

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

в.о. завідуючого кафедри

_____ Ю.В. Киричук

«__» _____ 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизована система ультразвукового контролю листового прокату»

Виконав:

Студент II курсу, групи ПК-01мп

Опришко Максим Сергійович _____

Науковий керівник:

Доктор філософії, ас.,

Момот А.С. _____

Консультант з розроблення стартап-проекту:

Доцент, д.е.н.,

Бояринова К.О. _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н.,

Синиця В.І. _____

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

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Роботизовані і автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. завідуючого кафедри

_____Киричук Ю.В.

«__»_____2021р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Опришку Максиму Сергійовичу

1. Тема дисертації *«Автоматизована система ультразвукового контролю листового прокату»*, науковий керівник дисертації Момот Андрій Сергійович, доктор філософії, асистент, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021 р. №1180-с
2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2021
3. Об'єкт дослідження: процес ультразвукової дефектоскопії листового прокату.
4. Предмет дослідження: методи та засоби автоматизації неруйнівного контролю листового прокату.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити наявні методи ультразвукового неруйнівного контролю; дослідити наявні методи виявлення сигналів ультразвукового неруйнівного контролю; провести моделювання,

розробити конструкцію закріплення перетворювачів; розробити схему електричну принципову.

6. Перелік графічного матеріалу: 3 плакати А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій: матеріали доповіді на науковій конференції.

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К. О., доцент		

9. Дата видачі завдання 30.09.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання магістерської дисертації	12.10.2020	
2	Аналітичний огляд можливих дефектів в листовому прокаті	18.11.2020	
3	Проведення аналітичного огляду методів ультразвукової дефектоскопії	15.02.2021	
4	Розроблення структурної схеми	30.03.2021	
5	Розроблення функціональної схеми	24.05.2021	
6	Розроблення схеми електричної принципової	30.08.2021	
7	Моделювання конструкції перетворювачів та сканера	25.10.21	
8	Розробка стартап-проекту	25.11.21	

Студент

Максим ОПРИШКО

Керівник

Андрій МОМОТ

РЕФЕРАТ

Актуальність теми

На сьогоднішній день, в багатьох галузях промисловості знайшли широке застосування продукти з листового прокату. Листовий прокат - це металеві листи прямокутної форми різної товщини, ширини та довжини. До нього відносять і листову рулонну сталь. Листовий прокат на відміну від сортового часто отримують холодної прокаткою. Холоднокатаний листовий прокат має більш рівномірну товщину і високу чистоту поверхні в порівнянні з сортовим прокатом.

Не забезпечення необхідної якості може призвести до руйнування таких об'єктів, тому контролювати їх наявність дефектів є актуальним завданням у наш час. В магістерській дисертації така задача вирішується за допомогою розробки ультразвукової автоматизованої системи контролю листового прокату.

Мета і задачі дослідження

Мета дослідження – автоматизація процесу та підвищення ефективності неруйнівного контролю листового прокату шляхом вдосконалення методу та схеми дефектоскопії об'єкта. В ході дослідження було поставлено та розв'язано наступні задачі:

1. Провести аналіз та обґрунтувати шляхи існуючих методів дефектоскопії листового прокату.
2. Розробити структурну та функціональну схему ультразвукової автоматизованої системи для виявлення дефектів та розрахувати її основні вузли.
3. Створити модель конструкції сканера в середовищі SolidWorks.

Об'єкт дослідження – процес ультразвукової дефектоскопії листового прокату .

Предмет дослідження - методи та засоби автоматизації неруйнівного контролю листового прокату.

Методи дослідження базуються на використанні теоретичних основ ультразвукового неруйнівного контролю; методів цифрової обробки сигналів; моделюванні конструкції закріплення перетворювачів в середовищі SolidWorks.

Розробка: Удосконалено метод ультразвукової дефектоскопії листового прокату на основі комплексного застосування автоматизації процесу отримання з вимірювальної інформації та сукупності конструктивних рішень, що дозволило підвищити швидкість та точність дефектоскопії листового прокату.

Ключові слова: ультразвуковий неруйнівний контроль, п'єзоперетворювачі, автоматизація, листовий прокат.

ABSTRACT

Relevance

Today, sheet metal products are widely used in many industries. Rolled sheets are rectangular metal sheets of different thickness, width and length. It also includes sheet rolled steel. Sheet metal in contrast to varietal is often obtained by cold rolling. Cold-rolled sheet metal has a more uniform thickness and high surface cleanliness compared to high-quality rolled products.

Failure to ensure the required quality can lead to the destruction of such objects, so to control them for defects is an urgent task today. In the master's dissertation such a problem is solved by developing an ultrasonic automated control system for sheet metal.

The purpose and objectives of the study

The purpose of the study is to increase the accuracy of non-destructive testing of rolled products by improving the method and scheme of defectoscopy of the object. During the study, the following tasks were set and solved:

- 1) To analyze and substantiate the ways of existing methods of defectoscopy of sheet metal.
- 2) Develop a structural and functional diagram of an ultrasonic automated system for detecting defects and calculate its main components.
- 3) Create a model of the scanner design in the Solid Works environment.

The object of research is the process of ultrasonic flaw detection of sheet metal.

The subject of research - methods and means to improve the accuracy of determining the location of defects in the control of sheet metal.

Research methods are based on the use of theoretical foundations of ultrasonic non-destructive testing; methods of digital signal processing; modeling the design of converters in SolidWorks.

Development:

The method of ultrasonic flaw detection of sheet metal is improved on the basis of complex application of automation of process of receiving from measuring information and set of constructive decisions that allowed to increase speed and accuracy of flaw detection of sheet metal.

Keywords: Ultrasonic non-destructive testing, piezoelectric transducer, acoustic path, ADC, AnalogDevices, DAC.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1ОПИС ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЮ	12
1.2.Види ДЕФЕКТІВ ТА ПРИЧИНИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ	15
1.3 МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ	18
1.3.1 Вихрострумний метод контролю.....	20
1.3.2 Магнітний метод контролю	22
1.3.3 Капілярний метод контролю.....	23
1.3.4 Рентгенівський метод контролю.....	26
1.3.5 Акустичні методи контролю	29
1.4. Обґрунтування вибору методу контролю.....	31
1.5.Автоматизація систем ультразвукового контролю.....	36
1.6. Існуючі пристрої та вибір структурної схеми.....	37
1.7. Постановка завдання.....	43
2.РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	44
2.1 Розрахунок п'єзоперетворювача.....	44
2.2 Моделі трактів з лінією затримки	45
2.3 Розрахунок акустичного тракту.....	46
2.4 Розрахунок електроакустичного тракту	48
2.5. Розрахунок вузлів електричної схеми.....	49
2.5.1. Розрахунок генератора зондуючих імпульсів.....	49
2.5.2. Розрахунок схеми захисту.....	52
2.5.3. Розрахунок операційного підсилювача.	53
2.5.4. Розрахунок смугового фільтру.	54
2.5.5. Схема часового регулювання чутливості	56
2.5.6. Розрахунок та вибір АЦП.....	57
2.5.7. Розрахунок та вибір пам'яті	58
2.5.8 Вибір дешифратора	60
2.5.9 Вибір мікроконтролера.....	61
2.5.10 Вибір дисплея	63
Висновки до розділу	64
3.РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ.....	65
3.1. Розробка конструкції перетворювача	65
3.2. Технологія виготовлення перетворювача.....	65
3.3. Розробка конструкції сканера та підбір двигуна	67
Висновки до розділу	71
4.1. ОПИС ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АУДИТ ІДЕЇ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	72

4.2. АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	74
4.3. РОЗРОБЛЕННЯ РИНКОВОЇ СТРАТЕГІЇ ТА МАРКЕТИНГОВОЇ ПРОГРАМИ ПРОЕКТУ ...	82
4.4 ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	88
ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	91

Перелік умовних позначень

НК – неруйнівний контроль

УЗ – ультразвук

ОК – об'єкт контролю

УЗХ – ультразвукова хвиля

ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач

ЧРЧ – часове регулювання чутливості

МК – мікроконтролер

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ВСТУП

На сьогоднішній день однією з найважливіших задач на сучасних підприємствах є підвищення якості металу. В якісні показники роботи металургії входять розширення асортименту продукції, збільшення поставок металу вищої категорії якості, що встановлюється міжнародними та державними стандартами на етапах її розробки, проектування та виготовлення. Важливою складовою комплексних систем управління якістю є застосування методів і засобів неруйнівного контролю (НК) матеріалів і сировини, контролю деталей на всіх етапах виробництва, а також контролю й технічної діагностики (ТД) стану деталей та елементів конструкцій під час їх експлуатації.

Неруйнівний контроль і технічна діагностика – самостійна галузь науки й техніки, значимість якої важко переоцінити в сучасному світі.

Прилади та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики мають широке застосування в різноманітних напрямках в діяльності людей, у промисловості, медицині – майже повсюди, де потрібна інформація про стан і характеристики матеріалів .

Завдання НК при контролі якості різноманітних конструкцій, також і металоконструкцій, це пошук відхилень від їхніх технічних характеристик чи параметрів від тих, що зазначені в нормативних документах (НД). Це, наприклад, дефекти порушення суцільності металоконструкцій, відхилення фізичних та механічних властивостей, геометричних розмірів. Метою засобів і методів НК є своєчасне виявлення та прогнозування можливих руйнувань та, як наслідок, запобігання виникненню аварій [1].

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Опис об'єкту контролю

Листовий метал - є найстарішим видом прокату, який відомий людству з давніх часів. Тоді тонкі листи металу отримували методом розплющення злитків ударами молота, зараз же на металургійних підприємствах застосовують сучасні прокатні станки, які дозволяють отримати листовий прокат, що має точно задані параметри товщини та ширини.

Листовий метал представляє собою тонкий гладкий чи з рифленням лист, що виготовлено з звичайних вуглецевих або легованих марок сталі гарячою чи холодною прокаткою. Він може випускатися як у вигляді листів, так і у вигляді рулонів. Прокатну сталь товщиною до 3,9 мм вважають тонколистовою, а від 4 мм і більше – товстолистовий прокат [2]. Для покращення технічних і експлуатаційних властивостей готової продукції можуть застосовуватися різноманітні види термічної обробки:

- Відпал;
- Нормалізація;
- Відпуск.

Існує два способи виготовлення листової сталі: гарячий і холодний. При гарячому виробництві металопродукція формується шляхом прокатки металозаготовки крізь прокатний стан при підвищеній температурі і подальшою гарячою обробкою [3]. Гарячий прокат розділяють на:

- Тонкий (до 3,9 мм). Цей вид продукції поставляється в виді рулонів, якщо товщина листа більша за 1,2 мм, і в листовому варіанті при товщині від 0,4 мм. До цієї групи металопродукції відноситься конструкційний листовий прокат.
- Товстолистовий (4 - 160мм). Може бути в рулонах (1,2-12 мм) і листах (0,4-160 мм).

Гарячекатаний листовий прокат представлено в двох групах - листи низьколеговані і конструкційні. Перші прокочуються зі сталевих сплавів, що мають низький вміст вуглецю і потрібні для створення зварних металічних конструкцій. Їх низька вартість стала причиною для широкого розповсюдження продукції в легкій та важкій промисловостях. З цього типу прокату виробляють деталі для різноманітних галузей, шовні трубопроводи, клепані конструкції.

Для виробництва деталей конструкцій, що мають підвищену відповідальність застосовують конструкційну металопродукцію з легової вуглецевої сталі.

Гарячекатані листи виявились оптимальними для створення зварних конструкцій, які розташовуються під впливом зовнішніх факторів так як вони стійкі до температурного впливу та служать добрим матеріалом для виробництва мангалів, сейфів, деталей машин [4].

Найбільш вагомими перевагами гарячекатаного листового прокату можна назвати:

- висока стійкість до корозії;
- добра зварюваність;
- термостійкість;
- є простим в обробці та в експлуатації;
- має відмінні технічні властивості;
- широкий асортимент.

