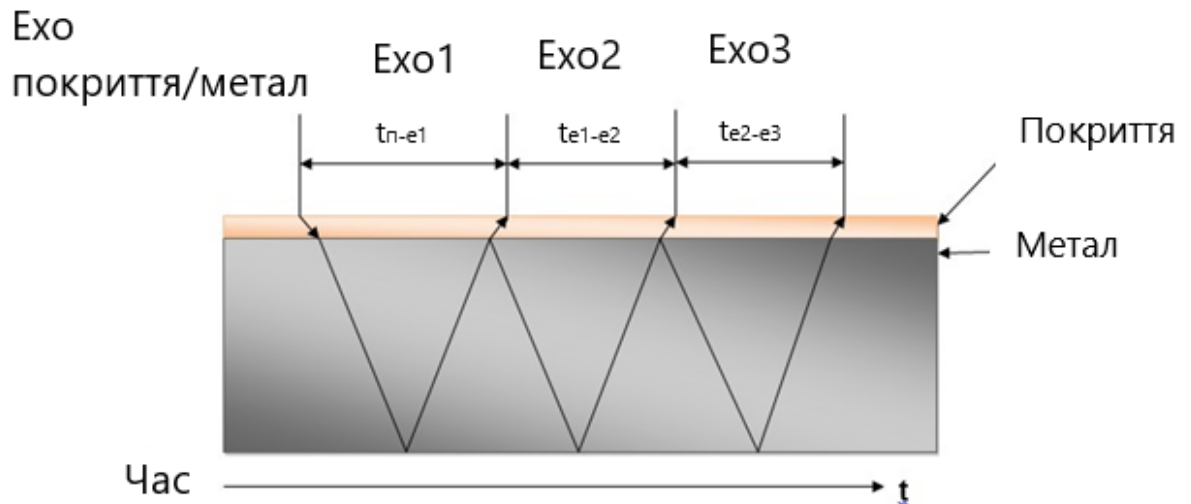


Рисунок 2.2 – Проведення вимірювання по методу Ехо-Ехо

Переваги методу Ехо-Ехо:

- досить проста реалізація;
- може працювати по покриттю з грубою поверхнею;
- може використовуватися для контролю високотемпературних об'єктів (зі спеціальними перетворювачами).

Особливості методу Ехо-Ехо:

- вимагає отримання кількох відбитих сигналів, що не завжди можна забезпечити, тому діапазон контролю менше, ніж у інших методів (залежить від ступеня загасання і ступеня розсіювання ультразвуку в металі, а також від рівня корозії).

Метод Зонд-Ехо-Покриття– цей метод базується на використанні спеціальних роздільно-сполучених перетворювачів, що містять дві додаткові п'єзопластини для вимірювання часу проходження ультразвуку через покриття(див. рис 2.3). Ідея цього методу полягає в тому, що окремо вимірюється час проходження ультразвуку через покриття, а потім цей час віднімається із загального часу вимірювання [9].

Додаткові п'єзопластини встановлені під великим кутом, в результаті чого поздовжня хвиля, сформована випромінюючою п'єзопластиною 1

поширюється по поверхні металу і генерує хвилю, що проходить через призму до п'єзопластини 4.

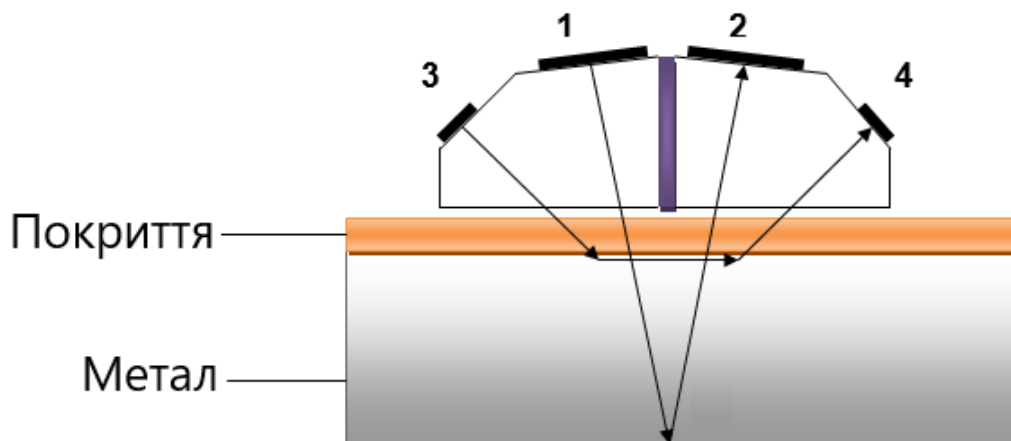
Контролер приладу обчислює тривалість тимчасового інтервалу (ΔT) проходження ультразвуку через покриття.

Розрахунки для вимірювання товщини:

$$- t_{\text{мет.}} = t_{\text{вим.}} - 2t_{\text{покр.}} - (t_{\text{л.з.1}} + t_{\text{л.з.2}})$$

$$- H_{\text{мет.}} = C_{\text{мет.}} \times t_{\text{мет.}}$$

$- H_{\text{покр.}} = \Delta T \times \cos \alpha / [2(1/C_{\text{покр.}} - \sin \alpha / C_{\text{мет.}})]$, $C_{\text{покр.}}$ – швидкість ультразвуку в покритті.



1, 2 – п'єзопластини для вимірювання загального часу проходження ультразвуку через метал і покриття; 3, 4 – п'єзопластини для вимірювання часу проходження ультразвуку через покриття

Рисунок 2.3 – Модель методу Зонд-Ехо- Покриття

Переваги методу Зонд-Ехо-Покриття:

– економія часу і грошей за рахунок можливості проведення вимірювання через покриття без необхідності попереднього видалення і подальшого відновлення покриття;

- вимірювання товщини основного металу по одному відображенню від дна, що істотно підвищує можливості приладу по виміру сильно пошкоджених корозією виробів в порівнянні з методом Ехо-Ехо;
- діапазон контролю більше, ніж у методу Ехо-Ехо;
- вимір товщини покриття (при відомій швидкості ультразвуку в покритті).

Особливості методу Зонд-Ехо-Покриття[11]:

- вимір можливо тільки зі спеціалізованими перетворювачами і приладами, призначеними для роботи з такими перетворювачами;
- покриття повинне бути неметалічним і товщиною $\geq 0,125$ мм;
- поверхня покриття повинна бути досить гладкою.

2.3 Ультразвукові датчики

П'єзоелемент, який збуджується дуже коротким електричним імпульсом, випромінює ультразвуковий сигнал. Для ймовірності отримання найбільш точного результату вимірювання, довжина хвилі імпульсу повинна бути якомога більш коротше, тобто частота повинна бути максимально високою. Для товщинометрії використовується ультразвук в діапазоні частот від 1 до 20 МГц.

Поверхня металу повинна бути підготовлена для початку вимірювання. Місце, де п'єзоелектричний перетворювач буде контактувати з об'єктом контролю повинно бути гладким і чистим. На матеріалі не повинні знаходитися перешкоди, які б заважали ультразвукової хвилі пройти всередину контрольованого об'єкта, наприклад, продукти корозії. Ультразвук погано поширюється по повітрю, тому між випромінюючої поверхнею п'єзоелектричного перетворювача і поверхнею об'єкта контролю повітряний зазор повинен бути відсутнім. Для цього використовується контактна рідина така, як мінеральне масло, вода або гель, які забезпечують гарний акустичний контакт.

Для товщинометрії складних матеріалів використовують низькочастотні перетворювачі незалежно від їхньої чутливості. Швидкість ультразвуку в матеріалі повинна поширюватися постійно. Якщо відома швидкість змінюється, то результат визначення відстані не відповідатиме дійсності.

Ультразвук добре відбивається від плоских паралельних поверхонь. Непаралельні поверхні можуть відобразити ультразвук в сторону від робочої поверхні ПЕП. При шорсткості поверхні ультразвук розсіюється і лише його частина повертається назад до перетворювача, що в підсумку послаблює сигнал [13].

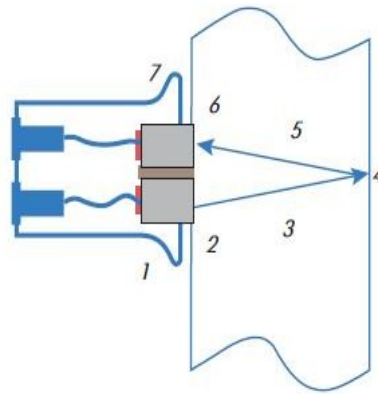
Інший (а іноді і той же самий) п'єзоелектричний кристал використовується для прийому ультразвуку, який перетворюється в електричний імпульс з подальшим виміром часу.

Далі представлена модель взаємодії ультразвукового роздільно-суміщеного перетворювача і контрольованого об'єкта (рис. 2.4). [13].

У таблиці 2.1 приведено перелік прямих роздільно-суміщених перетворювачів.

Таблиця 2.1 – Прямі роздільно-суміщені перетворювачі

Перетворювачі	Вимірюєма товщина, мм	Мін. Радіус матеріалу, мм	Робоча поверхня, мм	Габарити
П112-10-4x4-A-01	0,6-40	5,0	7.5x12	13x22x22
П112-10-2x3/М	0,5-15	5,0	2x6	9x8x15
П112-10-2x3/ММ	0,5-15	5,0	2,5x7,5	9x8x15
П112-10-Ø3/2-A-01	0,5-15	5,0	Ø5	Ø20x8
П112-5-4x4-A-01	1,0-80	10,0	7,5x12	13x22x22
П112-2,5-Ø12x2-A-01	2,0-300	20,0	Ø16	Ø22x45



1 – прилад створює ультразвукової імпульс; 2 – ультразвуковий імпульс, що випромінюється перетворювачем, вводиться в поверхню об'єкта контролю; 3 – імпульс проникає в структуру контрольованого виробу; 4 – імпульс проходить до донної поверхні і відбивається від неї; 5 – імпульс повертається назад до перетворювача через матеріал об'єкта контролю; 6 – ультразвуковий імпульс передається від поверхні контрольованого об'єкта в перетворювач; 7 – прийнятий відбитий ультразвуковий сигнал вимірюється приладом.

Рисунок 2.4 – Модель взаємодії ультразвукового роздільно суміщеного перетворювача і об'єкта контролю

У таблиці 2.2 приведено перелік прямих суміщених перетворювачів.

Таблиця 2.2 – Прямі суміщені перетворювачі

Перетворювач	Діаметр відзеркалювача, мм	Діапазон контролю по сталі, мм	Ефективна частота, МГц	Розмір робочої поверхні, мм
П-111-1,25-К20-003	3,0	15...180	1,25±0,11	22
П-111-2,5-К12-003	1,6	10...180	2,5±0,22	14
П-111-2,5-К20-003	1,6	25...400	2,5±0,22	22
П-111-5-К12-003	1,2	15...200	5±0,45	14
П-111-5-К6-003	1,2	5...70	5±0,45	8

У таблиці 2.3 приведено діапазон вимірювання товщин.

