

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
приладобудівний факультет
кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов
« ____ » _____ 2019 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Автоматизована ультразвукова система контролю
елементів мостових конструкцій»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) II курсу, групи ПК-81МП
Удод Віталій Олександрович _____

Науковий керівник:
Асистент кафедри ПСНК Лашко Олена Вікторівна _____

Консультант з розробка стартап-проектів:
Доцент, доктор економічних наук
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Консультант з розробка електричних трактів:
Доцент, кандидат технічних наук
Баженов В.Г. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
приладобудівний факультет
кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (освітньо-професійна програма) – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» («Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов
«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Удода Віталія Олександровича

1. Тема дисертації «Автоматизована ультразвукова система контролю елементів мостових конструкцій», науковий керівник дисертації асистент кафедри ПСНК Лашко Олена Вікторівна, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: процес автоматизованої ультразвукової дефектоскопії зварних з'єднань мостових конструкцій.
4. Вихідні дані: Товщина ОК – 40мм, робоча частота 5МГц.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:) Провести теоретичний аналіз методів неруйнівного контролю елементів мостових конструкцій, а також можливостей автоматизації ультразвукових систем виявлення дефектів мостових конструкцій.
 - 2) Розробити структурну, функціональну та електричну принципову схеми автоматизованої системи ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій; здійснити розрахунок та підбір елементів функціональних вузлів розробленої схеми автоматизованої системи.
 - 3) Оцінити теоретично вірогідність контролю із застосуванням розробленої автоматизованої системи.
 - 4) Провести моделювання елементів конструкції системи.

5) Розробити стартап проект “Автоматизована ультразвукова система контролю елементів мостових конструкцій” “Uscan-bridge”

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1 – структурна схема, 2 – схема електрична принципова, 3 – схема функціональна, 4 – назва, предмет, об’єкт, наукова новизна, завдання дослідження. 5 – ілюстрації моделювання.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова К.О., д.е.н., доцент; доцент кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Розробка електричних трактів	Баженов В.Г., к.т.н., доцент; доцент кафедри приладів і систем неруйнівного контролю КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання магістерської дисертації	11.10.2018	Виконано
2	Аналітичний огляд елементів мостових конструкцій	20.11.2018	Виконано
3	Проведення аналітичного огляду методів ультразвукової дефектоскопії, пошук аналогів	17.03.2019	Виконано
4	Розроблення структурної схеми	23.04.2019	Виконано
5	Розроблення функціональної схеми	07.06.2019	Виконано
6	Розроблення схеми електричної принципової	20.06.2019	Виконано
7	Моделювання автоматизованої системи в середовищі SolidWorks	05.09.2019	Виконано
8	Розробка стартап-проекту	16.10.2019	Виконано
9	Формулювання висновків	25.11.2019	Виконано

Студент

В.О. Удод

Науковий керівник дисертації

О.В. Лашко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з чотирьох розділів, 98 сторінок, 56 ілюстрацій, 23 таблиць, було опрацьовано 30 джерел літератури.

У першому розділі було проведено аналітичний огляд методів неруйнівного контролю елементів мостових конструкцій, в якому розглянуто об'єкт контролю, проведено аналіз методів неруйнівного контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій, аналіз можливостей автоматизації систем неруйнівного контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій, та обґрунтування вибору методу та способу контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій.

У другому розділі було розроблено вузли автоматизованої системи ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій, проведено розрахунок акустичного та електроакустичного трактів. Розроблено структурну та функціональну схеми системи та на їх основі розраховані та узгоджені вузли принципової схеми системи.

В третьому розділі було проведено моделювання елементів конструкції системи в САПР «SolidWorks».

В четвертому розділі проведена розробка стартап проекту: аналіз ринку, пошук конкурентів, тощо.

Мета і задачі дослідження :

Мета дослідження – розробка автоматизованої системи виявлення дефектів зварних з'єднань мостових металоконструкцій, яка базується на використанні групи ультразвукових перетворювачів.

В ході дослідження розв'язати наступні задачі:

1) Провести теоретичний аналіз методів неруйнівного контролю елементів мостових конструкцій, а також можливостей автоматизації ультразвукових систем виявлення дефектів мостових конструкцій;

2) розробити структурну, функціональну та електричну принципову схеми автоматизованої системи ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій; здійснити розрахунок та підбір елементів функціональних вузлів розробленої схеми автоматизованої системи;

3) оцінити теоретично вірогідність контролю із застосуванням розробленої автоматизованої системи;

4) провести моделювання елементів конструкції системи;

5) розробити стартап проект “Автоматизована ультразвукова система контролю елементів мостових конструкцій” “Uscan-bridge”.

Об’єкт дослідження: процес автоматизованої ультразвукової дефектоскопії зварних з’єднань мостових конструкцій.

Предмет дослідження: засоби автоматизованої ультразвукової дефектоскопії зварних з’єднань мостових конструкцій.

Методи дослідження базуються на використанні теоретичних основ ультразвукового неруйнівного контролю; розрахунках основних частин системи, моделювання конструкції автоматизованої системи в середовищі «SolidWorks».

Наукова новизна одержаних результатів: 1. Вдосконалення луна-імпульсного ультразвукового методу контролю зварних з’єднань елементів мостових конструкцій шляхом автоматизації системи.

Ключові слова: мостові конструкції, зварне з’єднання, дефект, ультразвук, автоматизація, п’єзоелектричне перетворення, підсилювач, шуми, система, моделювання.

ABSTRACT

The master's thesis consists of four sections, 90 pages, 35 illustrations, 27 tables, 30 sources of literature were processed.

In the first section there was an analytical review of non-destructive methods used in testing bridge structural elements, in which the object of control was considered, analysis methods of non-destructive control of welded joints that are used in bridge structures, analysis of the automation possibilities for systems that are using non-destructive control of welded joints in bridge structures, and described the reasoning of selection the ultrasonic echo-pulse non-destructive method of control of welded joints in bridge structures elements.

In the second section, the units of the automated system of ultrasonic control of elements of bridge structures were developed, the acoustic and electro-acoustic tracts were calculated. Structural and functional diagrams of the system have been developed and, on their basis, the nodes of the functional circuit was calculated and agreed.

In the third section, was modeled the design of system elements in «Solid Works» CAD.

The fourth section elaborates the startup project: market analysis, search for competitors, etc.

The purpose and objectives of the study:

The purpose of the study is to develop an automated system for the detection of defects in welded joints of bridge structures, based on the use of a group of ultrasonic transducers.

During the study, solve the following tasks:

- 1) To carry out theoretical analysis of methods of non-destructive testing of bridge structural elements, as well as the possibilities of automation of ultrasonic systems for detecting defects of bridge structures;

2) to develop structural, functional and electrical circuit diagram of an automated system of ultrasonic testing of elements of bridge structures; carry out the calculation and selection of elements used in electrical circuit of the developed automated system;

3) to estimate theoretically the probability of control using the developed automated system;

4) to carry out the modeling of system design elements;

5) to develop a startup project "Automated ultrasonic system for the control of elements bridge structures elements " , "Uscan-bridge".

Object of study: the process of automated ultrasonic flaw detection of welded joints of bridge structures.

Subject of study: Automated ultrasonic flaw detection of welded joints of bridge structures.

Research methods are based on the use of theoretical bases of ultrasonic non-destructive testing; calculations of the main parts of the system, modeling elements of the automated system structure in the «Solid Works» CAD.

Scientific novelty of the obtained results: 1. Improvement of the echo-pulse ultrasonic method of control of welded joints used in bridge structures elements by system automation.

Keywords: bridge structures, welded joint, defect, ultrasound, automation, piezoelectric effect, amplifier, noise, system, modeling.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ	13
1.1. Мостові конструкції та їх конструктивні елементи	13
1.2. Зварні з'єднання мостових металоконструкцій та дефекти в них	18
1.3. Огляд методів неруйнівного контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій	27
1.3.1. Методи візуального контролю	27
1.3.2. Методи вихро-струмового контролю	27
1.3.3. Радіаційні методи контролю	28
1.3.4. Ультразвукові методи неруйнівного контролю	29
1.4. Аналіз можливостей автоматизації систем неруйнівного контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій	31
1.5. Обґрунтування вибору методу та способу контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій.....	34
Висновки до розділу 1	36
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ВУЗЛІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ	38
2.1. Розробка структурної та функціональної схем системи.....	38
2.2. Розробка та розрахунок акустичного тракту системи	41
2.3. Вибір та розрахунок елементів електричної принципової схеми системи....	47
2.3.1. Розрахунок генератора зондуючих імпульсів	47
2.3.2. Розрахунок діодної схеми захисту.....	51
2.3.3. Розрахунок підсилювача	52
2.3.4. Схема часового регулювання чутливості	53
2.3.5. Вибір та розрахунок АЦП	54
2.3.6. Вибір та розрахунок ОЗП.....	55
2.3.7. Цифро-аналоговий перетворювач.....	57
2.3.8. Мультиплексор	57
2.3.9. Розрахунок фільтру нижніх частот.....	58

2.3.10. Вибір мікроконтролера.....	59
2.3.11. Вибір радіо модулю Wi-fi.....	61
2.4. Аналіз вірогідності контролю	61
2.4.1. Похибка формування вимірювального інтервалу часу	62
2.4.2. Похибка за рахунок проходження через контактну рідину	62
2.4.3. Похибка квантування АЦП	63
2.4.4. Похибка підсилувачів	63
2.5. Методика проведення контролю.....	64
Висновки до розділу 2	65
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ.....	66
3.1 Розробка та моделювання блоку первинних перетворювачів	66
3.2 Розробка та моделювання пристрою сканування	69
Висновки до розділу 3	73
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ»	74
4.1. Опис ідеї проекту	74
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	76
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	76
4.4. Аналіз пропозицій ринку	79
4.5. Фактори конкурентоспроможності	82
4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту	83
4.7. SWOT-аналіз стартап-проекту	83
4.8. Альтернативи ринкової поведінки	84
4.9. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	85
4.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	88
Висновки до розділу 4	92
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	94
ДОДАТКИ	98

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НК – неруйнівний контроль

ОК – об'єкт контролю

ЦТС – цирконат титанат свинцю

ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач

МК - мікроконтролер

БК – блок керування

ГЗІ – генератор зондуючі імпульсів

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. На сьогоднішній день в світі представлено багато прикладів металевих мостів елементи яких з'єднані за допомогою зварювання. Даний тип з'єднання мостових конструкцій прийшов на зміну традиційному на той час з'єднанню за допомогою заклепок. Перевагами зварних мостів перед клепанними є зниження витрат металу та зменшення трудоемності роботи. Зараз часто використовується поєднання зварних з'єднань і болтових: болто-зварні і заклепко-зварні прогонові споруди. Щоб компенсувати ослаблення розтягнутих елементів монтажними заклепковими (або болтовими) отворами, іноді потовщують або розширюють на кінцях листи елементів.

Забезпечення високої якості зварювальних робіт є однією з найважливіших задач в галузі зварювання, значущість якої все більше зростає із підвищенням відповідальності зварних конструкцій. На сьогоднішній день зварювання використовується в мостобудуванні, але існують ризики руйнування зварних швів через недотримання технології їх виготовлення чи великі напруження які діють на ці з'єднання. Тому існує проблема неруйнівного контролю зварних швів в мостових металоконструкціях.

Після використання зварювання в мостових конструкціях з'явилась потреба в контролі зварних швів, через можливу наявність в них тріщин, непроварів та інших дефектів. Цю проблему можна вирішити за допомогою різних типів дефектоскопії, як наприклад ультразвукова дефектоскопія. Через великі розміри мостів, для покращення продуктивності роботи почали використовувати автоматизовані системи контролю до яких входять як і прилади які самостійно переміщуються по деталях мостів, так і за допомогою новітніх методів контролю, таких як TOFD, які забезпечують покращений контроль за допомогою програмного сканування ОК.

В мостових металоконструкціях широко використовується стиковий (вертикальний, горизонтальний), кутовий та тавровий типи зварних швів. Для проведення неруйнівного контролю зварних з'єднань мостів важливою складовою на сьогоднішній день є автоматизація цього процесу. Вона потрібна через велику

протяжність мостових металоконструкцій, яка унеможливило проведення ручного контролю через значні затрати ресурсів, у тому числі і часу. Тому це і є головним завданням даної магістерської дисертації.

Об’єкт дослідження. Процес автоматизованої ультразвукової дефектоскопії зварних з’єднань мостових конструкцій.

Предмет дослідження. Засоби автоматизованої ультразвукової дефектоскопії зварних з’єднань мостових конструкцій.

Мета дослідження. Розробка автоматизованої системи виявлення дефектів зварних з’єднань мостових металоконструкцій, яка базується на використанні групи ультразвукових перетворювачів.

Завдання дослідження :

1) Провести теоретичний аналіз методів неруйнівного контролю елементів мостових конструкцій, а також можливостей автоматизації ультразвукових систем виявлення дефектів мостових конструкцій.

2) Розробити структурну, функціональну та електричну принципову схеми автоматизованої системи ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій; здійснити розрахунок та підбір елементів функціональних вузлів розробленої схеми автоматизованої системи.

3) Оцінити теоретично вірогідність контролю із застосуванням розробленої автоматизованої системи.

4) Провести моделювання елементів конструкції системи.

5) Розробити стартап проект “Автоматизована ультразвукова система контролю елементів мостових конструкцій” “Uscan-bridge”

Публікації. Удод, В. О. Дослідження можливостей автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій / В. О. Удод, О. В. Лашко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 410–413. – Бібліогр.: 6 назв.

На сьогоднішній день в світі представлено багато прикладів металевих мостів елементи яких з'єднані за допомогою зварювання. Даний тип з'єднання мостових конструкцій прийшов на зміну традиційному на той час з'єднанню за допомогою заклепок. Перевагами зварних мостів перед клепанними є зниження витрат металу та зменшення трудоемності роботи. Зараз часто використовується поєднання зварних з'єднань і болтових: болто-зварні і заклепко-зварні прогонові споруди. Щоб компенсувати ослаблення розтягнутих елементів монтажними заклепковими (або болтовими) отворами, іноді потовщують або розширюють на кінцях листи елементів.

Після використання зварювання в мостових конструкціях з'явилась потреба в контролі зварних швів, через можливу наявність в них тріщин, непроварів та інших дефектів. Цю проблему можна вирішити за допомогою різних типів дефектоскопії, як наприклад ультразвукова дефектоскопія. Через великі розміри мостів, для покращення продуктивності роботи почали використовувати автоматизовані системи контролю до яких входять як і прилади які самостійно переміщуються по деталях мостів, так і за допомогою новітніх методів контролю, таких як TOFD, які забезпечують покращений контроль за допомогою програмного сканування ОК.

Найбільш поширеним методом перевірки якості зварних з'єднань є ультразвуковий контроль. Слід зазначити, що для контролю зварних з'єднань у 90 відсотках випадків використовують саме ультразвукові методи контролю. Він виявляє на шляху поширення коливань у зварних швах такі дефекти як не провари, тріщини, газові пори, шлаки, силікатні, вольфрамові та інші скупчення. У зварних з'єднаннях зі сталі ці дефекти спричиняють значне відбиття ультразвукової хвилі, порушуючи нормальний процес її поширення. Саме ці зміни в поширенні ультразвукових коливань сповіщають про наявність у шві внутрішніх дефектів. При дефектоскопії зварних з'єднань використовують такі основні методи: тіньовий, дзеркально-тіньовий, луно-метод, дифракційно-часовий метод (TOFD).

Мобільність, відсутність шкідливого впливу на довкілля і на робочий персонал, висока точність щодо виявлення внутрішніх та поверхневих дефектів - основні переваги УЗ контролю зварних з'єднань перед іншими методами НК.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Мостові конструкції та їх конструктивні елементи

Головними елементами металічних мостових конструкцій на сьогоднішній день є металічні труби різних діаметрів, листи зварені між собою під різними кутами, поперечні балки жорсткості, двотаврові балки які з'єднуються між собою за допомогою зварювання та комбінованих методів з використанням зварного та болтового з'єднання, кутові балки, та п-подібні балки. За допомогою даних елементів створюють прогонові будови з різною геометрією. Також за допомогою даних елементів створюються суцільні блоки мосту під назвою ортотропні плити, які в свою чергу потім з'єднуються одна з одною та утворюють несучу конструкцію прогонової будови.

Балки різних типів, які використовуються при побудові мостових конструкцій зображені на рис.1.1.

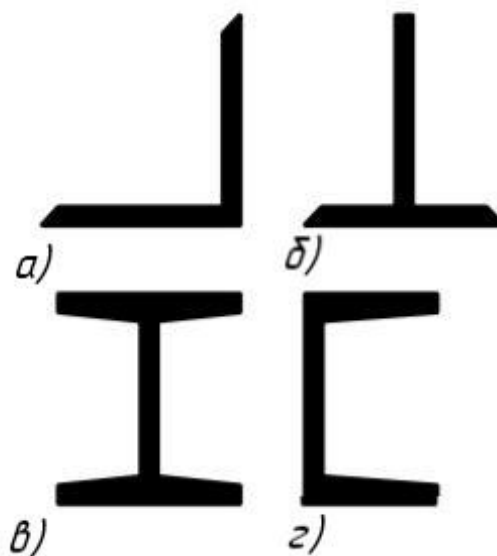


Рис.1.1 – Типи балок з яких створюють мостові конструкції :

а) кутоподібні; б) таврові балки; в) двотаврові балки; з) п-подібні балки

Мостові конструкції утворені за допомогою різних складових елементів, таких як : різні типи балок, пластин які їх між собою з'єднують і т.д. зображені на рис.1.2.



Рис.1.2. – Приклад мостової конструкції утвореної за допомогою різних типів балок та з'єднувальних пластин

В мостобудуванні також використовуються різні види форм несучих балок які складаються з елементів показаних вище. За допомогою цих форм інженер проектувальник мосту може змодельовати прогонову будову складної геометрії. Елементи цих форм можуть з'єднуватись як з використанням заклепування, так і за допомогою зварювання. Практика клепання сталевих форм почала використовуватись ще в 1800-х роках і продовжує своє існування на сьогодні.[1]

Форми нарощування виготовляються методами заклепки або зварювання. Практика клепання сталевих форм розпочалася в 1800-х роках і продовжувалася до 1950-х. Клепані балки які зображені на (рис.1.3.) це великі таврові балки створені з використанням листів металу та кутових елементів. Використання даних елементів мосту було доцільним тоді, коли виготовлення двотаврові балки за допомогою прокату давало недостатню довжину, яку вимагав проект прогонової будови.[1]

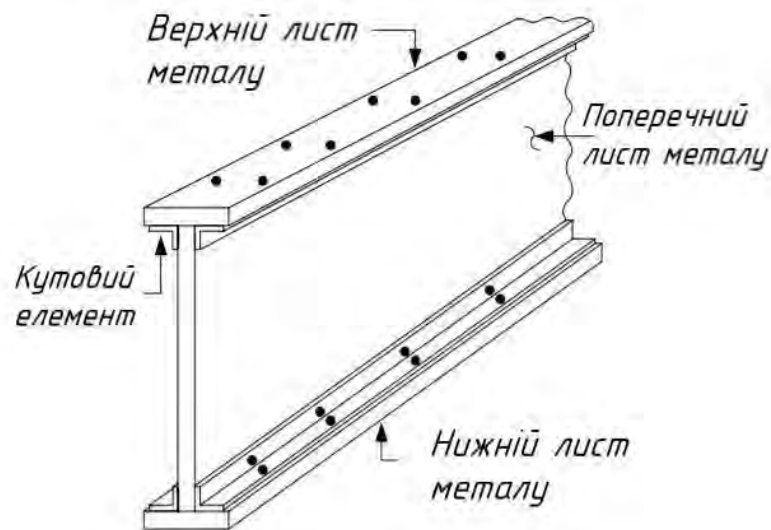


Рис.1.3. – Приклад побудови двотаврової балки за допомогою заклепок

У міру вдосконалення технології виробництва потреба в клепанні була замінена з'єднаннями за допомогою болтів високої міцності та використанням зварювання. З початку 1960-х років, мостові конструкції прийняли форму зображену на (рис.1.4.), що було досягнуто за рахунок використання зварювання різних елементів конструкції, таких як сталеві плити. Такі мостові конструкції називаються звареними пластинчатими балками, якими замінили заклепані балки. Також завдяки зварюванню в подальшому розвитку будівництва мостів, з'явилися ортотропні плити.[1]

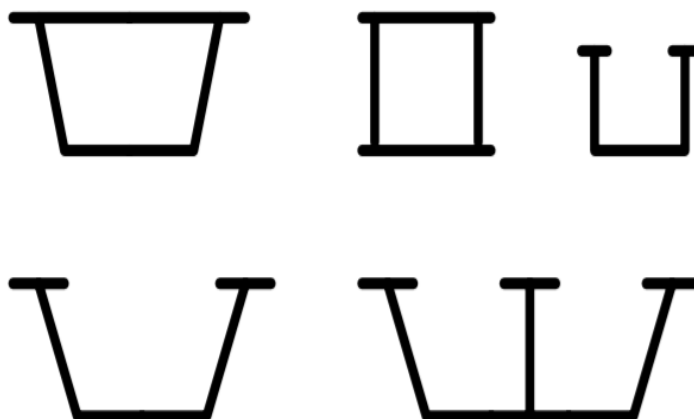


Рис.1.4. – Пластинчаті балки різної геометрії

Ортотропні плити – це елементи мосту, які складаються з зварених між собою різних типів балок, листів металу та ін. Вони використовуються для побудови суцільного елемента прогонової будови, який включає в себе функції проїжджої частини та силової конструкції. Виконання ортотропною плитою функції несучого настилу проїжджої частини прогону висуває певні вимоги до конструктивних рішень головних балок або ферм в будові прогону. Передача навантаження з проїжджої частини, а також її власної ваги на головні балки здійснюється поперечними ребрами (балками) ортотропної плити, крок яких уздовж осі моста, як правило, не перевищує 2-4 м. У таких умовах перевагу заслуговує застосування суцільностінчатих головних балок прогонових будов, здатних сприймати крім осьових зусиль також і згинальні моменти від кріплень поперечних ребер між основними зовнішніми листами металу.[2]

Довжини прольотів великих мостів призначаються, як правило, кратними 21 м. У практиці побудови мостів застосовують розрізні прогонові будови прольотом від 20 до 40 метрів з двотавровими головними балками. В прольотах довжиною від 40 до 100 метрів найбільш ефективним виявляється метод коробчатого перетину тобто з застосуванням як ортотропних плит, так і комбінованих балок коробчатого перетину.[2]



Рис.1.5 – Загальний вигляд ортотропних плит з'єднаних в один блок мосту

Металоконструкції прогонових будов виконують збірними з монтажних елементів (блоків), утворених автоматичною і напівавтоматичною зваркою на заводі. Загальний вигляд ортотропних плит з'єднаних між собою в суцільний блок представлений на рис.1.5.

Процес створення ортотропної плити складається з декількох етапів, і на кожному з них листи металу зварюються між собою. Першим етапом являється приварювання поперечних ребер жорсткості до головних стінок плити, ця операція зображена на рис.1.6.

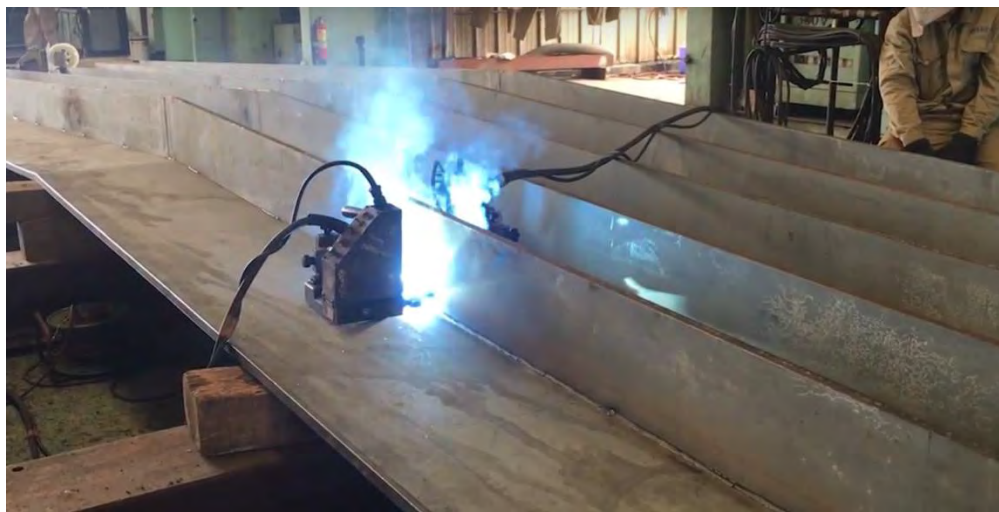


Рис.1.6. – Процес зварювання поперечних ребер жорсткості з головною стінкою ортотропної плити

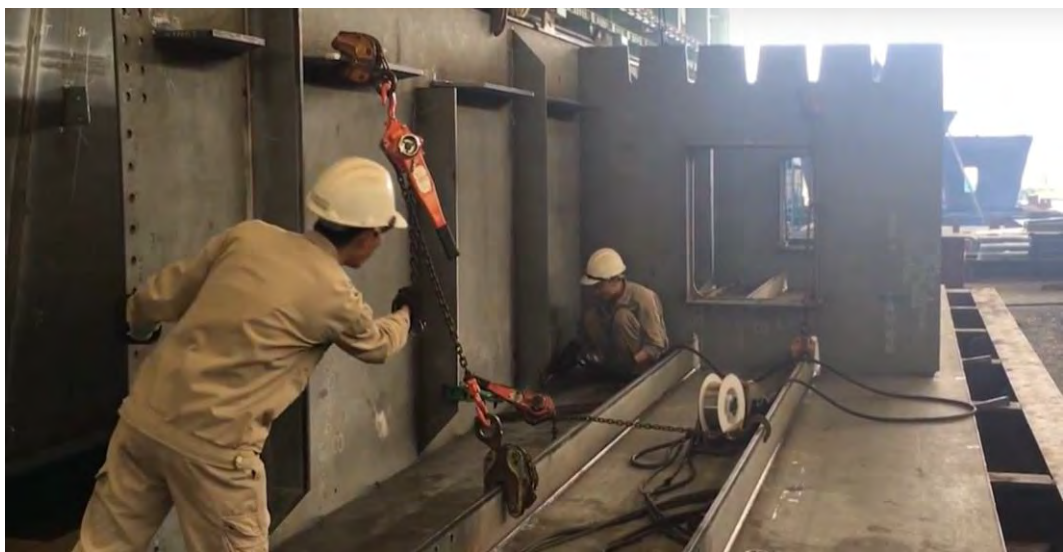


Рис.1.7. – Процес зварювання між собою елементів ортотропної плити

Наступним етапом являється зварювання між собою головних стінок та ребер жорсткості в суцільну конструкцію, як приклад квадратного січення. Даний етап представлений на рис. 1.7.