Метод холодного прокату це обробка пластичної сталі на прокатному станку за відсутністю нагрівання заготовки. Результатом даного процесу є високоякісний лист з непоганими характеристиками поверхні. Товщина холоднокатаних листів знаходиться в проміжку 0,35-5 мм. Цей тип прокату може мати різну щільність та твердість.

Основними переважаючими якостями холоднокатаного листового прокату є:

- відсутність термічного впливу в ході зварювання;
- задовільні експлуатаційні характеристики;

– відсутня потреба в додатковій обробці перед фарбуванням.

Холодний сталевий прокат використовують для випуску профнастилу і також для перфорованих покрівельних листів з цинкуванням.

Продукцію з холодного прокату застосовують при виробництві конструкцій до яких пред'являються високі вимоги міцності, точності та супротив деформаціям.

Листова сталь застосовується в будівництві і промисловості, напевно, частіше, ніж будь-який інший вид металопродукату. Вона пластична, легко піддається механічній обробці і добре зварюється. Важливою перевагою також є доступна ціна сталевих листів, яка сприяє їх широкому поширенню.

Сталеві листи можуть використовуватися як готовий продукт або в якості сировини для виробництва інших видів прокату: зварних труб, профнастилу, смуг або стрічок.

У будівельній галузі прокат у вигляді листів сталі використовується, в першу чергу, для захисту споруд від атмосферних опадів. З їх допомогою стіни і дахи будинків і споруд захищають від дощу і снігу. Для цих цілей раціональніше купити сталеві листи з захисними покриттями (пофарбовані або оцинковані), оскільки вони набагато довше, ніж необроблені, служать в несприятливих умовах. Оцинкований і нержавіючий листовий прокат вважається кращим рішенням для об'єктів, де потрібне поєднання надійності, стійкості до корозії і красивого зовнішнього вигляду.

Листова сталь часто використовується як декоративний елемент. Різні способи обробки прокату дозволяють отримувати шліфовані, дзеркальні і матові листи, що відкриває перед архітекторами і дизайнерами, які використовують метал в своїх проектах, широкі можливості по зовнішній і внутрішній обробці будівель [5].

Для машинобудування листова сталь є не менш важливим матеріалом, ніж для будівельної галузі. вона:

- використовується для виготовлення корпусів побутової техніки та промислового обладнання;
- служить в якості елемента обшивки суден і літальних апаратів;
- необхідна для виробництва автомобілів і залізничних вагонів;
- застосовується для виготовлення стінок судин і резервуарів.

Сталеві листи вважаються одним з найбільш економічних видів металопрокату. Завдяки доступній ціні, високій технологічності та універсальності, вони дозволяють легко і швидко вирішувати широкий спектр конструкторських і виробничих завдань з мінімальними витратами металу.

1.2. Види дефектів та причини їх виникнення

У процесі виготовлення вироби з металу проходять складний технологічний шлях. Він включає наступні основні процедури: плавлення, литво, обробка тиском, термічна, механічна обробки, з'єднання з іншими деталями. Окремі операції можуть бути виключені з цього ланцюжка або повторюватися кілька раз. Готова продукція зберігається та використовується, але їхні параметри можуть змінюватися. В технологічному процесі матеріал продукції може змінюватися. Для того щоб зрозуміти характер цих змін треба мати загальні відомості у матеріалознавстві [6].

Чисті метали в промисловості використовують досить нечасто. Зазвичай, застосовують сплави металів. Найчастіше за все це сплави з двох компонентів.

Сталь це ковкий сплав заліза з додаванням карбону, а іноді з елементами які покращують деякі властивості (легуючі). Вміст карбону не перевищує 2,14 %. Це самий розповсюджений конструкційний матеріал.

Оскільки об'єкт контролю це сталеві листи, то найчастіше причина наявності дефектів являється невисока якість сталевих заготовок, і також порушення в технологічному процесі при прокаті заготовок [7].

Дефекти при прокаті розділяються на дефекти нагріву металу, дефекти прокатки та обробки.

Дефекти нагріву це перегрів, обезвуглеводження, окалиноутворення, поверхневого шару, і перепал сталі та внутрішні тріщини.

Тріщини всередині (рис.1.1) з'являються через занадто швидкий нагрів чи охолодження сталі в якій знижена теплопровідність або пластичністю. Внутрішні напруження, що виникають через зміну температури та структурних перетворень перевищують міцність сталі, тоді утворюються внутрішні тріщини[8].



Рис. 1.1. Внутрішні тріщини

Розшарування (рис. 1.2) це витягнуті в довжину, площинні зміни цілісності матеріалу різного розміру, що розміщуються всередині катаних заготовок в напрямі повздовж прокатки. Також можуть бути присутні здуття листової поверхні.

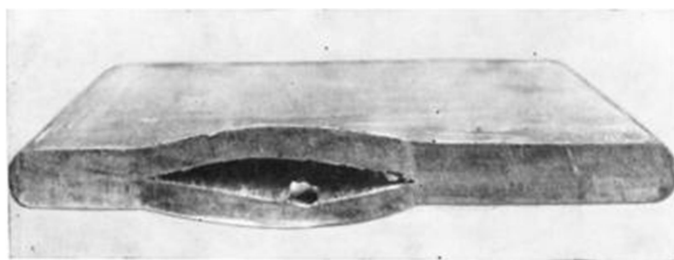


Рис.1.2. Розшарування

Порожнини від усадочної раковини (рис.1.3) - вони розміщені вздовж напрямку порожнин в середній частині матеріалу, їх найкраще видно при поперечному перерізі. Виникають вони через залишкові усадочні раковини, які виникли в процесі затвердіння.

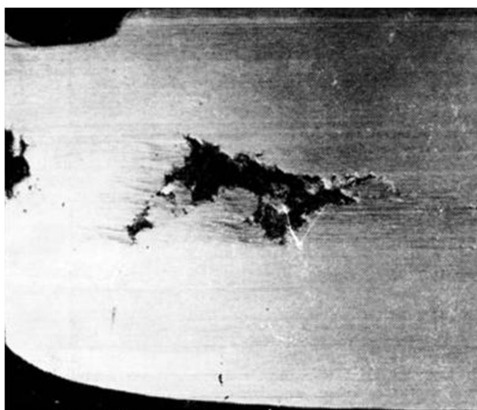


Рис.1.3. Порожнини від усадочних раковин

Неметалічні включення (рис.1.4) – це зміна суцільності в металі, виглядають вони як хаотично розміщені вздовж чи поперек перетину, в більшості випадків у них витягнута форма. В прокатних заготовках можливі як екзогенні, так і ендогенні включення. Вони з'являються через неуважний догляд за вогнетривкою футеровкою випускного отвору і розливних пристроїв та трапляється, бо частки вогнетривкового матеріалу падають в процесі виплавки та розливу до металу в рідкому вигляді, в процесі твердіння частки лишаються всередині зливка чи в поверхневій зоні, низька якість вогнетривкового матеріалу, ранній злив шлаку, скупчення продуктів окислу.

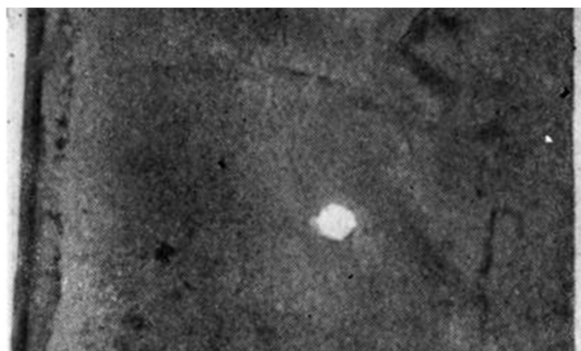


Рис. 1.4. Неметалеві включення

Флокени (рис.1.5) – це вид внутрішніх тріщини, які сильно занижують механічні характеристики сталі. В травлених шліфах флокени. виглядають як тонкі волосовими, а на зламах гартованих зразків їх вирізняють за овальними кристалічними точками сріблястого чи білого кольору, вони добре контрастують на фоні маси зламу темного кольору. Першопрчиною

формування флокенів є домішки водню в сталі, а найбільш достовірний механізм цього процесу - поглинання водню, що знаходиться на поверхні мікронесуцільностей з процесом пониження поверхневої енергії, що призводить до руйнації. Виникнення ділянок з надлишковою адсорбцією водню, де зароджуються флокени, стимулюють внутрішні напруги, що виникають у сталі при структурних перетвореннях, деформації та нерівномірному охолодженні. При зменшенні опору руйнуванню сталі, на точках концентрації напружень близько скупчень дефектів кристалічних решіток, неметалевих включень, шанс виникнення флокенів є вищим[9].

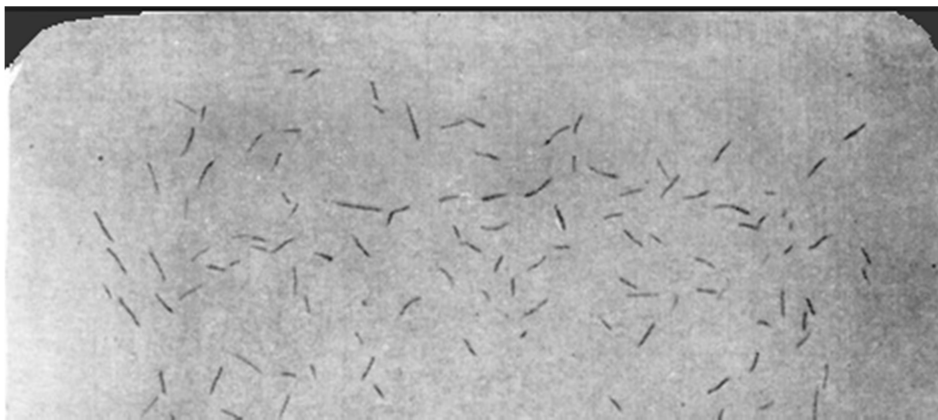


Рис.1.5. Флокени

1.3 Методи неруйнівного контролю листового прокату

Найбільш ефективні результати контролю можуть досягатися тільки при технічно правильному виборі та застосуванні методів дефектоскопії. Вибір методу НК визначається конкретними вимогами практики та залежить від матеріалу і конструкції об'єкта що контролюється, станом його поверхні, характеристик дефектів які потрібно виявляти, умов експлуатації деталі, умов контролю та техніко-економічних показників.

Зауважимо, що методи НК не є універсальними, кожен з них може бути використаний найбільш ефективно для знаходження окремих типів дефектів. Тому для контролю деталей критичного значення використовують два або більше методів НК. Висока ефективність контролю може бути забезпечена за

умов правильного вибору методик та інструкцій контролю, технічних засобів (автоматизованих систем дефектоскопії та дефектоскопічних матеріалів), справності дефектоскопічної апаратури та якості матеріалів, достатній кваліфікації дефектоскопістів, правильній організації роботи.

Використання комплексного контролю виробів в умовах виробництва та експлуатації дозволить підвищити якість та надійність техніки. Систематичне проведення НК на різних етапах технологічного процесу і статистична обробка результатів цих випробувань дозволить визначати та усувати причини браку.

В наш час широко використовуються різноманітні фізичні методи і засоби неруйнівного контролю металів та металовиробів, що дозволяють перевіряти якість продукції без порушення її придатності до використання за призначенням.

Всі дефекти призводять до змін фізичних характеристик металів і сплавів – щільності, електропровідності, магнітної проникності, пружних властивостей тощо. Дослідження змін характеристик металів та виявлення дефектів що являються причиною цих змін, являють собою основу методів неруйнівного контролю. Ці методи засновані на використанні проникаючих випромінювань ренгенівських та гама-променів, ультразвукових та звукових коливань, магнітних та електромагнітних полів, оптичних спектрів, явищ капілярності, тощо.

До переваг НК відносяться: порівняно велика швидкість контролю, висока надійність (достовірність) контролю, можливість механізації та автоматизації процесів контролю, тощо.

Неруйнівний контроль в залежності від фізичних явищ, закладених в його основу, поділяється на види: магнітний, електричний, вихрострумний, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний, проникаючими речовинами.