Таблиця 2.3 – Діапазон вимірювання товщини

Тип перетворювачу	Діапазон вимірювання товщини, мм
П112-5-10/2-Т-01	1,5-200,0
П112-10-6/2-Т-01	0,8-20,0
П112-2,5-12/2-А-01	3,0-200,0
П112-10-6/2-А-04	0,4-15,0 (по Al сплавам), 0,5-10,0 (по сталі)
П112-10-2x8-А-04	0,5-10,0
П112-10-4/2-А-04	0,5-10,0
П112-10-6/2-Е	0,6-50,0
П112-5-10/2-Е	1,0-300,0

У таблиці 2.4 приведено допустиму додаткову абсолютну похибку.

Таблиця 2.4 – Межі допустимої додаткової абсолютної похибки

Тип перетворювача	Шорсткість поверхні, мкм	Межі допустимої додаткової абсолютної похибки вимірювання товщини, мм
П112-10-6/2-А	10<Rz<80	±0,05
П112-10-6/2-Е		
П112-10-6/2-Т-01		
П111-15-Л6		
П112-5-10/2-А		±0,1
П112-5-10/2-Е		
П112-5-10/2-Т-01		
П112-2,5-12/2-А		
П111-S5C		
П111-S2C	80≤Rz<160	±0,15
П112-5-10/2-Е		
П112-5-10/2-А		
П112-5-10/2-Т-01		

У таблиці 2.5 – приведено межу допустимої додаткової абсолютної похибки вимірювання товщини для циліндричних зразків.

Таблиця 2.5 – Межа допустимої додаткової абсолютної похибки вимірювання товщини для циліндричних зразків

Тип перетворювача	Минимально допустимий радіус кривизни циліндричного зразку, мм	Межа допустимої додаткової абсолютної похибки вимірювання товщини, мм
П112-10-6/2-А	10	±0,1
П112-10-6/2-А-04		
П112-10-4/2-А-04		
П112-10-2x8-А-04		
П112-10-6/2-Е		±0,2
П112-10-6/2-Т-01	20	±0,2
П112-5-10/2-А		
П112-5-10/2-Е		
П112-5-10/2-Т-01		
П112-2,5-12/2-А		
П111-S5C		±0,1

У таблиці 2.6 приведено габаритні розміри.

Таблиця 2.6 – Габаритні розміри

Тип перетворювача	Габаритні розміри, мм, не більше
П112-5-10/2-А	Ø18x26
П112-10-6/2-А	Ø18x26
П112-5-10/2-Т-01	Ø26x48
П112-10-6/2-Т-01	Ø26x48
П112-2,5-12/2-А-01	Ø25x47
П112-10-6/2-А-04	Ø11x15
П112-10-2x8-А-04	5x10x31
П112-10-4/2-А-04	Ø9x16
П112-10-6/2-Е	Ø25x47
П112-5-10/2-Е	Ø25x47
П111-15-Л6	Ø14,0x25,5

У таблиці 2.7 приведено діапазон контролю товщин під покриттям.

Таблиця 2.7 – Діапазон контролю товщини під покриттям

Тип перетворювачу	Метод вимірювання	Діапазон контролю товщини під покриттям, мм	Товщина покриття, мм
П112-10-6/2-Е	З-Э-П	0,6÷25	≤0,5 мм
	Э-Э-Э	0,6÷10	≤1,0 мм
П112-5-10/2-Е	З-Э-П	1,5÷300	≤1,0 мм
	Э-Э-Э	1,0÷20	≤2,0 мм
П111-S5C	Э-Э-Э	1,0÷150	≤2,0 мм
П111-S2C	Э-Э-Э	2,0÷200	≤2,0 мм
П111-15-Л6	Э-Э-Э	0,25÷4,0	≤0,5 мм

2.4 Висновки до 2 розділу

В другому розділі атестаційної роботи було розглянуто:

- поняття ультразвуку;
- основні особливості ультразвукового контролю;
- методи ультразвукового контролю;
- розглянуто датчики ультразвукового контролю.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТОВЩИНОМІРА

3.1 Структурна схема товщиноміра

Структурна схема ультразвукового товщиноміра представлена на рис. 3.1.

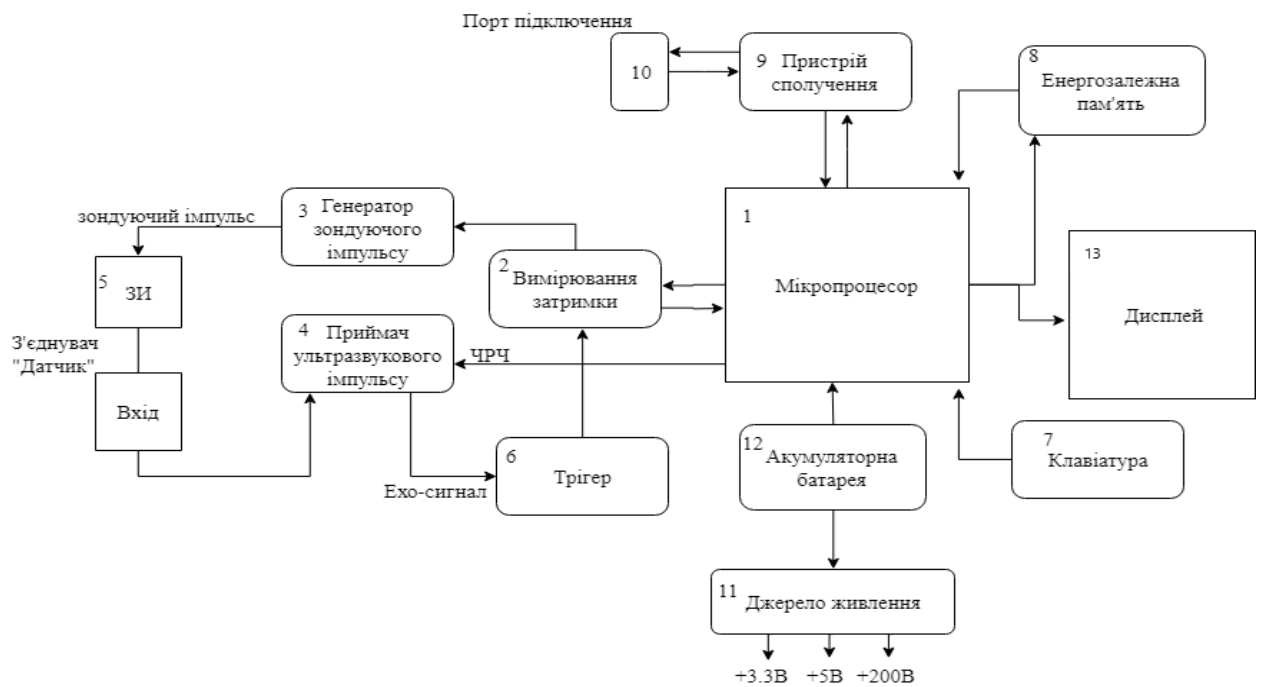


Рисунок 3.1 – Структурна схема ультразвукового товщиноміру

Центральним елементом приладу є мікропроцесор 1, на який покладено практично всі функції управління іншими пристроями, а також проведення обчислень. Режим роботи мікропроцесора 1 задається оператором з мембранної клавіатури 7. Наявність акустичного контакту, результати обчислень, заставки і т.д. виводяться на дисплей 13.

Вимірювальна схема приладу складається з генератора зондуєчих імпульсів 3 (ГЗІ), приймача 4, тригеру 6 і блоку вимірювання затримки 2. Мікропроцесор 1 подає команду вимірювання затримки 2 на початок вимірів.

Вимірювання затримки 2 запускає ГЗІ 3, який в свою чергу формує зондуєчий імпульс. Зондуєчий імпульс подається на з'єднувач "Датчик" 5 і далі надходить на випромінюючу п'єзопластину перетворювача. Донний ехо-сигнал від приймального п'єзоелемента ПЕП надходить на вхід приймача 4, посилюється і направляється до тригеру 6, потім подається на обробку назад до вимірювання затримки 2. Потім сигнал надходить до АЦП й перетворюється в цифровий код. Мікропроцесор 1 зчитує даний код, обчислює товщину виробу і виводить результат на дисплей 13.

Під час проведення вимірювань мікропроцесор 1 керує чутливістю приймача 4, забезпечуючи тимчасову регулювання чутливості (ЧРЧ). Залежно від товщини виробу змінюється чутливість ПЕП. Мікропроцесор 1 вирівнює чутливість всього електроакустичного тракту вимірювання.

Характеристика ЧРЧ і параметри налаштування залежать від типу перетворювача(діаметр, частота).

Прилад містить вбудовану незалежну пам'ять 8, яка має здатність зберігати дані при вимкненому живленні. У пам'яті 8 міститься, поточний код точки, дані настройки перетворювачів і результати вимірювань. Мікропроцесор може записувати дані в пам'ять 8, зчитувати і правити їх.

Для передачі даних в персональний комп'ютер прилад забезпечений можливістю сполучення з ПК і портом підключення 10. Пристрій сполучення 9 забезпечує роботу через USB. ПК підключається до приладу за допомогою кабелю Micro USB.

Живлення приладу здійснюється від літій-полімерного акумулятору 12. Акумулятор підключено до джерела живлення 11, який виробляє стабілізовані напруги +3.3 В, +5В і +200В. Напруга + 200В використовується для зондуєчого імпульсу 3, напруга + 3.3В – для мікропроцесору, напруга +5В для інших елементів схеми.

Мікропроцесор 1 має вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Напруга акумулятору надходить в АЦП мікропроцесору 1, де вимірюється з частотою 20 разів на секунду. Мікропроцесор постійно

контролює напругу акумулятору 12. При падінні напруги акумулятору нижче 3,3 В, мікропроцесор вимикає прилад.

3.2 Розробка схеми електричної принципової

Генератор зондуючих імпульсів (рис. 3.2) складається з двох польових транзисторів, імпульси на відкриття яких подає мікроконтролер через драйвер DD1. Відкриття транзистору VT1 призводить до накачки напруги в C3 за допомогою L1. Після імпульсу накачки напруги МК дає імпульс на відкриття транзистора VT2 на малий проміжок часу (~150нс). Це призводить до появи на п'єзопластині-генераторі в датчику дуже короткого за часом імпульсу напругою 150-200В.

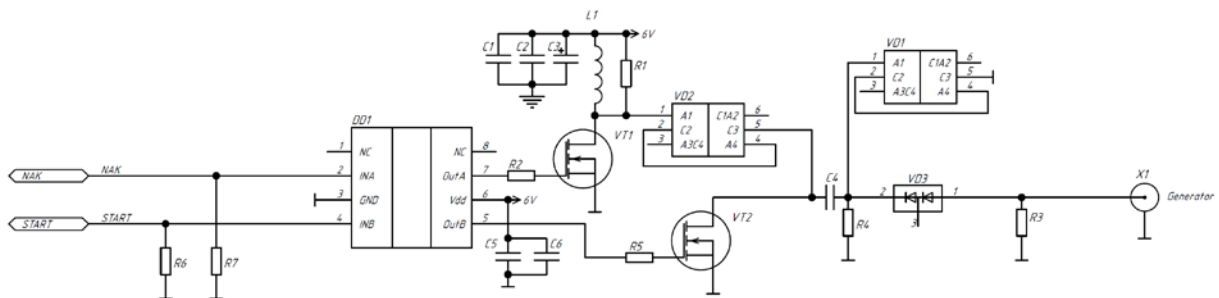


Рисунок 3.2 – Схема генератора зондуючих імпульсів

Приймач ультразвукових імпульсів (рис. 3.3) базується на спеціалізованій мікросхемі – підсилювачі УЗ сигналу AD8332 від компанії Analog Devices. УЗ підсилювач дозволяє корегувати значення підсилення безпосередньо під час вимірів, завдяки чому можна здійснювати часове регулювання чутливості (ЧРЧ).