Також існують прогонові будови підвісного типу, де металеві конструкції з'єднуються за допомогою зварювання. Зварювання проводиться як і при виготовленні блоків, так і при з'їданні цих блоків безпосередньо при побудові мосту. Як приклад можна показати зварювання головних несучих балок круглого січення, при побудові подільського мосту в м. Києві, даний процес, та зовнішній вигляд мосту представлені на рис. 1.8.

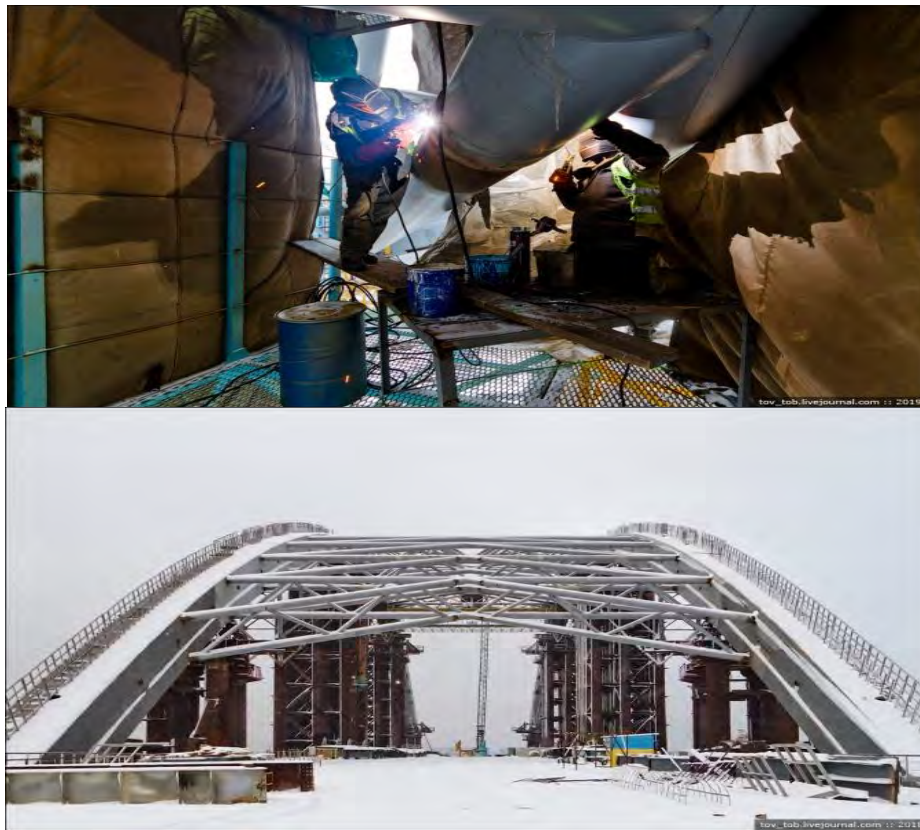


Рис. 1.8. – Зовнішній вигляд подільського мосту та зварювання головних несучих балок.

1.2. Зварні з'єднання мостових металоконструкцій та дефекти в них

Так як основним типом з'єднання мостових металоконструкцій являється зварювання, воно і виступає об'єктом для контролю. Для монтажних зварних

з'єднань мостових конструкцій допускається застосовувати такі способи зварки : автоматична під флюсом; автоматична під флюсом суцільним дротом при ручному зварюванні кореня шва; напівавтоматична під флюсом суцільним дротом; вертикальна автоматична з використанням порошкового дроту; вертикальна автоматична з використанням суцільного дроту; напівавтоматична з використанням суцільного металопорошкового дроту; ручна електродугова покритими електродами.

Незалежно від просторового положення і типу шва монтажні зварні з'єднання в мостах повинні забезпечувати передачу всіх розрахункових зусиль, що діють в елементах які з'єднуються між собою. Міцність зварних з'єднань при статичних випробуваннях повинна бути не нижче міцності основного металу; показники ударної в'язкості, відносного подовження і твердості по металу шва і по лінії сплавлення шва з основним металом повинні відповідати вимогам СТО. На рис. 1.9. зображені типи монтажних зварних з'єднань.[3]

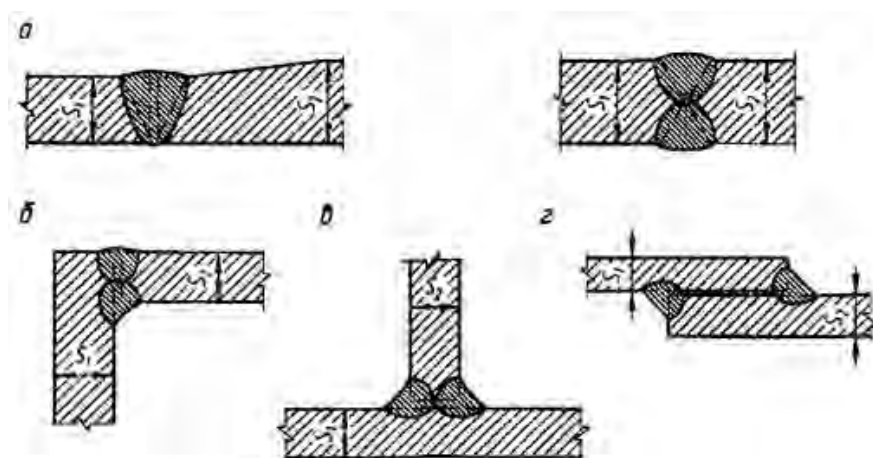


Рис. 1.9 – Типи монтажних зварних з'єднань.

a – стикові, односторонні і двосторонні; *б* – кутові; *в* – таврові;

г – напускні з'єднання

Односторонні стикові з'єднання зображені на (рис 1.9 а) повинні виконуватися автоматичним зварюванням із застосуванням різних типів підкладок зі зворотним формуванням кореня шва. Для стикових односторонніх або двосторонніх з'єднань

поясів балок при відповідному обґрунтуванні допускається механізована (напівавтоматична) або ручна дугова зварка замість автоматичної.

При проектуванні стикових зварних з'єднань горизонтальних листів зі зміною їх товщини в зоні стику з нижньої сторони, необхідно з зазначеного боку, встановити мідні підкладки.[3]

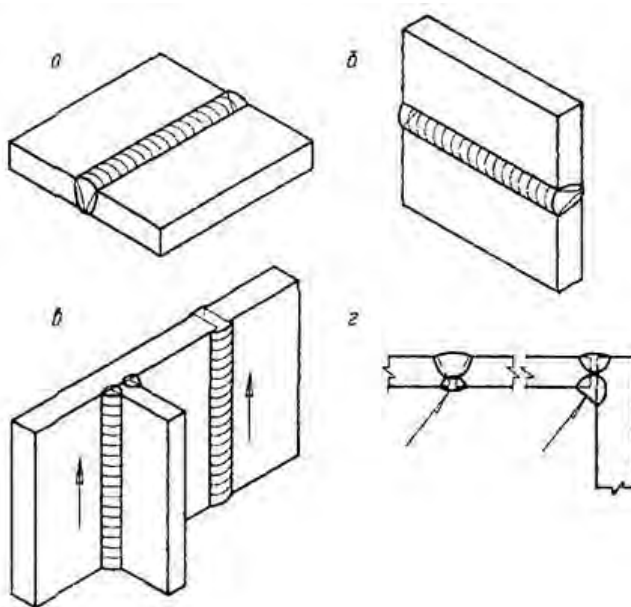


Рис. 1.10. – Просторове положення швів при монтажному зварюванні –
нижнє, б – горизонтальне, в – вертикальне, г – поточне

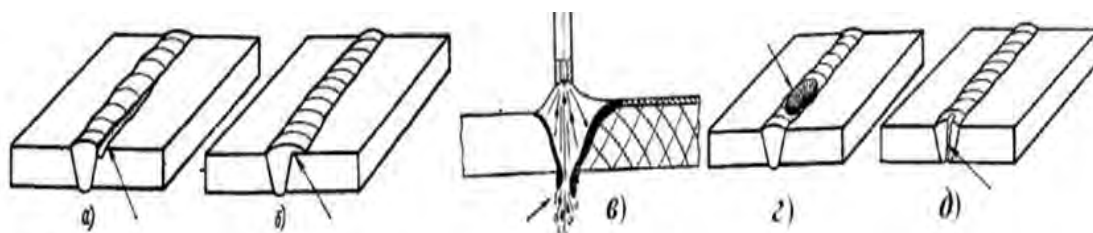


Рис.1.11. – Дефекти зварних швів:

а – підріз; б – наплив; в – пропал; г – незаварений кратер; д – свищ

При зміні в зоні монтажного зварного стику ширини листа слід залишати прямолінійні майданчики по краях на довжину від 100 до 150 мм в кожную сторону від шва для встановлення вивідних планок, або виготовляти вивідні планки з відповідними скосами з боку розширення. На (рис. 1.10) показано просторове положення швів при монтажному зварюванні.

Розглянемо основні типи зовнішніх і внутрішніх дефектів, які можуть мати місце при зварюванні плавленням. Зовнішні дефекти – це порушення геометрії шва. Наприклад, велика опуклість шва, велика ширина шва, або ж нерівномірність цих параметрів. Приклад дефектів зварювання зображений на рис (1.11).[3]

Класифікацію дефектів, їх опис, причини утворення виявлення та усунення представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Класифікація дефектів зварних швів

Назва дефекту	Опис	Причини утворення	Виявлення та усунення
Підрізи	Дефекти зварного з'єднання, місцеві зменшення товщини основного металу у вигляді канавок, розташованих уподовж меж зварного шва.	Підрізи утворюються, при зварюванні швів з надмірно високою напругою дуги у разі неточного ведення електроду. Частіше утворюються в кутових таврових з'єднаннях коли одна кромка проплавляється більше за іншу і метал стікає на горизонтальну пластину.	Підрізи виявляють візуально. При необхідності підрізи усуваються заваренням дефектних ділянок.

Напливи	Натікання металу шва на основний метал, при умові, що основний метал і метал шва несплавляються .	Великий струм, велика швидкість зварювання, зміщення або нахил електроду відносно осі зварного шва, недостатня напругу дуги, наявність на крайках під зварювання товстого шару окалини, надмірна кількість подачі присаджувального металу, що не помістився в розробці шва або зазорі.	Дефект виявляється візуально. При необхідності усунення підріз зашліфовується.
Пропали	Порожнини, що виникають при витіканні металу зварювальної ванни через отвір в шві. Пропали бувають одиночні, протяжні та дискретні.	Велика сила зварювального струму, збільшення зазору між крайками, недостатня товщина підкладної смуги або її нещільне прилягання та велика погонна енергія.	Пропали виявляються візуальною. При можливості дефектні місця повинні бути видалені й заварені наново. Але в більшості випадків виріб визнають браком.

Кратери	Поглиблення (усадочна раковина зварного шва), що залишаються в місцях обриву дуги .	Порушення техніки зварювання, відсутність кваліфікації у зварника. Наявність кратерів часто служить причиною утворення тріщин, тому дефектні місця повинні бути усунені.	Кратери виявляють візуально. Їх усувають видаленням дефектного участку та його заваренням. При механізованому зварюванні появі кратерів запобігають використанням технологічних планок виводу кратеру, при автоматичному плавним зменшенням току або автоматичною заваркою кратеру
Свищі	Порожнини в зварних швах (у вигляді воронки або труби), що виходять на поверхню .	Утворюються через неякісний основного метал та порушення захисту процесу зварювання. Свищі, як правило, розвиваються з канальних пор та супроводжують тріщини, які виходять на поверхню. Цей дефект характерний при зварюванні в вуглекислому газі.	Виявляється візуально. Усувається підварка з розробкою.

Тріщини	<p>Дефекти зварних швів, макроскопічні й мікроскопічні міжкристалічні руйнування або розриви, які мають малий кут розкриття і знаходяться в металі шва або в прилеглих до нього зонах зварного з'єднання.</p> <p>Тріщини класифікують за орієнтацією і формою. Згідно цієї класифікації є такі типи тріщин: поздовжні, поперечні, розгалуджені, радіальні та кратерні.</p>	<p>Вірогідність утворення гарячих тріщин збільшується з підвищенням вмісту в металі шва вуглецю, кремнію, нікелю, шкідливих домішок сірки й фосфору. Виявлення тріщин проходить ультразвуковим або радіаційним методом контролю. Холодні тріщини, які вийшли на поверхню можна визначити візуально-оптичним методом.</p>	<p>Способом виправлення є підварка з попередньою розробкою або засверлювання тріщини з обох кінців.</p>
---------	--	--	---

Непровари	<p>Дефекти несплавлення зварного з'єднання, які утворились в результаті неповного розплавлення кромки основного металу або поверхонь раніше виконаних валиків зварного шва.</p>	<p>Причинами появи непровара є недостатня потужність паяльника, велика швидкість зварювання, недостатній кут скосу кромки, який не дозволяє повністю прогріти метал під зварювання, погане зачищення деталей під зварювання.</p>	<p>Виявлення непроварів проходить ультразвуковим або радіаційним методом контролю. Дефекти такого типу дуже складно виявляються в кільцевих швах. Способом усунення є підварка з видаленням кореневої частини.</p>
Пори	<p>Заповнені газом порожнини в металі шва. В основному мають округлу форму. У зварних швах вуглецевих сталей вони мають трубчасту форму.</p>	<p>Причинами появи пор є вологий флюс, забруднена поверхня зварювального дроту, неякісна підготовка поверхні під зварювання, велика довжина дуги, великий діаметр електроду, велика швидкість зварювання, неякісний основний метал.</p>	

<p>Оксидні включення</p>	<p>Оксид металу, який потрапив в метал шва під час затвердіння.</p> <p>Оксидні включення знаходяться в металі у вигляді подріблених плівок і утворюють нещільності металу шва. Це значно знижує механічні властивості шва, навіть сильніше, ніж при наявності пор, т.я. густина оксидних плівок більша, ніж у пор і шлакових включень.</p> <p>Оксидні плівки маючи більшу густину, ніж у алюмінію проникають у рідкий метал шва через розплавлену вану.</p>	<p>Оксидні включення утворюються в металі шва, якщо вони важкорозчинні (наприклад, Al_2O_3), а метал шва в свою чергу швидко застигає.</p> <p>Узагальнюючи причини появи всіх включень, можна виділити такі основні причини: неякісний основний метал, неякісна підготовка поверхні, порушення технології зварювання, порушення захисту процесу зварювання.</p>	<p>Пори та включення виявляють ультразвуковим або радіаційним методом контролю. Їх усувають підваркою із розробкою.</p>
--------------------------	---	--	---

1.3. Огляд методів неруйнівного контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій

1.3.1. Методи візуального контролю

Данні методи контролю поєднують в собі оцінку зовнішніх параметрів та геометричних розмірів зварних швів на їх відповідність заданим вже відомим параметрам. Перед проведенням контролю головною складовою являється очищення поверхні зварних швів від різного виду забруднень, таких як : бризки металу та відкладення шлаку. Після проведення очищення, зварні шви обробляють 10% розчином азотної кислоти або спиртом.[4]

Інструментами якими користуються при проведенні контролю можуть виступати : освітлювальні прилади, лупа з різним ступенем кратності (від 5-ти до 10-ти крат), а також вимірювальні інструменти (лінійка, штангенциркуль) за використанням яких оцінюються геометричні розміри зварних швів, та розміри знайдених дефектів. Приклад проведення візуального контролю зображений на рис.1.12. [4]



Рис.1.12. – Приклади застосування візуальних методів контролю

1.3.2. Методи вихро-струмового контролю

Даний метод неруйнівного контролю полягає у використанні взаємодії електромагнітних полів об'єкту контролю, з електромагнітними полями вихрових струмів, які випромінює вихрострумівий перетворювач (рис.1.13).[4]

Перевагами вихро-струмового методу контролю зварних з'єднань можна назвати : незалежність продуктивності проведення контролю від шорсткості поверхні об'єкту контролю, велика швидкість здійснення контролю, можливість проведення контролю об'єктів з складною геометрією, та обмеженим доступом.[4]

До недоліків даних методів неруйнівного контролю, слід віднести : необхідність наявності людей які проводять контроль з потрібною високою кваліфікацією.

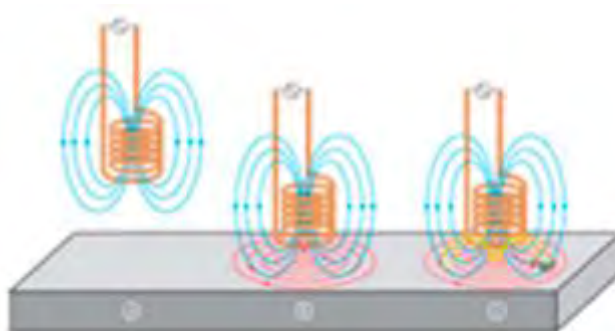


Рис.1.13. – Приклад взаємодії електромагнітних полів вихрових струмів з електромагнітними полями об'єкту контролю

1.3.3. Радіаційні методи контролю

Для контролю зварних з'єднань також використовуються радіаційні методи неруйнівного контролю. Хоча ці методи є вельми точними, але їх застосування досить обмежене, оскільки фізичний процес контролю пов'язано з використанням гамма-променів і рентгенівського випромінювання, які мають властивість проходити через структуру контрольованого об'єкту, після чого фіксувати дефекти об'єкту на фотоплівці (рис.1.14).[4]

Головною перевагою даних методів контролю являється високоточне сканування об'єкту контролю, і отримання точного результату з його характеристиками.[4]

До недоліків даних методів можна віднести : необхідність наявності висококваліфікованого персоналу, дорогокоштуючого устаткування, та негативний вплив на оточуюче середовище.[4]

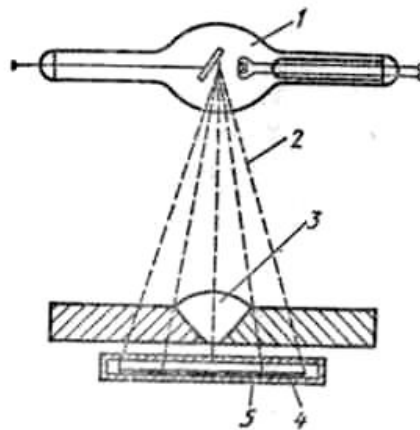


Рис. 1.14. – Рентгенівське просвічування зварного шва:
*1 – рентгенівська трубка; 2 – рентгенівське випромінювання;
3 – зварний шов; 4 - касета, 5 – фотоплівка*

1.3.4. Ультразвукові методи неруйнівного контролю

Ультразвукові методи неруйнівного контролю набули найбільшого розповсюдження серед методів контролю зварних швів тому, що вони дозволяють з високою точністю виявити внутрішні дефекти об'єкту контролю. В основному ультразвукові методи засновані на реєструванні відбитих від дефекту ультразвукових хвиль, які випромінюються в об'єкт контролю.[4]

Контроль зварних швів на придатність за допомогою ультразвукових методів описано в міжнародному стандарті ISO 23279:2017 «Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Characterization of discontinuities in welds».

1) Одним з методів ультразвукового контролю, являється луна-імпульсний (рис.1.15). За допомогою луна-імпульсної дефектоскопії в зварних швах можна

визначити різні типи дефектів, такі як : тріщини, свищі, розшарування металу в різних зона зварного шва, ділянки шва уражені корозією, та ділянки шва з спотворенню геометрією.[4]

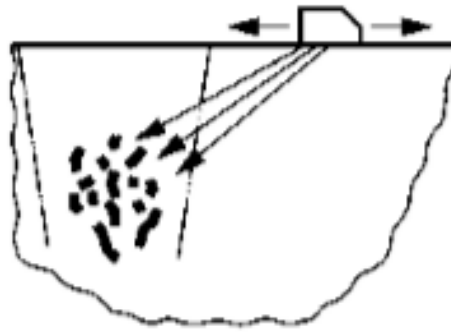


Рис.1.15. – Приклад проведення ультразвукового сканування зварного шва за допомогою луна-імпульсного методу контролю, з використанням одного давача.

2) На сьогоднішній день все більше поширюється дифракційно часовий з англ. Time of Flight Diffraction (TOFD) метод контролю зварних швів, як різновид ультразвукового методу (рис.1.16.). Метод (TOFD) заснований на взаємодії випромінених ультразвукових хвиль з краями дефектів. Дана взаємодія призводить до дифрагування хвиль від дефектів в різних напрямках, під різними кутами. Прийом дифрагованих хвиль дозволяє встановити наявність дефекту. Час проходження сигналу від дефекту являється критерієм оцінки його висоти, орієнтації, та розмірів. В даному ультразвуковому методі використовуються як повздовжні так і поперечні акустичні хвилі.[4]

Перевагами даного методу контролю являються : пряма оцінка орієнтації та геометричних розмірів дефекту, висока ступінь документації результатів контролю, швидке налаштування вимірюючих перетворювачів, використання невеликої кількості перетворювачів, малочутливий до орієнтації дефектів.

Для реалізації даного методу контролю застосовується спеціальне обладнання до якого входить використання одної або кількох пар первинних перетворювачів,

що розміщуються по обох сторонах зварного шва, а сам процес контролю проводиться за допомогою переміщення перетворювачів вздовж нього.

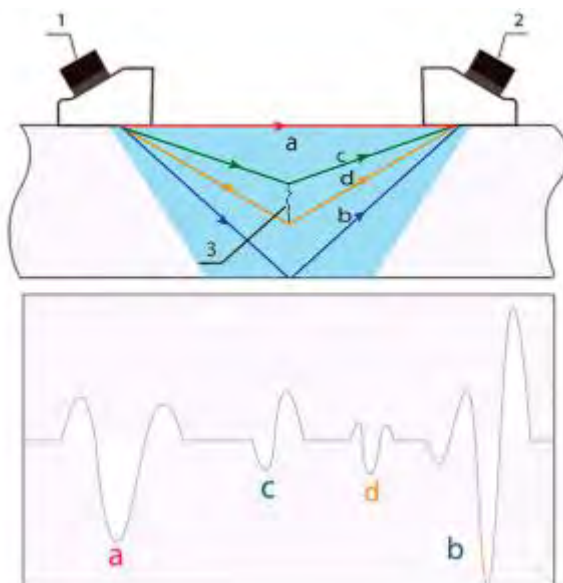


Рис.1.16 – Процес проведення контролю за допомогою методу TOFD

1.4. Аналіз можливостей автоматизації систем неруйнівного контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій

Мостова конструкція як об'єкт контролю являє собою з'єднані між собою опорні частини, пілони, прогони та ригелі. До основних дефектів елементів мостових конструкцій відносяться: тріщини метало-бетонних конструкцій; тріщини, пори та не провари в зварних з'єднаннях металевих мостових конструкцій; корозія металевих елементів; деформація несучих конструкцій.[5]

Процес автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій базується на вирішенні трьох основних задач: розробка скануючого пристрою для організації сканування об'єкта контролю; розробка визначення координат розташування ультразвукових перетворювачів на об'єкті контролю; розробка системи передавання даних про стан об'єкта та розташування первинних перетворювачів.[5]

Розглянемо існуючі на сьогодні способи організації сканування мостових конструкцій.

1) Одним із способів проведення сканування є запропонований [6] робот на магнітних колесах для контролю металевих прогонових будов магнітним методом (рис. 1.17.).

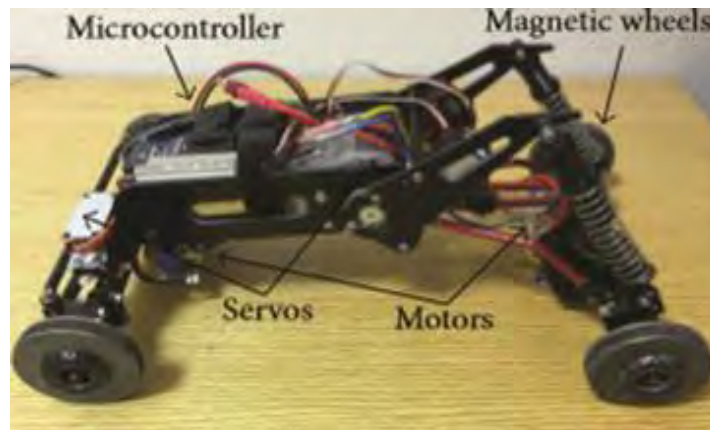


Рис.1.17. – Зовнішній вигляд прототипу робота з використанням магнітних колес

Спираючись на взаємодію індуктивних магнітних полів, що генеруються магнітними колесами для підйому робота, магніто-резистивні датчики вимірюють відмінності щільності магнітного поля між дефектною (тріщина) і бездефектною областю (рис.1.18.).

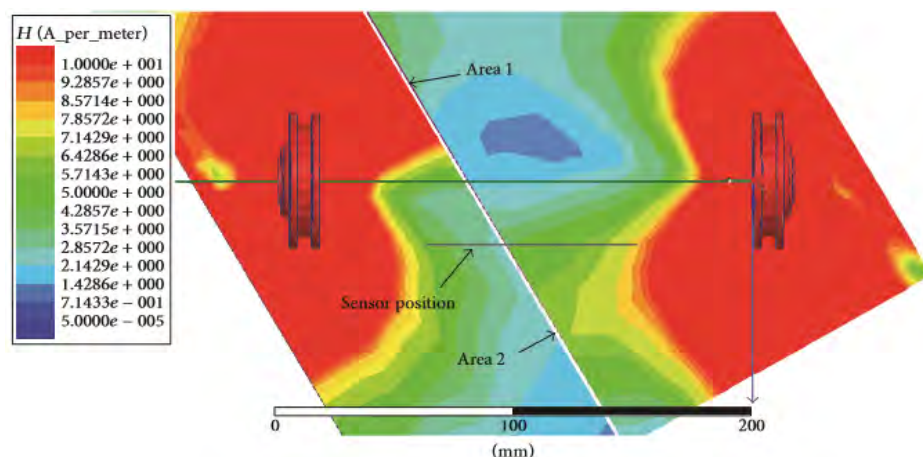


Рис.1.18. – Принцип дії магнето-резистивних датчиків використаних в даному роботі

Як стверджують автори розробки[6], результати моделювання показали, що така система здатна виявити деякі види дефектів, включаючи відколи металу, тріщини, і райони з корозією.