Методи кожного виду НК класифікують за наступними ознаками:

- Характеру взаємодії фізичних полів та речовин з контрольованим об'єктом;
- Первинними інформативними параметрами;

– Способами отримання первинної інформації;

В сучасній практиці використовують наступні основні методи виявлення та вивчення поверхневих та внутрішніх дефектів листового прокату:

1.3.1 Вихрострумний метод контролю

Вихрострумний метод неруйнівного контролю базується на поміщенні об'єкта контролю в електромагнітне поле котушки (рис. 1.6.) тоді в ОК виникають вихрові струми у вигляді кіл. Вони індукційно пов'язані із котушкою, за зміною її комплексного опору відомо про стан і характеристики об'єкта контролю [10].

Перевагами цього методу неруйнівного контролю виділяють простоту і швидкість проведення контролю. Також вихрострумний метод не вимагає застосування контактної рідини. При проведенні вихрострумного контролю ОК сканують на достатньо високій швидкості. Датчик може навіть не торкатись ОК, а знаходитися на невеликій дистанції, зазвичай декілька долей міліметра.

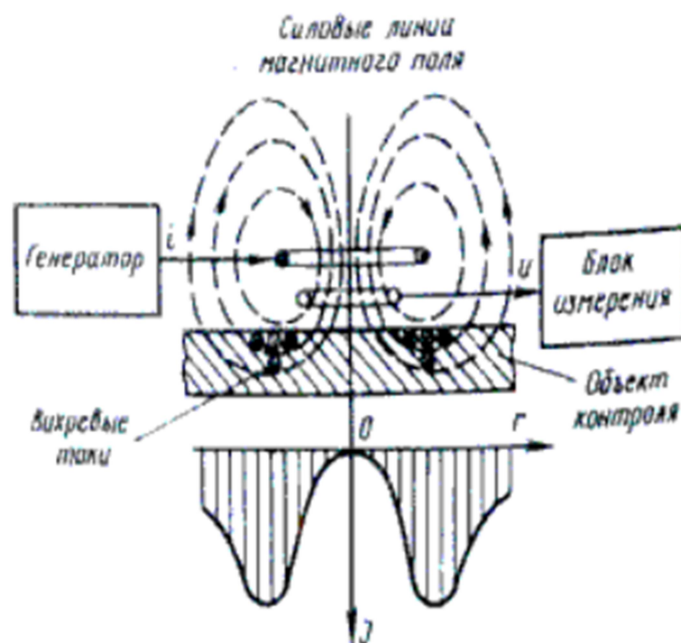


Рис.1.6. Вихрострумний метод контролю

Існує кілька видів вихрострумного контролю (ДСТУ EN ISO 15548-1:2017):

- Багаточастотний;
- Частотний;
- Фазовий;
- Амплітудний;
- Спектральний.

Самими поширеними методами являються частотний та амплітудний.

Амплітудний метод базується на детекції зміни сигнальної амплітуди на параметричному датчику коли на нього діють вихрові струми. Даний метод це самий поширений тому що має дуже просту реалізацію. Та все ж, у методу є певні недоліки, які пов'язані з матеріалом об'єкта контролю. Коли при процесі контролю об'єкту міняється не лише амплітуда, але і фаза або частота, тоді цей вид контролю не буде давати потрібної точності.

Частотний метод базується на дослідженні зміни частоти під час контролю об'єкту. Хоч цей метод може контролювати металічні деталі в яких вихрові струми мають зміну не лише амплітуду сигналу на ВСП, такий метод потребує значно ускладненої елементної бази системи, це суттєво ускладнює розробку.

Перевагами вихрострумowego контролю є:

- Через особливості походження сигналу, при обробці можна реалізувати автоматизацію контролю;
- Немає необхідності контактування датчику та ОК, як механічно так і електрично;
- ОК може мати велику шорсткість поверхні;
- Простота контролю;
- В процесі контролю ОК може мати велику швидкість руху, це дозволяє пришвидшити проведення контролю;
- Не вимагає контактної рідини, або спеціальних захисних екранувань для контролю.

Як первинний перетворювач використовують котушку індуктивності, вона може бути одна або більше.

1.3.2 Магнітний метод контролю

Магнітний метод НК засновано на дослідженні спотворень магнітного поля, що виникають в місцях дефектів у виробах з феромагнітних матеріалів (рис.1.7.). Індикатором може бути магнітний порошок або його суспензія з дисперсністю частинок 5-10 мкм. При намагнічуванні виробу порошок осідає в місцях розміщення дефектів (магнітопорошковий метод). Поле розсіювання можна фіксувати на магнітній стрічці, яка накладається на досліджувану ділянку намагніченого виробу (магнітографічний метод). Також використовують малогабаритні датчики (ферозонди), котрі при русі по поверхні виробу в місці дефекту вказують на зміну імпульсу струму, що реєструється на дисплеї (ферозондовий метод).

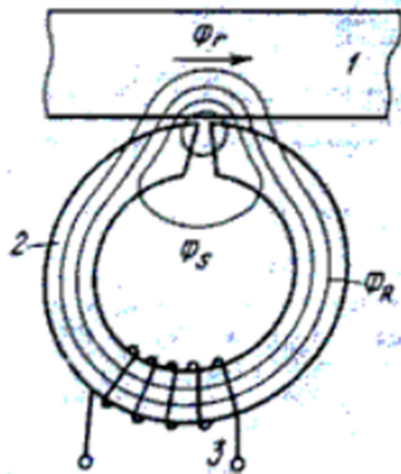


Рис.1.7. Магнітний метод контролю

Чутливість методу магнітної дефектоскопії залежить від магнітних характеристик матеріалу, режимів намагнічування виробів, використаних індикаторів і т.д. Магнітопорошковим методом можна виявляти тріщини та дефекти на глибині до 2 мм. Магнітографічним методом в основному контролюють зварні шви трубопроводів товщиною до 10-12 мм та виявляють невеликі тріщини і непровар. Ферозондовий метод найбільше підходить для виявлення дефектів на глибині до 10 мм, деколи до 20 мм, у виробах правильної форми. Даний метод дозволяє повністю автоматизувати контроль.

Намагнічування виробів проводиться магнітними дефектоскопами, які створюють магнітні поля достатньої напруженості. Після проведення контролю вироби піддаються розмагнічуванню [11].

1.3.3 Капілярний метод контролю

Капілярний метод дефектоскопії заснований на капілярному проникненні індикаторних рідин в порожнини поверхневих і наскрізних дефектів об'єкта контролю та реєстрації утворених індикаторних слідів візуально або за допомогою перетворювача. Він дозволяє виявляти поверхневі дефекти значно швидше і має більшу чутливість, ніж візуальний огляд.

Процес капілярного контролю складається з трьох головних операцій: просочення контрольованого об'єкта проникаючою рідиною – індикаторним пенетрантом, видалення надлишку пенетранту з поверхні; реєстрація наявності його в порожнині дефектів за допомогою проявника або датчиків. Капілярний метод заснований на явищі змочування (рис.1.8.). Це явище викликається взаємним тяжінням молекул рідини або твердого тіла (в газах тепловий рух частинок долає це тяжіння). В результаті мінімум вільної енергії досягається в рідині або твердому тілі, коли поверхня їх мінімальна. Таким чином поверхні прагнуть скоротитися і виникають сили поверхневого натягу.

Операції підготовки треба для того, щоб вивести на поверхню виробу гирла дефектів, усунути можливість виникнення фону і помилкових індикацій, очистити порожнини дефектів. Механічну очистку виконують, коли поверхня виробу покрита окалиною, лаком, фарбою або силікатом [12].

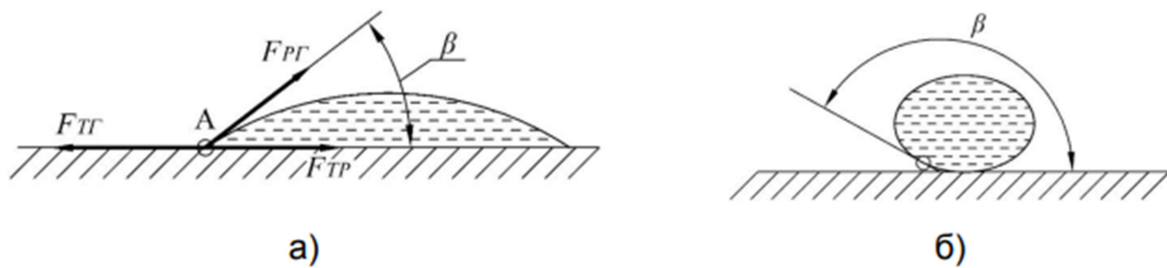


Рис.1.8. Змочування (а) та незмочування (б) поверхні твердого тіла рідиною

Обробка дефектоскопічними матеріалами складає основну частину процесу контролю. Просочення пенетрантом виконують зануренням у ванну, намазуванням пензлем. Дуже зручний спосіб розпилення з аерозольного балона. У всіх випадках пенетрант залишають на поверхні на 10...20 хв, для кращого його проникнення в порожнину дефектів.

До пенетранту пред'являють ряд вимог, хороша змочуваність – головна з них: низька в'язкість пенетранту потрібна для скорочення часу просочення. Вимоги високого змочування і низької в'язкості задовольняють такі речовини, як гас, бензин, рідкі масла, спирт, бензол, скипидар. Третє важлива вимога до пенетранту – можливість і зручність виявлення індикацій після проявлення. Кольорові пенетранти володіють колірним контрастом у видимому світлі, люмінесцентні здатні світитися під дією ультрафіолетового опромінення. Люмінесцентними властивостями володіють деякі з змочувальних речовин: норіол, трансформаторне масло. Люмінесценція викликається або посилюється введенням спеціальних добавок. Люмінесцентний метод забезпечує вищу чутливість, ніж кольоровий, але вимагає ультрафіолетових опромінювачів, виконується в умовах затемнення.

Усунення надлишків пенетранту з поверхні – наступна операція. Вона необхідна для того, щоб виключити можливість появи помилкових індикацій після проявлення і збільшити контраст при виявленні дефектів. Видаляючи з поверхні пенетрант, важливо не вимити його з порожнин дефектів. Спосіб

усунення залежить від складу і властивостей поверхні матеріалу. Застосовують протирання, промивання, обдування тирсою, піском і гасіння. Найчастіше використовують промивку речовинами, які називають очисниками. Очищувачем може бути вода з добавками поверхнево-активних речовин (емульгаторів), наприклад прального порошку, соди, ОП-7. В якості очищувачів також застосовують органічні розчинники (ацетон, спирт з ОП-7, гас з рідким маслом), якщо пенетрант погано розчиняється у воді. Після промивання виріб сушать, для прискорення, обдувають теплим повітрям. Потім рекомендується перевірити шляхом огляду, чи не залишилося слідів пенетранта на поверхні.

Проявлення – це процес утворення малюнка індикацій в місцях наявності дефектів. Проявлення порошком, як зазначалося раніше, засноване на явищі фізичної адсорбції. В якості проявника використовують білий тонкодисперсний порошок окису магнію, вуглекислого магнію, вуглекислого кальцію, тальку (сухий спосіб). Порошок зазвичай наносять розпиленням струменем повітря. Найчастіше застосовують суспензію порошку вуглекислого магнію або каоліну у воді або спирті (мокрый спосіб). Суспензію наносять зануренням у неї об'єкта контролю, пензлем або розпиленням з аерозольного балона.

Огляд об'єкта контролю – найвідповідальніша операція. При кольоровому способі обов'язковою вимогою є добра освітленість поверхні ОК. Якщо використовують люмінесцентні джерела денного світла загальна освітленість робочого місця має бути в діапазоні 300...750 лк, а комбінована (загальна та місцева) освітленість – 750...2500 лк. При використанні ламп розжарювання освітленість відповідно 200...500 і 500...3000 лк, часто застосовують безтіньову систему освітлення з декількох ламп. При використанні люмінесцентних ламп вживають заходів для усунення пульсацій. При люмінесцентному способі контролю огляд проводять у затемненому приміщенні з підсвічуванням видимим світлом не більше 10 лк. Для люмінесценції індикацій використовують ультрафіолетове (УФ) опромінення ртутними лампами з довжиною хвилі 315...400 нм. Застосовують малопотужні лампи типу ЛУФ-4-1 і більш потужні типи ДРУФ[13].