Також для зчитування заводської інформації з датчиків, в яких встановлено додаткову мікросхему пам'яті, на схемі присутнє високошвидкісне цифрове реле на DA1.

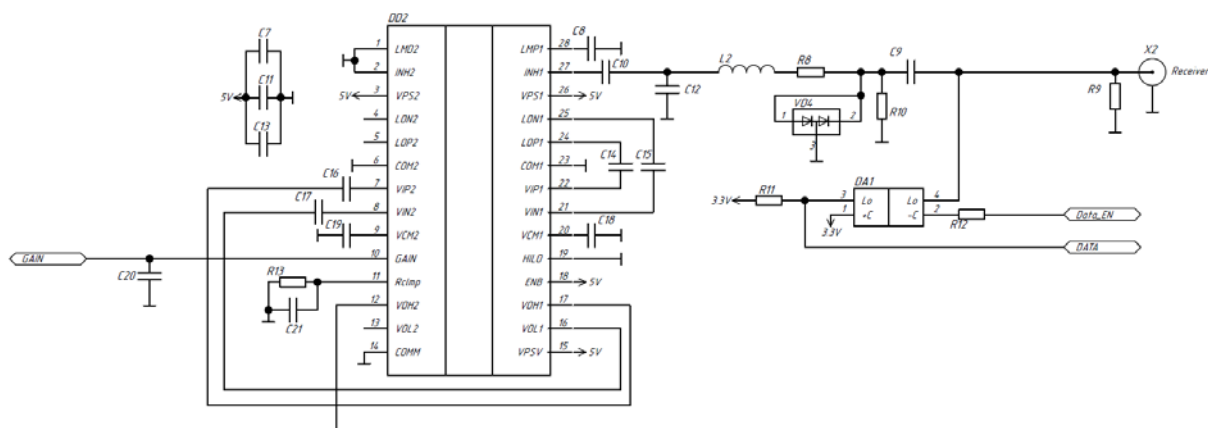


Рисунок 3.3 – Схема приймача ультразвукових імпульсів

Ультразвуковий сигнал після підсилення потрапляє на блок обробки сигналу (рис. 3.4), який складається з компараторів та J-K тригера.

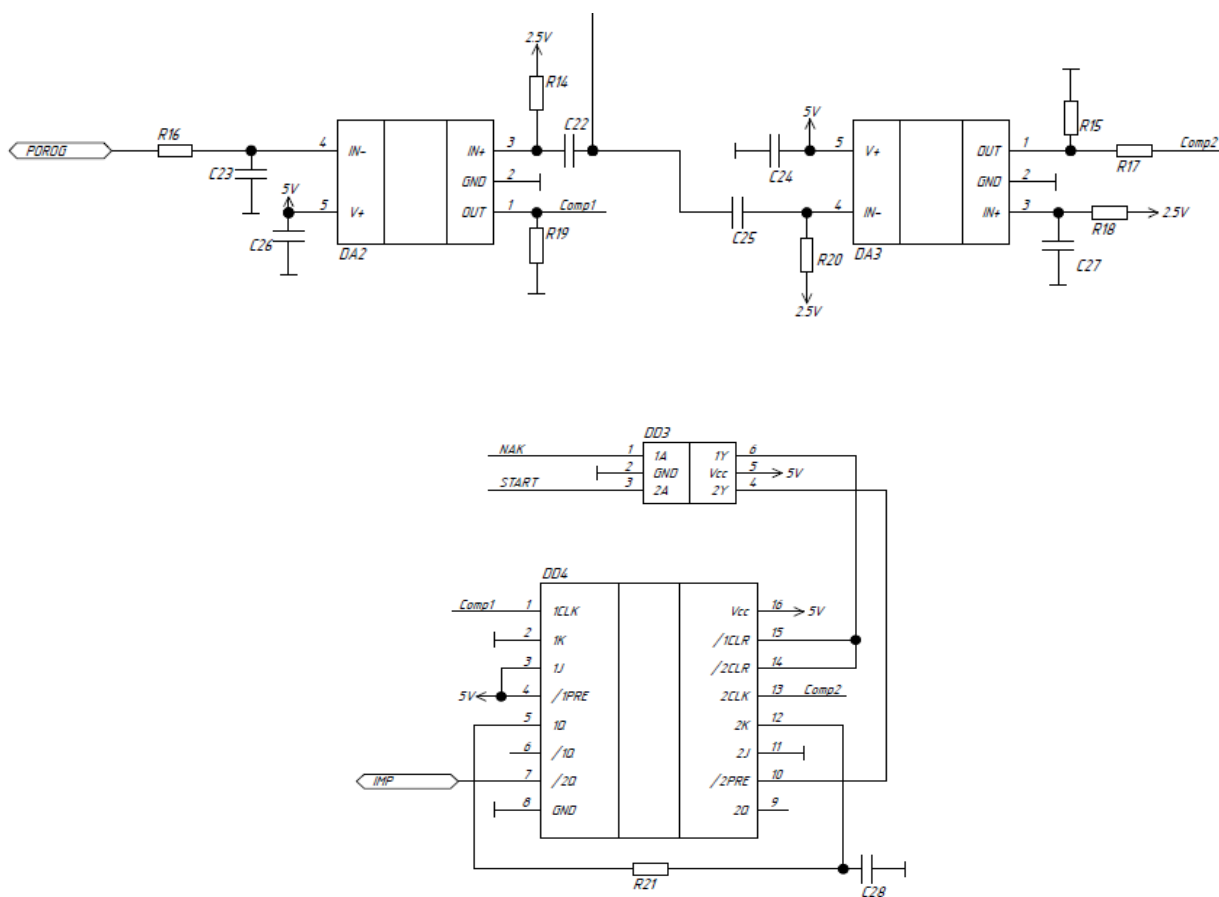


Рисунок 3.4 – Блок обробки сигналу

За включення прибору відповідають 2 транзистори BC817-40.215 і IRLML2244TRPBF (рис. 3.5). Після натискання на клавіатурі прибору кнопки включення відбувається замикання Bat на S1, напруга від акумулятора подається до схеми та запускає МК, який в свою чергу подає логічну «1» на P_ON.

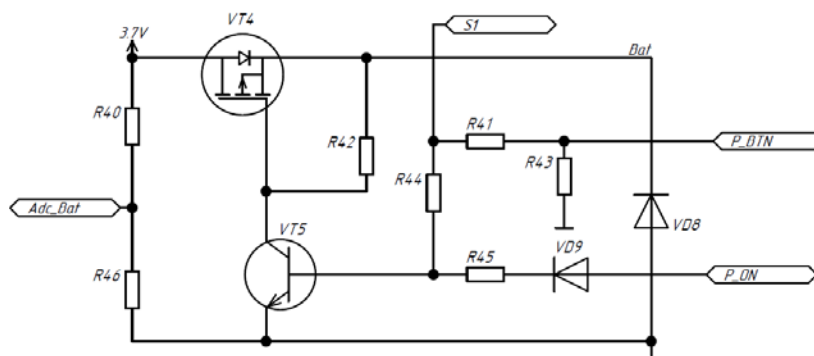


Рисунок 3.5 – Схема підтримки живлення прибору

За живлення мікроконтролера пам'яті, та відображення відповідає мікросхема ST1S12GR (рис. 3.6), вона подає 3.3 В для живлення мікроконтролера, а також для подачі звукового сигналу при включенні та виключенні прибору, супроводу дій оператора(використання клавіатури) та оновлення по сервісним інженером.

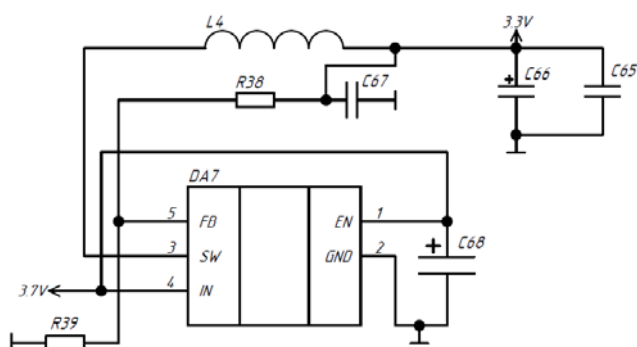


Рисунок 3.6 – Схема понижуючого регулятора

Для живлення інвертору, компаратору та J-K тригеру використовується підсилюючий перетворювач LM2623АММ/НОРВ (рис. 3.7) Він підвищує напругу 3.7 В до 6 вольт для живлення драйверу генератору UCC27324DGN, також 6 В напруги служать живленням для LP2985А-50DBVR, який знижує напругу до 5 В для живлення інвертору SN74LVC2G04DBVR та понижуючого до 2.5 В перетворювачу LP2992AIM5-2.5/НОРВ (рис. 3.8), відповідаючого за подачу 2.5 В до компараторів блоку обробки сигналу (рис. 3.4).

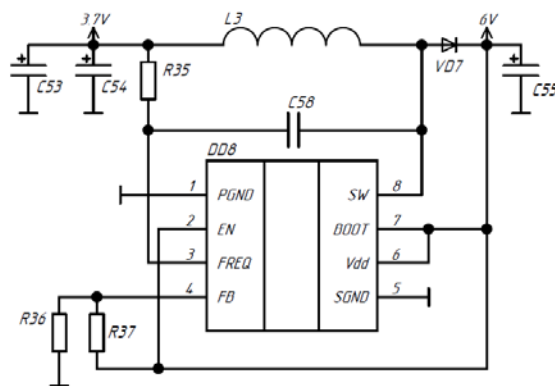


Рисунок 3.7 – Підсилюючий перетворювач LM2623АММ/НОРВ

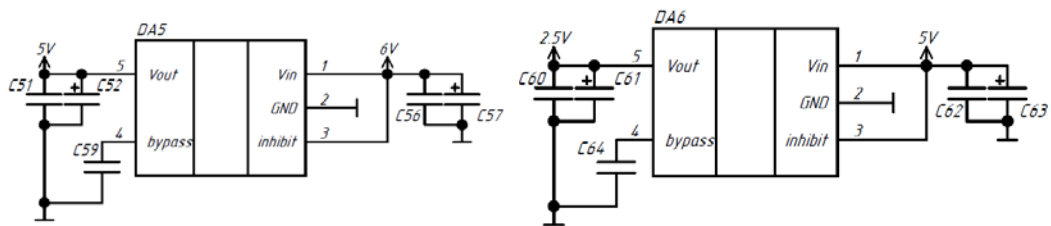


Рисунок 3.8 – Понижуючі перетворювачі LP2985А-50DBVR та LP2992AIM5-2.5/НОРВ

3.3 Аналіз елементної бази

Схема електрична принципова, що розробляється, представлена на ГЮИК.401161.003.ЕЗ. Мета аналізу елементної бази полягає у визначенні відповідності експлуатаційних характеристик електрорадіоелементів умовам експлуатації пристрою.