2) Іншою існуючою розробкою, що забезпечує переміщення поверхнею мостовою конструкцією, є запропонований [7] робот, здатний рухатися болтовими з'єднувальними пластинами мосту (рис.1.19.).

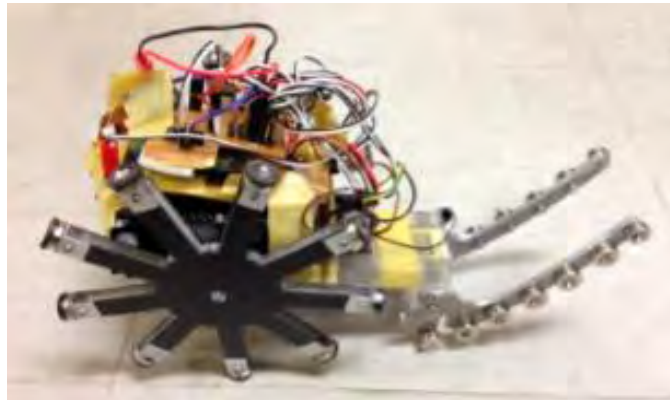


Рис.1.19. – Зовнішній вигляд робота здатного переміщуватись болтовими з'єднувальними пластинами прогонової будови

Запропонований робот може рухатися по прямокутній траєкторії. Результати дослідження, проведеного авторами [7], підтвердили, що існує можливість запуску робота в внутрішньому прямокутному тракті, де, як очікується, робот буде працювати, щоб перевірити пошкоджені частини в коробчастій балці (рис.1.20.).

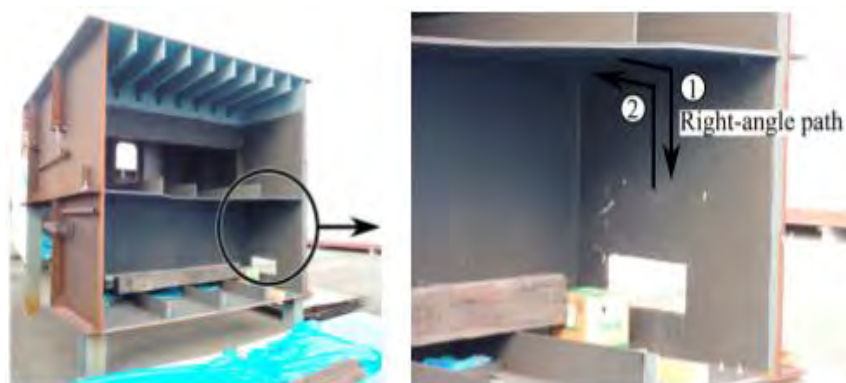


Рис.1.20. – Зовнішній вигляд тракту по якому має рухатись запропонований робот

Запропонована система має можливість проходити через з'єднувальну частину з болтами, розташованими з інтервалом 75 мм. Сам робот при цьому оснащується відеокамерою для проведення візуального обстеження об'єкта контролю.

3) Також розглянуто існуючу систему [8] автоматизованого отримання інформації про стан прогонових будов. Автори запропонували новий метод пошуку дефектів в компонентах мостових конструкцій за допомогою системи гібридного сканування Kinect. Дана система базується на використанні фотографій дефектів, з подальшим виділенням їх кольором (рис. 1.21.), що забезпечує отримання тривимірної інформації про стан компонентів мосту та їх дефектів.

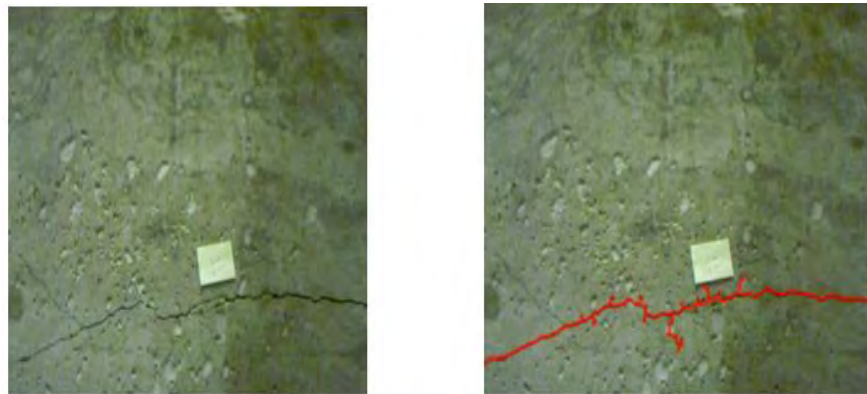


Рис.1.21. - Приклад виділення дефекту мостової конструкції за допомогою програми Kinect

1.5. Обґрунтування вибору методу та способу контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими елементами прогонових будов як було зазначено вище, являються ортотропні плити. На прикладі проекту одного з найбільших мостів в індії Vogibeel Road, який проходить через річку Mighty Brahmaputra можливо визначити об'єкт контролю для автоматизованої ультразвукової системи. Його основними несучими конструкціями є ортотропні плити квадратного сечення. Виготовлення даної плити проходить в декілька етапів, і використовує в основі з'єднання металевих деталей за допомогою зварювання.

Перший етап зображений на (рис. 1.22), на даному етапі відбувається таврове з'єднання двох сталевих листів довжиною 10м, товщина кожного з листів 40 мм.



Рис. 1.22 – Таврове з'єднання двох листів металу

Наступним етапом являється таврове з'єднання ще одного листа металу таким чином, що кінцевим варіантом являється конструкція схожа на двотаврову балку. В свою чергу таврове зварне з'єднання цих листів металу і являється об'єктом контролю.

На основі аналізу приведених в попередніх підрозділах існуючих методів контролю зварних з'єднань, їх переваг та недоліків, для розроблюваної автоматизованої системи було обрано метод луно-імпульсної дефектоскопії. Даний метод контролю забезпечує високу вірогідність контролю зварних з'єднань, тому являється доцільним у його реалізації.

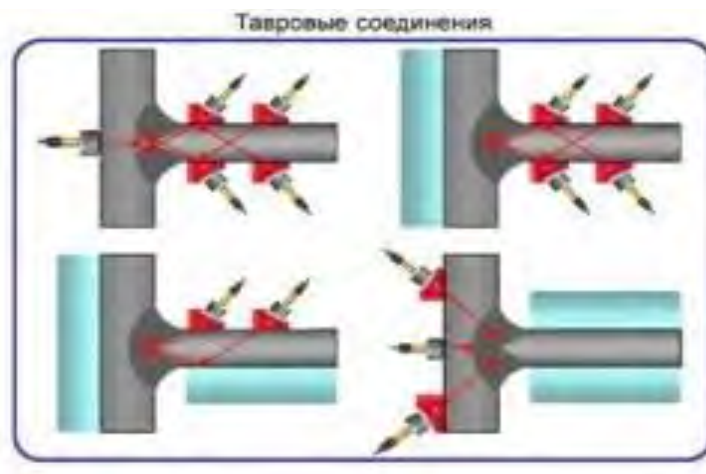


Рис. 1.23. – Схеми прозвучування таврових зварних з'єднань

Також провівши аналіз методів автоматизації контролю зварних з'єднань прогонових будов було визначено, що в даний момент не існує схожих аналогів автоматизованих систем з використанням даного методу контролю, та систем які забезпечують таку вірогідність контролю. Для луно-імпульсного методу контролю, який був вибраний вище, існують різні схеми прозвучування таврових зварних з'єднань які зображені на (рис.1.23) .

Зсилаючись на міжнародний стандарт ISO 23279:2017 «Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Characterization of discontinuities in welds», в якому викладено методику проведення контролю з використанням існуючих схем прозвучування таврових зварних з'єднань, та оптимальність використання тої чи іншої, можна дійти до висновку, що найкращим варіантом являється схема прозвучування з використанням двох ультразвукових перетворювачів. Використання даної схеми забезпечує вимоги що до вірогідності контролю зварних швів розроблювані автоматизованої системи. Давачі фіксуються з однієї сторони перпендикулярної стінки таврового з'єднання, і виступають як випромінювачами так і приймачами, приклад даної схеми приведено на (рис.1.24.).

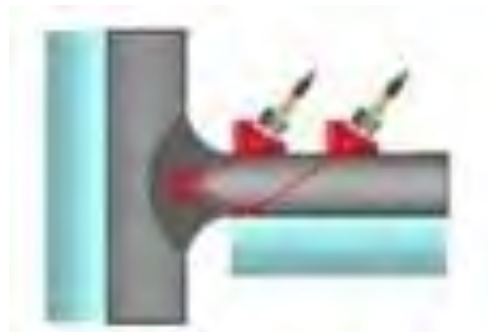


Рис. 1.24. – Обрана схема прозвучування таврового зварного з'єднання з використанням двох давачів

Висновки до розділу 1

В даному розділі було проведено аналіз існуючих мостових металоконструкцій та елементів з яких вони складаються. Було визначено, що зварювання елементів між собою являється основним типом з'єднання даних

конструкцій. Також в даному розділі приведено основні типи дефектів зварних з'єднань, причини їх виникнення, методи виявлення, та усунення.

Було проведено аналіз існуючих можливостей автоматизації систем неруйнівного контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій і потрібно зазначити, що лише один (магнітний) з представлених методів контролю прогонових будов дає змогу отримати інформацію про наявність внутрішніх дефектів.

А відеоспостереження, та фотофіксація не дозволяє цього, що робить дані методи менш ефективними та інформативними. На кінець було проведено обґрунтування вибору методу та способу контролю зварних з'єднань елементів мостових конструкцій, обрано ультразвуковий луно-імпульсний метод контролю, з використанням двох датчиків.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ВУЗЛІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Розробка структурної та функціональної схем системи

Розроблювана автоматизована система заснована на ультразвуковому методі контролю. Найрозповсюдженішим ультразвуковим методом контролю, який використовується в ультразвукових дефектоскопах на сьогоднішній день, є луна-імпульсний метод контролю. В даному методі контролю використовуються ультразвукові п'єзо перетворювачі, які працюють на частоті від 0.2 до 30 МГц. Дані види дефектоскопів працюють основуючись на переміщення вимірювальних перетворювачів вручну, чи за допомогою автоматизованих систем сканування.

Головними інформативними параметрами луна-імпульсного методу ультразвукового контролю являються : прийнята напруга, та часовий інтервал відносно випроміненого сигналу в об'єкт контролю до прийнятого(відбитого від дефекту або дна об'єкту контролю).

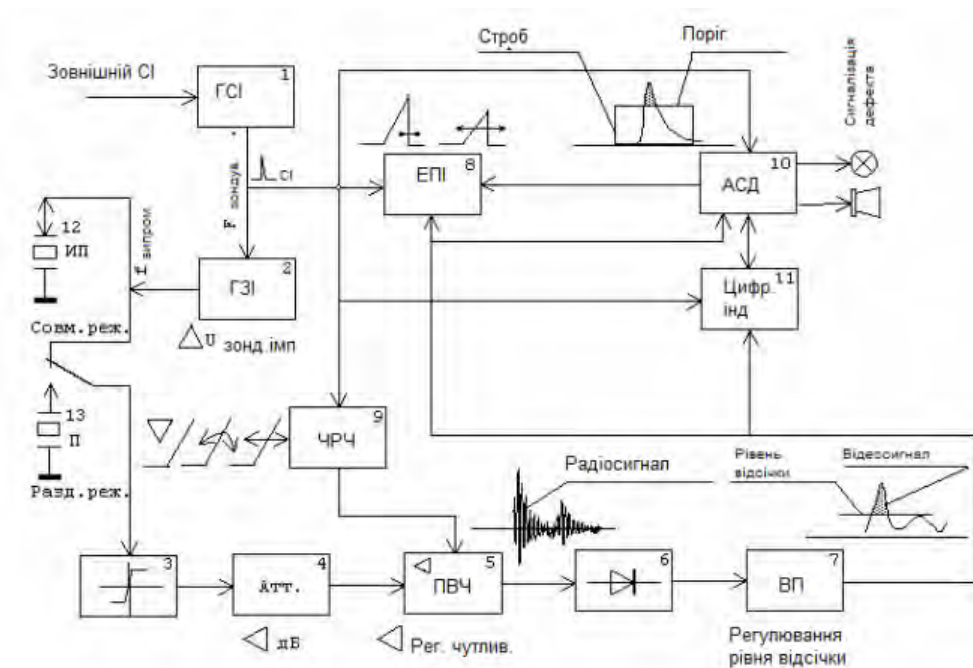


Рис. 2.1 – Узагальнена функціональна схема луна-імпульсного дефектоскопу

В даному ультразвуковому методі для збудження та прийому сигналів, використовуються електро-механічні перетворювачі, на базі п'єзопластин, виготовлених з різних матеріалів, як приклад з црконат-титанату свинцю 19. На (рис.2.1.) зображено узагальнену функціональну схему луна-імпульсного ультразвукового дефектоскопу, яка використовується для подальшої розробки функціональної та структурної схем розроблюваної системи.[9]

Генератор синхро – імпульсів (ГСІ) 1 – використовується для синхронізації вузлів дефектоскопа.

Генератор зондуючих імпульсів (ГЗІ) 2 – використовується для збудження високочастотних сигналів, які подаються на п'єзоелектричні перетворювачі для збудження акустичних хвиль в об'єкт контролю.

Двосторонній діодний обмежувач 3 – використовується для обмеження амплітуди зондуючого імпульсу на вході попереднього підсилювача.

Вимірювальний атенюатор 4 – використовується для здійснення порівняння рівнів відбитих сигналів від різних дефектів.

Амплітудний детектор 6 – використовується для створення обвідної радіо імпульсу.

Система часового регулювання чутливості (ЧРЧ) 9 – використовується для отримання однакових за амплітудою значень прийнятого сигналу від рівноцінних дефектів на різних глибинах залягання.

Автоматична система сигналізації дефектів (АСД) 10 – використовується для отримання візуальної сигналізації про наявність дефекту[9].

Попередньо розглянувши узагальнену функціональну схему існуючих дефектоскопів, які працюють на луна-імпульсному методі контролю, розробляємо власну, вона представлена на рис.2.2.

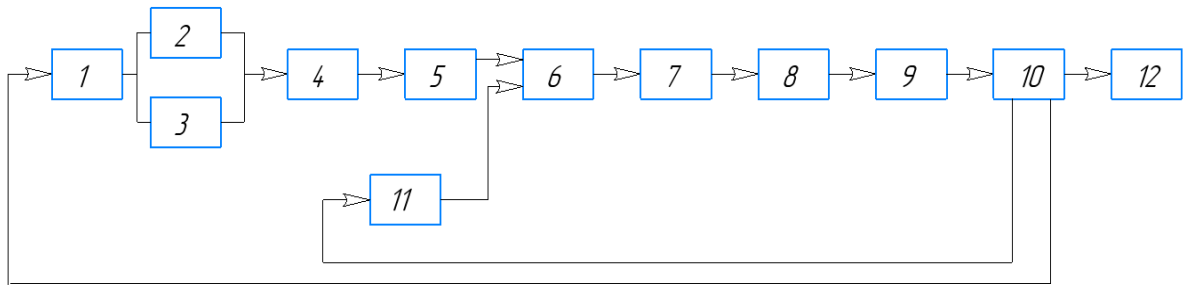


Рис. 2.2. – Структурна схема автоматизованої системи

1 – блок керування; 2 – блок перетворювачів з генераторами зондуючих імпульсів 1; 3 – блок перетворювачів з генераторами зондуючих імпульсів 2; 4 – мультиплексом; 5 – попередній підсилювач; 6 – схема часового регулювання чутливості; 7 – фільтр нижніх частот; 8 – аналогово-цифровий перетворювач; 9 – пам'ять; 10 – мікроконтролер; 11 – цифро-аналоговий перетворювач; 12 – блок передачі даних Wi-fi.

На рис. 2.3. представлена функціональна схема автоматизованої системи, опис її роботи наведе нижче.

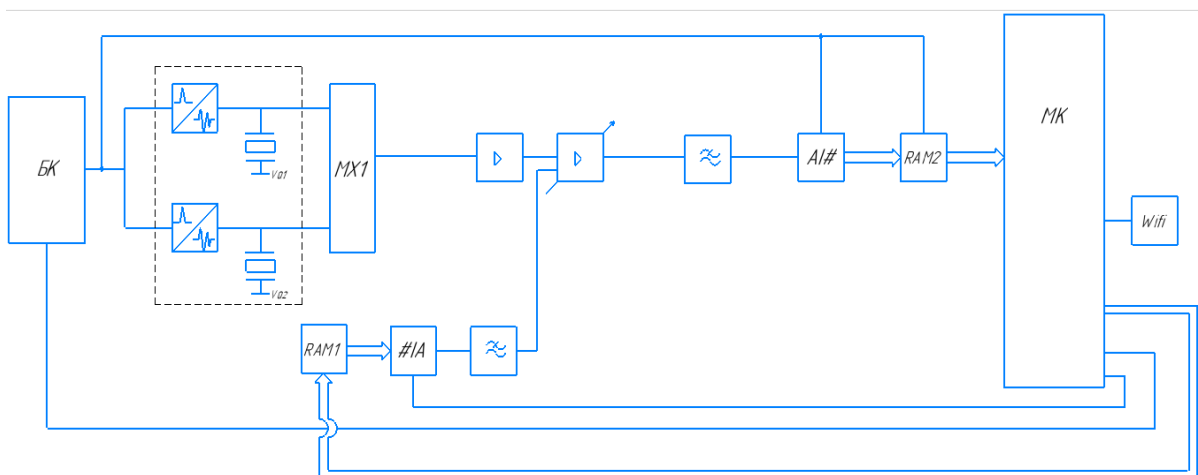


Рис. 2.3. – Функціональна схема автоматизованої системи

Опис роботи приладу : мікроконтролер (МК) подає електронний імпульс на блок керування (БК) для початку процесу контролю. На генератор зондуєчи імпульсів в початковий момент часу приходить синхро сигнал від блоку керування (БК), який запускає процес його роботи. Він формує радіоімпульс, який потрапляє

на п'єзоелектричні перетворювачі, що починають збуджувати акустичні хвилі в об'єкт контролю. Сигнали проведення контролю, від п'єзоелектричних датчиків потрапляють на мультиплексор (МХ1), після чого сигнал потрапляє на попередній підсилювач, який використовується для постійного підсилення з заданим коефіцієнтом.

Наступним етапом є генерування мікроконтролером (МК) імпульсу для запуску роботи цифро-аналогового перетворювача, після чого сигнал проходить через фільтр низьких частот і потрапляє на схему часового регулювання чутливості (ЧРЧ), яка використовується для позбавлення залежності амплітуди вимірювального сигналу від глибини залягання дефекту.

Після проходження схеми ЧРЧ, вимірювальний сигнал потрапляє на фільтр нижніх частот, для відфільтрування шумів та завад які впливають на результат контролю. Після чого він оцифровується за допомогою цифро-аналогового перетворювача (АЦП), і записується в пам'ять приладу. Останньою ітерацією являється передача даних з пам'яті на портативний комп'ютер для подальшої обробки, через блок передачі даних Wi-fi.

2.2. Розробка та розрахунок акустичного тракту системи

Через фізичні властивості середовищ в яких поширюються ультразвукові хвилі, вони мають властивості розсіювання та поглинання. Дане явище носить назву коефіцієнту згасання ультразвукових коливань в середовищі поширення хвиль.

Частота випромінювання ультразвукових хвиль напряму залежить від їх поглинання середовищем в яке вони випромінюються, тобто чим вища частота випромінювання акустичних хвиль, тим вище їх поглинання середовищем.

Об'єктом контролю розроблюваної системи являються зварні шви, при дефектоскопії яких, акустичні хвилі мають властивість згасати у полікристалічній структурі матеріалу. Оскільки розташування кристалів в металічній структурі має хаотичний характер, перехід акустичних хвиль від одного до іншого кристалу супроводжується різною швидкістю поширення. Також важливими складовими

цього процесу являються : трансформація акустичних хвиль в повздовжні та поперечні хвилі, часткове їх відбиття та заломлення, що призводить до розсіювання акустичних хвиль в об'єкті контролю.[10]

Коефіцієнт розсіювання напряму залежить від довжини хвилі в об'єкті контролю, та діаметру кристалів ґратки. Мається на увазі ефект поглинання акустичних хвиль зернами кристалічної ґратки об'єкту контролю у випадку приблизної пропорційності довжини хвилі, діаметру кристалу.[10]

На сьогоднішній день при неруйнівному контролі зварних з'єднань, використовують частоти випромінювання акустичних хвиль на рівні від 1.8 до 5 МГц. Тоді приймемо частоту випромінювання акустичних хвиль рівною $f=5$ МГц. Розрахуємо за формулою (2.1) довжину хвилі ультразвуку в сталі :

$$\lambda_{cm} = \frac{C_{cm}}{f} = \frac{3200}{5 \cdot 10^6} = 0.8 \text{ (мм)} \quad (2.1)$$

Де $C_{cm}=3200$ м/с - швидкість розповсюдження поперечної хвилі в сталі.

При випромінюванні акустичних хвиль з такою частотою в сталь, випромінені хвилі слабо загасають, а розсіяння на зернах кристалічної ґратки матеріалу як правило не виникає. Отже отримавши довжину хвилі ми можемо розрахувати за формулою (2.2) розміри мінімального дефекту який буде знайдено за допомогою випромінювання зазначених ультразвукових хвиль в об'єкт контролю.

$$f_{p\text{мін}} = \frac{C_{ок}}{2d_{\text{мін}}} = \frac{C_{ок}}{\lambda_{ок}} \quad (2.2)$$

Звідки ми знаходимо мінімальний розмір дефекту $d_{\text{мін}}$:

$$d_{\text{мін}} = \frac{\lambda_{ок}}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.4 \text{ (мм)}$$

Так як ультразвукові хвилі будуть випромінюватись в об'єкт контролю під кутом, розрахуємо довжину хвилі в призмі λ_{opz} , яка виготовлена з оргскла. Швидкість поширення ультразвукових хвиль в оргсклі $C_1=2700$ м/с. Отже отримаємо:

$$\lambda_{opz} = \frac{C_{opz}}{f} = \frac{2700}{5 \cdot 10^6} = 0,68 \text{ (мм)}$$

П'єзоелектричний перетворювач який використовується для збудження акустичних хвиль виготовлено з цирконат-титанат свинцю (ЦТС), в якому швидкість поширення ультразвукових хвиль $C_{цтс} = 3300$ м/с. Знайдемо довжину хвилі в п'єзопластині :

Перетворювач виготовлений із цирконат-титанат свинцю (ЦТС), тоді при швидкості звуку $C_{цтс} = 3300$ м/с, довжина хвилі в ЦТС рівна:

$$\lambda_{цтс} = \frac{C_{цтс}}{f} = \frac{3300}{5 \cdot 10^6} = 0,8 \text{ (мм)}$$

Так як в данному випадку проведення дефектоскопії використовуються похилі перетворювачі, тобто пучок акустичних коливань направлений під кутом до межі розподілу між двома середовищами, виникають трансформації акустичних хвиль. За законом Снеліуса (2.3), при випромінненні акустичних хвиль під кутом β (рис.2.4) з одного твердого середовища в інше, виникає трансформація хвилі з повздовжньої в поперечну, це поняття називають трансформацією акустичної хвилі за другим критичним кутом.[9]

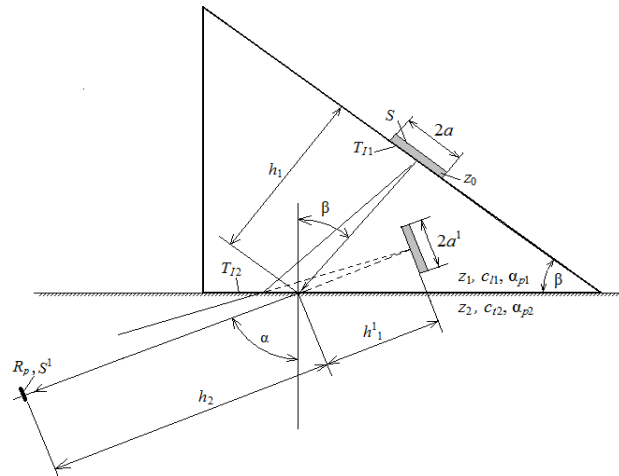


Рис 2.4.–Акустичний тракт при похилому введенні з трансформацією хвиль.

Закон Снеліуса :

$$\frac{\sin \beta}{C_{11}} = \frac{\sin \beta_t}{C_{t1}} = \frac{\sin \beta_1}{C_{11}} = \frac{\sin \alpha}{C_{12}} = \frac{\sin \alpha}{C_{t2}} \quad (2.3)$$

Де – C_{11} , C_{t1} – швидкості поширення повздовжніх та поперечних акустичних коливань в першому твердому середовищі, C_{12} , C_{t2} – швидкості поширення

повздожніх та поперечних акустичних коливань в другому твердому середовищі, ; α_{12} , α – кути при яких заломлюються повздожня та поперечна хвилі; β_1 , β_t – кути при яких відбивається повздожня та поперечна хвилі.

Перший критичний кут : $\beta_{кр1}$ це явище коли повздожня хвиля заломлена під кутом α не поширюється в іншому середовищі.