1.3.4 Рентгенівський метод контролю

Одним з найрозповсюджених традиційних НК є радіографічний, що базується на реєстрації на рентгенівську плівку іонізуючого випромінювання після того як воно проникне через ОК та подальшому аналізі отриманого зображення (рис 1.9.)[14].

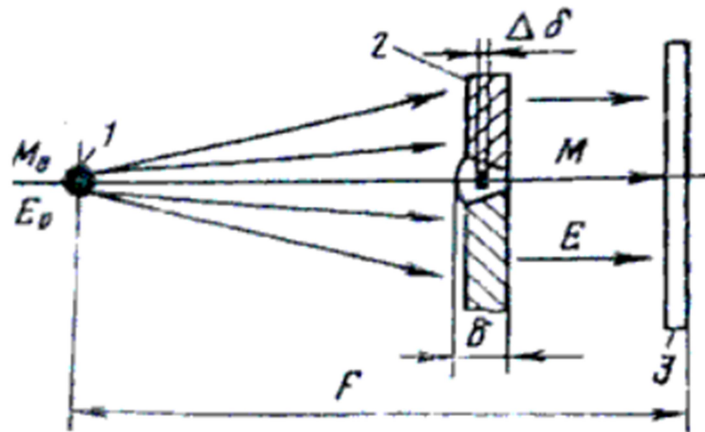


Рис.1.9. Рентгенівський метод неруйнівного контролю

Перевагами радіографічного контролю є:

- висока чутливість до знаходження дефектів (1-2% від просвічуваної товщини);
- зручність при записі результатів контролю (плівки можуть зберігатися велику кількість років);
- виразність результату контролю (тип дефекту легко визначається по зображенню на плівці);
- можливість використання методу для багатьох класів матеріалів (залежно від джерела іонізуючого випромінювання, існує можливість контролювати як метали, аустенітні сталі та легкі метали, так і органічні речовини).

Режими рентенографічного контролю якогось окремого об'єкта можуть залежати від різних факторів, таких як прозорість для випромінювання, контрастної чутливості та роздільної здатності перетворювача (рентгенівської

плівки), інтенсивності джерела випромінювання. Ці методи мають бути оптимальними з точки зору чутливості та продуктивності контролю. В залежності від товщини та щільності просвічуваного матеріалу слід вибирати підходящу енергію випромінювання і напругу на рентгенівській трубці.

В залежності від ОК, обраної схеми контролю та вимог до нього обирається джерело випромінювання щоб досягти найкращого результату.

Проявлення рентгенівського зображення на плівці виконується за законами геометричної оптики, аналогічно тому, як утворюється тінь у видимому світлі. Тому різкість зображення на плівці напряму залежна від розміру джерела випромінювання та відстаней від джерела до плівки і від плівки до ОК. Щоб отримати найбільш чітке зображення, барабан з плівкою намагаються розташувати на максимально близькій відстані до контрольованого об'єкту. Контрольований об'єкт і плівка взаємодіють на протязі деякого часу, далі плівку піддають фотообробці, вона включає в себе такі етапи як проявлення, фіксація, промивання та сушка.

Радіографічна плівка має багато переваг. Вона має хорошу контрастну та просторову роздільну здатність. Однак існує і низка значних недоліків, до таких відносять:

- Невелику квантову ефективність;
- Вузькість динамічного діапазону;
- Довгий час різних процесів обробки плівкового матеріалу та велику трудозатратність;
- Клопітка організація плівкового архіву та змістом.

Також використовують метод, в основі якого лежить отримання рентгенівського зображення на пластині, поверхня якої покрита спеціальною люмінофорною речовиною. Як і рентгенівська плівка, гнучку пластину, встановлюють за ОК. Під час експозиції на пластині проходить процес накопичення енергії іонізуючого випромінювання, результатом є формування невидимого зображення. Воно може зберігатися протягом шести годин. Після

завершення взаємодії пластина потрапляє в сканер, що зчитує приховане зображення лазером після чого його видно на екрані монітора і напямку картина сприймається оператором. Результатом є цифрове зображення, яке при необхідності може бути оптимізовано, масштабоване і збережено.

Якщо порівнювати з плівковим методом можна виділити такі переваги методу цифрової радіографії:

- Швидкість формування зображення вища;
- Відсутність процесу обробки плівки в фотореактиві, що зменшує трудомісткість ;
- Менші дози опромінення, що потрібні для експонування;
- Ширший динамічний діапазон дозволяє досліджувати ОК, що мають велику товщину чи складну форму;
- Можливе послідовне експонування близько десяти тисяч зображень, пластина для формування зображення є багаторазовою;
- Термін зберігання зображень практично необмежений, можна отримувати необхідну кількість копій та використовувати мережі для передачі зображень.

За допомогою пластини можна отримувати цифрові зображення, без використання обладнання для оцифровки рентгенівських плівок.

До важливих недоліків цього методу слід визначити його рентгенівське випромінювання, яке є іонізуючим та шкідливо впливає на живі клітини та може спричиняти променеву хворобу, рак. Тому при взаємодії з рентгенівськими апаратами треба дотримуватись певних правил і заходів захисту.

Ще слід зазначити що до недоліків радіографічного контролю можна віднести те, що при контролі не виявляються включення та несучільності:

- Які мають розмір в напрямку просвічування менший, ніж подвоєна чутливість контролю;

- якщо силуети деталей, гострих кутів чи різких перепадів товщини просвічуваного металу збігаються з їх зображенням на знімку.

1.3.5 Акустичні методи контролю

Акустичні методи базуються на застосуванні пружних коливань та хвиль різних частот. В ультразвуковому діапазоні використовують частоти від 20 кГц до 100 мГц.

Серед акустичних методів контролю можна виділити дві великі групи - активні та пасивні.

Якщо активні методи базуються на випромінненні й прийомі пружних коливань, то у випадку пасивних методів відбувається тільки прийом хвиль, які випромінює сам об'єкт контролю. В свою чергу активні методи класифікують за методами проходження, віддзеркалення чи комбіновані (використовують як проходження, так віддзеркалення), методи власних частот та імпедансні.

На практиці найбільш поширеними стали такі методи ультразвукової дефектоскопії: луна-імпульсний, тіньовий, резонансний, імпедансний і метод вільних коливань[15].

Резонансний метод контролю заснований на виникненні в контрольованому об'єкті стоячих хвиль. Якщо частоти пружних хвиль співпадають, з'являється резонанс. В цьому випадку відбувається зменшення акустичного опору в деталі яку контролюють і відповідно зміна потужності від генератора ультразвукових коливань. Ця зміна потужності реєструється індикатором. Якщо в деталі наявний дефект тоді частота її вільних коливань зазнає змін, таким чином резонанс зникає, що фіксується індикатором.

При використанні тіньового методу з одного боку контрольованого об'єкта за допомогою випромінювача вводяться ультразвукові коливання, з іншої сторони розміщено приймач, який реєструє інтенсивність коливань. Якщо сигнал після проходження змінився, можна припустити наявність

дефекту. Щоб використовувати тінювий метод до об'єкту контролю потрібен двосторонній доступ.

Луно-імпульсний метод дефектоскопії застосовується найчастіше. Принцип його дії полягає у введенні в контрольований об'єкт коротких імпульсів пружних коливань та подальшої реєстрації інтенсивності та часу приходу відбитих від дефектів луно-сигналів.

Коли пружні коливання зустрічаються на своєму шляху проходження з дефектом, вони частково віддзеркалюються та потрапляють назад до випромінювача. Деяка частина коливань проникає до протилежної сторони об'єкта контролю, віддзеркалюється від межі об'єкт-повітря і як луна, приходить до випромінювача. При відбитті від дефекту, коливання повертаються раніше за ті, що йдуть від протилежної сторони об'єкта, значить першим на дисплеї дефектоскопа покажеться імпульс від дефекту, а після нього вже імпульс, що дійшов з протилежної сторони об'єкта контролю (донний сигнал). Імпульси на дисплеї будуть розташовані один за іншим на деякій відстані, що відповідає часу їхнього повернення. За значенням амплітуди луна-сигналу можна оцінити розмір дефекту, а відстань до дефекту це різниця в часі між моментом посилення луна-сигналу та моментом його прийому.

На зміні частоти вільних коливань в контрольованій деталі базується метод вільних коливань. При впливі ударом ззовні на об'єкт контролю в ньому виникають вільні коливання. Частота цих коливань залежить від інерційно-пружних властивостей деталі, що самі залежать від фізичної однорідності матеріалу, з якого виготовлено деталь. Якщо в деталі присутній дефект, він призводить до неоднорідності матеріалу і як наслідок, до зміни частоти вільних коливань[16].

При імпедансному методі контролю використовують заміри сили реакції, яка діє на датчик та викликана контрольованим об'єктом. Цей метод зазвичай застосовують для контролю якості покриттів поверхонь деталей.

Пасивні звукові методи використовують аналіз пружних коливань, які збуджуються всередині самого контрольованого об'єкта. При дослідженнях

емісії хвиль напруги деяких металів та сушеної деревини визначили, що, при навантаженні металу до граничного рівня, спостерігається шумовий вибух, а якщо навантажити метал повторно, то такий вибух відбудеться тільки тоді, коли навантаження перевищить первісне значення. Акустико-емісійний метод є найпоширенішим із пасивних методів.

З перерахованих акустичних методів дефектоскопії найбільше застосування на практиці має луна-метод, тому що за його допомогою вирішують задачі контролю зварних з'єднань, поковок, виливок та різних неметалічних матеріалів, використовуючи різні типи хвиль. Також луна-метод застосовують для вимірювання геометричних розмірів об'єктів. При відомій швидкості ультразвуку в матеріалі, розміри якого визначають, заміряють час приходу донного сигналу, таким чином можна визначити товщину виробу при односторонньому доступі. У випадку якщо товщина об'єкту невідома, по цьому сигналу заміряють швидкість, враховують згасання ультразвуку та по даним параметрам визначають фізико-механічні характеристики матеріалу.

Луна-тіньовий метод застосовують при дефектоскопії зварних з'єднань. При автоматичному контролі зварних з'єднань давачі закріплюють з двох сторін від шва та приймають віддзеркалені сигнали та ті що пройшли. За останніми можна визначати якість акустичного контакту та виявляти дефекти, котрі орієнтовані так, що луна-сигнали від них заслабкі.

Тіньовий акустичний метод застосовують лише при двосторонньому доступі до об'єкту, для автоматичного контролю виробів нескладної форми. Чутливість тіньового методу може бути майже у 10 - 100 разів меншою за чутливість луна-методу через великий вплив завад[17].

1.4. Обґрунтування вибору методу контролю

Ультразвуковий контроль листового прокату проводиться за допомогою луна-імпульсного ультразвукового методу.

Луна-імпульсний метод отримав широке розповсюдження, адже на відміну від тіньового методу луна-імпульсний (метод віддзеркаленого випромінення) базується на введенні направлено променя УЗК у контрольований виріб та прийом відбитого сигналу від дефекту або “дна”.

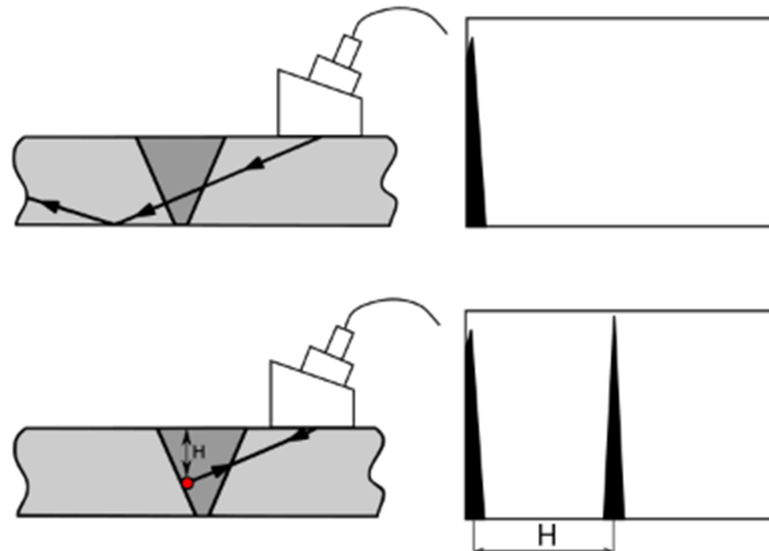


Рис.1.10. Луна-імпульсний метод контролю зварного шва без дефекту (згори) та з наявністю дефекту (внизу).