Внаслідок того, що електрорадіоелементи, з яких будується схема електрична принципова модуля, є невід'ємною його частиною, для забезпечення надійної роботи в заданому діапазоні зовнішніх дій на кожен ЕРЕ елементної бази накладаються ті ж умови по стійкості до цих дій, що і до всього модуля в цілому. Тому експлуатаційні характеристики вживаних ЕРЕ повинні повністю відповідати, тобто бути не гірше, експлуатаційних характеристик модуля в цілому, заданих в технічному завданні. Дані про елементну базу приведені в табл. 3.1.

Визначимо загальну інтенсивність відмов, яка розраховується по формулі:

$$\Sigma\lambda = \Sigma\lambda_i \times n, \quad (3.1)$$

де λ_i – інтенсивність відмови 1-го елемента (1/ч);

n – кількість елементів одного типу.

$$\Sigma\lambda = \left(\begin{array}{l} 0,2 \times 52 + 0,2 \times 1 + 0,3 \times 1 + 0,3 \times 13 + 0,35 \times 1 + 0,35 \times 2 + \\ + 0,35 \times 12 + 0,25 \times 4 + 0,1 \times 46 + 0,45 \times 2 + 0,45 \times 2 + \\ + 0,45 \times 1 + 0,45 \times 3 + 0,45 \times 1 + 0,4 \times 2 + 0,4 \times 2 + \\ + 0,4 \times 1 + 0,7 \times 2 + 0,7 \times 1 + 0,7 \times 2 + 0,7 \times 1 + 0,9 \times 1 + \\ + 0,4 \times 1 + 0,4 \times 1 \end{array} \right) \times 10^{-6} = 28,15 \times 10^{-6}. \quad (3.2)$$

Таблиця 3.1– Умови експлуатації електрорадіоелементів

Типи елементів	Кількість елементів даного типу	Допустимі значення				Інт. відмов, 10^{-6} 1/ч
		Т, °С	Відносна вологість, %	Механічні впливи		
				Вібрація, Гц	Удари, g	
CL10A	52	-20...+60	80	1-5000	75	0,2
CC0805X	1	-20...+60	80	1-5000	75	0,2
C 593D	1	0...+55	80	1-5000	75	0,3
TAJR	13	0...+55	80	1-5000	75	0,3
AD8332ARU	1	-20...+60	70	1-3000	30	0,35
LMV7219	2	-25...+70	75	1-3000	30	0,35
TP4056	1	-25...+60	72	1-3000	30	0,35
LP2985A50DBVR	1	-25...+70	80	1-3000	30	0,35
LP2992AIM5-2.5	1	-20...+65	70	1-3000	30	0,35
ST1S12GR	1	-25...+70	75	1-3000	30	0,35
UCC27324DGN	1	-20...+60	80	1-3000	30	0,35
CPC1030NTR	1	-20...+75	75	1-3000	30	0,35
SN74LVC2G04	1	-20...+60	70	1-3000	30	0,35
SN74LVC112A	1	-25...+70	80	1-3000	30	0,35
STM32F407VGT6	1	-25...+65	70	1-3000	30	0,35
W25Q128FVSIQ	1	-25...+70	70	1-3000	30	0,35
FM25W256	1	-20...+60	80	1-3000	30	0,35
LM2623AMM	1	-25...+70	75	1-3000	30	0,35
CDRH64BNP	1	-60...+85	95	1-5000	80	0,25
CIH10T	1	-60...+85	95	1-5000	80	0,25
IHLP2525CZER	1	-60...+85	95	1-5000	80	0,25

Продовження таблиці 3.1.

Типи елементів	Кількість елементів даного типу	Допустимі значення				Інт. відмов, 10^{-6} 1/ч
		Т,°С	Відносна вологість, %	Механічні впливи		
				Вібрація, Гц	Удари, g	
CDRH4D18NP	1	-60...+85	95	1-5000	80	0,25
RC0603	46	-20...+60	80	1-5000	75	0,1
BAV99SH6433	2	-20...+60	80	1-5000	50	0,45
BAV99LT1	2	-20...+60	80	1-5000	50	0,45
FYL-3019	1	-20...+60	80	1-5000	50	0,45
LL4148	3	-20...+60	80	1-5000	50	0,45
B340A-E3	1	-20...+60	80	1-5000	50	0,45
BSP89	2	-20...+60	65	1-4000	40	0,4
BC817	2	-20...+60	65	1-4000	40	0,4
IRLML2244	1	-20...+60	65	1-4000	40	0,4
LEMO.00	2	-30...+70	80	1-3000	50	0,7
XF2M40151A	1	-30...+70	80	1-3000	50	0,7
BH1.27	2	-30...+70	80	1-3000	50	0,7
ZL201-02G	1	-30...+70	80	1-3000	50	0,7
ESB228110100Z	1	-30...+70	80	1-3000	30	0,9
KX-3HE	1	-60...+85	98	1-1500	35	0,4
KX-26T	1	-60...+85	98	1-1500	35	0,4
Всього	155					28,15

Середнє напрацювання ультразвукового товщиноміра до першої відмови визначається відповідно до формули (3.3) за даними табл. 3.1:

$$T_c = 1/\Sigma\lambda , \quad (3.3)$$

де T_c – середній час напрацювання на відмову;

$\Sigma\lambda$ – загальна інтенсивність відмов;

$$T_c = \frac{1}{28,15 \times 10^{-6}} = 35523,98 \text{ (Г)}. \quad (3.4)$$

Розрахована величина середнього часу напрацювання на відмову, що задовольняє вимогам по надійності РЕЗ. Але дана характеристика має наближений характер через неврахування реального режиму роботи елементів конструкції, їх матеріалів і погрішностей, що вносяться методикою розрахунку.

3.4 Розробка друкарської плати і визначення її габаритів

Друкарська плата є конструктивною основою всього пристрою. На ній кріпляться всі необхідні елементи і деталі, що сполучаються між собою друкарськими провідниками.

При конструюванні друкарської плати визначаються її конфігурація і габаритні розміри, здійснюються раціональне розміщення елементів і трасування з'єднань між ними.

Форма друкарської плати вибирається, як правило, прямокутною.

Мінімальна площа плати в мм² розраховується за формулою

$$S_n = \frac{\sum_{I=1}^N S_{I\Omega}}{K_S}, \quad (3.5)$$

де $S_{I\Omega}$ – настановна площа одного елемента мм²;

K_S – коефіцієнт заповнення площі підкладки;

N – кількість компонованих елементів.

Таблиця 3.2 – Установчі характеристики ЕРЕ

Тип ЕРЕ	Кіл. ЕРЕ	Установча площа одного елемента, мм ²	Установча площа всіх ЕРЕ, мм ²	Маса одного елемента, г	Маса всіх ЕРЕ, г
CL10A	52	1,28	66,56	0,2	10,4
CC0805X	1	2,5	2,5	0,2	0,2
C 593D	1	5,12	1	1,2	1,2
TAJR	13	5,12	66,51	1,2	15,6
AD8332ARU	1	43,65	43,65	4	4
LMV7219	2	4,13	8,26	1	2
TP4056	1	16,53	16,53	3,6	3,6
LP2985A50DBV	1	4,13	4,13	1	1
LP2992AIM5-2.5	1	4,13	4,13	1	1
ST1S12GR	1	16,53	16,53	3,6	3,6
UCC27324DGN	1	13,2	13,2	2,7	2,7
CPC1030NTR	1	14,69	14,69	3,8	3,8
SN74LVC2G04	1	14,57	14,57	3,5	3,5
SN74LVC112A	1	38,3	38,3	5,5	5,5
STM32F407VGT6	1	264,06	264,06	6,1	6,1

Продовження таблиці 3.2.

Тип ЕРЕ	Кіл. ЕРЕ	Установча площа одного елементу, мм ²	Установча площа всіх ЕРЕ, мм ²	Маса одного елементу, г	Маса всіх ЕРЕ, г
W25Q128FVSIQ	1	26,87	26,87	5,3	5,3
FM25W256	1	26,87	26,87	5,3	5,3
LM2623AMM	1	4,13	4,13	1	1
CDRH64BNP	1	38,44	38,44	3,5	3,5
СН10Т	1	46,7	46,7	3,3	3,3
IHLP2525CZER	1	27,41	27,41	5,5	5,5
CDRH4D18NP	1	34,44	34,44	8	8
RC0603	46	1,28	58,88	0,2	9,2
BAV99SH6433	2	24,04	48,08	3	6
BAV99LT1	2	12,6	25,2	1,1	2,2
FYL-3019	1	64,13	64,13	9,3	9,3
LL4148	3	2,31	6,93	0,8	2,4
B340A-E3	1	5,2	5,2	2	2
BSP89	2	95	190	35	70
BC817	2	12,3	24,6	4	8
IRLML2244	1	12,3	12,3	4	4
LEMO.00	2	152,34	304,68	20	40
XF2M40151A	1	30,06	30,06	17,4	17,4
BH1.27	2	268,3	536,6	10,6	21,2
ZL201-02G	1	20,3	20,3	2,3	2,3
ESB228110100Z	1	195	195	10,2	10,2
KX-3HE	1	76,35	76,35	15	15
KX-26T	1	34,97	34,97	7,3	7,3
Всього	155		3113,76		343,6

Мінімальна площа плати:

$$\begin{aligned}
 S = \frac{\sum S_i}{n} = & \frac{66,56 + 2,5 + 1 + 66,51 + 43,65 + 8,26 + 16,53 + 4,13 + 4,13 +}{0,6} + & (3.6) \\
 & + \frac{16,53 + 13,2 + 14,69 + 14,57 + 38,3 + 264,06 + 26,87 + 26,87 +}{0,6} + \\
 & + \frac{4,13 + 38,44 + 46,7 + 27,41 + 34,44 + 58,88 + 48,08 + 25,2 +}{0,6} + \\
 & + \frac{64,13 + 6,93 + 5,2 + 190 + 24,6 + 12,3 + 304,68 + 30,06 +}{0,6} + \\
 & + \frac{536,6 + 20,3 + 195 + 76,35 + 34,97}{0,6} = \\
 & = \frac{3114}{0,6} = 5190 \text{ (мм}^2\text{)},
 \end{aligned}$$

де $\sum S_i$ – сумарна площа всіх елементів;

n – коефіцієнт заповнюваної ДП.

Для даної площі вибираємо розміри ДП:

– ширина 45 мм;

– довжина 127 мм.

Об'єм і маса плати, що розробляється:

$$V = S \times \Delta = 5715 \times 1,5 = 8572,5 \text{ (мм}^3\text{)}, \quad (3.7)$$

$$m_{III} = V \times \rho = 0,0000085725 \times 1600 = 0,01492 \text{ кг} = 15 \text{ (г)}, \quad (3.8)$$

де ρ – щільність матеріалу друкарської плати (для склотекстоліту

$$\rho_T = 1,6 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Δ – товщина плати.

Загальна маса:

$$m = \sum m_i + m_{III} = 343,6 + 15 = 358,6 \text{ (г)}, \quad (3.9)$$

де $\sum m_i$ – сумарна маса елементів.

Розрахуємо крок координатної сітки по формулі

$$III = t + d, \quad (3.10)$$

де t – ширина друкарського провідника, залежна від струму, мм;

d – відстань між друкарськими провідниками, мм.