Другий критичний кут : $\beta_{кр2}$ це явище ковзання акустичної хвилі вздовж поверхні розподілу двох середовищ, після чого поперечна хвиля заломлюється все більше на кут α , і не проникає в інше середовище.[9]

Для критичних кутів використовується рівність (2.4) :

$$\sin\beta_{кр1} = \frac{C_{11}}{C_{12}} \text{ та } \sin\beta_{кр2} = \frac{C_{11}}{C_{t2}} \quad (2.4)$$

Звідки ми розрахуємо перший та другий критичні кути для нашого випадку. Швидкість повздожньої хвилі в оргсклі : $C_{11} = 2670$ м/с. Швидкість поширення повздожньої хвилі в сталі $C_{12} = 5900$ м/с. Швидкість поширення поперечної хвилі в сталі $C_{t2}=3200$ м/с.

$$\beta_{кр1} = \arcsin\left(\frac{C_{11}}{C_{12}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670}{5900}\right) = 26.9^{\circ}$$

$$\beta_{кр2} = \arcsin\left(\frac{C_{11}}{C_{t2}}\right) = \arcsin\left(\frac{2670}{3200}\right) = 55,5^{\circ}$$

Так як повздожня хвиля може розповсюджуватись тільки в рідкому середовищі, а поперечна в твердих, знайдемо кут β при якому заломлюється хвиля за використання похилого давача, опираючись на умову розповсюдження в об'єкті контролю лише поперечної хвилі ($\beta_{кр1} < \beta < \beta_{кр2}$).

$$26,9^{\circ} < \beta < 55,5^{\circ}$$

Визначивши межі кута вводу акустичних хвиль в об'єкт контролю оберемо оптимальний :

$$\beta=45^{\circ}$$

Визначивши оптимальний кут вводу акустичних хвиль, можна розрахувати кут α під яким заломлюються акустичні хвилі в об'єкті контролю(2.5):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{C_{орг}}{C_{ст}} \quad (2.5)$$

Звідки :

$$\alpha = \operatorname{arcsin} \left(\frac{\sin \beta \cdot 2700}{3230} \right) = 36^\circ;$$

Наступним етапом розрахунків юде визначення коефіцієнту акустичного тракту. Починати потрібно з побудови еквівалентної моделі акустичного тракту (рис.2.4).

Надалі визначаються розміри та положення уявного випромінювача акустичних коливань, з вище розрахованого кута введення акустичних хвиль. Наприклад обираємо поперечне розташування відбивача відносно осі акустичного тракту, тоді коефіцієнт акустичного тракту для даного випадку буде мати вигляд (2.6) :

$$K_{AT} = \frac{s' s \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}}{\lambda_{ст}^2 (h_2 + h_1')^2} T_{I1} T_{I2} R_p e^{-2(h_1 \delta_{порг} + h_2 \delta_{рст})} \quad (2.6)$$

Для початку визначимо площу мінімального дефекту (2.7):

$$S' = \pi \cdot (d_{\min} / 2)^2 = \pi \cdot 0.2^2 = 0.125 (\text{мм}^2) \quad (2.7)$$

Знайдемо площу п'єзоелектричного перетворювача (2.8):

$$S = \pi \cdot a_{\text{пеп}}^2 = \pi \cdot 4^2 = 50.26 (\text{мм}^2) \quad (2.8)$$

Знайдемо відстань від точки вводу акустичних хвиль до кореню(середини) зварного шва:

$$h_2 = \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{40}{\sin 60^\circ} = 46 (\text{мм})$$

Визначимо шлях проходження h_1 акустичних коливань в призмі виходячи з умови, $h_1 < r_{\text{бл}}$, де $r_{\text{бл}}$ це ближня зона акустичного тракту, яка визначається за формулою (2.9) :

$$r_{\text{бл}} = \frac{a_{\text{пеп}}^2}{\lambda_{\text{орг}}} = \frac{4^2}{0.68} = 23.5 (\text{мм}) \quad (2.9)$$

Приймаємо $h_1 = 10$ (мм).

Знайдемо еквівалентну відстань від перетворювача до межі поділу двох середовищ за формулою (2.10)

$$h_1' = h_1 n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = h_1 \frac{c_{I1} \cos \alpha}{c_{I2} \cos \beta} = 10 \frac{2700 \cos 60^\circ}{3200 \cos 46.379^\circ} = 6.058 (\text{мм}) \quad (2.10)$$

Наступним етапом розрахунків являється знаходження коефіцієнтів проходження акустичних хвиль по інтенсивності, на межі поділу двох середовищ (2.11):

$$T_I = \frac{4 \cdot z_2 \cdot z_1}{(z_1 + z_2)^2} \quad (2.11)$$

Коефіцієнти проходження на межі між п'єзо перетворювачем та призмою T_{II} :

$$T_{II} = \frac{4 \cdot 3200 \cdot 7500 \cdot 2700 \cdot 1200}{(3200 \cdot 7500 + 2700 \cdot 1200)^2} = 0.4$$

Коефіцієнти проходження на межі поділу оргскло – сталь визначаються за допомогою графіка залежності коефіцієнту проходження поперечної хвилі між цими середовищами :

$$T_{I2} = 0.15$$

Надалі визначається коефіцієнт згасання δ_p акустичних хвиль в матеріалах об'єкту контролю та призми, з існуючих таблиць.

Залежність коефіцієнта згасання в матеріалі призми для частоти (5МГц) лінійна, тому маючи коефіцієнт згасання на частоті (2.5МГц), можемо визначити його для робочої. На частоті випромінювання акустичних коливань (2.5МГц) коефіцієнт згасання в оргсклі $\delta_{p \text{ орг}} = 30(\text{Нп/м})$.

Знайдемо коефіцієнт згасання в оргсклі на частоті 5(МГц) :

$$\delta_{p \text{ орг}} = \frac{5 \cdot 30}{2.5} = 60 \left(\frac{\text{Нп}}{\text{м}} \right)$$

За таблицями коефіцієнт згасання для сталі на частоті випромінювання акустичних хвиль рівній 2.5МГц дорівнює $\delta_{p \text{ ст}} = 5\text{Нп/м}$, слід зазначити що залежність коефіцієнта згасання для сталі умовно лінійна тільки для частот від 7 до 8 МГц тоді:

$$\delta_{p \text{ ст}} = \frac{5 \cdot 5}{2.5} = 10(\text{Нп/м})$$

Коефіцієнт згасання для повітря рівний $\delta_{p \text{ пов}} = 1$. Знайдемо коефіцієнт акустичного тракту :

$$K_{AT} = \frac{0.125 \cdot 50.26 \frac{\cos 60^\circ}{\cos 46^\circ}}{0.8^2 (46 + 6.058)^2} \cdot 0.4 \cdot 0.15 \cdot 1 \cdot e^{-2(10 \cdot 60 \cdot 0.001 + 46 \cdot 10 \cdot 0.001)} = 15.6 \cdot 10^{-6};$$

Наступним етапом розрахунків являється розрахунок електроакустичного тракту. Електро акустичний тракт – це частина принципової схеми, до якої входить електромеханічне перетворення сигналу.

Розрахуємо прийняту напругу луна-імпульсного сигналу (2.12) :

$$U_{\Pi} = U_{\text{В}} K_{\text{АТ}} K_{\text{ПП}} U_{\text{Ш}} \quad (2.12)$$

$U_{\text{В}}$ – напруга яка випромінюється з перетворювача;

U_{Π} – напруга яка приймається перетворювачем;

$K_{\text{ПП}}$ – це коефіцієнт подвійного перетворення який приймається рівним 0.15

Визначимо співставлення напруг шуму та прийнятої напруги сигналу рівним:

$$\frac{U_{\Pi}}{U_{\text{Ш}}} = 20(\text{дБ})$$

Приймемо напругу шумів рівну $U_{\text{Ш}}=100(\text{мкВ})$

Визначимо прийняту напругу, підставивши всі складові :

$$U_{\Pi} = U_{\text{Ш}} \cdot 20\text{дБ} = 100 \cdot 10^{-6} = 1000(\text{мкВ}) = 1(\text{млВ})$$

Використовуючи розраховані вище складові формули (2.12), розрахуємо напругу випромінювання перетворювача :

$$U_{\text{В}} = \frac{U_{\Pi}}{K_{\text{АТ}} K_{\text{ПП}} U_{\text{Ш}}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{15.6 \cdot 10^{-5} \cdot 0.15} = 42,7(\text{В})$$

Приймаємо напругу випромінювання рівною 50(В).

2.3. Вибір та розрахунок елементів електричної принципової схеми системи

2.3.1. Розрахунок генератора зондуючих імпульсів

Генератор зондуючих імпульсів (рис.5) використовується для високочастотного збудження п'єзоелементу, який за рахунок електро-механічного п'єзоефекту передає ультразвукові коливання в об'єкт контролю.

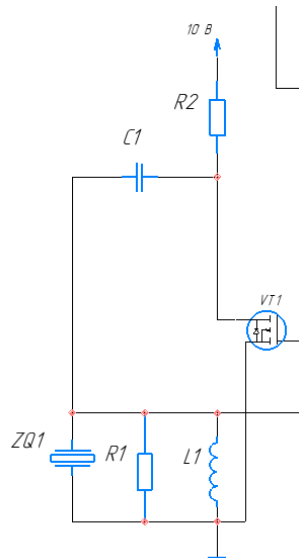


Рис.2.5 – Генератор зондуючих імпульсів

Використано схему генератора зондуєчи імпульсів з n-канальним DMOS-польовим транзистором у якості ключа – BS170. Перевага у використанні такої схеми у тому, що польовий транзистор у режимі ключа відкритий рівно на час наявності на його затворі додатної напруги певної величини (для BS170 від 3 В), але для керування таким транзистором потрібен драйвер. Використаємо драйвер MAX628 (рис.2.6.).

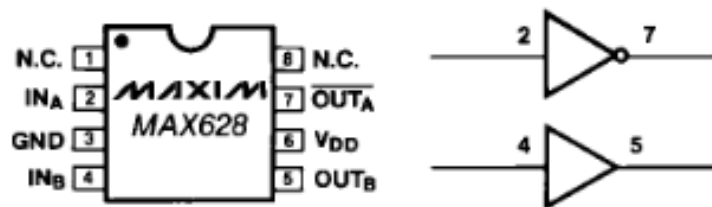


Рис.2.6. – Драйвер для керування DMOS транзистором

Використаємо такі ємності в контурі мікросхеми (рис.2.7.):

$$C_3 = 4.7 \text{ (мкФ)}$$

$$C_4 = 0.1 \text{ (мкФ)}$$

$$C_2 = 10^3 \text{ (пФ)}$$

Генератор зондуєчи імпульсів працює за наступною послідовністю : мікроконтролер подає управляючий сигнал на схему драйвера, який в свою чергу подає імпульс на керуючий електрод транзистору, він в свою чергу відкривається, а

накопичена напруга конденсатору С1 вивільняється, збуджуючи цим п'єзоелемент, який передає акустичні коливання в об'єкт контролю.

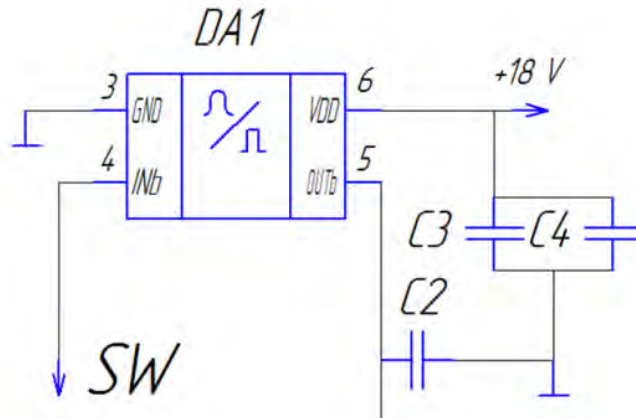


Рис.2.7 – Драйвер на принциповій схемі

Першим етапом розрахуємо значення напруги, яка подається на ГЗІ (2.13):

$$U_B \cong 0.4 \cdot E \quad (2.13)$$

$$E = \frac{U_B}{0.4} = \frac{10}{0.4} = 25 \text{ (В)}$$

Для проведення процесу контролю по всій глибині об'єкту контролю, потрібно розрахувати період заряду конденсатора С1 за формулою (2.14) :

$$\tau_{\text{заряд}} \leq 2 \cdot \frac{h_{\text{ок}}}{C_{\text{ок}}} = 2 \cdot \frac{40 \cdot 10^{-3}}{3200} = 2.996 \cdot 10^{-6} \text{ (с)} = 2.996 \text{ (мкс)} \quad (2.14)$$

Приймаємо: $\tau_{\text{заряд}} = 3 \text{ (мкс)}$.

Наступним етапом розраховуємо опір резистора R2 (обираємо $C_1 = 2 \text{ (нФ)}$) :

$$R_2 = \frac{\tau_{\text{заряд}}}{3 \cdot C_1} = \frac{3 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = 0.5 \cdot 10^3 \text{ (Ом)} = 0.5 \text{ (кОм)} \quad (2.15)$$

Розрахуємо ємність п'єзоелектричного перетворювача (2.16) :

$$C_{\text{ПЕП}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{\text{цтс}} \cdot \frac{S}{h} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1700 \cdot \frac{50.26 \cdot 10^{-6}}{0.33 \cdot 10^{-3}} = 0.22 \text{ (нФ)} \quad (2.16)$$

де $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф/м)}$ – електрична стала; $\varepsilon_{\text{цтс}}$ – відносна діелектрична стала (для ЦТС-19 $\varepsilon_{\text{цтс}} = 1700$); S – площа дископодібного перетворювача; h – товщина п'єзопластини.

Знайдемо загальну ємність (2.17) :

$$C_{\text{зар}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{пеп}}}{C_1 + C_{\text{пеп}}} = \frac{2 \cdot 0.22}{2 + 0.22} = 0.198 \text{ (нФ)} \quad (2.17)$$

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)							
Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS							
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{\text{GS}} = 0 \text{ V}, I_{\text{D}} = 100 \mu\text{A}$	All	60			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{\text{DS}} = 25 \text{ V}, V_{\text{GS}} = 0 \text{ V}$	All			0.5	μA
I_{GSSF}	Gate - Body Leakage, Forward	$V_{\text{GS}} = 15 \text{ V}, V_{\text{DS}} = 0 \text{ V}$	All			10	nA
ON CHARACTERISTICS (Note 1)							
$V_{\text{GS(th)}}$	Gate Threshold Voltage	$V_{\text{DS}} = V_{\text{GS}}, I_{\text{D}} = 1 \text{ mA}$	All	0.8	2.1	3	V
$R_{\text{DS(on)}}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{\text{GS}} = 10 \text{ V}, I_{\text{D}} = 200 \text{ mA}$	All		1.2	5	Ω
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{\text{GS}} = 10 \text{ V}, I_{\text{D}} = 200 \text{ mA}$	BS170		320		mS
		$V_{\text{GS}} \geq 2 V_{\text{GS(th)}}, I_{\text{D}} = 200 \text{ mA}$	MMBF170		320		

Рис.2.8. – Даташит транзистора

Виходячи з дата шиту транзистора (рис.2.8), знайдемо, що його опір рівний 5 (Ом) , розрахуємо час розряду (2.18):

$$\tau_{\text{розряд}} = C_{\text{зар}} \cdot R_{VT1} = 0.198 \cdot 10^{-9} \cdot 5 = 0.99 \cdot 10^{-9}(\text{с}) = 0.9 \text{ (нс)} \quad (2.18)$$

Знайдемо індуктивність котушки L_1 з формули робочої частоти перетворювача (2.19) :

Робоча частота п'єзодатчика складає 5 МГц і відповідно дорівнює:

$$f_p \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_{\text{ПЕП}}}} \quad (2.19)$$

$$L_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_p^2 \cdot C_{\text{ПЕП}}} = \frac{1}{4 \cdot 9.8596 \cdot 5 \cdot 10^{12} \cdot 0.22 \cdot 10^{-9}} = 23.09 \text{ (мкГн)}$$

Виходячи з проведених розрахунків, як останній етап, потрібно провести розрахунок тривалості імпульсу збудження (2.20):

$$\tau_{\text{зі}} = \frac{1}{2 \cdot f_p} = \frac{1}{2 \cdot 5 \cdot 10^6} = 0.1 \cdot 10^{-6}(\text{с}) = 100 \text{ (мкс)} \quad (2.20)$$

2.3.2. Розрахунок діодної схеми захисту

На (рис.2.9) зображено діодну систему захисту, до якої входять два однакові діоди 1N4149. Параметри обраних діодів : струм - $I \geq 150$ (мА), $I_{max} \leq 450$ (мА), напруга – 100 (В) швидкість переключення ≤ 4 (нс).

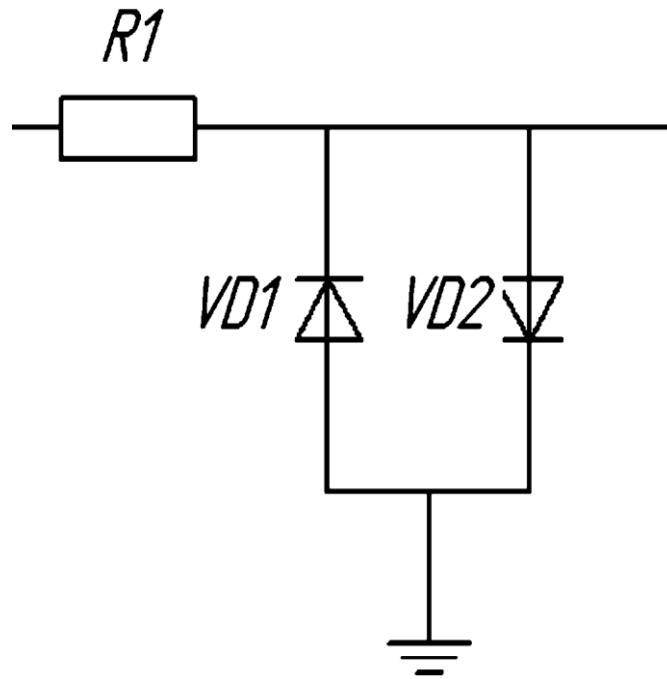


Рис.2.9 – Діодний обмежувач

Вхідний струм даної схеми захисту, розраховується з формули (2.21):

$$R_1 = \frac{U_{\text{вип.мах}}}{I_{\text{мах}}} \quad (2.21)$$

де $I_{\text{мах}}$ – максимальний струм який пропускають обрані діоди;

Максимальна напруга випромінювання $U_{\text{вип.мах}}$ розраховується за формулою (2.22)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 \cdot h \cdot E \quad (2.22)$$

де h – товщина п'єзоперетворювача, E – для ЦТС-19 дорівнює 3000 (В/мм)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 \cdot 0,33 \cdot 3000 = 297 \text{ (В)}$$

Розрахуємо опір на вході схеми захисту R_1 :

$$R_1 = \frac{297}{0.45} = 660 \text{ (Ом)}$$

2.3.3. Розрахунок підсилювача

Так як прийнятий сигнал знаходиться у дуже малих межах, потрібно здійснити його підсилення. В даній схемі використано в якості підсилювача мікросхему операційного підсилювача AD797 (рис.2.10.). Для подальшого опрацювання сигналу, його напруга не повинна перевищувати 5 (В). Коефіцієнт підсилення обирається з довільних міркувань, наприклад $K = 30$. Першим етапом розрахунків являється розрахунок підсиленої напруги прийнятого сигналу, за допомогою використаного операційного підсилювача за формулою (2.23).

$$U_{\text{підс}} = K \cdot U \quad (2.23)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

U – напруга прийнятого сигналу з об'єкту контролю.

$$U_{\text{підс}} = 30 \cdot 1.73 \cdot 10^{-3} = 51.9 \text{ (мВ)}$$

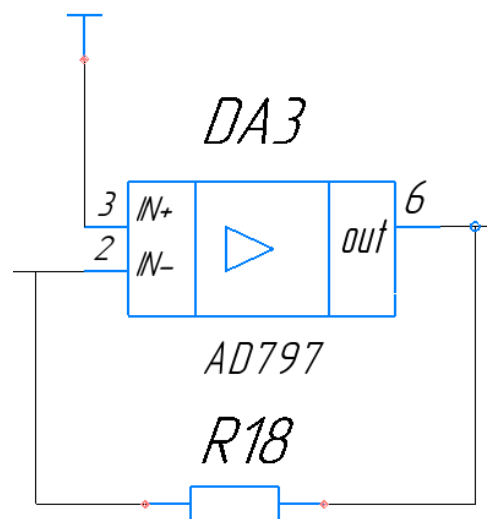


Рис.2.10. – Підсилювач на базі ОП AD797

При використанні схеми з одним каскадом, як зображено на (рис.2.10), розрахуємо коефіцієнт підсилення, який залежить від резисторів R_4 і R_5 за формулою (2.24).

$$K_U = \frac{R_5}{R_4} \quad (2.24)$$

Підберемо опір даних резисторів, для забезпечення коефіцієнту підсилення рівному 30. $R_5 = 30$ (кОм), $R_4 = 1$ (кОм).

2.3.4. Схема часового регулювання чутливості

Компанія AnalogDevices розробила мікросхему ЧРЧ, яка відповідає встановленим вимогам, для використання в проектуванні автоматизованих систем контролю зварних з'єднань. Ця схема має децибельний діапазон від 0 до 54 дБ (рис. 2.11, рис.2.12).

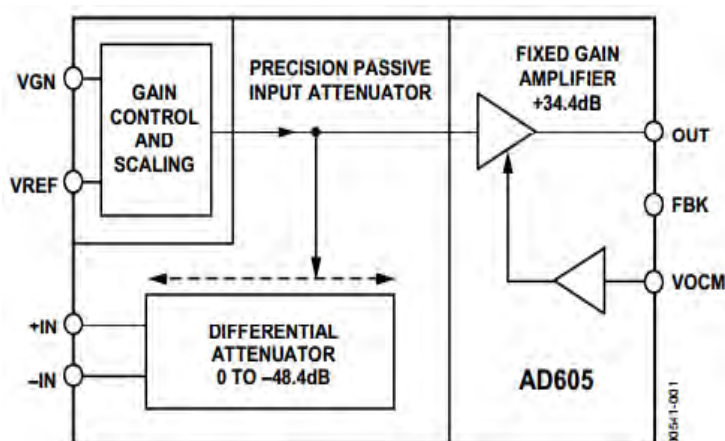


Рис.2.11. – Функціональна діаграма схеми ЧРЧ

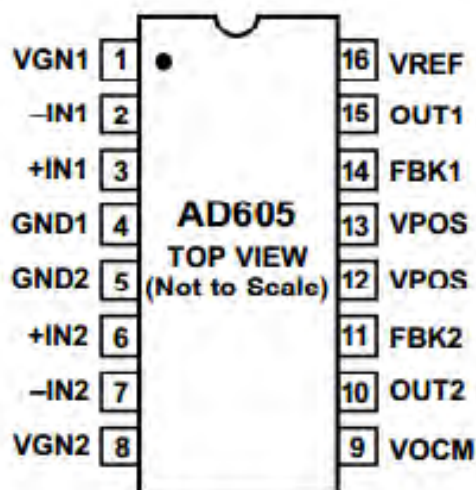


Рис.2.12. – Конфігурація виводів

Виробник : NVE Corp / Sensor Products; напруга живлення : 4.5 V ~ 30 V;
струм вихідний : 4.5mA; струм - вихідний : (макс.) 20mA; тип виходу : Digital, Open
Collector; робоча температура : -40 ° C ~ 125 ° C; корпус : 8-MSOP, Micro8, 8-uMAX,
8-uSOP,

2.3.5. Вибір та розрахунок АЦП

Вибір аналогово-цифрового перетворювача складається з використання трьох умов : частота дискретизації повинна бути більшою як мінімум у два рази за частоту вхідного сигналу, розрядність комірок АЦП повинна бути обрана в залежності від заданої точності вимірювань, вхідний сигнал повинен мати динамічний діапазон. Обремо частоту дискретизації $f_d = 40$ (МГц).

Наступним етапом являється розрахунок розрядності аналого-цифрового перетворювача (2.26), прийнята напруга якого $U_{\text{прийн}} = 1.7$ (В), та похибка АЦП повинна бути не більшою ніж 2%. Розрахуємо крок квантування за формулою (2.25).

$$Q = U_{\text{прийн}} \cdot \delta_{\text{пр.мах}} = 1.7 \cdot 0.02 = 0.034 \text{ В} \quad (2.25)$$

$$q_{\text{ацп}} = \left[\log_2 \left(\frac{U_{\text{ацп}}}{Q} \right) \right] + 1 = \left[\log_2 \left(\frac{3,6}{0.034} \right) \right] + 1 = 8.78 \approx 10 \quad (2.26)$$

Обираємо 16-ти розрядне АЦП AD977 (рис.2.13.). Відмінною особливістю являється двополярне живлення +3,5,10 В. Також в даній мікросхеми такі характеристики : швидкий 16-бітний АЦП; Однополярний 5 (В) режим роботи; розсіювання потужності 100 мВт максимально; режим відключення живлення 50 Вт; діапазон введення: уніполярний; 0 (В) – 10 (В), 0 (В) – 5 (В) і 0 (В) – 4 (В), біполярний; 10 (В), 5 (В) і 3,3 (В); вибір зовнішнього або внутрішнього опорного живлення 2,5 (В); високошвидкісний послідовний інтерфейс.

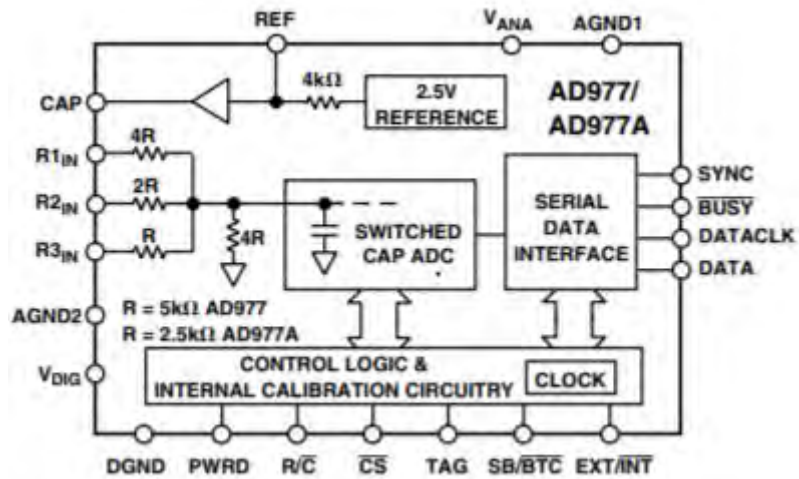


Рис.2.13. – Блок діаграма АЦП AD977

2.3.6. Вибір та розрахунок ОЗП

В схемі приладу використано пам'ять з архітектурою FIFO. Головними перевагами такого типу збереження даних є наявність окремого порту для читання та запису даних, а також виконання функції передачі даних між різними елементами, які працюють на різних частотах та мають не однакову розрядність шини передачі даних. Першим етапом розрахунків являється розрахунок часу затримки між вимірювальним імпульсом та імпульсом відбитим від дна об'єкту контролю (2.27) :

$$h_{ок} = \frac{C_{ок} \cdot \tau}{2} \quad (2.27)$$

Далі виходячи з формули (2.27) виражаємо час затримки τ :

$$\tau = \frac{2 \cdot h_{ок}}{C_{ок}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{3230} = 2.996 \cdot 10^{-6} (с) = 2.996 (мкс)$$

Наступним етапом розрахунку є знаходження кількості вибірок пам'яті (2.28) :

$$N_{в} = \frac{\tau}{T_{ацп}} = \tau \cdot f_{ацп} = 2.996 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 10^6 = 119,84 \approx 120 \quad (2.28)$$

На кінець розрахуємо об'єм даних які потрібно зберегти для подальшої передачі (2.29):

$$\Delta(б) = 120 \cdot 16 = 1920 \text{ біт} = 240 \approx 256 \text{ байт} \quad (2.29)$$

Обираємо мікросхему пам'яті FIFO CY7C4285V (рис.2.14.)