В луна-дефектоскопах (рис.1.10) випромінювач УЗК служить також іх приймачем. За цією схемою дефектоскоп працює в режимі імпульсного випромінювання УЗК. Але існують дефектоскопи, в перетворювач яких вмонтовано випромінюючий і приймаючий п'єзоелементи .

Також, на відміну від інших методів луна-імпульсний застосовується при односторонньому доступі до досліджуваного об'єкта, і при цьому дозволяє визначити розміри дефекту, його координати, характер.

У луна-імпульсному методі ультразвукової дефектоскопії (УЗД) використовуються ті ж принципи, що і в радіо- і акустичної локації.

Сучасний луна-метод УЗД заснований на випромінюванні в контрольований виріб коротких імпульсів пружних коливань (тривалістю 0,5 - 10 мкс) і реєстрації інтенсивності (амплітуди) і часу приходу луна-сигналів, відбитих від дефектів відбивачів [18].

Імпульсний луна-метод дозволяє вирішувати наступні завдання

дефектоскопії :

- Виявлення і визначення координат дефектів, що представляють собою порушення суцільності і розташованих як на поверхні, так і всередині металевих і неметалевих виробів і в зварних з'єднаннях;
- Визначення розмірів дефектів і виробів;
- Виявлення зон крупнозернистості в металевих виробах і заготовках;
- Апаратура, що реалізує даний метод, дозволяє визначити характер дефектів, ідентифікувати їх за розмірами, формами, орієнтацією.

До основних характеристик методу відносяться : чутливість, максимальна глибина проникання, мінімальна глибина ("мертва" зона), роздільна здатність, точність вимірювання відстані, продуктивність контролю.

Під чутливістю розуміють мінімальний розмір дефекту, що знаходиться на максимальній глибині і чітко реєструється автоматизованої системою. Кількісно її визначають порогом чутливості. Для луна-методу - це мінімальна площа штучного дефекту типу плоскодонного отвору, який виявляється при контролі. Її можна визначити за відбивачем іншого типу, виконуючи перерахунок на площу плоскодонного отвору за формулами акустичного тракту. Поріг чутливості обмежується двома головними факторами: чутливістю апаратури і рівнем перешкод. Залежно від структури матеріалу буде змінюватися і поріг чутливості.

Максимальна глибина проникнення визначається максимальною відстанню від дефекту (відбивача) заданого розміру, на якому він упевнено виявляється. Вона обмежується умовою, щоб сигнал від дефекту був більше мінімального сигналу, реєстрованого автоматизованою системою і рівня перешкод. Вона також визначається параметрами апаратури. У технічних характеристиках системи як максимальну глибину проникання вказують максимальну тривалість розгортки автоматизованої системи. Досягнення максимальної глибини проникання обмежується тими ж факторами, які перешкоджають підвищенню чутливості.

Мінімальна глибина або "мертва" зона - мінімальна відстань від перетворювача або від поверхні виробу до дефекту, на якому він чітко виявляється не зливаючись із зондуючим імпульсом чи імпульсом від поверхні введення ультразвуку [19].

Роздільна здатність - мінімальна відстань між двома однаковими дефектами, при якому вони реєструються роздільно. Розрізняють променеву і фронтальну роздільну здатність методу. Променева роздільна здатність - мінімальна відстань в променевому напрямку, при якому сигнали від дефектів видно на екрані як два роздільних імпульси.

Фронтальна роздільна здатність по переміщенню - мінімальна відстань між дефектами в напрямку перпендикулярному променевому. Точність вимірювання відстані до дефекту визначається похибкою в % від вимірюваної величини. Продуктивність контролю визначається кроком і швидкістю сканування (переміщення) перетворювача. При оцінці часу контролю враховується і час на дослідження дефекту.

Для забезпечення надійного виявлення дефектів необхідно виконання двох умов:

1. Сигнал від дефекту повинен перевершувати мінімальний сигнал, зареєстрований реєстратором автоматизованої системи:

$$V_d > V_{min} \quad (1.1)$$

2. Сигнал від завад має бути менше за сигнал, що йде від дефекту:

$$V_d > V_{зав} \quad (1.2)$$

Від вірного вибору частоти ультразвукових коливань залежить яким потужним ми отримаємо сигнал від дефекту і, звичайно, точність визначення дефекту. Зазначимо, що одним з головних параметрів є частота.

Якщо відстані від дефекту до перетворювача малі, то загасання ультразвуку незначне, саме через це в актуальним є використання високих частот для контролю в ближній зоні. Але для дальньої зони загасання дуже

важливий фактор що впливає на вибір частот. Чим більша товщина об'єкта контролю, тим менше потрібно обирати частоту.

В процесі ультразвукової дефектоскопії матеріалів та виробів, існують завади.

Вони бувають декілька видів:

- Завади підсилювача автоматизованої дефектоскопічної системи. Вони перешкоджають безмежному збільшенню коефіцієнта підсилення приймального тракту датчика і визначають граничне значення реєстрованого системою сигналу V_{min} ;
- Шуми з перетворювача, які виникають при його роботі за суміщеною схемою. Після випромінення зондуючого імпульсу чутливість підсилювача значно зменшується через сильний динамічний вплив на нього сигналу від генератора. Через це в даній зоні різко зростає граничне значення сигналу V_{min} , що реєстроване приладом;
- Присутність неодноразових віддзеркалень в захисному протекторі, призмі перетворювача, контактній рідині все це генерує поміхи, які збільшують час дії зондуючого імпульсу;
- Помилкові сигнали, причиною яких віддзеркалення від виступів або інших нерівностей поверхні. Такі завади заважають виявленню дефектів на окремих частинах об'єкта контролю;
- Розсіювання ультразвуку на структурних неоднорідностях, тобто структурною реверберацією також спричиняють завади. Сигнали, що йдуть від несучільностей послаблюють або підсилюють один одного. Ці перешкоди мають статистичний характер [20].

У випадку перебування дефекту в дальній зоні, щоб покращити його знаходження має сенс збільшувати розміри перетворювача. При збільшенні діаметра перетворювача покращується направленість випромінення, але границя ближньої зони віддаляється від перетворювача і при $r_d = a^2 / \lambda$ дефект буде в ближній зоні. В ближній зоні збільшення

діаметра перетворювача негативно впливає на співвідношення сигналу до шуму, та погіршує направленість перетворювача.

Одним із варіантів зменшення впливу зазначених явищ є можливість застосування фокуруючих перетворювачів. Зменшуючи тривалість імпульсу, можна підвищити променеву роздільну здатність. При контролі об'єктів значної товщини іноді непросто розділити на дисплеї два імпульси, що розташовані близько. Введення затримуваної розгортки усуває цю проблему.

Для поліпшення роздільної здатності в дальній зоні можна покращувати направленість перетворювача збільшенням його діаметра та частоти. У ближній зоні є сенс застосовувати фокууючі перетворювачі.

1.5.Автоматизація систем ультразвукового контролю

Ручний ультразвуковий контроль представляє з себе процес, який формується з різної кількості простих та складних операцій. Фактори, які мають враховуватися при проведенні контролю, а саме:

- Матеріал. Вид матеріалу та діапазон товщин впливає на вибір перетворювача. Тому що кожен матеріалі має власний імпеданс, який є критерієм при виборі датчика;
- Товщина. Діапазон товщин визначає тип перетворювача, який слід вибрати. Зазвичай, тонкий метал контролюють високими частотами, товсті металічні вироби контролюють низькими частотами;
- Геометрія. Якщо кривизна поверхні збільшується, відбувається суттєве зниження ефективності контролю, тому що погіршується контакт між перетворювачем та ОК. Через це розмір перетворювача також повинен зменшуватися якщо зменшується радіусу кривизни;
- Температура. Зазвичай перетворювачі застосовують на поверхнях з температурами 50 ° С.

Для того щоб автоматизувати процеси ультразвукового неруйнівного контролю потрібно зважати на пункти вказані вище. Тому що, при введенні автоматизації контролю, можливо сильно покращити точність проведення контролю що зменшує вплив похибки, яку вкладає оператор.

Ціллю автоматизації є покращення продуктивності праці, підвищення якості виробів, покращення управління, зниження присутності людей на виробництвах які є небезпечними для здоров'я.

Автоматизація, потребує багатостороннього підходу для вирішення задачі, через це розв'язки завдань засобами автоматизації називають системами, наприклад:

- автоматизована система управління;
- система автоматизації проектних робіт (САПР);
- автоматична система управління;
- автоматизована система керування технологічним процесом.

Якщо функції, котрі виконуються оператором, задати в контролюючій пристрій, тоді в загальному випадку існують наступні функціональні елементи: це акустичний блок з перетворювачами та механізмом який переміщує датчик; систему подачі контактної рідини, систему контролю якості акустичного контакту; електронний блок який генерує зондуючі імпульси та прийому луна-сигналів; електронний блок для логічної обробки інформації; прилади для реєстрації інформації на дефектограми в аналоговій чи цифровій формах; систему контролю зворотного зв'язку яка керує швидкістю, траєкторією сканування в залежності від отриманої інформації; систему автоматичного відбору браку [21].

1.6. Існуючі пристрої та вибір структурної схеми

Автоматизовані установки неруйнівного контролю якості металу листового прокату серії ULTRAPLATE (рис.1.11) розроблені та застосовуються як

інтегровані в технологічний процес виробництва плоского прокату або штрипсу систем ультразвукової дефектоскопії сталевого плоского прокату. Також вони можуть працювати на окремо виділеному майданчику для виконання процесу контролю якості прокату.

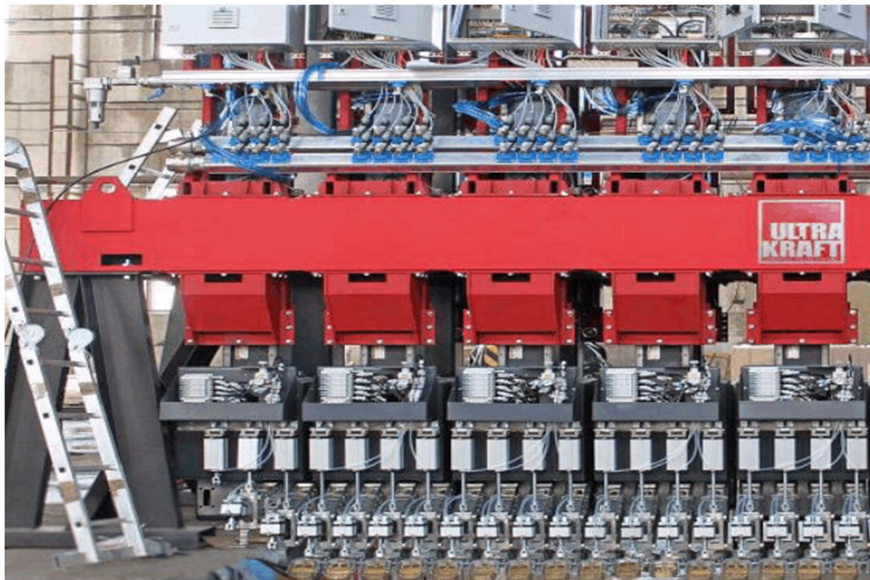


Рис.1.11 Автоматизована установка неруйнівного контролю якості металу листового прокату серії ULTRAPLATE

Устаткування дозволяє виконувати контроль листового прокату та штрипсу за такими параметрами:

- поверхневі дефекти;
- внутрішні дефекти;
- дефекти прикрімкових зон;
- товщина прокату.