Ширину друкарського провідника приймаємо рівною 0,4 мм, оскільки максимальне значення струму: $I = 0,4$ А. Відстань між провідниками приймаємо рівним 0,25 мм, що відповідає 3 класу точності.

Тоді крок координатної сітки:

$$III = 0,4 + 0,25 = 0,65 \text{ (мм)}. \quad (3.11)$$

Крок координатної сітки, рівний 0,65 мм.

Номінальне значення діаметру монтажного отвору (для установки навісних елементів)

$$d = d_E + r + |\Delta d_{HO}| \quad (3.12)$$

де d_E – максимальне значення діаметру вивода навісного елемента;

r – різниця між мінімальним значенням діаметру отвору і максимальним діаметром вивода встановлюваного елемента;

d_{HO} – нижнє граничне відхилення номінального значення діаметру отвору

$$d=0,7+0,25+0,05=1(\text{мм}). \quad (3.13)$$

Діаметри контактних майданчиків визначаються по формулі

$$d_K = d_O + 2b + \Delta d + T_d + T_D, \quad (3.14)$$

де b – радіальна ширина контактного майданчика, мм (згідно ГОСТ 23751 для друкарських плат третього класу точності: $b = 0,1$);

Δd – граничне відхилення діаметру монтажного отвору, мм (для отвору без металізації 3 клас точності $\pm 0,05$ мм);

T_d – значення позиційного допуску розташування осей отворів, мм (0,08 мм);

T_D – значення позиційного допуску розташування центрів контактних майданчиків, мм (для одnobічної ДП по 3-у класу точності 0,15 мм).

Розрахункові дані занесемо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розміри монтажних отворів і контактних майданчиків для установки навісних ЕРЕ

Діаметр виводу, мм	Діаметр монтажного отвору, мм	Діаметр контактних майданчиків, мм
0,75	0,8	1,8
0,9	1,0	2,0
1	1,2	2,2

Розрахуємо мінімальний діаметр контактного майданчика:

$$D = d + \Delta d_{e.o.} + 2b_n + \Delta t_{e.o.} + 2\Delta d_{TP} + \sqrt{\delta_d^2 + \delta_p^2 + \Delta t_{n.o.}^2}, \quad (3.15)$$

де $\Delta d_{e.o.}$ – верхнє граничне відхилення номінального отвору, мм;

b_n – ширина гарантованого поясочка, мм;

Δd_{TP} – допуск на затруювання діелектрика, мм.

Верхнє граничне відхилення номінального значення отвору $\Delta d_{в.о.}$ дорівнює +0,07 мм, ширина гарантованого поясочка b_n дорівнює 0,12 мм, допуск на затруювання діелектрика $\Delta d_{TP} = 0,04$ мм. Тоді по формулі маємо:

$$D = 0,6 + 0,07 + 2 \times 0,12 + 0,03 + 2 \times 0,04 + 0,22 = 1,24 \text{ мм.} \quad (3.16)$$

3.5 Розрахунок електромагнітної сумісності схеми

3.5.1 Паразитні частоти

Електромагнітна сумісність – це здатність технічних засобів одночасно функціонувати в реальних умовах експлуатації з необхідною якістю під час дії на них неумисних електромагнітних перешкод і не створювати недопустимих електромагнітних перешкод іншим технічним засобам.

Електромагнітна сумісність розглядає дію як випромінюваних, так і кондуктивних перешкод (наведення), що поширюються по провідниках (наприклад, наведення по ланцюгах живлення), а також чутливість електрообладнання до впливу перешкод (перешкодостійкість). Електромагнітні перешкоди виникають унаслідок природних явищ або як результат технічних процесів.

Розрахуємо для критичної ділянки провідників друкарської плати паразитні резонансні частоти, що виникають із-за наявності розподілених ємкостей і індуктивностей.

Параметри критичної ділянки:

- товщина провідника $h_{TP} = 50 \text{ мкм}$;
- ширина провідника $w = 0,3 \text{ мм}$;
- товщина друкарської плати $h_{III} = 1,5 \text{ мм}$;
- ефективна діелектрична проникність плати $\epsilon_{е\Phi} = 5$;
- довжина даного провідника $l = 15 \text{ мм}$;

– відстань між даним провідником і сусіднім $d = 1,5$ мм.

Індуктивність:

$$L = 0,2 \times l \times \left(2,3 \times \lg \frac{4l}{d_0} - 0,75 \right), \quad (3.17)$$

де $d_0 = 0,67h + 0,567w = 0,2036$ (мм).

Тоді індуктивність провідника $L = 2,9$ мГн.

Ємність провідника:

$$C = C_0 \times l \times \varepsilon_{\text{еФ}}, \quad (3.18)$$

де C_0 – питома ємність лінії (пФ/см), розташованої у вакуумі.

$$C = 0,16 \times 1,25 \times 5 = 1,01 \text{ (нФ)}. \quad (3.19)$$

Тоді резонансна частота:

$$f = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} = \frac{1}{\sqrt{2,9 \times 10^{-3} \times 1,01 \times 10^{-12}}} = 18,48 \times 10^6 \text{ (Гц)}. \quad (3.20)$$

Оскільки схема працює частотах які нижче, резонансна частота 18.48 МГц не може вплинути на роботу схеми. Також можна сказати, що лінії зв'язку даної друкарської плати є електрично короткими, тобто геометрична довжина лінії багато менше довжини хвилі найбільш високочастотної складової спектру сигналу. Отже, при поширенні сигналу в лінії не відбуватиметься віддзеркалення його від неоднорідностей хвильового опору окремих ділянок. І не виникатиме перешкод при складанні падаючого і відбитого сигналів.

3.5.2 Визначення напруги перешкоди

Напруга перешкоди в ланцюзі живлення визначається згідно з формулою

$$U_{\text{ПЕР}} = I_{\text{СПОЖ}} \times R_{\text{Ш}}, \quad (3.21)$$

де $I_{\text{СПОЖ}}$ – максимальний струм споживаний схемою;

$R_{\text{Ш}}$ – опір сигнальної шини.

Максимальний струм, споживаний схемою:

$$I_{\text{СПОЖ}} = \frac{P}{U_{\text{ЖИВ}}} = \frac{2,3}{3,7} = 0,62 \text{ (A)}. \quad (3.22)$$

Оскільки опір сигнальної шини $R_{\text{Ш}} = 10,3 \text{ мОм}$, то напруга перешкоди:

$$U_{\text{ПЕР}} = 0,62 \times 10,3 \times 10^{-3} = 6,39 \text{ (мВ)}. \quad (3.23)$$

Для мікроконтролерів статична перешкодостійкість рівна 0,3 В. Отже, розраховане значення напруги перешкоди 6,39 мВ не впливатиме на роботу мікросхем і всього модуля.

3.6 Висновки до 3 розділу

В третьому розділі атестаційної роботи було проведено:

- розробка структурної схеми товщиноміра;
- розробка схеми електричної принципової;
- аналіз елементної бази та умови експлуатації ЕРЕ;
- розробка друкарської плати і визначення її габаритів;
- розрахунки електромагнітної сумісності схеми.

4 АНАЛІЗ експериментальних досліджень точносних ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБЛЕНОГО ТОВЩИНОМІРУ

4.1 Проведення експериментальних досліджень та порівняння отриманих результатів з класичним методом вимірювання

В процесі проведення експерименту, було заміряно тридцять мір товщини за допомогою штангенциркулю МІКРОТЕХ ШЦЦ-І-300-0,01(калібрування ISO/IEC 17025), та зроблено сто двадцять шість замірів розробленим товщиноміром.

В результаті експерименту отримали показники товщини при використанні різних датчиків УЗК, а саме : а саме: П112-2,5-12/2; П112-10-6/2-А; Константа П112-5-10/2-А-01; Константа П112-10-6/2-А-01; ДК П112-5-10/2-А-05; ДК П112-5-4х4-БТ-01. (табл. 4.1 – 4.6)

Таблиця 4.1 – Експеримент за допомогою датчика П112-2,5-12/2

№ міри	Показання ШЦЦ-І-300-0,01, мм	Показання товщиноміра, мм	Розбіжність, мм
1	2	3	4
1	2,01	–	–
2	3,01	3,09	0,08
3	4	4,11	0,11
4	4,98	5,06	0,08
5	6	6,03	0,03
6	6,99	7,01	0,02
7	7,99	7,99	0
8	8,99	8,96	0,03

Продовження таблиці 4.1

1	12	3	4
9	10	9,98	0,02
10	12	11,95	0,05
11	15,01	14,93	0,08
12	17,99	17,98	0,01
13	19,99	19,87	0,12
14	25,03	24,97	0,06
15	30,02	29,9	0,12
16	34,98	34,73	0,25
17	40,01	39,93	0,08
18	45,02	44,91	0,11
19	50,01	49,95	0,06
20	55	54,83	0,17
21	59,99	59,79	0,2
22	65,02	64,92	0,1
23	70,02	69,88	0,14
24	75,03	74,93	0,1
25	80,03	79,95	0,08
26	90,07	89,98	0,09
27	100,03	99,95	0,08
28	150	149,93	0,07
29	199,01	199,07	0,06
30	249,87	–	–

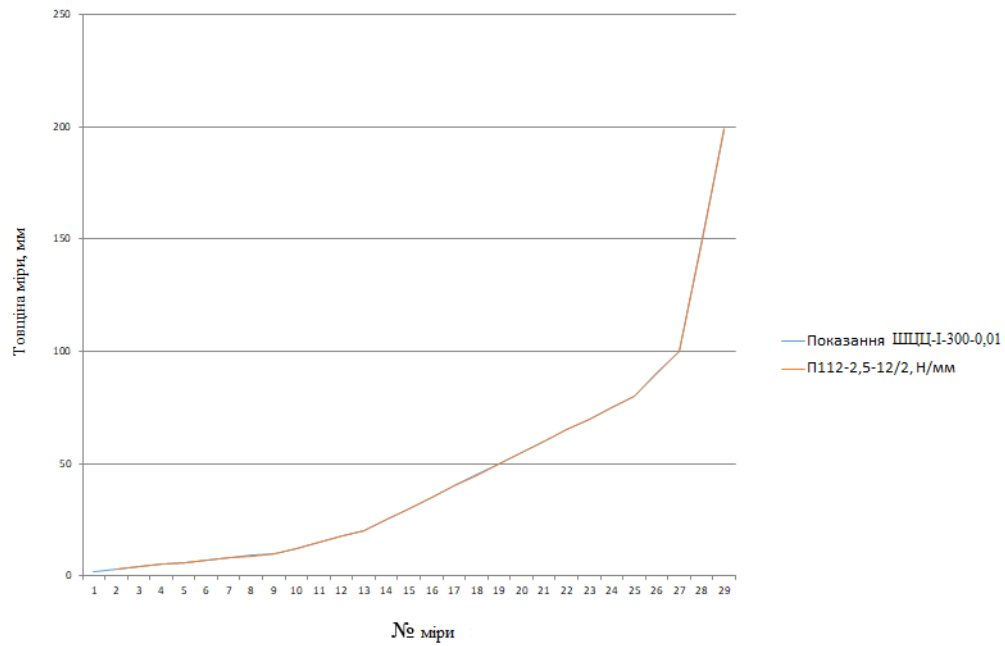


Рисунок 4.1 – Графік показань ШЦЦ-І-300-0,01 та УЗК датчика П112-2,5-12/2

Таблиця 4.2 – Експеримент за допомогою датчика П112-10-6/2-А

№ міри	Показання ШЦЦ-І-300-0,01, мм	Показання товщиноміра, мм	Розбіжність, мм
1	2	3	4
1	2,01	2,1	0,09
2	3,01	3,1	0,09
3	4	4,08	0,08
4	4,98	5,02	0,04
5	6	6	0
6	6,99	6,97	0,02
7	7,99	7,97	0,02
8	8,99	8,93	0,06
9	10	9,94	0,06