Основні технічні характеристики мікросхеми:

Напруга живлення 3.3 (В); Об'єм пам'яті 128 Кб; Високошвидкісна, малопотужна, FIFO пам'ять; 0,35-мкм CMOS для оптимальної швидкості та потужності; Висока швидкість роботи: 100 МГц (10 нс час читання/цикл запису).

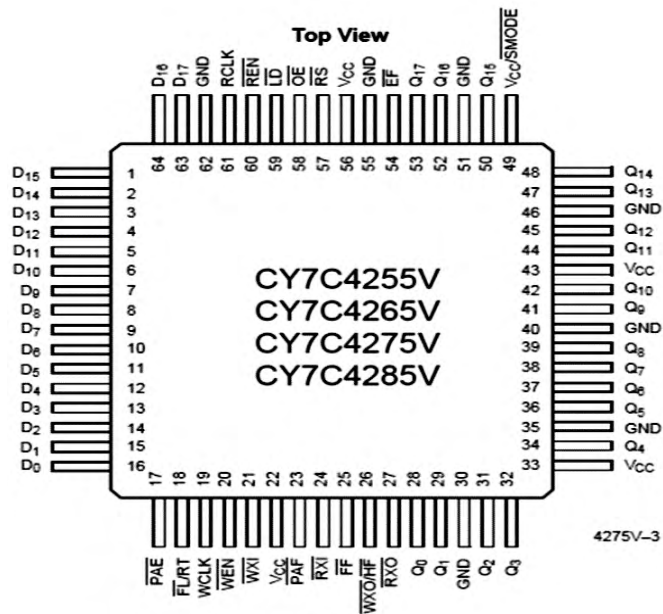


Рис.2.14. – FIFO зовнішній вигляд мікросхеми

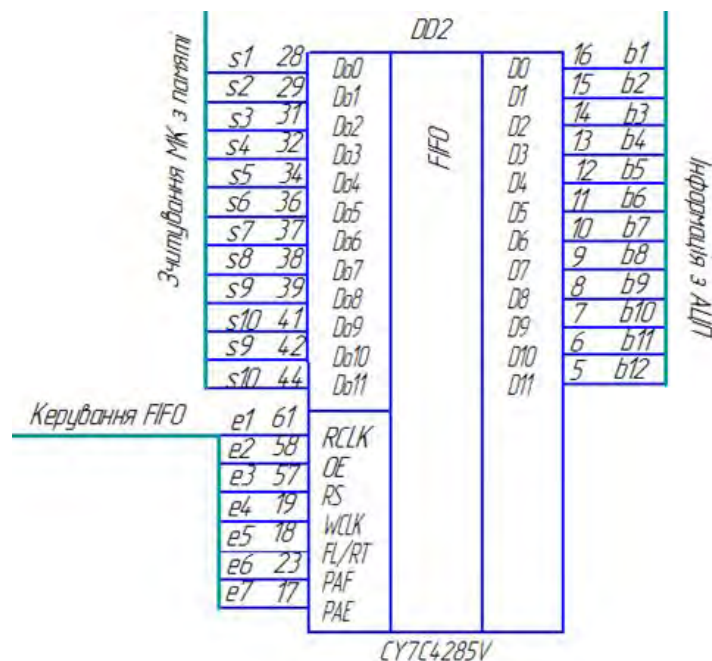


Рис.2.15. – Підключення FIFO в електричній схемі

2.3.7. Цифро-аналоговий перетворювач

Для виконання поставлених задач автоматизованої системи повністю підходить 8-ми розрядний цифро-аналоговий перетворювач HI5660IB (рис.2.16). Основними технічними характеристиками даного перетворювача є : паралельний інтерфейс даних, не висока потужність розсіювання 165 мВт; та використання одного перетворювача.

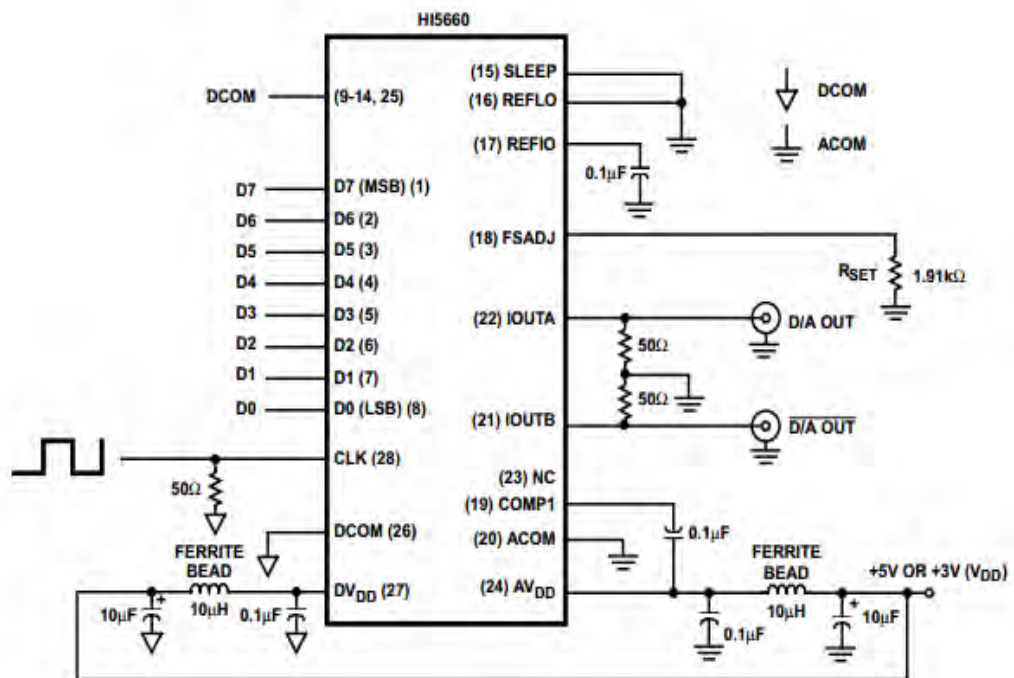


Рис.2.16. – Типова схема підключення мікросхеми

2.3.8. Мультиплексор

Мультиплексор використовується для паралельної подачі різних сигналів які надходять з п'єзоелектричних перетворювачів. Надалі мікроконтролер керує мультиплексором для вибору одного з сигналів і подальшої його обробки. При розробці принципової схеми автоматизованої системи було використано мікросхему мультиплексору TPS 2114a (рис.2.17.). Основними перевагами даного

мультиплектору являються : високий діапазон робочої напруги від 2 до 5 (В); та низький робочий струм.

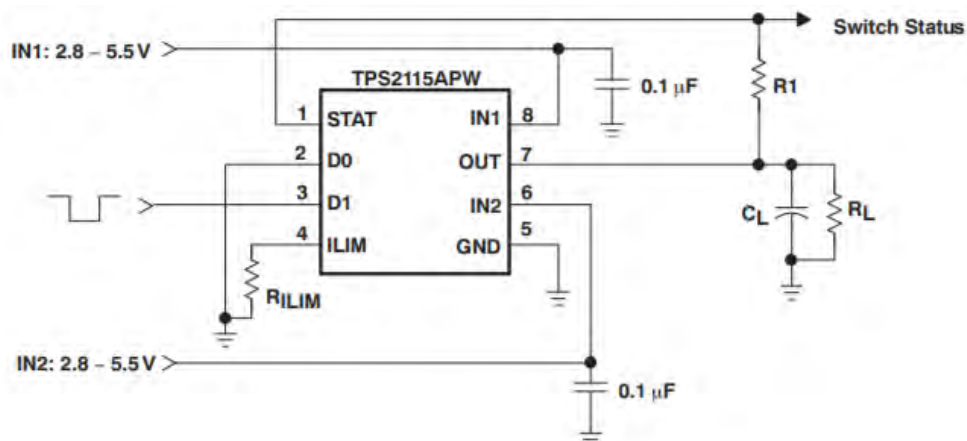


Рис. 2.17. – Схема підключення мультиплектору TPS 2114a

2.3.9. Розрахунок фільтру нижніх частот

Для виконання відфільтровування нижніх частот тобто шумів, які викривляють сигнал від дефекту, в даній принципові схемі приладу використовується фільтр нижніх частот за схемою Баттерворта (тобто багато каскадний) виконаний на базі мікросхеми AD797 (рис.2.18.).[12]

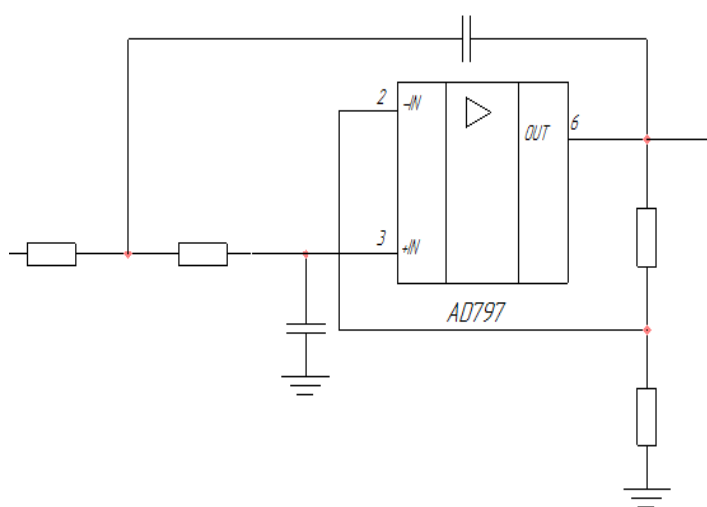


Рис.2.18 – Фільтр нижніх частот на базі мікросхеми AD797

Параметри опорів та ємностей при використанні багато каскадної схеми фільтру нижніх частот знаходиться за формулою (2.30) :

$$RC = \frac{1}{2\pi f_c} \quad (2.30)$$

де f_c - частота прийнятого сигналу.

Виходячи з формули (2.30) знайдемо параметри ємностей (2.31)

$$C = \frac{1}{2\pi f_c R} \quad (2.31)$$

Оберемо опір $R=10$ [кОм], а частоту прийнятого сигналу $f_c = 5$ [МГц] отримаємо:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^3} = 8 \cdot 10^{-6} = 8 \text{ [мкФ]}$$

На кінець розрахуємо R_k при різних стандартизованих коефіцієнтах підсилення 1,07; 1,59; 2,48:

$$R_{k1} = R(K_1 - 1) = 10(1,07 - 1) = 0,7 \text{ [кОм];}$$

$$R_{k2} = R(K_2 - 1) = 10(1,59 - 1) = 5,9 \text{ [кОм];}$$

$$R_{k3} = R(K_3 - 1) = 10(2,48 - 1) = 14,8 \text{ [кОм];}$$

2.3.10. Вибір мікроконтролера.

Мікроконтролер або одно кристальна мікро ЕОМ – виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші).

Архітектура ARM – 32-бітна RISC архітектура процесорів, яку розробила компанія ARM Limited. Широко застосовується у розробці портативних пристроїв. Головною причиною цього є використання енергозберігаючих технологій. Саме тому ця архітектура домінує у пристроях, головною ідеєю яких є енергозбереження.

Використаємо мікроконтролер Atmel SMART SAM4LC на базі ядра Cortex M3 (рис. 2.19) що має наступні характеристики: частота до 48 МГц; технологія «Ультра-

низьке споживання електроенергії»; висока продуктивність та ефективність; вбудовані напруги лінійних та імпульсних стабілізаторів; USB вихід; корпус TQFP (100 виводів); пряий доступ до пам'яті і система обробки подій; до 512 КБ вбудованої флеш-пам'яті і до 48 Кб SRAM.

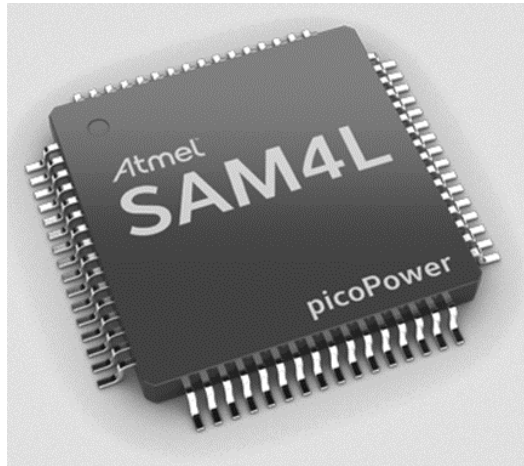


Рис.2.19. – Зовнішній вигляд мікроконтролера SAM4LC

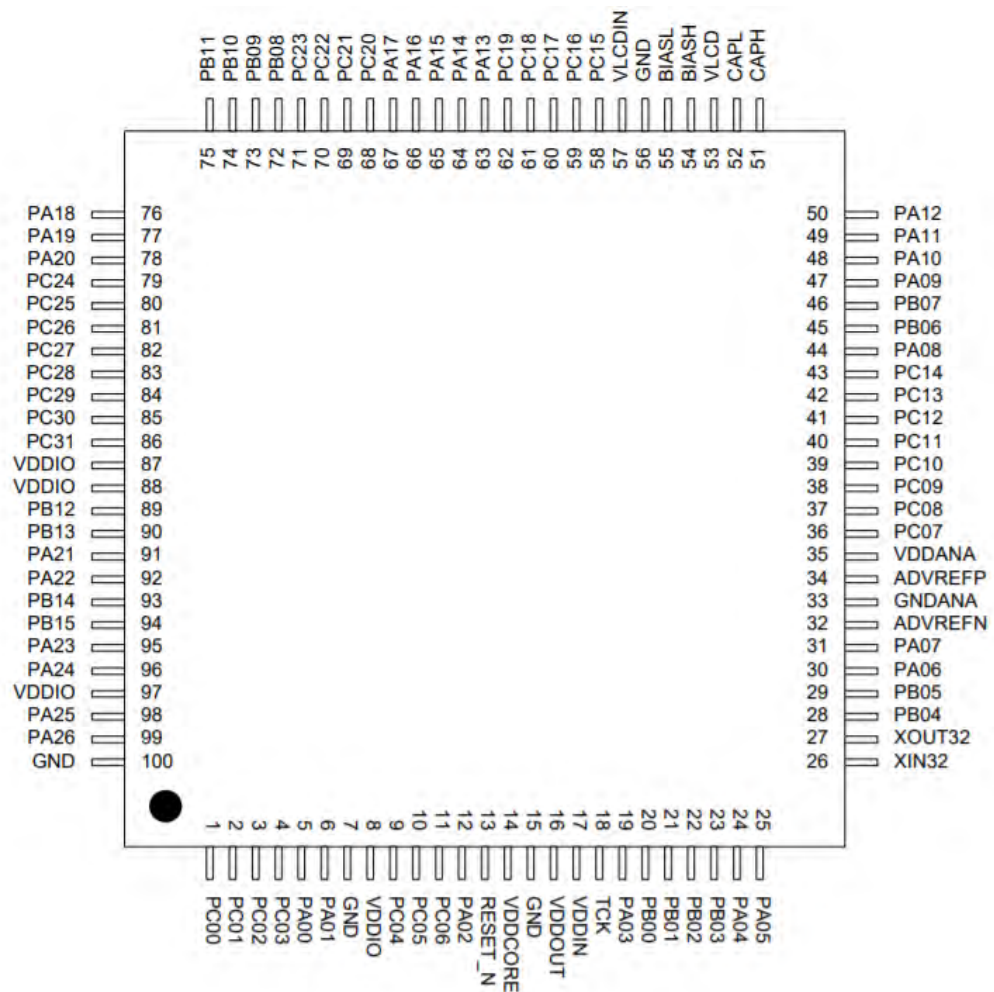


Рис.2.20– Розпінування мікроконтролера SAM4LC

2.3.11. Вибір радіо модулю Wi-fi

В якості Wi-fi радіо модулю, для передачі даних на портативний комп'ютер, для подальшої їх обробки, використовується мікросхема CYWM 6935. Розпінування даної мікросхеми зображені на (рис.2.21).

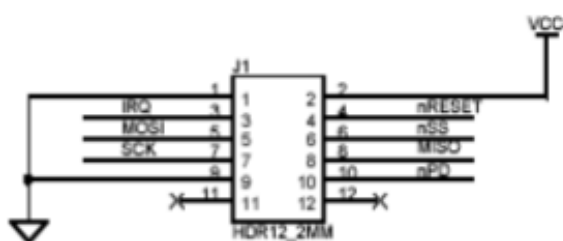


Рис. 2.21. – Розпінування мікросхеми CYWM 6935

Радіомодуль CYWM6935 виконаний в зручному корпусі для інтеграції в існуючі або нові продукти, він має промислові сертифікати FCC / ETSI (EU) Модуль поставляється з подвійними інтегрованими мікросхемами PCB. CYWM6935 доступний у невеликій конструкції РСВА і може бути встановлений до друкованої плати через 12-контактний роз'єм. Даний радіо модуль працює на частоті 2.4 ГГц, та має влаштовані дві антени, робоча дальність складає 50 і більше метрів.

2.4. Аналіз вірогідності контролю

Виникнення приладових похибок зумовлене властивостями використовуваних вимірювальних приладів. Похибка кожного конкретного приладу є систематичною, але її значення звичайно невідомо, а значить, її неможливо виключити введенням в

результат вимірювання відповідної поправки. У паспорті приладу прийнято вказувати межі допустимої похибки, що означає максимально можливу похибку при рекомендованих умовах роботи приладу.

2.4.1. Похибка формування вимірювального інтервалу часу

На відміну від імпульсних дефектоскопів, в яких всі вимірювальні операції здійснюються над відеоімпульсами, в УЗ товщинометрії у вимірювальних операціях, як правило, використовується радіоімпульс. Тому, залежно від амплітуди сигналу і положення порогового рівня відлік часового інтервалу може дискретно зміститися на цілий період несучої частоти.

Сумарна абсолютна похибка формування вимірювального інтервалу складає: $\Delta\tau_1 = \pm|x_1 - x_2| \cdot T$ і за певних умов може бути доведена до нуля.

$$\Delta\tau_1 \leq \pm x \cdot T \quad (2.31)$$

де x – визначено за більшим із значень x_1 або x_2

При вживанні певних заходів до обробки сигналу можна зменшити x до значення 0.005. Тоді мінімальна похибка формування інтервалу складе:

$$\Delta\tau_1 \leq \pm 0.005 \cdot T = \pm \frac{0.005}{f} = 1 \cdot 10^{-9}(\text{с}) \quad (2.32)$$

$$\Delta_1 = \frac{\Delta\tau_1}{\tau_{\text{вим.}}} \cdot 100\% = \frac{1 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\% = 0.008\% \quad (2.33)$$

2.4.2. Похибка за рахунок проходження через контактну рідину

Якщо час проходження ультразвукового сигналу через шар рідини входить у вимірювальний інтервал, сам вимірювальний інтервал збільшиться на величину:

$$\Delta\tau_2 = 2 \cdot \frac{h_p}{C_p} = 2 \cdot \frac{0.1 \cdot 10^{-3}}{1500} = 0.13 \cdot 10^{-6}(\text{с}) \quad (2.34)$$

де C_p – швидкість звуку в контактній рідині (вода); h_p – товщина шару контактної рідини

Відносна похибка за рахунок проходження через контактну рідину :

$$\Delta_2 = \frac{\Delta\tau_2}{\tau_{\text{вим.}}} \cdot 100\% = \frac{0.13 \cdot 10^{-6}}{12 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\% = 0.01\% \quad (2.35)$$

2.4.3. Похибка квантування АЦП

В АЦП сигнал є дискретизованим рівно. Тобто N – розрядне слово представляється одним з 2^N можливих сигналів, тому N – розрядний АЦП може видати лише 2^N різних значень двійкового коду. Таким чином роздільна здатність АЦП розраховується за формулою (2.36) :

$$\Delta = \frac{3}{2^N} \cdot 100\% \quad (2.36)$$

Де N – розрядність вибраного АЦП

$$\Delta = \frac{3}{2^{10}} \cdot 100\% = 0,29\%$$

$$\Delta_{\text{квантування}} = \frac{\Delta}{2} = 0,146\%$$

2.4.4. Похибка підсилювачів

Розрахуємо відносну похибку підсилювачів :

$$\delta_M = \frac{\delta_k}{1 + K \cdot \frac{R1}{R1 + R2}} \quad (2.37)$$

δ_k – мультиплікативна похибка яка залежить від величини, що вимірюється (0,1%).

$$\delta_M = \frac{0.1}{1 + 30 \cdot \frac{30}{30 + 1}} = 0,0033\%$$

Загальна похибка

Розрахуємо сумарну відносну похибку:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_{\text{квантування}} + \delta_M = 0.1673\% \quad (2.38)$$

Отже, в роботі дотримується висока точність вимірювання.

2.5. Методика проведення контролю

Підготовка автоматизованої системи до проведення контролю :

- перевірити механізми подачі та фільтрації контактної рідини;
- перевірити працездатність всіх механізмів автоматизованого розташування блоків первинних перетворювачів;
- перевірити роботу всіх п'єзоперетворювачів.

При проведенні автоматизованого контролю елементів мостових конструкцій необхідно дотримуватися такої послідовності дій:

- встановити об'єкт контролю на початок лінії конвеєру;
- при необхідності провести огляд чистоти зварних з'єднань, зробити очистку;
- провести процедуру запуску автоматизованої системи, та слідкувати за правильністю її роботи при кожній зміні об'єкту контролю;
- занести початкову інформацію про положення об'єкту контролю, та його матеріал;
- встановити датчики на об'єкт контролю, та увімкнути автоматичну подачу контактної рідини;
- за допомогою портативного комп'ютера підключитись до блоку передачі даних, відкрити відповідне програмне забезпечення;
- почати проведення сканування зварних з'єднань елементів мостових конструкцій;
- слідкувати за рівномірністю просування об'єкту контролю;
- паралельно здійснювати періодичний візуальний контроль за надходженням контактної рідини до блоків первинних перетворювачів;
- при необхідності провести контроль ділянок за допомогою ручного дефектоскопу;
- після закінчення проведення контролю, зберегти данні, вимкнути портативний комп'ютер, та з оберненою послідовністю автоматизовану систему.

У разі екстреного відключення автоматизованої системи:

- зупинити рух об'єкту контролю;
- зупинити подачу контактної рідини;
- відвести блоки первинних перетворювачів від об'єкту контролю;

Висновки до розділу 2

В даному розділі було проведено розробку структурної та функціональної схем автоматизованої системи спираючись на існуючу узагальнену функціональну схему. Наступним етапом було проведено розрахунки акустичного тракту та геометрії похилих давачів, було визначено коефіцієнт акустичного та електроакустичного трактів. Також в даному розділі було проведено підбір та розрахунок елементів принципової схеми розроблюваної автоматизованої системи таких як генератор зондуючи імпульсів (обрано період імпульсу збудження), фільтр нижніх частот (розраховано полоси пропускання фільтру), цифро-аналоговий перетворювач (розраховано оптимальну розрядність АЦП), па'ять (розраховано кількість пам'яті, потрібної для збереження інформації), мікроконтролер, підсилювач (розраховано коефіцієнт підсилення). Заключним етапом даного розділу було проведено розрахунки вірогідності контролю, а також наведено методику проведення контролю.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка та моделювання блоку первинних перетворювачів

Блок первинних перетворювачів в розроблюваній автоматизованій системі складається з перетворювачів акустичних коливань, та корпусу в якому вони знаходяться. Так як первинні перетворювачі в розробленій системі однакові, розпочнемо з моделювання саме цих елементів блоку перетворювачів. Моделювання проводиться в САПР «Solid Works» .

На (рис.3.1.) зображено змодельований в тривимірному просторі первинний перетворювач. Він складається з призми (1) та п'єзопластини в корпусі з електронним роз'ємом (2). Як можна побачити, призма виготовлена з оргскла, та має характерну геометрію верхньої стінки. Дана зубоподібна геометрія верхньої стінки використовується в призмі як акустична пастка для відбитих повздовжніх акустичних хвиль, які за умовами першого критичного кута заломлюються та відбиваються в матеріалі призми, та теоретично можуть бути прийняті п'єзоперетворювачем.

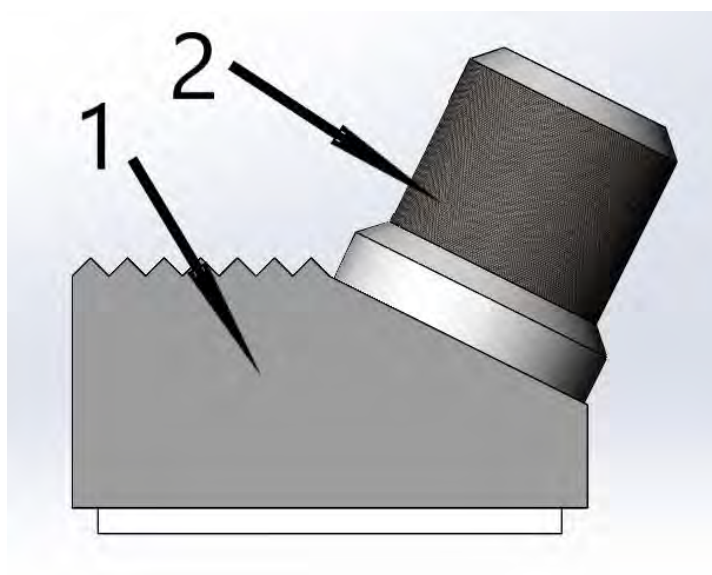


Рис.3.1. – Зовнішній вигляд первинного перетворювача, вид збоку :

1) призма; 2) п'єзопластина в корпусі.