За результатами процесу контролю листового прокату на наявність внутрішніх, поверхневих дефектів або дефектів зони прикрім сталевих листів (відповідно до встановлених значень чутливості та обраних критеріїв контролю) на екрані монітора формується карта дефектних зон прозвученої частини смуги.

Протоколи контролю смуги заносяться в пам'ять комп'ютера, а також можуть бути надруковані на принтері, записані на зовнішній носій інформації.

Система ультразвукового контролю прокату ULTRAPLATE дозволяє виконувати ультразвукову дефектоскопію поверхні, основного металу і кромкової зони, а також товщинометрію металопрокату товщиною до 75 мм.

Обладнання забезпечує безперервне сканування 100% поверхні листа з перекриттям зон контролю не менше 10% за допомогою безконтактних електромагнітно-акустичних перетворювачів (ЕМАП) [22].

Установка є складним технічним комплексом, що включає обладнання:

- механіки та пневматики;
- автоматики та електроживлення;
- акустичної електроніки;
- обчислювальної техніки.

Механічне обладнання установки неруйнівного контролю ULTRAPLATE служить для розміщення вимірювальних модулів з ЕМАП та налаштування їх на типорозмір контролюваного аркуша. Система контролю якості листового прокату забезпечує сканування листа та виявлення дефектів. Система автоматики служить управління виконавчими механізмами установки неруйнівного контролю у автоматичному і ручному режимах.

У системах контролю дефектів листового прокату установки неруйнівного контролю ULTRAPLATE застосовано принцип когерентного накопичення сигналів, що дозволяє суттєво підвищити відношення сигнал/шум у каналах контролю.

Чутливість контролю задається аналітично, рівнем амплітуди луна-імпульсів, відбитих від несучільностей щодо рівня донного сигналу, або рівнем падіння донного сигналу щодо рівня бездефектного ділянки, в децибелах.

Характеристики систем контролю основного металу та кромки листа:

- Число перетворювачів залежить від ширини листа;
- Ширина активної зони перетворювача 74 мм;
- Частота зондувального імпульсу $5,0 \pm 0,5$ МГц;
- Частота проходження зондувальних імпульсів до 4 кГц;

- Число циклів когерентного накопичення $1 \div 64$;
- Глибина регулювання посилення 80 дБ.

Характеристики листового прокату:

- Товщина до 75 мм;
- Ширина до 5000 мм. ;
- Швидкість переміщення аркуша до 1 м/с;
- Температура поверхні листа від -10 до +650°C;
- Вібрація у зоні контролю 2 мм/м;
- Поздовжні та поперечні кромки листа – необрізні.

Проаналізувавши існуючі пристрої, на їх основі було розроблено алгоритм автоматизованої ультразвукової системи контролю прокату (рис 1.12.)

В першу чергу систему встановлюють на ОК та вибирається початкова координата, відносно якої буде проводитися сканування. Визначається кількість циклів сканування. Після цього генератори формулюють імпульси, котрі стають ультразвуковими коливаннями завдяки п'єзоелектричним перетворювачам. Для прийому сигналу застосовують інші перетворювачі. Визначають амплітуду інформативного сигналу і порівнюється з допустимим пороговим рівнем. Дані записуються в пам'ять [23].

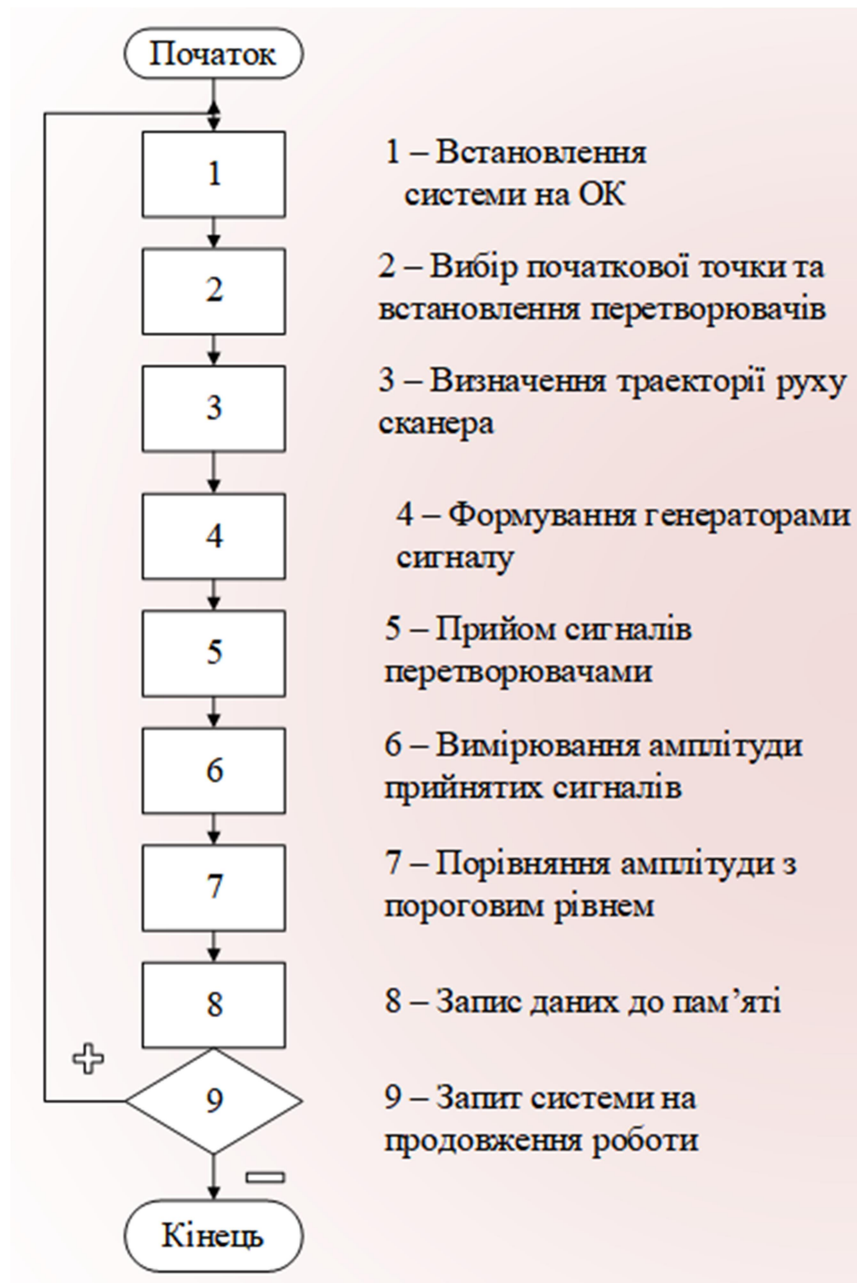


Рис.1.12 Алгоритм роботи автоматизованої ультразвукової системи контролю прокату

Раніше було зазначено, що для контролю якості листового прокату найбільш доцільно використовувати луна-імпульсний метод ультразвукової дефектоскопії.

Проаналізувавши алгоритми роботи існуючих пристроїв, виділивши їх переваги та беручи за основу загальну схему роботи ультразвукової автоматизованої системи за луна-імпульсним методом, обираємо наступну структурну схему автоматизованої системи (рис. 1.13).

Система складається з блоку п'єзоперетворювачів прямого введення, скануючого пристрою, блоку обробки та управління, приймально-підсилювального тракту, аналого-цифрового перетворювача та пристрою вводу-виводу.

Сигнал з блоку обробки та управління надходить до скануючого пристрою, в якому знаходиться блок п'єзоперетворювачів, завдяки явищу зворотного п'єзоефекту згенеровані імпульси надходять, в об'єкт контролю, випромінюються ультразвукові хвилі.

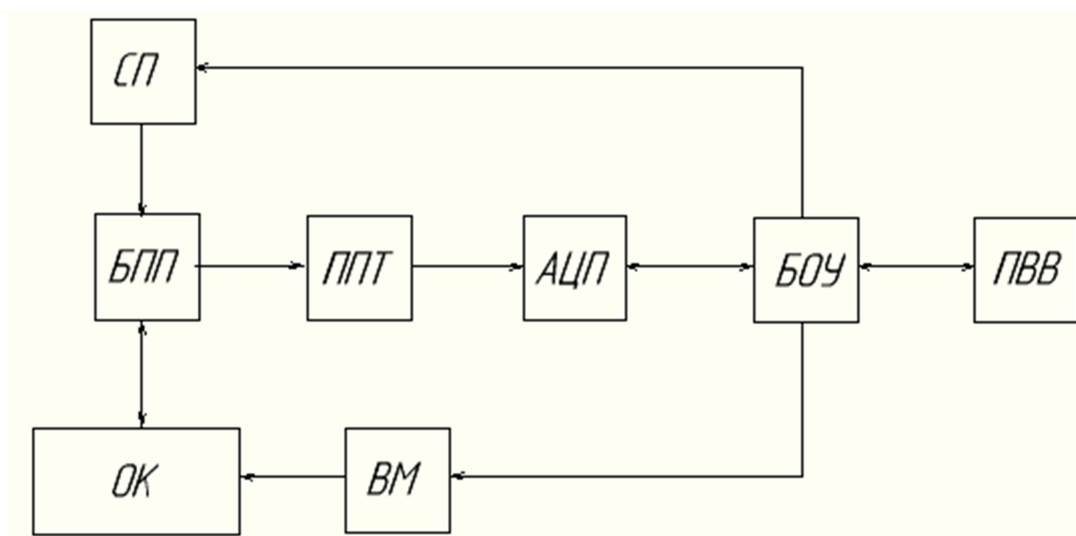


Рис.1.13. Структурна схема ультразвукової автоматизованої системи для контролю прокату

Проходячи через ОК, хвилі відбиваються від можливого дефекту та протилежної стінки листового металу, та повертаються на перетворювач, де завдяки прямому п'єзоефекту формують вихідний сигнал, який далі надходить у приймально-підсилювальний тракт. Після попередньої обробки та підсилення сигнал оцифровується за допомогою АЦП та поступає на блок цифрової обробки та керування, де обробляється за допомогою мікропроцесора та виводиться на дисплей.

Вибрана структурна схема дозволяє реалізувати контроль луна-імпульсним методом за найбільш спрощеним та ефективним варіантом, а отже є оптимальною для вирішення поставленої задачі.

1.7. Постановка завдання

Обравши метод контролю та структурну схему системи, визначимо наступні вимоги технічного завдання:

- Автоматизована система повинна забезпечити контроль якості листового прокату товщиною до 40 мм луна-імпульсним методом.
- Швидкість контролю $N = 60$ мм/с;
- Навантаження на гвинт $P = 50$ Н;
- Наявність рідинно-кристалічного дисплею 320x240px;
- Робоча частота: 2,5 МГц;
- Регулювання підсилення : $0 \div 110$ дБ кроками 0.5/1/2/6/12 дБ;
- Вимірювання амплітуди луна-імпульсного сигналу відносно кривої АВД в дБ;
- Наявність схеми ЧРЧ;
- Наявність електронних АВД-шкал;
- Джерело живлення – автоматичне ;
- Корпус повинен бути герметичним та ударостійким;
- Умови роботи:
 - діапазон температур : $-10 - +40$ 0С;
 - відносна вологість : до 90%.

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок п'єзоперетворювача

Для вирішення даного завдання вимірювань актуально обрати прямий суміщений ПЕП. Прямими називаються перетворювачі, котрі випромінюють коливання в об'єкт контролю під кутом в 90 градусів до поверхні, яка контактує з перетворювачем. Основний складовий елемент перетворювача це п'єзоелемент (рис. 2.1), котрий робить перетворення електричної енергії на енергію пружних хвиль. Товщина п'єзоелемента залежить від робочої частоти.

З двох сторін п'єзоелемента наносять електроди, які мають товщину в тисячні долі міліметра. Провідники припаюють низькотемпературним припаєм чи кріпляться електропровідним клеєм або створюється сильний електромеханічний контакт. Коливання п'єзоелемента зменшують методом поміщення його кромки в демпфуючу масу. Прямі контактні перетворювачі випускають з частотою від 25 кГц до 25 МГц.