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
10	12	11,93	0,07
11	15,01	14,93	0,08
12	17,99	17,91	0,08
13	19,99	19,93	0,06

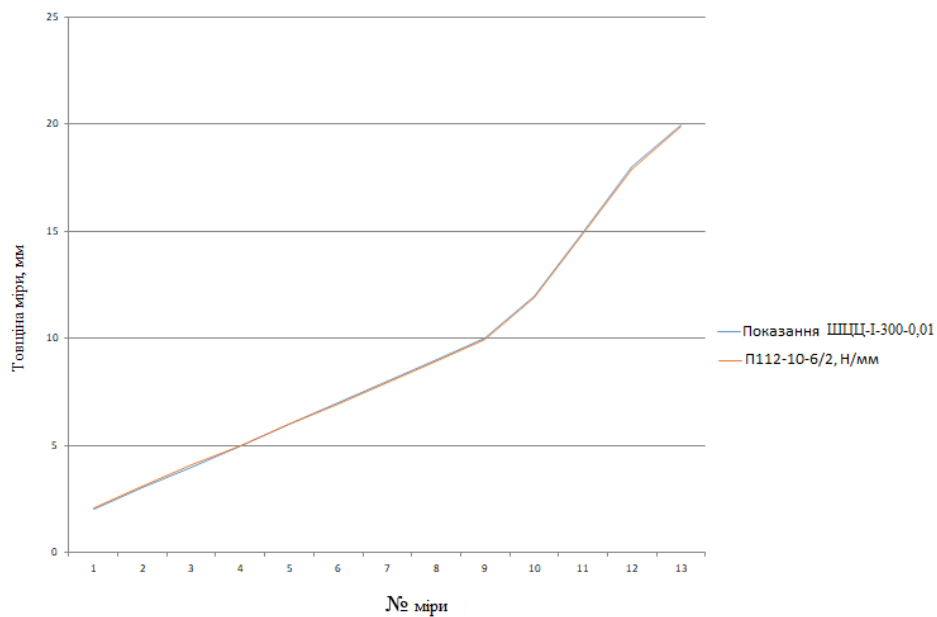


Рисунок 4.2 – Графік показань ШЦЦ-І-300-0,01 та УЗК датчика П112-10-6/2

Таблиця 4.3 – Експеримент за допомогою датчика Константа П112-5-10/2-А-01

№ міри	Показання ШЦЦ-І-300-0,01, мм	Показання товщиноміра, мм	Розбіжність, мм
1	2	3	4
1	2,01	2,13	0,12
2	3,01	3,1	0,09
3	4	4,08	0,08

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4
4	4,98	5,02	0,04
5	6	6,02	0,02
6	6,99	6,96	0,03
7	7,99	7,93	0,06
8	8,99	8,93	0,06
9	10	9,9	0,1
10	12	11,89	0,11
11	15,01	14,98	0,03
12	17,99	17,94	0,05
13	19,99	19,89	0,1
14	25,03	24,91	0,12
15	30,02	29,97	0,05
16	34,98	34,93	0,05
17	40,01	39,89	0,12
18	45,02	44,98	0,04
19	50,01	49,99	0,02
20	55	54,89	0,11
21	59,99	59,94	0,05
22	65,02	64,95	0,07
23	70,02	69,96	0,06
24	75,03	75	0,03
25	80,03	79,9	0,13
26	90,07	90	0,07
27	100,03	99,94	0,09

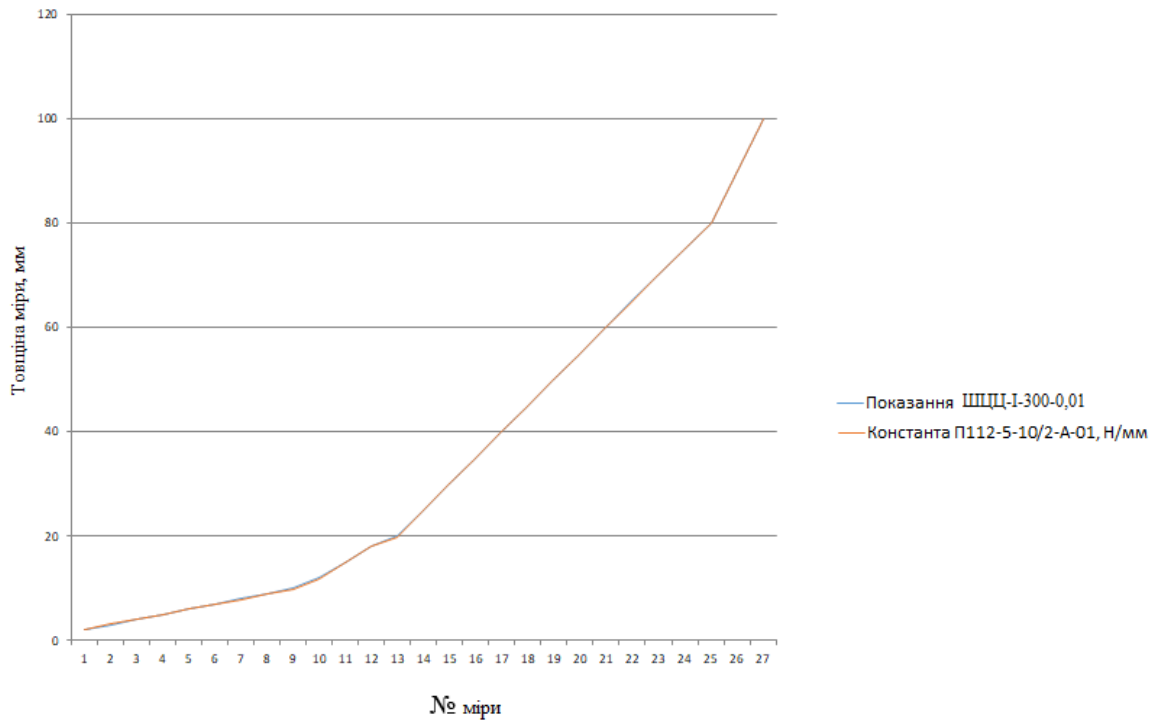


Рисунок 4.3 – Графік показань ШЦЦ-I-300-0,01 та УЗК датчика Константа П112-5-10/2-А-01

Таблиця 4.4 – Експеримент за допомогою датчика Константа П112-10-6/2-А-01

№ міри	Показання ШЦЦ-I-300-0,01, мм	Показання товщиноміра, мм	Розбіжність, мм
1	2	3	4
1	2,01	2,16	0,15
2	3,01	3,12	0,11
3	4	4,08	0,08
4	4,98	5,02	0,04
5	6	6	0
6	6,99	6,96	0,03
7	7,99	7,93	0,06

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
8	8,99	8,91	0,08
9	10	9,92	0,08
10	12	11,9	-0,1
11	15,01	15,36	0,35

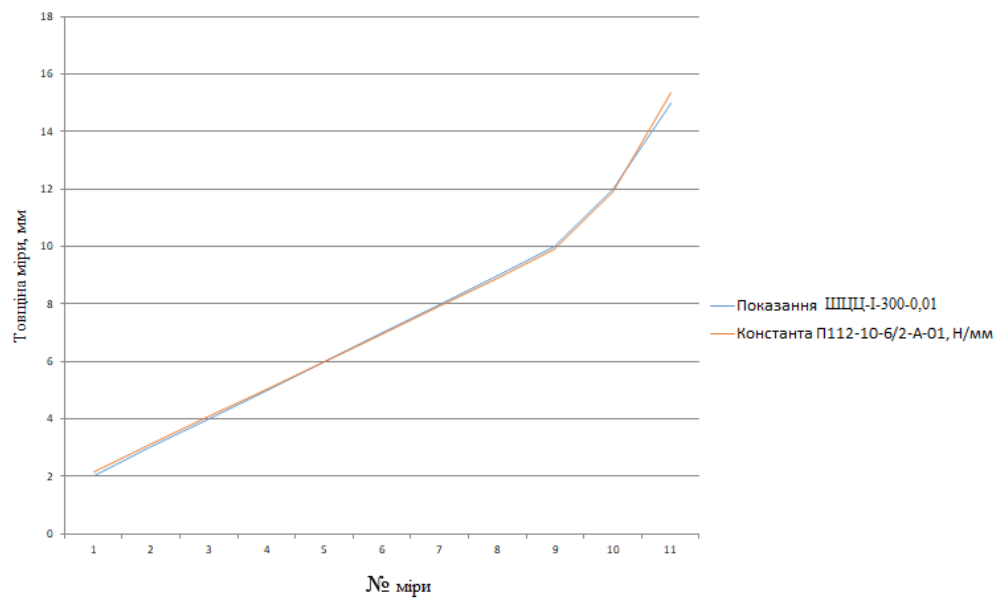


Рисунок 4.4 – Графік показань ШЦЦ-I-300-0,01 та УЗК датчика Константа П112-10-6/2-А-01

Таблиця 4.5 – Експеримент за допомогою датчика ДК П112-5-10/2-А-05

№ міри	Показання ШЦЦ-I-300-0,01, мм	Показання товщиноміра, мм	Розбіжність, мм
1	2	3	4
1	2,01	2,18	0,17
2	3,01	3,1	0,09
3	4	4,06	0,06

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4
4	4,98	5,02	0,04
5	6	6	0
6	6,99	6,97	0,02
7	7,99	7,95	0,04
8	8,99	8,94	0,05
9	10	9,94	0,06
10	12	11,91	0,09
11	15,01	14,89	0,12
12	17,99	17,9	0,09
13	19,99	19,81	0,18
14	25,03	24,98	0,05
15	30,02	29,97	0,05
16	34,98	34,9	0,08
17	40,01	39,94	0,07
18	45,02	44,91	0,11
19	50,01	49,89	0,12
20	55	54,84	0,16
21	59,99	59,89	0,1
22	65,02	64,87	0,15
23	70,02	69,91	0,11
24	75,03	74,87	0,16
25	80,03	79,8	0,23
26	90,07	89,95	0,12
27	100,03	99,9	0,13