На нижній стінці призми спроектовано технологічне поглиблення в матеріал призми (рис.3.2.), даний прийом використаний для правильного орієнтування та закріплення первинного перетворювача в корпусі.

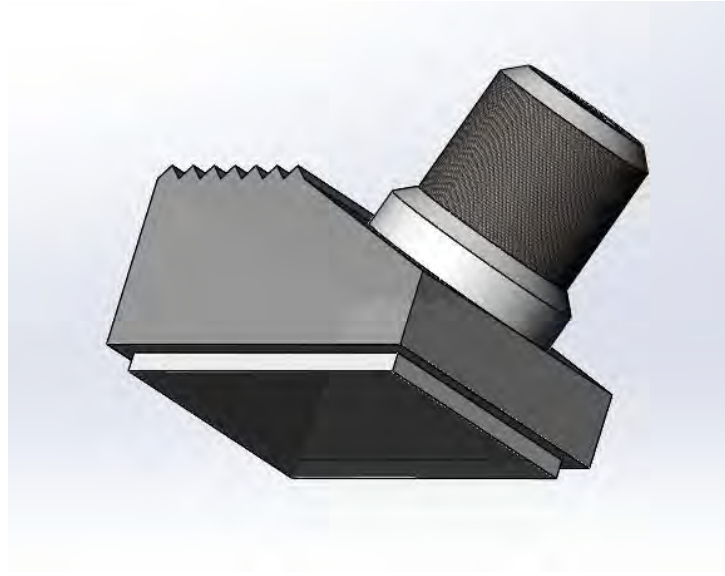


Рис.3.2. – Технологічне поглиблення в матеріалі призми виготовлене для закріплення в корпусі блоку

На (рис.3.3.) зображено вигляд зверху первинного перетворювача, де було змодельовано корпус давача з характерною перфорацією для зручного демонтажу, та стандартним електронним роз'ємом LEMO.

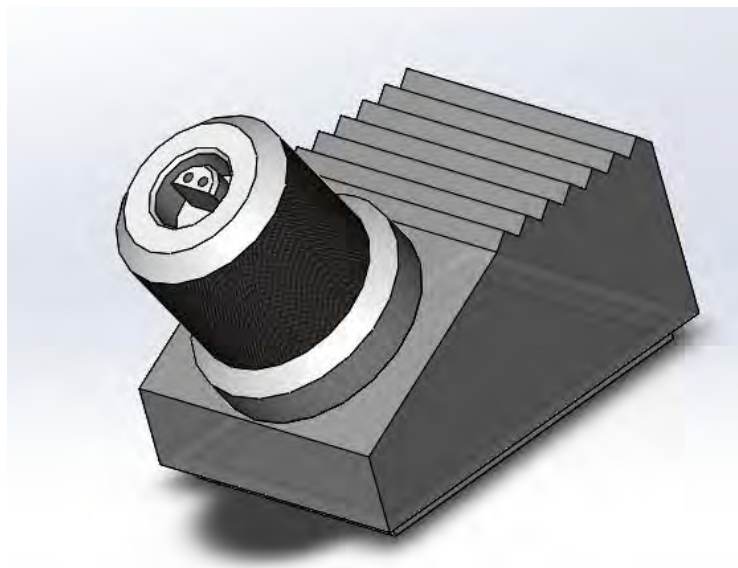


Рис.3.3. – Зовнішній вигляд корпусу давача та призми

Наступним етапом моделювання блоку перетворювачів, являється створення корпусу, в якому розміщуються первинні перетворювачі, зовнішній вигляд корпусу зображено на (рис.3.4.).

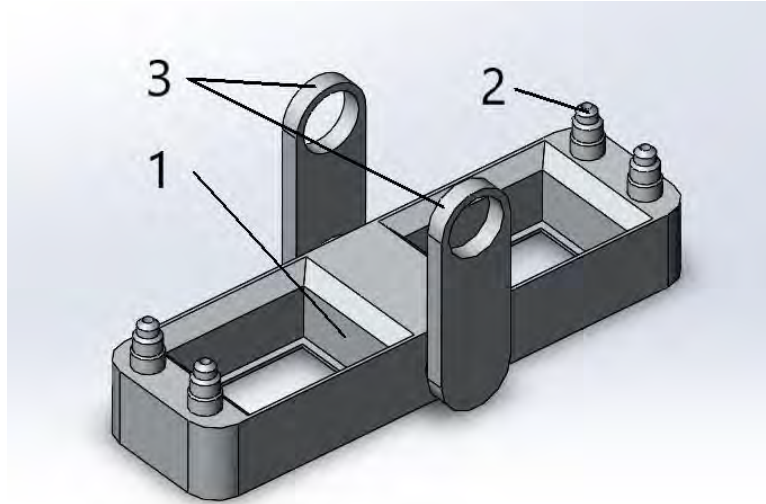


Рис.3.4. – Зовнішній вигляд корпусу блоку первинних перетворювачів
1) отвір для інтеграції перетворювача; 2) канал подачі контактної рідини;
3) кронштейни

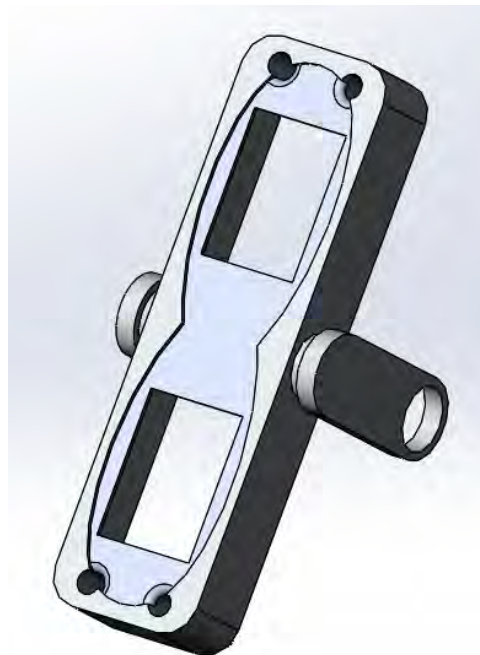


Рис.3.5. – Зовнішній вигляд нижньої частини корпусу

Корпус складається з отворів для встановлення первинних перетворювачів (1), чотирьох каналів подачі контактної рідини (по два для кожного з перетворювачів) на передні та задній сторонах корпусу (2), та кронштейнів (3) для подальшої інтеграції блоку в систему автоматизованого контролю.

Так як контактна рідина повинна подаватись безпосередньо в місце контакту перетворювачів з об'єктом контролю, нижня частина корпусу була виконана з характерним профілем зображеним на (рис.3.5.).

Загальний вигляд блоку первинних перетворювачів зображений на (рис.3.6.), де змодельовано розташування первинних перетворювачів в корпусі.

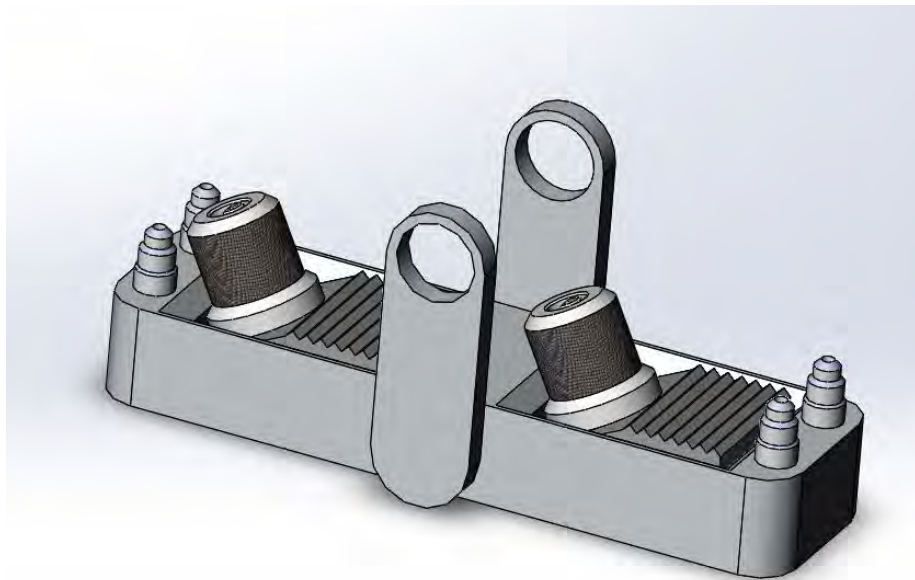


Рис.3.6. – Зовнішній вигляд блоку первинних перетворювачів

3.2 Розробка та моделювання пристрою сканування

Пристрій сканування розробленої автоматизованої системи контролю елементів мостових конструкцій має в своїй структурі багато складових, так як дана система повинна мати можливість інтеграції в виробничий процес створення елементів мостових конструкцій, для контролю таврового зварного з'єднання двох листів металу. До основних елементів можна віднести : конвеєр подачі об'єкту контролю; засоби подачі, збирання відпрацьованої та фільтрації для повторного

застосування контактної рідини; механізм автоматичного встановлення блоку первинних перетворювачів; та пристрою збирання, обробки і в подальшому передачі даних про проведення контролю. На (рис.3.7.) зображено зовнішній вигляд автоматизованої системи.

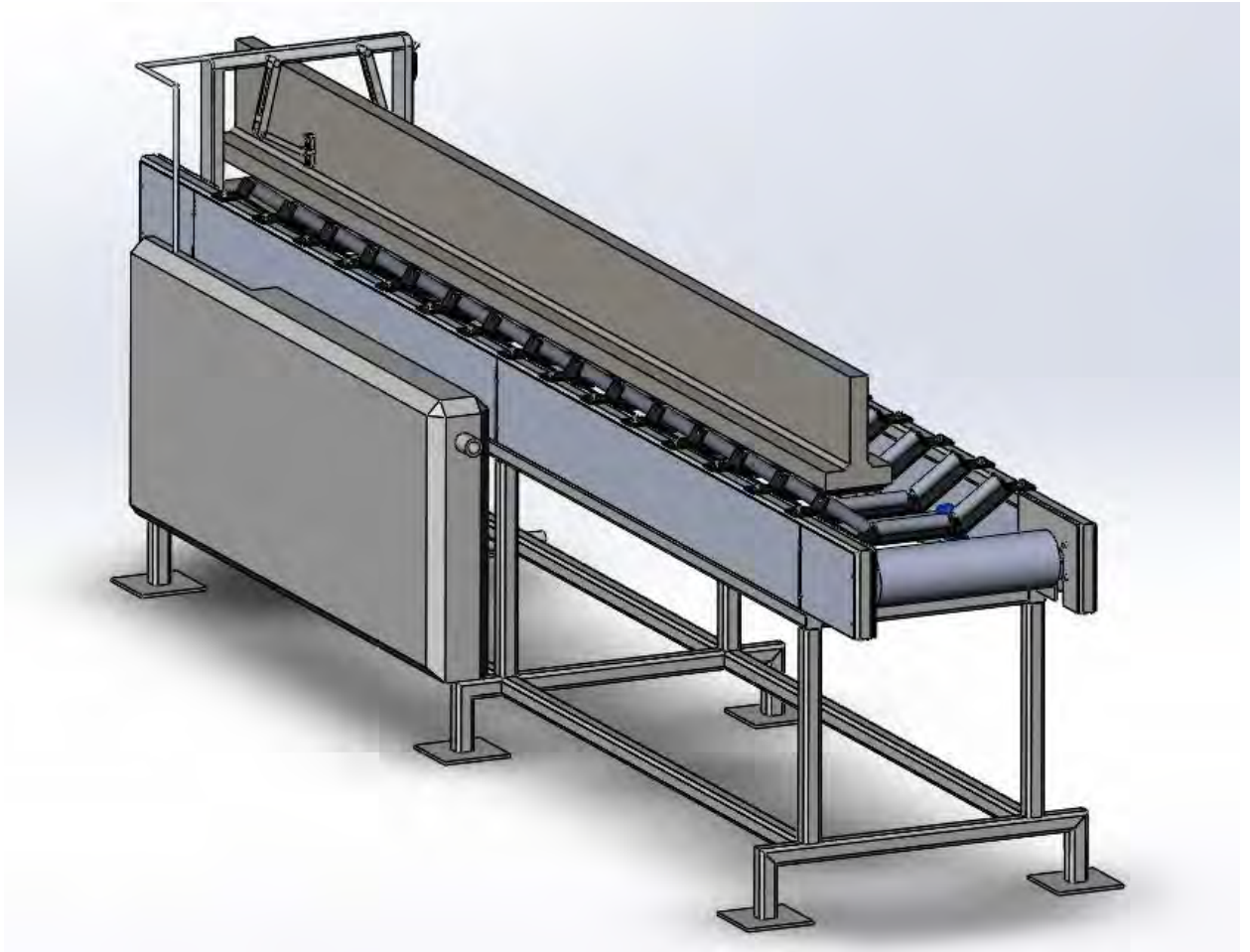


Рис.3.7. – Зовнішній вигляд автоматизованої системи контролю елементів мостових конструкцій

Як було наведено вище, одним з головних елементів автоматизованої системи є конвеєр подачі об'єкту контролю, для безпосереднього проведення ультразвукового контролю ОК (рис.3.8.). Він складається з полотна по якому рухається об'єкт контролю (1), двигуна який керує головним роликком (2) для плавної подачі об'єкту контролю з заданною швидкістю, точок закріплення та механізації пристроїв подачі блоку первинних перетворювачів (3), розміщення пристрою обробки та передачі даних (4).

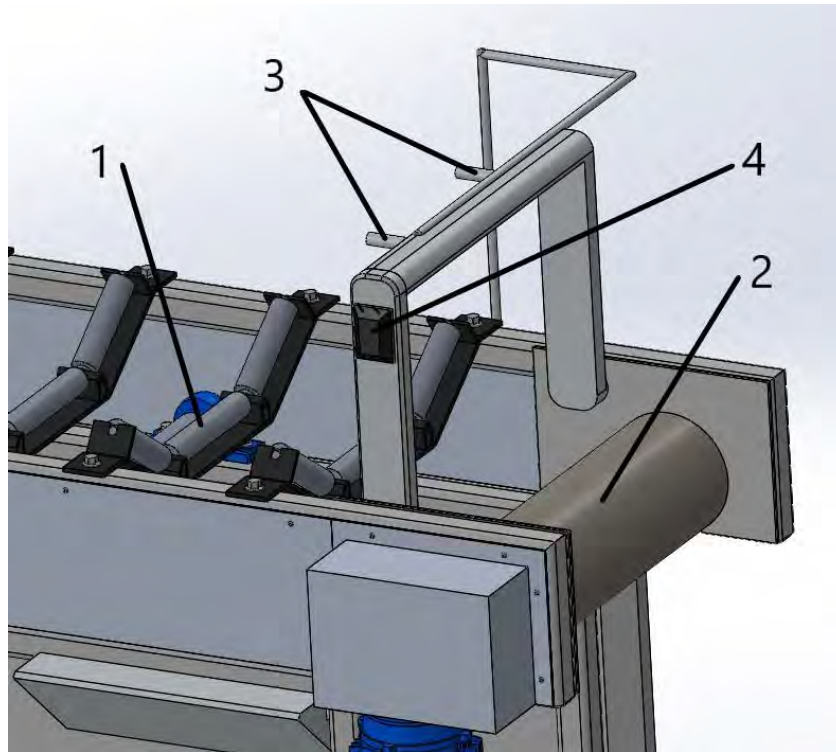


Рис.3.8. – Зовнішній вигляд конвеєру :

1) полотно по якому рухається ОК; 2) рухомий ролик подачі ОК; 3) елементи кріплення пристроїв подачі блоку первинних перетворювачів; 4) блок обробки та передачі даних.

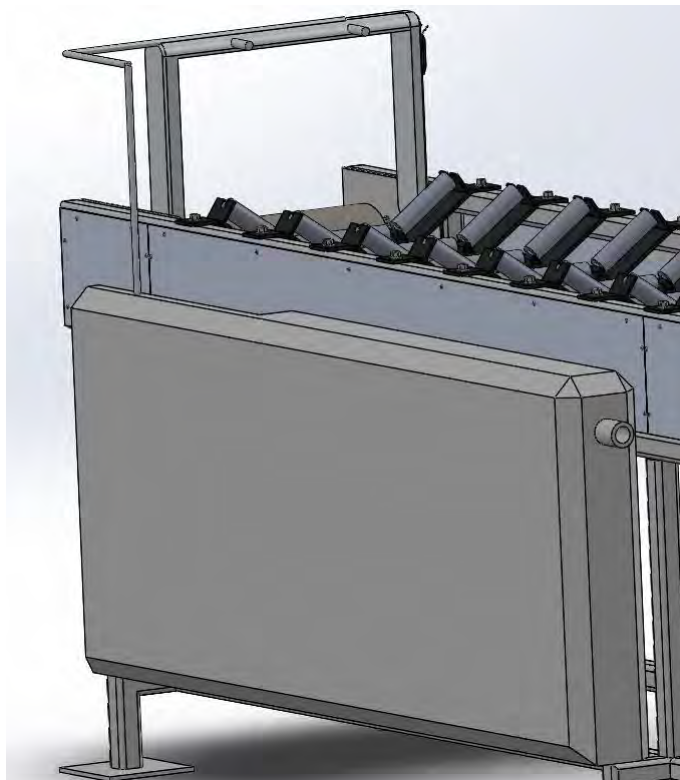


Рис.3.9. – Бак з контактною рідиною

Наступним етапом моделювання було створення механізму подачі контактної рідини до блоку первинних перетворювачів. Найпростішим вирішенням цієї задачі виявилось моделювання баку з контактною рідиною (рис.3.9), закріпленого на конвеєрі, з можливістю подачі в нього води з систем водопостачання, та фільтрації, а також одночасного забору, для забезпечення контакту між ОК та перетворювачами.

Також було промодельовано спрощений вигляд системи збору та фільтрації контактної рідини для її подальшого використання в цілях зменшення затрат (рис.3.10).

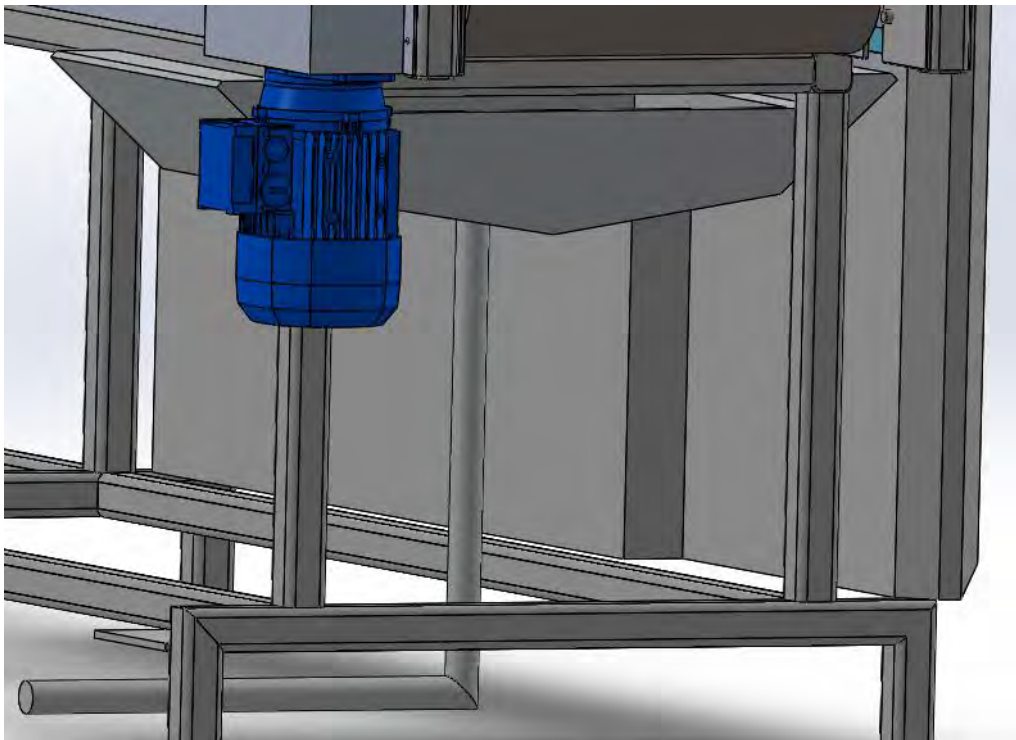


Рис.3.10. – Зовнішній вигляд системи збору контактної рідини для подальшої фільтрації

Наступним етапом було проведено моделювання системи автоматичної орієнтації блоків первинних перетворювачів на об'єкті контролю (рис.3.11.). Автоматичне орієнтування здійснюється за допомогою механізованих елементів з двома степенями свободи, для точного орієнтування блоку на ОК. В дані механічні елементи заздалегідь інтегровано канали подачі контактної рідини, та канал з

електричними сигнальними дротами. Також на (рис. 3.11) зображено розташування блоку обробки та передачі даних, який виконано з пластику.

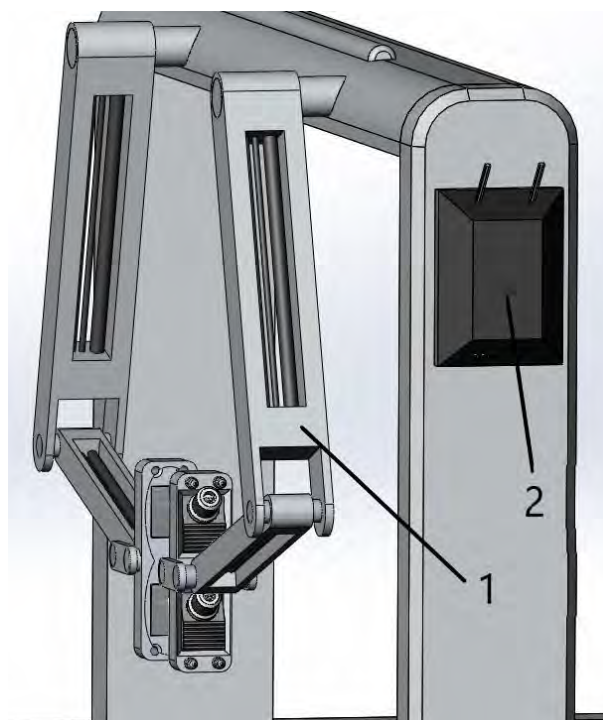


Рис. 3.11. – Зовнішній вигляд автоматизованої системи

1) елементи автоматизованого орієнтування блоків первинних перетворювачів; 2) блок обробки та передачі даних про проведення контролю

Висновки до розділу 3

В даному розділі було проведено моделювання автоматизованої ультразвукової системи контролю елементів мостових конструкцій в САПР «Solid Works». Першим етапом було промодельовано блок первинних перетворювачів який складається з ультразвукових давачів, та корпусу в якому вони розташовуються. Наступним етапом було проведено моделювання пристрою сканування. До складових пристрою сканування входило моделювання : конвеєру подачі об'єкту контролю; засобів подачі, збирання відпрацьованої та фільтрації для повторного застосування контактної рідини; механізму автоматичного встановлення блоку первинних перетворювачів; та пристрою збирання, обробки і в подальшому передачі даних про проведення контролю.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ»

4.1. Опис ідеї проекту

Ідея стартап проекту полягає у створенні автоматизованої ультразвукової системи для контролю зварного з'єднання елементів мостових конструкцій. Розроблювана система повинна мати конкурентоспроможну ціну, бути простою у використанні, та надійною. В системі повинно бути передбачено коротко часне зберігання результатів контролю в електронному вигляді для подальшої передачі на комп'ютерну техніку, де за допомогою спеціального програмного забезпечення результати контролю будуть оброблятися.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована ультразвукова система для контролю елементів мостових конструкцій	Ультразвуковий контроль зварних з'єднань в мостових конструкціях	Менша вартість
		Автоматизована система
		Якість контролю

Далі проводиться аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні). (Табл. 4.2).

Параметри розроблюваної системи порівнюються з наявними на ринку аналогами, їх перевагами та недоліками.

Конкурент 1 – Ультразвукова система TOFD PRO

Конкурент 2 – Ультразвуковий дефектоскоп Socon B

Конкурент 3 – Ультразвуковий дефектоскоп OmniScan SX

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

п/п	Техніко - економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1	Вартість	130 000	200 000	70 000	250 000	-	-	
2	Ультразвуковий контроль	+	+	+	+	-	-	
3	Ступінь автоматизації	+	-	-	-	-	-	
4	Довговічність	+	+	+	+	-	+	

Висновок: у таблиці 4.2 було визначено перелік основних техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та визначено слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту. До сильних сторін розроблюваної системи відносяться : конкурентоспроможна ціна та автоматизація процесу контролю.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматизована ультразвукова система для контролю елементів мостових конструкцій	Виготовлення на замовлення у підприємствах	Наявна	Доступна
2	Самостійне виготовлення	Самостійне виготовлення	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: В якості оптимальної технології реалізації проекту обрано замовлення ПЕП та витратні матеріали для системи дефектоскопії, і подальше встановлення на ОК в якому буде відбуватися контроль автоматично.				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект є не складним у реалізації за допомогою замовлення окремих матеріалів та ПЕП, які є доступні на ринку.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового провадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації. Даний аналіз з урахуванням стану ринкового середовища дозволить спланувати напрями розвитку проекту, пропозицій проектів-конкурентів та потреб потенційних клієнтів. В таблиці 4.4 проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомий
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність патенту на проект
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка приладу на стандартних зразках, для підтвердження вірогідності контролю, перевірка працездатності в реальних приміщеннях
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	93%

Як висновок проаналізувавши таблицю можна дійти до того, що попит на дану продукції є стабільним тому ринок є досить привабливим для входження за попереднім оцінюванням. Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, та оберемо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної з сформованих груп. (Табл. 4.5)

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Автоматизована ультразвукова система НК, з найбільш збалансованим співвідношенням ціна-якість.	Підприємства, наукові лабораторії, приватні компанії.	Відносно не дорогі прилади неруйнівного контролю	Простота експлуатації, вірогідність контролю, висока якість програмного забезпечення та сервісного обслуговування

Висновок: в даній таблиці визначено сегмент потенційних клієнтів та вимоги які є ключовими для цільової аудиторії, та формують поведінку клієнтів відносно наведеної системи. Після визначення можливих груп клієнтів проаналізуємо ринкове середовище. Наведемо таблиці факторів, що мають позитивний вплив на впровадження проекту на ринок, та факторів, що створюють перешкоди проекту (табл. 4.6, 4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Можливий вихід на ринок іноземних компаній конкурентів	Дослідження продукту конкурента та вдосконалення свого
2	Економічний фактор	Зростання цін на ПЕП	Пошук нових постачальників
3	Технічний фактор	Вихід з ладу ПЕП, недоліки програмного забезпечення	Наявність кваліфікованої технічної підтримки
4	Постачання	Проблема з постачанням компонентів	Пошук нових постачальників, формування резерву компонентів на складах
5	Інфляція	Зміна курсу гривні, що може вплинути на ціни компонентів	Спрощення алгоритмів Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні

В таблиці 4.6 ми визначили, що існує ціла низка загроз, що можуть спричинити проблеми реалізації стартапу. Було розглянуто кожен з факторів, проаналізовано, та запропоновано деякий комплекс дій компанії стартап-проекту для уникнення тієї чи іншої загрози. Запропоновані варіанти реакції дозволять уникнути проблем з виготовленням та продажем системи.