Частота проведення неруйнівного контролю $f = 2.5$ МГц . То ж можливо визначити товщину п'єзоелектричного перетворювача. Вибираємо ПЕП із матеріалу ЦТС-19, швидкість ультразвукових коливань в ньому: $c_{цтс} = 3300$ м/с тоді товщина п'єзопластини визначається формулою:

$$h = \frac{c}{2 \cdot f} = \frac{3300}{2 \cdot 2.5 \cdot 10^6} = 0.66 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} \quad (2.1)$$

Визначивши товщину п'єзопластини визначимо довжину хвилі, швидкість в ОК $c_{ок} = 5900$ м/с :

$$\lambda = \frac{c_{ок}}{f} = \frac{5900}{2.5 \cdot 10^6} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} \quad (2.2)$$

ПЕП має круглу форму. З конструктивних міркувань визначаємо діаметр п'єзопластини $d_{п} = 6$ мм.

Визначу глибину ближньої зони $a = d_{п}/2$:

$$r_{бл} = \frac{a^2}{\lambda} = \frac{3^2}{2 \cdot 10^{-3}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} \quad (2.3)$$

Площу перетворювача розрахую за формулою:

$$S_{\text{ПЕП}} = \pi * a^2 = 2.827 * 10^{-5} \text{ (м)} \quad (2.4)$$

2.2 Моделі трактів з лінією затримки

Середовище, що розташоване між об'єктом контролю та перетворювачем називають акустичною лінією затримки. Лінія затримки використовується при імерсійному контролі, або при необхідності контролю під поверхневих дефектів (тоді мертва зона перетворювача буде виокремлена в лінію затримки), або при похилому введенні через призму, або при ультразвуковій мікроскопії. Лінії затримки часто поділяють на «повільні» та «швидкі». При імерсійному контролі лінією затримки служить рідина. Таким чином, при контролі твердого об'єкту контролю, швидкість звуку в лінії затримки є менша за швидкість звуку в ОК, тобто $C_{\text{ЛЗ}} < C_{\text{ОК}}$. Ця лінія затримки називається «повільною».

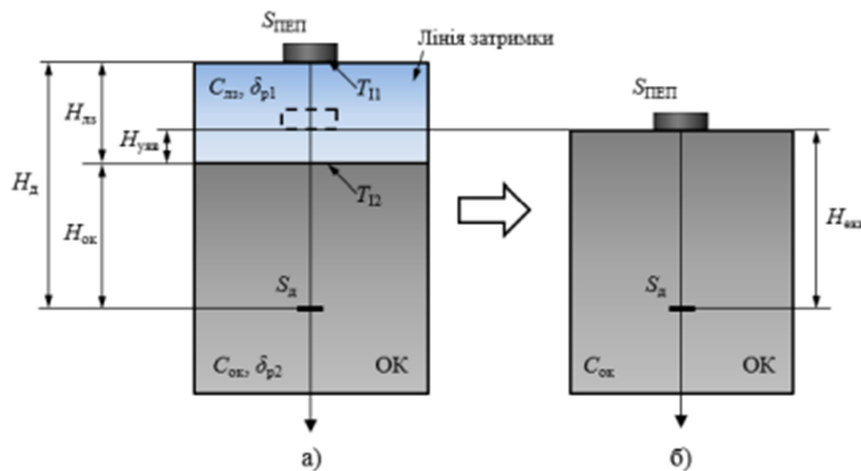


Рис. 2.1. Акустичний тракт з «повільною» лінією затримки: а) променева картина, б) еквівалентна модель

Для розрахунку акустичного тракту, який містить лінію затримки, необхідно двохшарову схему тракту замінити еквівалентною моделлю (рис. 2.2).

Використання еквівалентної моделі акустичного тракту полягає в тому, що променева картина включатиме тільки середовище ОК, що спрощує

подальші розрахунки. Але треба враховувати, що глибина залягання дефекту в еквівалентному тракті буде визначатися як:

$$H_{\text{ЕКВ}} = H_{\text{ОК}} + \frac{C_{\text{ЛЗ}}}{C_{\text{ОК}}} * H_{\text{ЛЗ}} \quad (2.4)$$

$$H_{\text{ЕКВ}} = 40 + \frac{2700}{5900} * 6 = 43 \text{ (мм)} \quad (2.4)$$

Оскільки $r_{\text{бл}} < H_{\text{ЕКВ}}$, можемо стверджувати, що контроль буде проводитися в дальній зоні.

2.3 Розрахунок акустичного тракту

Акустичним трактом називають шлях який проходить ультразвукова хвиля від перетворювача до приймача. Тракт включає в себе механічну складову перетворювача. Акустичний тракт – це тільки механічний тракт. В цілому, аналіз акустичного тракту це складання схеми тракту, розрахунок акустичного поля випромінювання-прийому з урахуванням властивостей акустичного тракту. Найважливішим результатом розрахунку тракту являється коефіцієнт його ослаблення Ка.т. Оскільки вимірювання відбуваються у дальній зоні, можна провести розрахунок коефіцієнту послаблення Ка.т. у тому разі, якщо відбивачем служить плоска горизонтальна поверхня, що розміщена в дальній зоні, її розміри сильно перевищують розміри випромінювача, вони цілком перекривають акустичний тракт (рис 2.2)

Характеристики середовищ:

а) Швидкість поширення хвиль:

ЦТС-19 – $C_{\text{ЦТС}} = 3300 \text{ (м/с)}$

Сталь – $C_{\text{ОК}} = 5900 \text{ (м/с)}$

Оргскло – 2700 (м/с)

б) Густина:

ЦТС-19 – $\rho_{\text{ЦТС}} = 7500 \text{ (кг/м}^3 \text{)}$

Сталь – $\rho_{\text{ОК}} = 7700 \text{ (кг/м}^3 \text{)}$

Оргскло – $1200 \text{ (кг/м}^3 \text{)}$

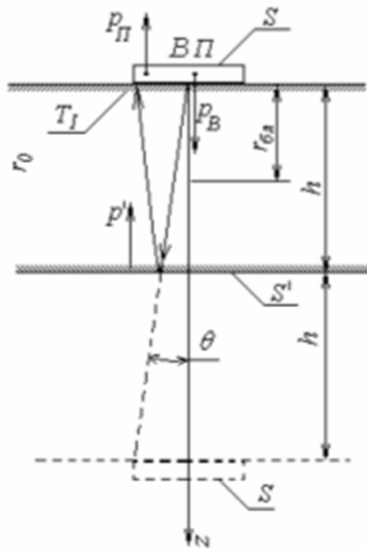


Рис. 2.2. Променева картина акустичного тракту

Розрахунок коефіцієнту проходження за формулою :

$$T_i = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}, \text{ де} \quad (2.5)$$

Z_1, Z_2 – імпеданс в 1 та 2 середовищі відповідно.

На межі поділу ЦТС-оргскло:

$$T_{11} = \frac{4 \cdot 3300 \cdot 7500 \cdot 2700 \cdot 1200}{(3300 \cdot 7500 + 2700 \cdot 1200)^2} = 0.409 \quad (2.6)$$

Значення T_{12} обираємо виходячи з графіка залежності коефіцієнту проходження при падінні поздовжньої хвилі з оргскла в сталь:

$$T_{11} = 0.15 \quad (2.7)$$

З таблиці можемо визначити коефіцієнт загасання на робочій частоті в оргсклі та в сталі:

На частоті 2.5МГц значення $\delta_{рст} = 30$ Нп/м.

Коефіцієнту загасання в оргсклі має лінійну залежність, тоді для частоти 2.5МГц.

$$\delta_{рст} = 30 \text{ Нп/м.}$$

Коефіцієнт загасання в сталі для значення 2.5 МГц значення $\delta_{\text{рст}} = 5$ Нп/м. Коефіцієнт відбиття по тиску R_p від межі поділу середовищ сталь-повітря дорівнює 1.

Коефіцієнт послаблення акустичного тракту для найбільшої товщини:

$$K_{\text{а.т}} = \frac{S_{\text{пеп}}}{\lambda * H_{\text{ЕКВ}}} * T_{11} * T_{12} * R_p * e^{-2(H_{\text{ЛЗ}} * \delta_{\text{рст}} + H_{\text{ОК}} * \delta_{\text{рст}})} \quad (2.8)$$

$$K_{\text{а.т}} = 0.008$$

2.4 Розрахунок електроакустичного тракту

Електроакустичний тракт – являє собою частину електричної схеми, яка включає в себе електричний бік перетворювача, де відбувається електромеханічне пряме (або зворотне) перетворення.

За допомогою електроакустичного тракту визначається резонансна (робочу) частота випромінювання, форма зондуючого імпульсу і коефіцієнт перетворення електричної енергії в акустичну і навпаки.

За розрахованими значеннями коефіцієнту акустичного тракту можна розрахувати напругу випроміненого та прийнятого сигналів, які задовольняють заданим вимогам.

Напруга сигналу, який випромінюється перетворювачем:

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{пр}}}{K_{\text{а.т}} * K_{\text{п.п}}} \quad (2.9)$$

Скориставшись формулою 2.9, маємо:

$$U_{\text{пр}} = K_{\text{а.т}} * K_{\text{п.п}} * U_{\text{в}} \quad (2.10)$$

де $U_{\text{в}}$ – напруга випроміненого сигналу, $K_{\text{п.п.}}$ – коефіцієнт подвійного перетворення (для ЦТС-19 приймаємо $K_{\text{п.п.}} = 0.2$).

Оскільки амплітуда прийнятого сигналу має бути набагато більше рівня шуму, тобто $U_{\text{пр}} \gg U_{\text{шум}}$, задаємося рівнем шуму $U_{\text{шум}} = 10$ (мВ).

Тоді:

$$\frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{в}}} > 100 \quad (2.10)$$

$$U_{\text{пр.}} = U_{\text{шум}} \cdot 10 = 0.1 \text{ (В)} \quad (2.11)$$

Знайдемо мінімальну напругу зонduючого імпульсу:

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{пр.}}}{K_{\text{а.т.}} \cdot K_{\text{п.п.}}} = \frac{0.1}{0.008 \cdot 0.2} = 63 \text{ (В)} \quad (2.12)$$

2.5. Розрахунок вузлів електричної схеми

2.5.1. Розрахунок генератора зонduючих імпульсів.

Генератор зонduючих імпульсів (рис. 2.3) призначений для збудження п'єзоелемента, який в свою чергу генерує ультразвукові коливання в об'єкт контролю.

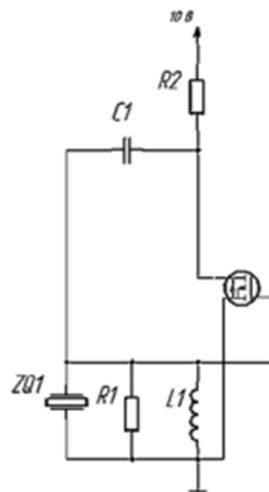


Рис. 2.3. Генератор зонduючих імпульсів

Було обрано схему генератора зонduючих імпульсів з n-канальним DMOS-польовим транзистором, управління транзистором обрано драйвер МАХ628 (рис.2.4), ключем служить – 2N7000. Перевагою даної схеми являється те, що польовий транзистор у режимі ключа відкривається на час наявності на його затворі плюсової напруги визначеної величини (для 2N7000 від 3 В).

Принцип дії генератора: коли імпульс відсутній на управляючому електроді SW транзистора VT1, то транзистор в закритому стані, тоді конденсатора C_1 заряджається до рівня $U_c = +E$. Коли імпульс надходить на управляючий електрод транзистора VT1 він відкривається, а конденсатор C_1 розряджається по контуру, відбувається збудження резонансного контуру і п'єзоелемент генерує акустичні коливання в ОК.