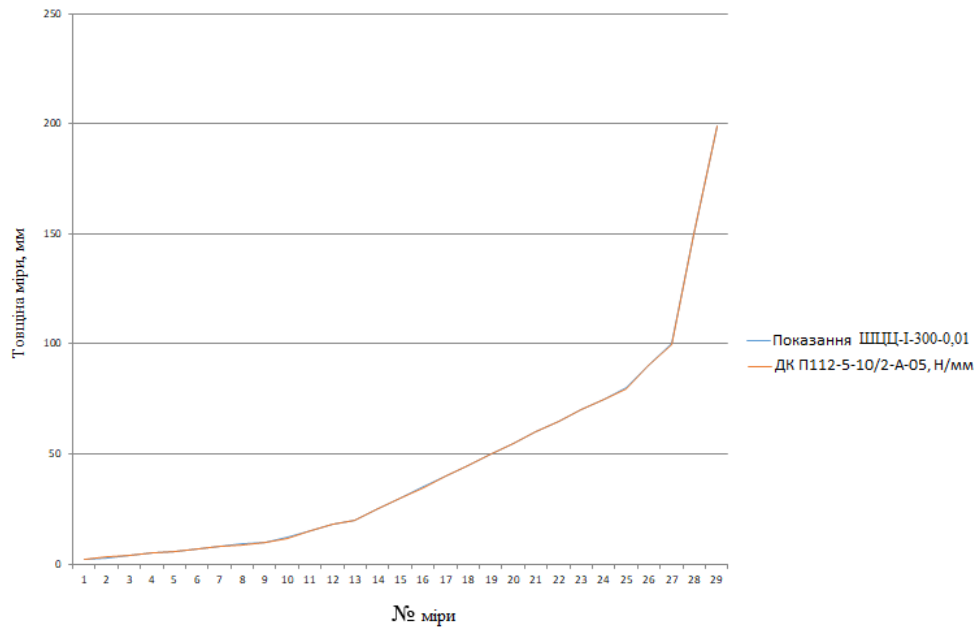


Рисунок 4.5 – Графік показань ШЦЦ-I-300-0,01 та УЗК датчика ДК П112-5-10/2-А-05

Таблиця 4.6 – Експеримент за допомогою датчика ДК П112-5-4х4-БТ-01

№ міри	Показання ШЦЦ-I-300-0,01, мм	Показання товщиноміра, мм	Розбіжність, мм
1	2	3	4
1	2,01	–	–
2	3,01	–	–
3	4	–	–
4	4,98	5,06	0,08
5	6	6,03	0,03
6	6,99	6,97	0,02
7	7,99	7,95	0,04
8	8,99	8,93	0,06
9	10	9,96	0,04

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4
10	12	11,93	0,07
11	15,01	14,93	0,08
12	17,99	17,91	0,08
13	19,99	19,9	0,09
14	25,03	24,92	0,11
15	30,02	30,3	0,28
16	34,98	34,85	0,13
17	40,01	39,85	0,16
18	45,02	45,52	0,5

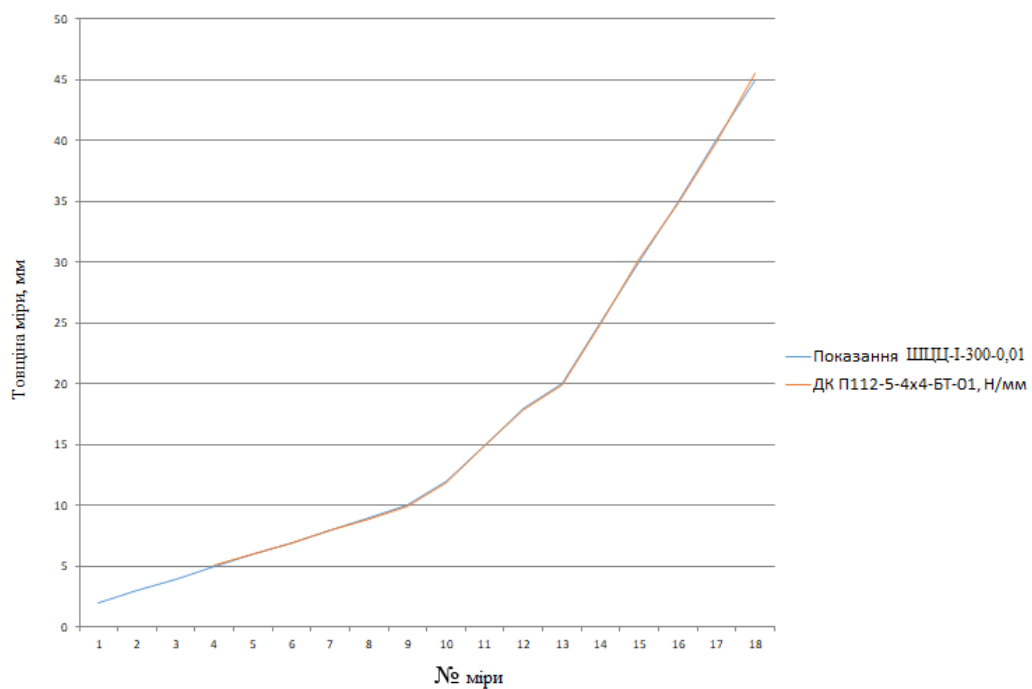


Рисунок 4.6 – Графік показань ШЦЦ-І-300-0,01 та УЗК датчика ДК П112-5-4х4-БТ-01

Середня похибка вимірювання складає:

- П112-2,5-12/2 – 0,085714 мм;
- П112-10-6/2-А – 0,057692 мм;

- Константа П112-5-10/2-А-01 – 0,07037 мм;
- Константа П112-10-6/2-А-01 – 0,098182 мм;
- ДК П112-5-10/2-А-05 – 0,098148 мм;
- ДК П112-5-4х4-БТ-01 – 0,118 мм.

Похибка виміру залежить від декількох факторів:

- якість контактної рідини;
- зусилля притискання датчика до міри;
- шорсткість поверхні;
- якість УЗК датчика;
- пори та мікротріщини в матеріалі (показання товщини можуть бути з більшою похибкою або відсутні взагалі).

4.2 Висновки до 4 розділу

В четвертому розділі було проведено:

- аналіз точності вимірювань розробленого товщиноміра (в процесі проведення експерименту, було виконано сто двадцять шість замірів).
- експериментальні дослідження;
- порівняння отриманих результатів з штангенциркулем МІКРОТЕХ ШЦЦ-І-300-0,01(калібрування ISO/IEC 17025) у вигляді таблиць(табл. 4.1–4.6).
- аналіз точності товщиноміра. Середня похибка вимірювання: П112-2,5-12/2 – 0,085714 мм; П112-10-6/2-А – 0,057692 мм; Константа П112-5-10/2-А-01 – 0,07037 мм; Константа П112-10-6/2-А-01 – 0,098182 мм; ДК П112-5-10/2-А-05 – 0,098148,мм,; ДК П112-5-4х4-БТ-01 – 0,118 мм. Розроблений портативний ультразвуковий товщиномір придатний для вимірювання товщини металічних конструкцій, має задовільну точність виміру при умові , що приблизна товщина вимірююмого зразка відома.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Поняття охорони праці

Охорона праці – система забезпечення збереження здоров'я та життя працівників в процесі трудової діяльності на підприємствах, що включає в себе санітарно-гігієнічні, правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, лікувально-профілактичні та реабілітаційні заходи, а також інші.

5.2 Аналіз умов праці на робочому місці

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце оператора, має наступні характеристики:

- довжина приміщення: 5 м;
- ширина приміщення: 4 м;
- висота приміщення: 4 м;
- число вікон: 2;
- число робочих місць: 3;
- освітлення: природне (через бічні вікна) і загальне (лампи денного світла)

Робоче місце – це система функціонально і просторово організованих технічних засобів і предметів праці, що забезпечує сприятливі умови для успішного вирішення людиною-оператором поставленої перед ним завдання.

Раціонально організоване робоче місце дозволяє підвищити продуктивність праці на 8-20% і мінімізувати шкідливий вплив комп'ютера на здоров'я.

Розвитку стомлюваності на виробництві сприяє неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення

обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії і т.д., тому далі будуть розглянуті ергономічні вимоги до робочого місця [16].

Робоче місце складається з:

- простору, займаного обладнанням;
- простору необхідного для технічного обслуговування і ремонту;
- зони проходів, що забезпечує нормальне функціонування обладнання;
- сенсомоторного простору (частини простору робочого місця, в якій здійснюється рухова та сенсорна робота людини).

З необхідних для роботи пристроїв:

- Пристрої відображення інформації (монітор);
- стіл;
- крісло;
- пристрої управління і введення інформації (миша, клавіатура і т. Д.);
- пристрої виведення інформації (принтер, плоттер).

5.3 Ергономічні вимоги до монітора

Зоровий комфорт в основному визначається наступними факторами:

- розмірами знаків;
- відстань між знаками по горизонталі: 0,25 висоти знака;
- відстань між рядками: 0,5–1,0 висоти знака;
- кількістю знаків в рядку: 4–80;
- максимально допустимою кількістю рядків для кольорового зображення: не більше 25;
- освітленості і рівномірності яскравості між навколишніми умовами і різними ділянками робочого місця.

5.4 Ергономічні вимоги до столу

При проектуванні письмового столу варто враховувати наступне:

- висота столу повинна бути вибрана з урахуванням можливості сидіти вільно, в зручній позі, при необхідності спираючись на підлокітники;
- нижня частина столу повинна бути сконструйована так, щоб програміст міг зручно сидіти, ні змушений підбирати ноги;
- поверхня стола повинна мати властивості, що виключають появу відблисків в полі зору програміста;
- конструкція столу повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менше 3 для зберігання документації, лістингів, канцелярських приналежностей, особистих речей).

Відповідно до вимог для обладнання робочого місця, визначеними в ГОСТ 21889-76 вибираємо такі параметри столу:

- висота робочої поверхні столу 700 мм;
- висота простору для ніг 650 мм;
- передбачена можливість розміщення документів праворуч і ліворуч;
- відстань від ока до клавіатури 400 мм;
- відстань від ока до документів 500 мм.

5.5 Ергономічні вимоги до крісла

Крісло оператора має бути стійким. Його конструкція, розміри, форма, нахил сидіння і спинки повинні дозволяти сидіти, випроставшись, підтримуючи тяжкість верхньої частини тулуба НЕ напругою м'язів спини, а шляхом опори на спинку.

Сидіння повинно мати певний нахил назад (на 5–6 градусів), що забезпечує стійкість пози, спинка крісла повинна мати увігнуту форму.

5.6 Промислова безпека в навчальній лабораторії

Живлення приладу для вимірювання товщини матеріалів здійснюється за допомогою акумулятора напругою 3.7 В. Живлення обладнання для монтажу ЕРЕ здійснюється від мережі змінного струму із заземленням і напругою від 200 В до 240 В частотою у 50 Гц. Враховуючі дані показники, робоче місце можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, оскільки у приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку [17].

5.7 Розрахунок вентиляції

Системи опалення та системи кондиціонування слід встановлювати так, щоб ні теплий, ні холодне повітря не направлявся на людей. На виробництві рекомендується створювати динамічний клімат з певними перепадами показників.

Температура повітря в поверхні підлоги і на рівні голови не повинна відрізнятися більш, ніж на 5 градусів. У виробничих приміщеннях, крім природної вентиляції передбачають припливно-витяжну вентиляцію.

Основним параметром визначає характеристики вентиляційної системи є кратність обміну, тобто скільки разів за годину зміниться повітря в приміщенні.

Зробимо розрахунок для приміщення.

$V_{\text{вент}}$ – об'єм повітря, необхідний для обміну; $V_{\text{пом}}$ – обсяг робочого приміщення.

Для розрахунку приймемо такі розміри робочого приміщення:

- довжина $B = 5$ м;
- ширина $A = 4$ м;
- висота $H = 4$ м.