Також існують і фактори можливостей які представлені в (таблиці 4.7).

Таблиця 4.1. Фактори можливостей

п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2	Попит	Хороші темпи зростання ринку	Збільшення продажу і отже прибутку компанії
3	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/зниження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4	Політико-правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту

В таблиці 4.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють просуванню на ринкову нашого продукту, а також складено план дій що до максимізації позитивного ефекту на той чи інший фактор.

4.4. Аналіз пропозицій ринку

Для створення конкурентної поведінки продукту проведемо ступеневий аналіз конкуренції на ринку, який наведений в (табл. 4.8). В даній таблиці ми аналізуємо ринок збуту нашого продукту і визначаємо загальні риси конкуренції на ньому.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
--------------------------------------	---	--

1. Тип конкуренції: олігополія	Існування невеликої кількості компаній, що працюють в даній сфері	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
2. Рівень конкурентної боротьби: міжнародна	Представники в різних країнах	Вдосконалення продукту і пошук можливості виходу на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Одногалузєва	Використання на вузько направлених підприємствах
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Пропонують товари одного виду	Реклама, автоматизація, низькі ціни
5. Конкуренція за характером конкурентних переваг: цінова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Вибір оптимального варіанту ціна/якість комплектуючих елементів
6. Конкуренція за інтенсивністю: не марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсами і аудиторією клієнтів	Розробка бренду і його активна реклама

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому. Було визначено різні критерії особливостей конкурентного середовища, та обґрунтування поведінки продукту в даному середовищі.

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером приведений в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові і аналіз	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
--------------------------	----------------------------------	------------------------------	----------------------	----------------	-------------------------

	На даний момент на ринку присутні 3 прямі конкуренти які надають подібні послуги	Потенційними конкурентами є іноземні компанії які згодом можуть вийти на наш ринок. Патенти на продукти. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Постачальниками є інтернет магазини які займаються розповсюдженням. Диференціація витрат. Концентрація постачальників Значення розміру поставок	Основними клієнтами є підприємства які займаються виготовленням мостових конструкцій. Розмір закупівель. Система інформації. Прибутки. Контроль якості.	Компанія володіє доволі сильною пропозицією, аналогів якій при збереженні якості практично немає
Висновки :	Проводити аналіз конкурентних пропозицій, працювати над зниженням собівартості.	Високий ризик входу нових гравців, адже вхідні бар'єри є не дуже високими. На даний момент потенційних конкурентів немає	Так як концентрація постачальників доволі висока вони не диктують умови роботи на ринку.	Для клієнтів все вагомішим є питання ціни, вони хочуть платити менше. Для задоволення їх потреб потрібно розробляти нові пропозиції і підтримувати якість продукту.	Підтримувати хороші позиції на ринку та конкурувати перевагу, розробляти нові види товарів

Проаналізувавши таблицю 4.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також ми визначили які

характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія, щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

4.5. Фактори конкурентоспроможності

На основі аналізу конкуренції (табл. 4.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6-4.7) визначимо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз факторів приведений в табл. 4.10.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
	Велика кількість постачальників	Своєчасна доставка продукту в незалежності від ситуації на ринку постачальників
	Вартість	Зменшення вартості за рахунок оптимізації виробництва
	Ступінь автоматизації	Використання новітніх технологій в області автоматизації, що компенсує людський фактор
	Вірогідність контролю	Забезпечення зменшення похибки вимірювань

В таблиці 4.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності розроблюваного стартап проекту.

4.6. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Автоматизована ультразвукова система для контролю елементів мостових конструкцій»

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з («автоматизованою ультразвуковою системою для контролю елементів мостових конструкцій»)						
			3	2	1		1	2	3
1	Велика кількість постачальників	10		+					
2	Ціна	20							+
3	Ступінь автоматизації	19							+
4	Якість	18						+	

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок. Головними перевагами даного проекту є ступінь автоматизації системи, її ціна та якість виготовлення.

4.7. SWOT-аналіз стартап-проекту

Проведемо SWOT-аналіз сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) наведених в (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Високий рівень автоматизації системи 2. Низька ціна компонентів, що зумовлює формування нижчої ціни ніж в конкурентів 3. Якісне сервісне обслуговування. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Залежність ціни продукції від ціни постачальників на комплектуючі елементи. 2. Можливість збоїв в роботі системи через неякісні складові. 3. Можливість збоїв передачі даних через наявність в приміщенні працюючих на тій же частоті приладів.
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вихід та закріплення на ринку 2. Вихід на міжнародний ринок 3. Отримання держзамовлення 4. Збільшення попиту на систему 5. Можливість швидкого модифікування програмних алгоритмів, під потреби замовника 6. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку. 2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм. 4. Втрата потенційних клієнтів через недостатню технічну підтримку; 5. Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.

Як висновок в даній таблиці ми провели перелік сильних та слабких сторін стартап проекту. Також проаналізовано ринкові загрози та можливості які на відміну від факторів мають лише певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативні види ринкової поведінки даного стартап проекту, з огляду на схожі проекти потенційних конкурентів та строки отримання ресурсів.

4.8. Альтернативи ринкової поведінки

Розробимо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок. Та проаналізуємо визначені альтернативи з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2-3 місяці
2	Отримання держзамовлення	Середня	6 місяців
3	Пошук інвестицій	Висока	6 місяців

Отже, розглянувши можливості ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що основною альтернативою є нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу, оскільки ймовірність отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші за такі в інших альтернативах. Це можливо за рахунок високої автоматизації системи та конкурентоспроможних цін на неї.

4.9. Розроблення ринкової стратегії проекту

Для початку розроблення ринкової стратегії стартап проекту здійснимо опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14). До основних цільових груп відносяться будь які приватні та державні компанії у виробничому процесі яких задіяно автоматизовані системи для контролю зварювання та науковці.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
------------	---	--	--	---	---

1	Будь які приватні та державні компанії, у виробничому процесі яких задіяно автоматизовані системи для контролю зварювання	Продукт затребуваний на ринку	Високий	Помірна	Висока
2	Науковці	Продукт затребуваний на ринку	Середній	Помірна	Середня
Які цільові групи обрано: Провівши аналіз цільових груп споживачів було прийнято рішення співпрацювати з приватними і державними компаніями у яких в виробничому процесі задіяно автоматизовані системи для контролю зварювання.					

Висновок : проаналізувавши потенційні групи споживачів, було прийнято рішення співпрацювати з приватними і державними компаніями у яких в виробничому процесі задіяно автоматизовані системи для контролю зварювання. В якості стратегії охоплення ринку варто обрати стратегію масового маркетингу, із своїм ринком, через низьку поінформованість потенційних груп споживачів про наявність даної системи на ринку.

Сформуємо базову стратегію розвитку для роботи в обраному сегменті ринку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
-----	--------------------------------------	---------------------------	--	----------------------------

1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Масовий маркетинг	Якісний продукт з низькою ціною, та високим ступенем автоматизації.	Стратегія диференціації
---	--	-------------------	---	-------------------------

В таблиці 4.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку.

Визначимо стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, вся система є значно модифікованою, і в копіюванні немає потреби	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці 4.16 проводиться аналіз конкурентної боротьби на ринку, та обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект. (табл. 4.17)

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником.

В даній таблиці було сформульовано асоціації за якими споживачі будуть ідентифікувати продукцію.

Як висновок в даному підрозділі було розроблено систему рішень ринкової поведінки компанії, також було обрано цільові групи споживачів, для яких буде пропонуватися автоматизована ультразвукова система для контролю зварювання.

4.10. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для розробки маркетингової програми стартап проекту потрібно розробити маркетингову концепцію товару, який в кінцевому вигляді отримує покупець. В (табл. 4.18) наведено підсумовування результатів попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
-----	---------	----------------------------	--

1	Високий рівень автоматизації	Можливість виключення людського фактору з проведення контролю.	Покращення якості використовуваних датчиків, через налагодження поставок від перевірених постачальників.
2	Низька ціна	Пропонування товару за нижчою ніж в конкурентів ціною	Збільшення кількості клієнтів за рахунок ціни та якості продукції

Результатом аналізу даної таблиці є перелік ключових переваг нашого товару перед конкурентами, а також переваги які потрібно ще створити.

Надалі розробляємо три-рівневу маркетингову модель стартап проекту в якій ми уточнюємо ідею продукту, його фізичні складові та особливості процесу його надання. (табл. 4.19)

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована ультразвукова система для контролю елементів мостових конструкцій. Можна виділити наступні вигоди використання: Високий рівень автоматизації; Використання новітнього програмного забезпечення.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3.Досконалість виробничого виконання (Досконалий дизайн)	Нм	Тл
	4. Обробка та зберігання даних в цифровому вигляді	Нм	Тл

	Якість: ISO 6790, ISO 9001:2015, ISO 27001:2013
	Пакування коробка
	Марка: “Ultrasonic engineering” Uscaan-bridge
III. Товар із підкріпленням	До продажу Гарантія ,доставка
	Після продажу Після продажне обслуговування
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок надання кожній проданій системі індивідуального ліцензійного коду який необхідний для авторизації та підключення до системи.	

Вданій таблиці ми отримали три-рівневу модель майбутнього продукту, яка включає в себе сам задум товару та його вигоди, спосіб пакування, гарантійного строку, та його захист від копіювання, та плагіату.

Надалі визначаємо цінові межі на потенційний товар, що передбачає в собі аналіз цінової політики конкурентів, а також аналіз доходів цільової групи споживачів, експертним методом (табл. 4.20).

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	70-250 тис. грн	~180 000грн	Високий	100000/180000 грн

В таблиці 4.20 проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буду встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Визначимо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21):

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	По одиночні замовлення Продаж в роздріб	Прямий продаж клієнтам продукції	Висока	Проведення збуту власними силами

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряду з виробником та реалізації продукту через прямий продаж.

Надалі розробляється концепція маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Гарантія якості Найсучасніші технології	Тематичні журнали, Інтернет	Ціна – якість Проведення виставок	Акцентувати увагу на якісний товар за помірними цінами, Показати, що товар затребуваний для сучасного ринку.	Ціна-якість

Результатом даного підpunkту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

Висновки до розділу 4

В даному розділі було проведено аналіз стартап проекту який був розроблений для реальної оцінки комерціалізації проекту. Високий попит на автоматизовані системи у сфері неруйнівного контролю і як наслідок на ультразвукову автоматизовану систему контролю зварних з'єднань у мостових конструкціях обумовлює зростання продажів цих систем. Також можливості покращення ринкових позицій забезпечує використання в даній системі новітніх технологій, таких як Wi-fi для передачі даних, що спрощує користування системою. Під час аналізу стартап проекту було підтверджено рентабельність створення такого проекту, зважаючи на ціни складових які використовуються в системі, а також опираючись на ціни товарів конкурентів. Було визначено, що навіть за наявності конкуренції в цій сфері ринку, все таки надається можливість впровадження нових систем в ринковий обіг за наявності цільової аудиторії. З аналізу ми отримали, що на ринку існують лише товари замітники даної системи, які не мають такого ж високого рівня автоматизації, або працюють на інших принципах контролю які здорожують сам процес, тому в даного стартап проекту є високі шанси до комерціалізації. В даному стартап проекті виділено декілька властивостей які допоможуть йому вийти на ринок з високою конкурентоспроможністю, до них входить простота роботи системи, дешевизна виробництва її складових, надійність датчиків через використання в них іноземних якісних складових, що забезпечує в свою чергу високу вірогідність проведеного контролю. Також основною перевагою можна виділити бездротову передачу даних проведення контролю, що спрощує керування системою.

ВИСНОВКИ

В першому розділі магістерської дисертації проведено аналіз існуючих мостових металоконструкцій та елементів з яких вони складаються. Визначено, що на сьогоднішній день зварювання являється основним типом з'єднання металічних мостових конструкцій. Проведено огляд основних видів дефектів зварних з'єднань. Проаналізовано існуючі можливості автоматизації проведення контролю елементів мостових конструкцій. Обгрунтовано вибір методу ультразвукової луна-імпульсної дефектоскопії зварних з'єднань, та схеми прозвучування.

В другому розділі магістерської дисертації розроблено функціональну та структурну схеми автоматизованої системи. Проведено розрахунки акустичного тракту, визначено коефіцієнт акустичного тракту. Проведено розрахунки вузлів принципової схеми, таких як : підсилювач, АЦП, ЦАП, пам'ять, фільтр нижніх частот, ГЗІ. А також виконано підбір елементів принципової схеми, як наслідок розроблена електрична принципова схема. Проведено розрахунки вірогідності контролю, які забезпечує розроблена автоматизована система. Останнім етапом даного розділу являлось наведення методики проведення контролю за допомогою розроблюваної автоматизованої системи.

В третьому розділі магістерської дисертації проведено моделювання автоматизованої системи в САПР «Solid Works». Розроблено тривимірні моделі елементів блоку перетворювачів, таких як корпус та давачі. А також розроблено тривимірні моделі складових елементів пристрою сканування який інтегрується в виробничу лінію елементів мостових конструкцій. До складових пристрою сканування входило моделювання : конвеєру подачі об'єкту контролю; засобів подачі, збирання відпрацьованої та фільтрації для повторного застосування контактної рідини; механізму автоматичного встановлення блоку первинних перетворювачів; та пристрою збирання, обробки і в подальшому передачі даних про проведення контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Металлические конструкции, включая сварку / Н. С.Москалев, Я. А. Пронозин, Н. Д. Корсун, В. С. Парлашкевич. – Москва: Ассоциации строительных вузов, 2014. – 353 с.

[2] ВЛАДИМИРСКИЙ С. Р. Металлические пролетные строения мостов с ортотропными плитами Конструирование и расчет. Учебное пособие. / С. Р. ВЛАДИМИРСКИЙ. – Санкт-Петербург: ДНК, 2006. – 96 с. – (2).

[3] Зварні з'єднання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/mbf/olk_i_tmm/2011/11-45/page63.html.

[4] Неразрушающий контроль сварных швов [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ndt.com.ua/ru/applications/welds-testing#radiographic-testing>.

[5] Удод, В. О. Дослідження можливостей автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій / В. О. Удод, О. В. Лашко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 410–413. – Бібліогр.: 6 назв.

[6] R.Wang An Automated Sensing System for Steel Bridge Inspection Using GMR Sensor Array and Magnetic Wheels of Climbing Robot / R.Wang, Y.Kawamura // Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors, —2016.—Article ID 8121678, 15 pages.

[7] Yogo Takada Development of a Bridge Inspection Robot Capable of Traveling on Splicing Parts / Yogo Takada, Satoshi Ito and Naoto Imajo // Inventions journal—2017. —MDPI, 13 pages.

[8] R. S. Adhikari Automated bridge condition assessment with hybrid sensing / R. S. Adhikari, Z. Zhu, O. Moselhi and A. Bagchi // ResearchGate—2013. —, 7 pages.

[9] Цапенко В. К. Основы ультразвукового неразрушающего контроля: Підручник / В. К. Цапенко, Ю.В. Куц. — К. : НТУУ "КПІ". — 2010. — 448 с.

[10] Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль. Том 3. Ультразвуковой контроль: Справочник / Ермолов И.Н., Ланге Ю.В.- М.: Машиностроение, 2004. — 860 с. ISBN: 5-217-03224-3

[11] Крауткремер Й. Ультразвуковой контроль материалов / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. – Москва: Металлургия, 1992. – 752 с.

[12] Лашко Е.В. Современные информационные технологии обработки данных в неразрушающем контроле / Е.В. Лашко // Формування науково-освітньої політики : зб. наук. праць міжнар. конф., 31 травня. К.:—2014. —С. 33-36.

[13] Петрик В.Ф. Использование беспроводных технологий в дефектоскопии / Петрик В.Ф, Ковтун Г.М, Топиха Д.М. // Научные известия, дни неразрушающего контроля. К.:—2014. —С. 486-488.

[14] Ультразвук [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа до ресурсу: <http://electricalschool.info/industrial/1919-что-такое-ультразвук-и-как-он.html>.

[15] Шарапов В.М. Электроники. Пьезо – электрические датчики: / Под ред. Шарапова В.М., Мусиенко М.П., Шарапова С.В.. — М.: Техносфера, 2006. — 632 с. — ISBN 5-94836-100-4.

[16] Цапенко В.К. Акустичні перетворювачі: Методичні вказівки / Уклад.: Цапенко В.К. – Київ, 2004.- 86с.

[17] Алешин Н.П. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий - М.: Высшая школа, 1991. - 271 с.

[18] Стальные конструкции мостов. Заводское изготовление – Москва, 2007. – 264 с. – (СТО-ГК «Трансстрой»).

[19] Игуменцева Н.В. Статистический анализ результатов экспериментов и наблюдений: Учеб. пособие / Н.В. Игуменцева, В.И. Пахомов. – Х.: «Компания СМИТ», 2005. – 236 с.

[20] Характерные повреждения сварных металлических конструкций мостов / В.А. Ковтуненко, А.Г. Синеок, А.М. Герасименко, В.А. Задорожный // Автоматическая сварка. — 2005. — № 10 (630). — С. 29-34. — Библиогр.: 6 назв. — рос.

[21] Коротин А. И., Лазарев А. Л., Святкина Г. Н. Применение ультразвуковых методов контроля для оценки качества соединений металлических конструкций в современных условиях. // огарёв-online. – 2015. – №5. – с. 22–29.

[22] В.Н. Музалев, Б.С. Семухин ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – С. 184–192.

[23] Assessment of Residual Stresses and Distortion in Stainless Steel Weld Joints / P. Vasantharaja, V. Maduarimuthu, M. Vasudevan, P. Palanichamy // Materials & Manufacturing Processes. – 27 (2012) 12. – P. 1376–1381.

[24] Лашко Е.В. Современные информационные технологии обработки данных в неразрушающем контроле / Е.В. Лашко, Б.В. Булах // Приборостроение-2014 : матер. 7-й Междунар. научн.-техн. конф., 19-21 ноября 2014 г. – Минск, Республика Беларусь, 2014. – С.85-87.

[25] О.О. Миргородський, Петрик В. Ф. , БЕЗДРОТОВА ПЕРЕДАЧА ДАНИХ В ЗАДАЧАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ. // Збірник праць X Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Погляд у майбутнє приладобудування", 15-16 травня 2017 р. - К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури.. – 2017. – С. 438–440.

[26] Тымчик Г. С., Подолян А. А. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С УГЛОВЫМ ВВОДОМ

ВОЗБУЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ. // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2014.

[27] Сайт компанії Analogdevices [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Analog%20devices&gclid=Cj0KCQjw3v3YBRCOARIsAPkLbK5iSFNOKlHZvz0wrkuGgWfVS1PXrEy7jZ8QVG44Tcqj2y7Uuac1QQaAl-eEALw_wcB.

[28] Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / Высшая школа. – Москва, 1991. – 283 с.

[29] Зварніз’єднання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/mbf/olk_i_tmm/2011/11-45/page63.html.

[30] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

ДОДАТКИ

**Автоматизована
ультразвукова система
контролю елементів
мостових конструкцій**

Додаток А

Підготував:

магістрант 2 року навчання Удод В.О.

Науковий керівник:

асистент кафедри ПСНК Лашко О.В.

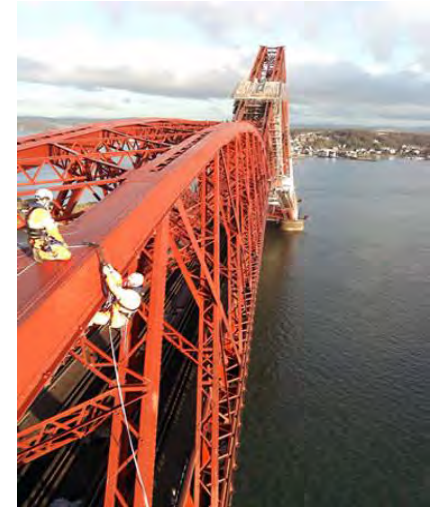
Мостові металоконструкції



Кутові балки, пластини



Ванти



Балки квадратного січення



Ортоотропні плити



Труби круглого діаметру

Актуальність. Забезпечення високої якості зварювальних робіт є однією з найважливіших задач в галузі зварювання, значущість якої все більше зростає із підвищенням відповідальності зварних конструкцій. На сьогоднішній день зварювання використовується в мостобудуванні, але існують ризики руйнування зварних швів через недотримання технології їх виготовлення чи великі напруження які діють на ці з'єднання. Тому існує проблема неруйнівного контролю зварних швів в мостових металоконструкціях.

В мостових металоконструкціях широко використовується стиковий (вертикальний, горизонтальний), кутовий та тавровий типи зварних швів. В основному

Для проведення неруйнівного контролю зварних з'єднань мостів важливою складовою на сьогоднішній день є автоматизація цього процесу. Вона потрібна через велику протяжність мостових металоконструкцій, яка унеможлиблює проведення ручного контролю через значні затрати ресурсів, у тому числі і часу. Тому це і є головним завданням даної магістерської дисертації.

Мета дослідження: розробка автоматизованої системи виявлення дефектів зварних з'єднань мостових металоконструкцій, яка базується на використанні групи ультразвукових перетворювачів.

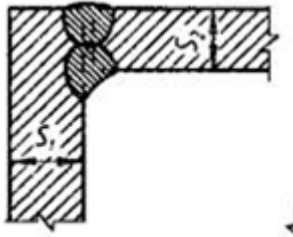
Об'єкт дослідження: процес автоматизованої ультразвукової дефектоскопії зварних з'єднань мостових конструкцій.

Предмет дослідження: засоби автоматизованої ультразвукової дефектоскопії зварних з'єднань мостових конструкцій.