Відповідно обсяг приміщення дорівнює:

$$V_{ном} = A \cdot B \cdot H = 80 м^3. \quad (5.1)$$

Потрібних повітрообмін при наявності в приміщенні надлишку вологи.

Волога виділяється в результаті випаровування з поверхні шкіри, в результаті дихання людей, роботи устаткування і т. Д.

Розрахунок витрати повітря здійснюється за формулою:

$$G = \frac{W}{(d_в - d_n) \cdot \rho} м^3 / ч, \quad (5.2)$$

де W – кількість водяної пари, що виділяється в приміщенні, г / год; $d_в$ – вологовміст витяжного повітря, г / кг; d_n – вологовміст припливного повітря, г / кг; ρ – щільність припливного повітря, кг / м³.

Знаючи відносну вологість і температури, визначимо вологовміст витяжного повітря за діаграмі і–d стану повітря:

- вологість – 60%;
- температура – 24 ° С,
- $d_в = 11$ г / кг.

Аналогічно визначаємо вологовміст припливного повітря по діаграмі і–d стану повітря:

- вологість – 40%;
- температура – 22,3 ° С;
- $d_n = 7$ г / кг.

Кількість вологи виділяється людьми визначається за формулою:

$$W = n \cdot w, \quad (5.3)$$

де n – число людей в приміщенні; w – кількість вологи, що виділяється однією людиною, г / ч.

Кількість вологи, що виділяється однією людиною при розумовій роботі:

$$\begin{aligned}
 w &= 77,6 \text{ г / ч} , \\
 W &= 3 \cdot 77,6 = 232,8 \text{ г / ч} , \\
 \rho &= 1,2 \text{ кг / м}^3 , \\
 G &= \frac{232,8}{1,2 \cdot (11 - 7)} = \frac{232,8}{4,8} = 48,5 \text{ м}^3 \text{ / ч} .
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

5.8 Розрахунок штучного освітлення

Знайдемо необхідне число ламп за допомогою методу коефіцієнта використання.

Розрахунок системи загального освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку, який виражається

ставленням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп. Його величина залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, що характеризується коефіцієнтами відбиття стін і стелі.

Необхідний світловий потік лампи в кожному світильнику:

$$F_o = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta} ,
 \tag{5.5}$$

де F_o – розраховується загальний світловий потік, Лм; E – задана мінімальна освітленість, лк (500); do – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників у процесі

експлуатації (для люмин. ламп – 1,5); s – освітлювана площа, м² (20); z – відношення середньої освітленості до мінімальної; η – коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці (відношення світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп).

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, від коефіцієнтів відображення стелі ρ_p , стін ρ_c , розрахункової поверхні ρ_r ,

індексу приміщення $i = \frac{s}{h \cdot (a + b)}$, де h – висота світильника над робочою поверхнею, a – довжина приміщення, b – ширина приміщення.

Знайдемо h за формулою:

$$h = H - h_p - h_c = 3,3(\text{м}), \quad (5.6)$$

де H = висота приміщення, м (4); h_p = висота робочої поверхні від підлоги, м (0,7); h_c = висота схилу світильника від основної стелі, м (0).

Для світлого фону прийmemo: $\rho_p = 70$, $\rho_c = 50$, $\rho_r = 10 \Rightarrow \eta = 36\%$

$$i = \frac{5 \cdot 4}{3,3 \cdot (5 + 4)} = \frac{20}{3,3 \cdot 9} = 0,7. \quad (5.7)$$

де F_l – світловий потік однієї лампи; F_o – загальний світловий потік; N – число ламп.

$$F_o = \frac{500 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1}{0,39} = 42307 \quad \text{лм}; \quad N = \frac{F_o}{F_l} = \frac{42307}{4400} = 10. \quad (5.8)$$

5.9 Розрахунок кількості приливу повітря з урахуванням чисельності працюючих

Розміри приміщення, в якому буде розроблятися конструкція товщиноміру, становить 8x7x3,5 м. Робоче місце складається з стола, обладнаного персональним комп'ютером (ПК). Площа приміщення 56 м², обсяг – 196 м³. Робочих місць – 5. Згідно ДСанПіН 3.3.2.007–98 площа на одне робоче місце має становити не менше 6 м², а об'єм – 20 м³. Для даного приміщення робоча площа і об'єм на одну людину відповідає нормам, так як в нашому випадку площа на одне робоче місце становить 8 м², а обсяг – 32,6 м³.

Проведемо розрахунок кількості припливного повітря за кількістю працюючих в лабораторії людина. Відповідно СНіП 2.04.05-91 при об'ємі приміщення більше 20 м³ на одного працюючого кількість припливного повітря для провітрювання повинно бути не менше = 20 м³ / год на кожного працюючого. Обсяг приміщення лабораторії складає 196 м³, тоді

$$V_1 = \frac{V}{n} = \frac{196}{6} = 32,66 \text{ м}^3 / \text{чол.} \quad (5.9)$$

Кількість припливного повітря з урахуванням чисельності працюючих розраховується за формулою

$$G = G_1 \cdot n = 20 \cdot 6 = 120 \text{ м}^3 / \text{ч.} \quad (5.10)$$

За одну годину повітря в приміщенні навчальної лабораторії, де знаходяться люди, повинен повністю оновлюватися мінімум два рази. Якщо такого поновлення недостатньо, необхідно підрахувати, скільки ж разів потрібно проводити заміну відпрацьованого повітря на свіжий. Це називається визначенням повітрообміну по кратності

$$G = l \cdot V, \quad (5.11)$$

де l – передбачена нормативними документами кратність повітрообміну, складова для житлових приміщень 1–2, для офісних приміщень 2–3 ($l = 2$);
 V – необхідна продуктивність вентиляції, м³ / год.

$$G = 2 \cdot 196 = 392 \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (5.12)$$

Розрахувавши необхідний повітрообмін, вибираємо більшого значення кількості припливного повітря (кількість припливного повітря з урахуванням чисельності працюючих 120 м³ / год, а по кратності – 392 м³ / год), тобто в лабораторії оновлення повітря повинно відбуватися 2 рази на годину. Необхідний рівень повітрообміну досягаємо установкою вентиляційної системи з необхідними параметрами – продуктивність по повітрю не менше 400 м³ / год. Наприклад, для лабораторії вибираємо компактну припливно-витяжну установку Systemair VX 400 EV / B з продуктивністю по повітрю 400 м³ / год.

5.10 Висновки до 5 розділу

В п'ятому розділі атестаційної роботи розглянуто:

- поняття охорони праці;
- вимоги до приміщення та робочого місця;
- розрахунки освітлення та вентиляції для робочого місця;
- промислова безпека та санітарні норми в навчальних лабораторіях.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської атестаційної роботи отримано наступні результати:

- розроблена схема електрична принципальна.
- проведений вибір елементної бази.
- розроблена топологія друкованої плати.
- розроблене складальне креслення для виготовлення пристрою.

Також розроблено пристрій для вимірювання товщини матеріалів з такими можливостями:

- ультразвуковий метод вимірювання товщини;
- автоматичний показ результату заміру на дисплеї;
- автоматичне вимкнення живлення (від 1 хвилини та до 15 хвилин);
- індикація живлення пристрою;
- індикація проведення виміру товщини при акустичному контакті зонду з матеріалом;
- можливість внесення калібровок стосовно матеріалу;
- регулювання ЧРЧ;
- можливість роботи з ультразвуковими роздільно-суміщеними датчиками різної частоти.

З ціллю з'ясування точносних парамерів розробленого пристрою проведено дослідження точності вимірювань за допомогою штангенциркуля МІКРОТЕХ ШЦЦ-І-300-0,01(калібрування ISO/IEC 17025) та розробленого товщиноміра

Проведено аналіз точності вимірювань розробленого товщиноміра (в процесі проведення експерименту, виконано сто двадцять шість замірів) Данні експериментальні дослідження показали, що існують невеликі статистичні похибки у вимірі пристрою, які складають:

- П112-2,5-12/2 – 0,085714

- П112-10-6/2-А – 0,057692
- Константа П112-5-10/2-А-01 – 0,07037
- Константа П112-10-6/2-А-01 – 0,098182
- ДК П112-5-10/2-А-05 – 0,098148
- ДК П112-5-4х4-БТ-01 – 0,118

Так, як розробка пристрою пов'язана з виробництвом, розглянуті основні поняття з охорони праці на підприємствах та робочих місцях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Балдев Р., Раджендран В., Паланичами П. Мир физики и техники. Применения ультразвука. М.: Техносфера, 2006 г. – 576 с.
2. ГОСТ 12503-75 Сталь. Методы УЗ контроля качества, 2018 г. – 4 с.
3. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Том 3: УЗ контроль [Текст], 2004 г. – 864 с.
4. Харківський національний університет радіоелектроніки; МАТЕРІАЛИ XXIV МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ «РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ У XXI СТОЛІТТІ», том 2 [редкол: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків:ХНУРЕ, 2020- Вип. 43 - 44 с.
5. Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2004 З. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении [Текст]. СПб.: Свен, 2014 г. – 312 с.
6. Методичні вказівки до магістерської атестаційної роботи для студентів спеціальності 8.05090203 «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» / Упоряд: І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін, Є.А. Разумов-Фризюк, І.В. Жарікова. - Харків: ХНУРЕ. - 2011. - 49 с.
7. ДСТУ 3008-15. документація. звіти у сфері науки і техніки. структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29с.
8. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
9. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. – Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с.
10. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в автоматизованому виробництві: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Кривий

Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 448 с

11. Білокур І. П. Акустичний контроль: Навчальний посібник [Текст]. — К.: ІЗМН, 1999 г. – 244 с.
12. ГОСТ 20415-82 Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения [Текст], 2018 г. – 4 с.
13. Коротков М. М. Ультразвуковая толщинометрия: учебное пособие / М. М. Коротков [Текст]. – Томск: изд. ТПУ, 2008
14. Ермолов И.Н., Ермолов М.И. Ультразвуковой контроль: учебник для специалистов 1 и 2 уровней квалификации [Текст]. – М.: НПО ЦНИИТМАШ, 2001 г. – 244 с.
15. Ультразвуковой контроль: дефектоскопы, нормативные документы, стандарты по УЗК / Составитель В. А. Троицкий [Текст]. – К.: Феникс, 2006 г. – 320 с.
16. Державні санітарні правила і норми роботи с дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин від 10.12.1998 – 1998 р.
17. Про затвердження правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (днаоп 0.00-1.21-98) від 09.01.1998 – 1998 р.
18. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений [Текст], 2014 г. – 495 с.
19. Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств [Текст], 2002 г. – 816 с.
20. Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий[Текст], 2009 г. – 904 с.
21. Кузелев Н.Р. Методы и средства неразрушающего контроля и анализа в атомной энергетике и промышленности [Текст], 2009 г. – 256 с.
22. Балдев Радж, Раджендран В., Паланичами П. Применение ультразвука [Текст], 2006 г. – 576с.
23. Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник [Текст], 2005 г. – 656 с.

24. Алешин Н. П. и др. Методы акустического контроля металлов. - М.: Машиностроение [Текст], 2000 г. – 456 с.

25. Ланге Ю.В. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения [Текст], 2003 г. – 120 с