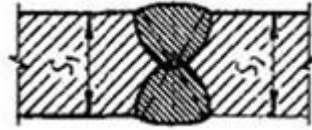
Задачі дослідження :

- 1) Провести теоретичний аналіз методів неруйнівного контролю елементів мостових конструкцій, а також можливостей автоматизації ультразвукових систем виявлення дефектів мостових конструкцій.
- 2) Розробити структурну, функціональну та електричну принципову схеми автоматизованої системи ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій; здійснити розрахунок та підбір елементів функціональних вузлів розробленої схеми автоматизованої системи.
- 3) Оцінити теоретично вірогідність контролю із застосуванням розробленої автоматизованої системи.
- 4) Провести моделювання елементів конструкції системи.
- 5) Розробити стартап проект “Автоматизована ультразвукова система контролю елементів мостових конструкцій” “Uscan-bridge”

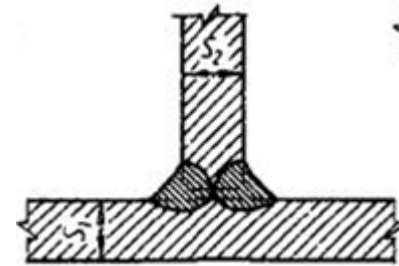
Зварні з'єднання елементів мостових конструкцій



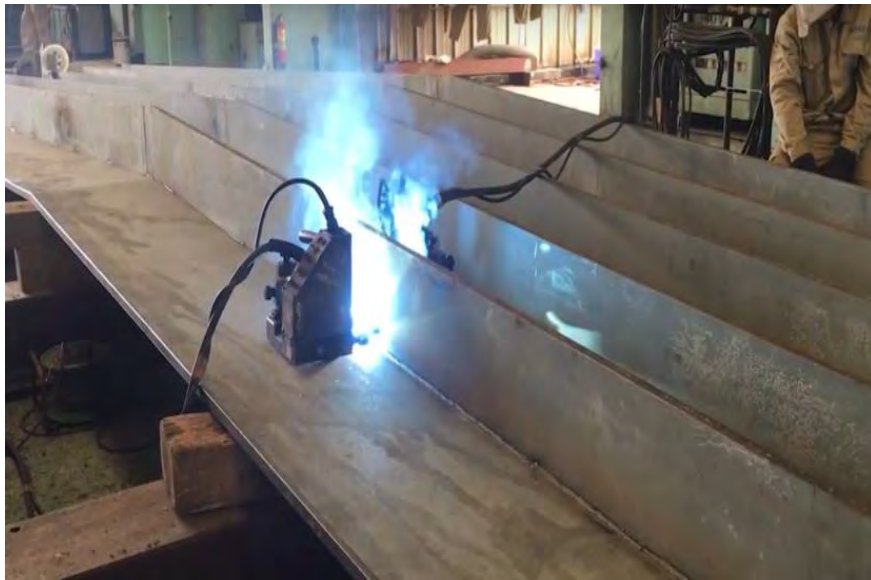
Кутове



Стикове



Таврове



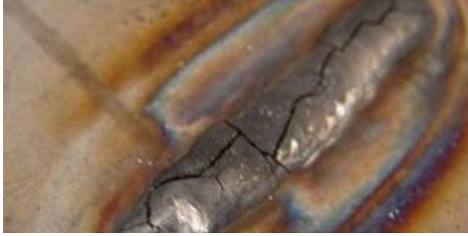
Приклад таврового з'єднання поперечних ребер ортотропної плити



Приклад стикового з'єднання труб несучої конструкції мосту

Дефекти зварних з'єднань

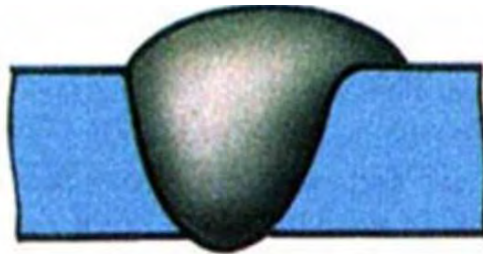
Зовнішні дефекти зварних швів :



Тріщини



Підрізи

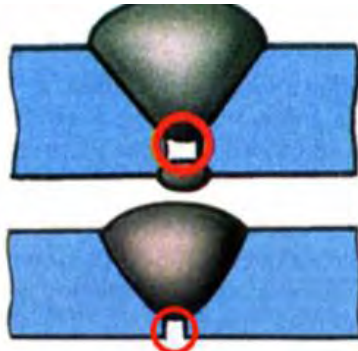


Напливи



Кратери

Внутрішні дефекти зварних швів:



Непровари

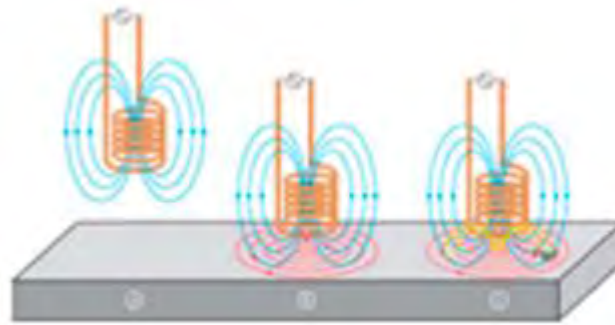


Пори

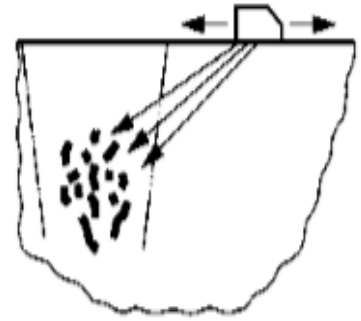
Приклади методів контролю зварних з'єднань



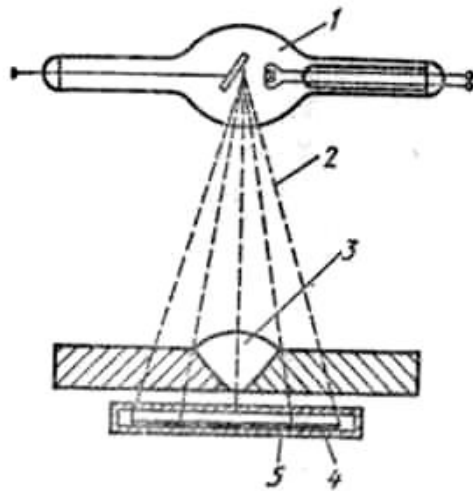
Візуальний метод контролю



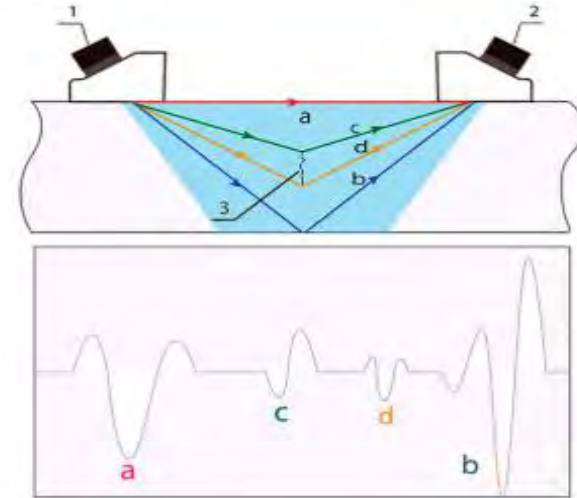
Вихрострумний метод контролю



Ультразвуковий луна-імпульсного метод контролю



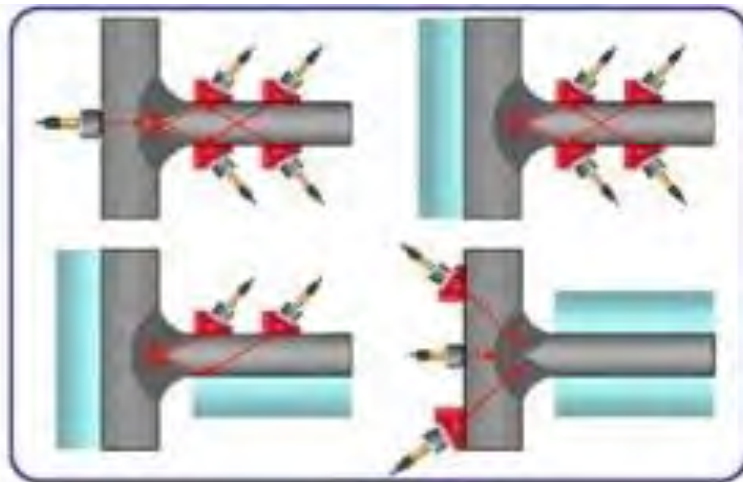
Радіографічний метод контролю



Ультразвуковий контроль методом TOFD

Вибір методу контролю та схеми прозвучування

При розробці автоматизованої системи, було проаналізовано різні методи неруйнівного контролю зварних швів, та було обрано метод луна-імпульсної дефектоскопії. Даний метод контролю забезпечує високу вірогідність контролю зварних з'єднань, та доволі легкий для автоматизації процесу контролю, тому являється доцільним у його реалізації. Схему прозвучування було обрано зсилаючись на міжнародний стандарт ISO 23279:2017 «Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Characterization of discontinuities in welds». Обрана схема прозвучування виконана з використанням двох ультразвукових перетворювачів, представлена на рисунку.

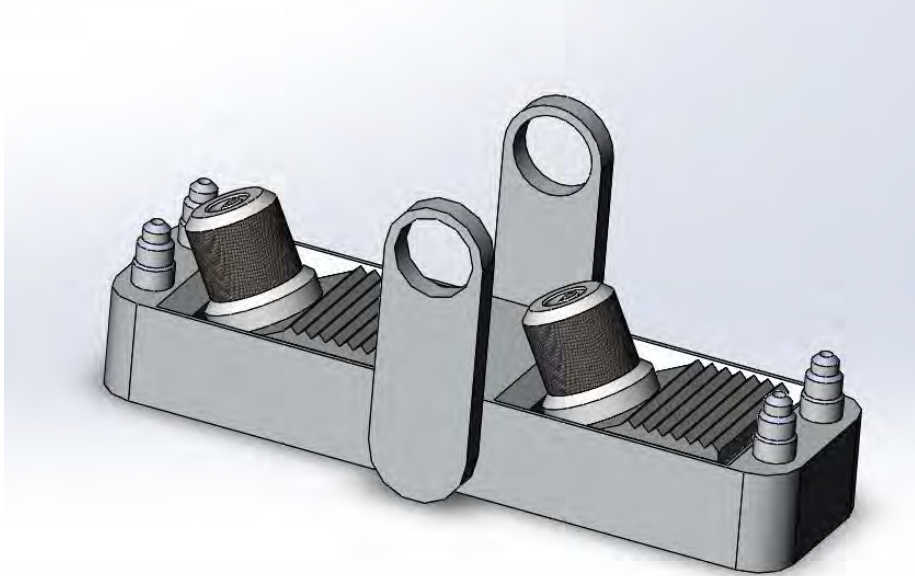
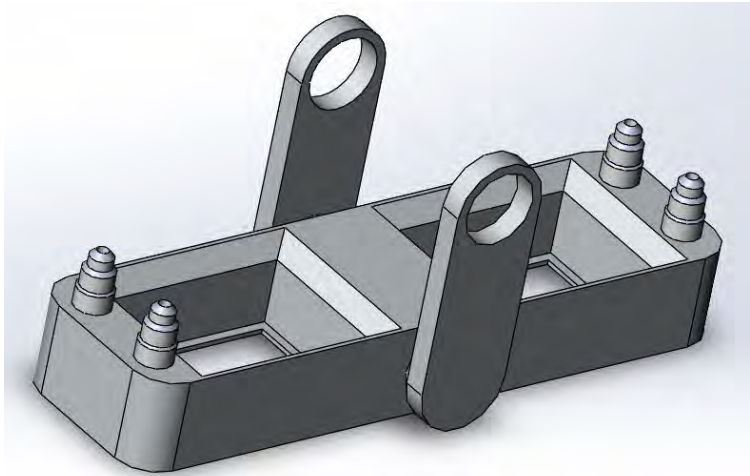
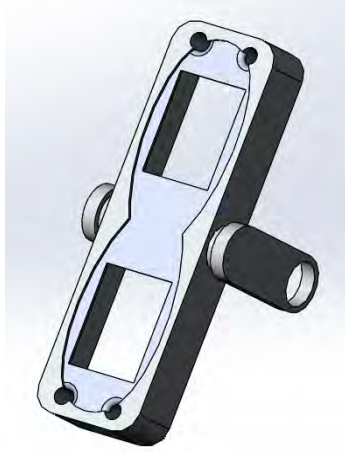
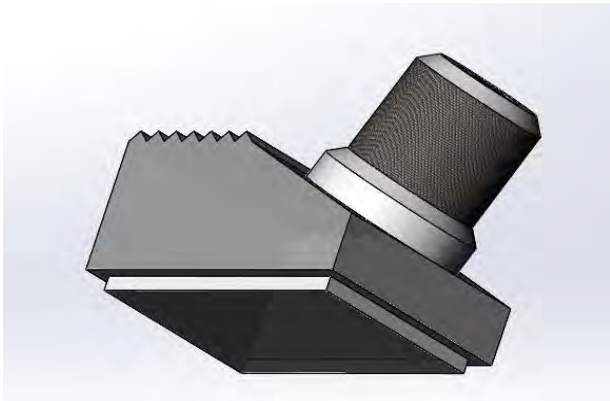
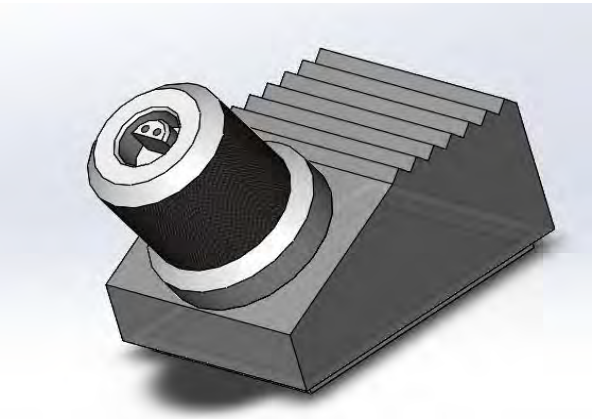


Типи схем прозвучування таврових зварних з'єднань



Обрана схема прозвучування

Моделювання блоку первинних перетворювачів



Публікації

Удод, В. О. Дослідження можливостей автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій / В. О. Удод, О. В. Лашко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 410–413. – Бібліогр.: 6 назв.

Висновки

В першому розділі магістерської дисертації проведено аналіз існуючих мостових металоконструкцій та елементів з яких вони складаються. Визначено, що на сьогоднішній день зварювання являється основним типом з'єднання металічних мостових конструкцій. Проведено огляд основних видів дефектів зварних з'єднань. Проаналізовано існуючі можливості автоматизації проведення контролю елементів мостових конструкцій. Обгрунтовано вибір методу ультразвукової луна-імпульсної дефектоскопії зварних з'єднань, та схеми прозвучування.

В другому розділі магістерської дисертації розроблено функціональну та структурну схеми автоматизованої системи. Проведено розрахунки акустичного тракту, визначено коефіцієнт акустичного тракту. Проведено розрахунки вузлів принципової схеми, таких як : підсилювач, АЦП, ЦАП, пам'ять, фільтр нижніх частот, ГЗІ. А також виконано підбір елементів принципової схеми, як наслідок розроблена електрична принципова схема. Проведено розрахунки вірогідності контролю, які забезпечує розроблена автоматизована система. Останнім етапом даного розділу являлось наведення методики проведення контролю за допомогою розроблюваної автоматизованої системи.

В третьому розділі магістерської дисертації проведено моделювання автоматизованої системи в САПР «Solid Works». Розроблено тривимірні моделі елементів блоку перетворювачів, таких як корпус та датчик. А також розроблено тривимірні моделі складових елементів пристрою сканування який інтегрується в виробничу лінію елементів мостових конструкцій. До складових пристрою сканування входило моделювання : конвеєру подачі об'єкту контролю; засобів подачі, збирання відпрацьованої та фільтрації для повторного застосування контактної рідини; механізму автоматичного встановлення блоку первинних перетворювачів; та пристрою збирання, обробки і в подальшому передачі даних про проведення контролю.

Додаток Б

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. Проведений аналіз можливостей автоматизації проведення ультразвукового неруйнівного контролю мостових конструкцій. Зокрема, розглянуто способи організації проведення сканування; описано механізми визначення координат розташування скануючого пристрою та ультразвукових перетворювачів на об'єкті контролю; розглянуто сучасні технології передавання інформації про наявність дефектів та розташування скануючого пристрою.

Ключові слова: дефект, неруйнівний контроль, прогонові споруди, ультразвук, мостові конструкції, автоматизація.

ВСТУП

Мостові конструкції – це комплекс залізних, та залізобетонних елементів, які з'єднуються між собою для утворення прогонової будови. Насьогоднішній день через великі габаритні розміри неможливість проведення ручного контролю, головними проблемами при цьому залишаються високі затрати людських ресурсів та часу. Вирішенням означених проблем може стати автоматизація процесу контролю елементів мостових конструкцій.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою даної статті є огляд існуючих систем автоматизації неруйнівного контролю мостових конструкцій: способів організації переміщення скануючого пристрою по поверхні об'єкта контролю, методів визначення координат розташування перетворювачів, а також механізмів передавання інформації про стан об'єкта контролю та місце розташування скануючого пристрою.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Мостова конструкція як об'єкт контролю являє собою з'єднані між собою опорні частини, пілони, прогони та ригелі. До основних дефектів елементів мостових конструкцій відносяться: тріщини метало-бетонних конструкцій; тріщини, пори та не провари в зварних з'єднаннях металевих ригелів; корозія металевих елементів; деформація несучих конструкцій.

Процес автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій базується на вирішенні трьох основних задач: розробка скануючого пристрою для організації сканування об'єкта контролю; розробка визначення координат розташування ультразвукових перетворювачів на об'єкті контролю; розробка системи передавання даних про стан об'єкта та розташування первинних перетворювачів.

Розглянемо існуючі на сьогодні способи організації сканування мостових конструкцій.

1. Одним із способів проведення сканування є запропонований [1] робот на магнітних колесах для контролю металевих прогонових будов магнітним методом (рис. 1).

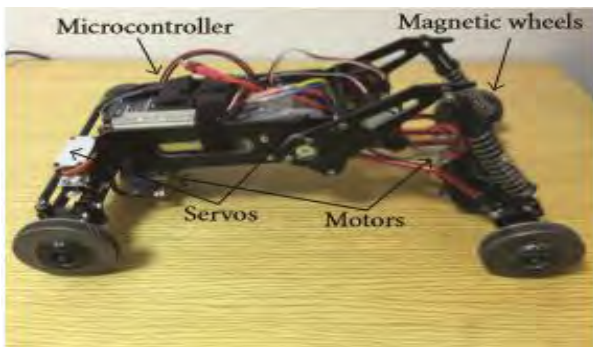


Рисунок 1. Зовнішній вигляд прототипу робота на магнітних колесах

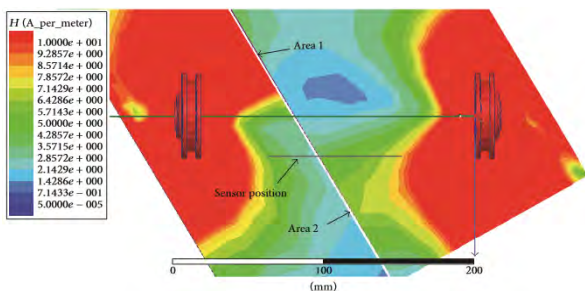


Рисунок 2. Розподіл лінії магнітного потоку в тому випадку, якщо в зразку є тріщина

Запропонований робот може рухатися по прямокутній траєкторії. Результати дослідження, проведеного авторами [2], підтвердили, що існує можливість запуску робота в внутрішньому прямокутному тракті, де, як очікується, робот буде працювати, щоб перевірити пошкоджені частини в коробчистій балці (рис.4).

Запропонована

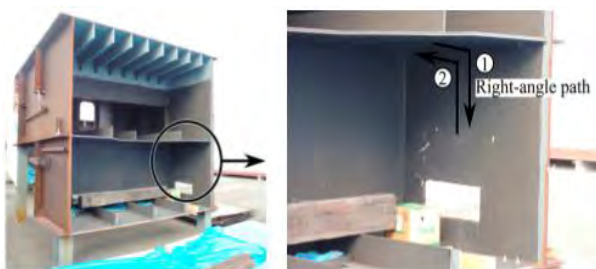


Рисунок 4. Зовнішній вигляд коробчистої балки

інформації про стан прогонових будов. Автори запропонували новий метод пошуку дефектів в компонентах мостових конструкцій за допомогою системи гібридного сканування Kinect. Дана система базується на використанні фотографій дефектів, з подальшим виділенням їх кольором (рис.5), що забезпечує отримання тривимірної інформації про стан компонентів мосту та їх дефектів.

Спираючись на взаємодію індуктивних магнітних полів, що генеруються магнітними колесами для підйому робота, магніто-резистивні датчики вимірюють відмінності щільності магнітного поля між дефектною (тріщина) і бездефектною областю (рис.2).

Як стверджують автори розробки[1], результати моделювання показали, що така система здатна виявити деякі види дефектів, включаючи відколи металу, тріщини, і райони з корозією.

2. Іншою розробкою, що забезпечує переміщення поверхню мостовою конструкції, є запропонований [2] робот, здатний рухатися болтовими з'єднувальними пластинами мосту (рис. 3).

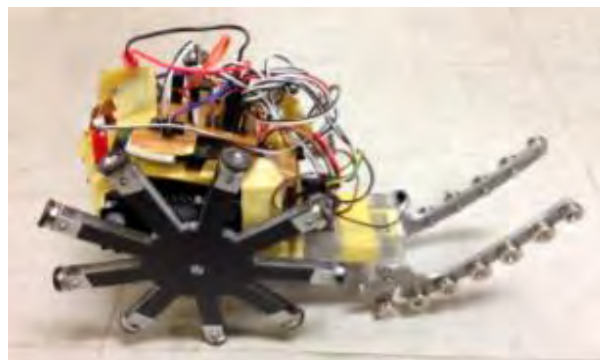


Рисунок 3. Зовнішній вигляд робота

система має можливість проходити через з'єднувальну частину з болтами, розташованими з інтервалом 75 мм. Сам робот при цьому оснащується відеокамерою для проведення візуального обстеження об'єкта.

3. Також розглянуто існуючу систему [3] автоматизованого отримання

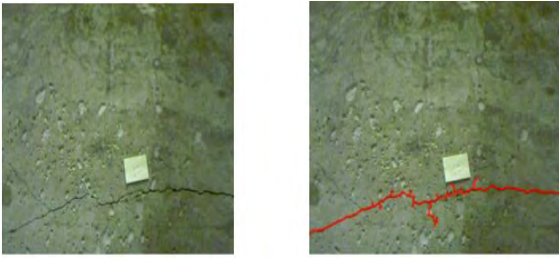


Рисунок 5. Приклад виділення дефекту мостової конструкції за допомогою програми Kinect

щоробитьданіметодименшефективними та інформативними.

Однією з іншихосновнихпроблем для створенняавтоматизованоїультразвуковоїсистемиконтролю мостовихконструкцій, є визначення координат положенняпервиннихперетворювачів, для подальшогоскладанняелектронноїкартидефектівоб'єкту контролю.

Розглянемо існуючі на сьогодні способи організації визначення координат положення перетворювача.

1. Одним із способів визначення координат положення перетворювача є представлена ультразвукова система [4] яка призначена для роботи на пласкійповерхніоб'єкту контролю. Авторизначають, що дана система (рис.6)

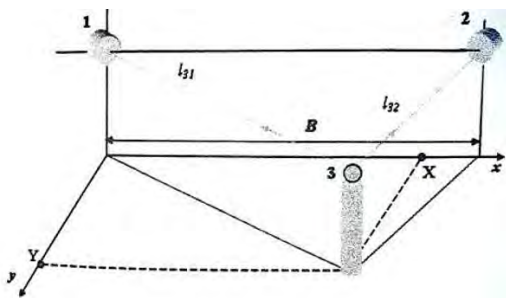


Рисунок 6. Визначення координат вимірювального перетворювача на пласкій поверхні об'єкту контролю: 1, 2 – приймачі акустичних коливань, 3 – збудник акустичних коливань.

Як висновокпотрібнозазначити,щолише один (магнітний) з представленихметодів контролю прогнотнихбудовдаєзмогуотриматиінформацію про наявністьвнутрішніхдефектівелементівпрогновоїбудови. А відеоспостереження, та фотофіксація не дозволяєцього,

складається з збудника, та двохприймачів акустичних коливань, якірозташовані на однійвисоті, в межах площі контролю, як приклад в межах одного метра.

2. Іншоюрозробкою, щозабезпечуєвизначення координат вимірювальногоперетворювача, є запропонована[4] ультразвукова система, яка дозволяє визначати координати в тривимірному просторі. В даній системі використовується три приймача коливань, а визначення координат здійснюється за допомогою виміру часу

проходження акустичного імпульсу від збудувача до приймачів, які розташовані в трьох точках простору (рис.7). Дослідники зазначають, що відстань між двома збудниками коливань фіксована, а координати положення вимірювального перетворювача визначаються за допомогою математичних операцій.

Таким чином, можна дійти висновку, що для сучасної автоматизованої системи ультразвукового контролю мостових конструкцій можна використати представлені системи для визначення координат вимірювального перетворювача, як для плаского об'єкту контролю, так і для об'єкту з складною геометрією.

Також на сьогоднішній день, важливою задачею при розробці автоматизованих систем контролю елементів мостових конструкцій є організація

розташування скануючого пристрою. Використання вже існуючих методів, таких як твердотільні накопичувачі з кожним днем вичерпує свій ресурс. Тому з розвитком технологій, найперспективнішим напрямом є використання хмарних типів передачі даних [5].

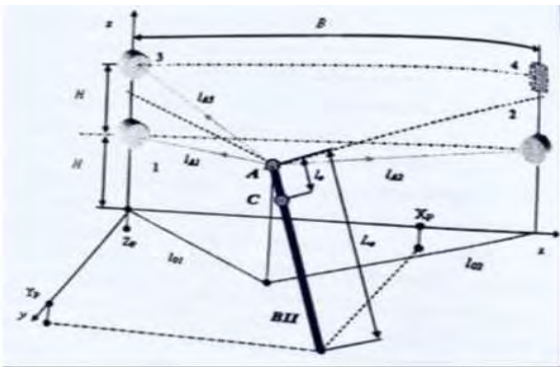


Рисунок 7. Ультразвукова система визначення координат положення перетворювача в тривимірному просторі: 1, 2, 3 – приймачі акустичних коливань; 4 – додатковий збудник; А, С – збудники акустичних коливань.

Даний тип передавання дефектоскопічної інформації полегшує доступ до неї, а також забезпечує забір та передачу великих обсягів інформації, що сприяє автоматизації проведення контролю.

Механізм передавання інформації при цьому може здійснюватися за допомогою таких безпроводних технологій, як ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth. Також існує новітня розробка [6] маніпуляторної дистанційної системи, яка може широко використовуватись в автоматизованих системах контролю, для передачі даних.

Як висновок можна зазначити, що існують різні типи передачі даних, але найперспективнішим та найуніверсальнішим являється метод хмарних технологій, який реалізується за допомогою механізму передачі даних Wi-Fi.

ВИСНОВКИ

Підводячи підсумки проведеного огляду, можливостями автоматизації контролю мостових конструкцій являється використання роботизованих систем, на основі проникаючих методів неруйнівного контролю, таких як наприклад ультразвуковий чи магнітний методи тому, що вони забезпечують отримання інформації про наявність внутрішніх дефектів, які за допомогою фото та відео фіксації не можливо визначити.

Було визначено, що однією з важливих складових автоматизованої системи контролю мостових конструкцій, виступає визначення координат положення вимірювальних перетворювачів, що забезпечить складання електронної карти дефектів.

Також зазначено, що на сьогоднішній день найперспективнішими способами передачі та зберігання інформації про проведення контролю, являються безпроводна передача з використанням хмарних технологій зберігання інформації.

Але було не вирішено проблему створення схеми прозвучування, та її універсальності для автоматизованого ультразвукового контролю мостових конструкцій, що вимагає подальшого проведення досліджень в даній сфері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] R.Wang An Automated Sensing System for Steel Bridge Inspection Using GMR Sensor Array and Magnetic Wheels of Climbing Robot / R.Wang, Y.Kawamura//

- Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors, —2016.—Article ID 8121678, 15 pages.
- [2] Yogo Takada Development of a Bridge Inspection Robot Capable of Traveling on Splicing Parts / Yogo Takada, Satoshi Ito and Naoto Imajo // Inventions journal—2017. —MDPI, 13 pages.
- [3] R. S. Adhikari Automated bridge condition assessment with hybrid sensing / R. S. Adhikari, Z. Zhu, O. Moselhi and A. Bagchi // ResearchGate—2013. —, 7 pages.
- [4] Маєвський С. М. Координатна реєстрація інформації в дефектоскопії / С. М. Маєвський, К. М. Серий. — К.: Львів, 2011. — 116 с.
- [5] Лашко Е.В. Современные информационные технологии обработки данных в неразрушающем контроле / Е.В. Лашко // Формування науково-освітньої політики : зб. наук. праць міжнар. конф., 31 травня. К.:—2014. —С. 33-36.
- [6] Петрик В.Ф. Использование беспроводных технологий в дефектоскопии / Петрик В.Ф., Ковтун Г.М., Топиха Д.М. // Научные известия, дни неразрушающего контроля. К.:—2014. —С. 486-488.

Наук. керівник – Лашко О.В.

Додаток В