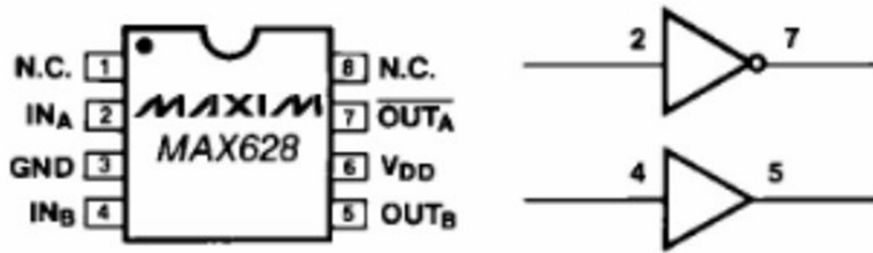


Рис.2.4. Драйвер для керування DMOS транзистором

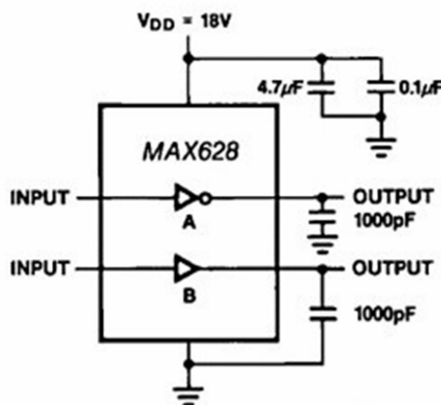


Рис.2.5. Схема підключення драйвера MAX628

Щоб була можливість контролювати ОК на всій глибині, період заряду конденсатора C_1 має бути менше за період слідування імпульсів збудження.

Розрахуємо час зарядки конденсатора:

$$\tau_{\text{заряд}} \leq 2 * \frac{H_{\text{ОК}}}{C_{\text{ОК}}} = 13.6 \text{ (мкс)} \quad (2.13)$$

Щоб зарядка виконувалась за необхідний час розрахуємо значення резистора R_2 . Значення ємності C_1 рекомендується приймати $C_1 = 1 \div 10$ (нФ). Призначимо $C_1 = 4$ (нФ).

Повинна виконуватися умова:

$$\tau_{\text{розряд}} \ll \tau_{\text{заряд}} \quad (2.14)$$

Ємність п'єзоперетворювача розраховується за наступною формулою:

$$C_{\text{ПЕП}} = \varepsilon_0 * \varepsilon_{\text{ЦТС}} * \frac{S_{\text{ПЕП}}}{H_{\text{ПЕП}}} = 6.448 * 10^{-10} (\text{Ф}) \quad (2.15)$$

де $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} (\text{Ф/м})$ – електрична постійна; $\varepsilon_{\text{ЦТС}}$ – відносна діелектрична постійна (для ЦТС-19 $\varepsilon_{\text{ЦТС}} = 1700$); $S_{\text{ПЕП}}$ – площа поверхні дискового перетворювача; $H_{\text{ПЕП}}$ – товщина перетворювача.

Тоді загальна ємність:

$$C_{\text{ЗАГ}} = \frac{C_1 * C_{\text{ПЕП}}}{C_1 + C_{\text{ПЕП}}} = 5.55 * 10^{-10} (\text{Ф}) \quad (2.16)$$

Gate Threshold Voltage ($V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 1.0 \text{ mAdc}$)	$V_{GS(th)}$	0.8	3.0	Vdc
Static Drain-Source On-Resistance ($V_{GS} = 10 \text{ Vdc}$, $I_D = 0.5 \text{ Adc}$) ($V_{GS} = 4.5 \text{ Vdc}$, $I_D = 75 \text{ mAdc}$)	$r_{DS(on)}$	—	5.0 6.0	Ohm
Drain-Source On-Voltage ($V_{GS} = 10 \text{ Vdc}$, $I_D = 0.5 \text{ Adc}$) ($V_{GS} = 4.5 \text{ Vdc}$, $I_D = 75 \text{ mAdc}$)	$V_{DS(on)}$	—	2.5 0.45	Vdc

Рис. 2.7. Datasheet транзистора 2N7000

Опір транзистора у відкритому стані 5 (Ом) (Рис.2.7), тоді:

$$\tau_{\text{розряд}} = C_{\text{ЗАГ}} * R_{VT1} = 2.777 * 10^{-9} (\text{с}) \quad (2.17)$$

що цілком задовольняє умову (2.14).

Робоча частота п'єзодатчика складає 2.5 МГц і відповідно дорівнює:

$$f_p \approx \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L_1 * C_{\text{ПЕП}}}} \quad (2.18)$$

Виражаємо індуктивність котушки L_1 для заданої частоти:

$$L_1 = \frac{1}{4 * \pi^2 * f_p^2 * C_{\text{ПЕП}}} = 6.285 * 10^{-6} (\text{Гн}) \quad (2.19)$$

Тривалість імпульсу збудження перетворювача має бути рівною приблизно півперіоду частоти коливання п'єзопластинки перетворювача, тобто:

$$\tau_{\text{зі}} = \frac{1}{2 * f_p} = 0.2 * 10^{-6} (\text{с}) \quad (2.20)$$

2.5.2. Розрахунок схеми захисту.

Схема захисту, яка має два діоди (рис 2.8) потрібна для того, щоб обмежувати вхідну напругу при ударному збудженні перетворювача. Діоди VD1, VD2 обираємо однаковими – 1N4148.

Діоди мають наступні параметри: прямий струм - $I \geq 150$ (мА), $I_{max} \leq 450$ (мА), зворотню напругу – 100 (В) швидкість переключення ≤ 4 (нс). Резистор перед діодним обмежувачем потрібен щоб обмежити вхідний струм. Використаємо формулу (2.21)

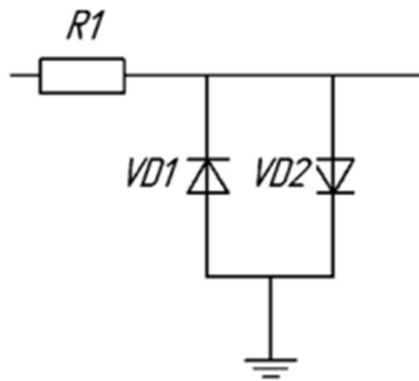


Рис. 2.8. Схема захисту на основі двох діодів

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

$I_{\text{мах}}$ – максимальний струм, що можуть пропустити діоди; $U_{\text{вип.мах}}$ – розрахуємо з формули (2.22)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 * H_{\text{ПЕП}} * E, \text{ де} \quad (2.22)$$

$H_{\text{ПЕП}}$ – товщина п'єзоперетворювача, E – для ЦТС-19 дорівнює 3000 (В/мм)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 * 0.66 * 3000 = 594 \text{ (В)} \quad (2.22)$$

Розрахуємо R_1 :

$$R_1 = \frac{594}{0.45} = 1320 \text{ (Ом)} \quad (2.21)$$

Використовуємо два однакові діоди 1N4148.

2.5.3. Розрахунок операційного підсилювача.

Щоб посилити вихідний сигнал застосуємо підсилювач на основі операційного підсилювача AD8051 (рис. 2.9). Потрібно підсилити вхідну напругу, для того щоб вона була не більше 10В, в діапазоні від 0.1В до 10В. Працюватиме підсилювач від -15В до 15В, для отримання на виході підсилювача максимум в 15В.

Розрахуємо максимальний коефіцієнт підсилення для $U_{пр}$.

$$K = \frac{1}{U_{пр}} = 10 \quad (2.23)$$

Приймаємо $K = 10$.

Розрахуємо напругу, яка буде на вихід ОП, для $U_{пр}$.

$$U_{підс} = K * U \quad (2.24)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

U – напруга яка поступає на вхід ОП.

$$U_{підс} = K * U = 10 * 0.1 = 1 \text{ (В)} \quad (2.24)$$

Результат є таким , що задовольняє умови. В такому випадку можна застосувати тільки один каскад підсилення. На вхід подається сигнал, який треба підсилити, на виході сигнал уже підсилений у 10 разів.

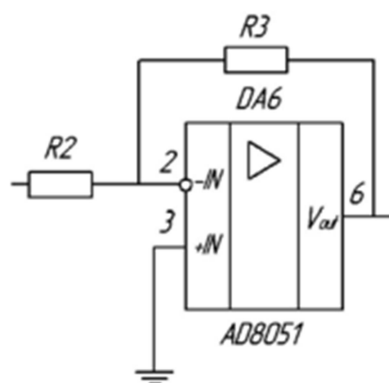


Рис. 2.9. Підсилювач на базі ОП AD8051

Резистори визначають коефіцієнт підсилення:

$$K = \frac{R_3}{R_2} \quad (2.25)$$

Підбираємо $R_3 = 100$ (кОм), $R_2 = 10$ (кОм).

2.5.4. Розрахунок смугового фільтру.

Щоб прибрати сигнали завад, треба застосувати смуговий фільтр, котрий буде фільтрувати непотрібні частотні гармоніки, які не являються частинами інформативного сигналу [24]. Щоб обрати смугу пропускання фільтру, треба визначити частотну характеристику сигналу який іде з п'єзоперетворювача. Математична модель луна-імпульсного сигналу виглядає:

$$U(t) = A * e^{-(g*w*t)^2} * \sin(w * t) \quad (2.26)$$

де A – це амплітуда прийнятого сигналу; g – коефіцієнт швидкості затухання; w – частота перетворювача

Промодельюємо сигнал в програмному середовищі (рис. 2.10)

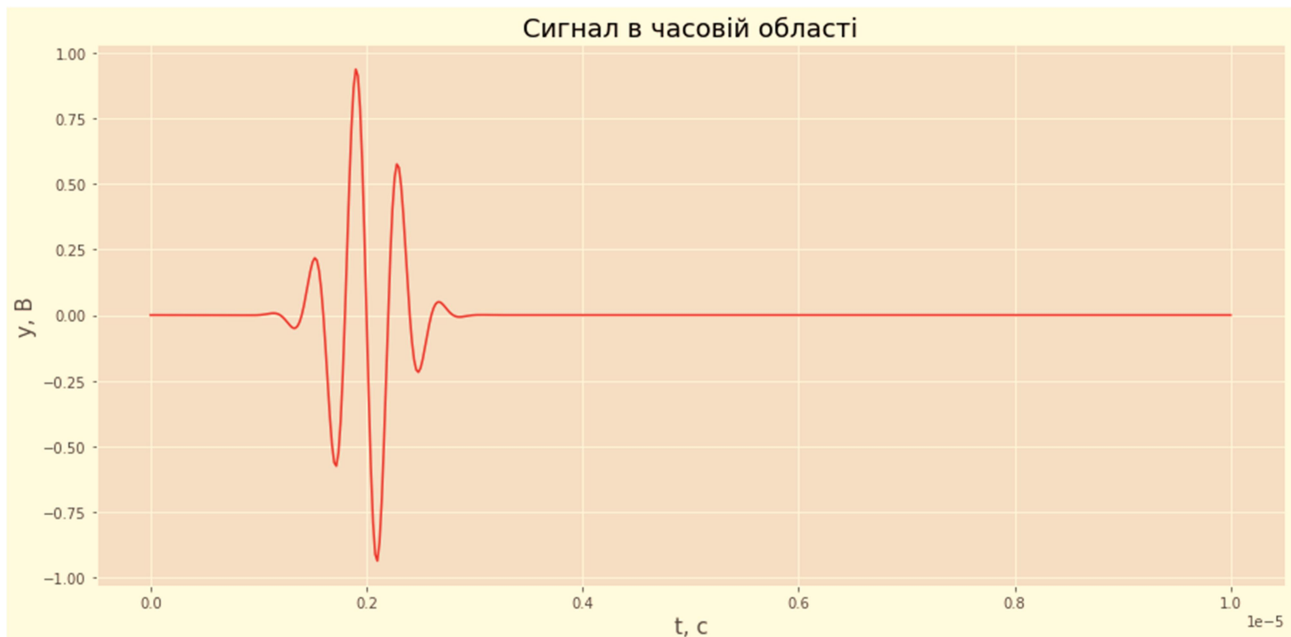


Рис. 2.10. Вигляд змодельованого сигналу луна-імпульсу для $A=3$, (3 коливання): по вісі абсцис – час, по вісі ординат – амплітуда

Далі потрібно обрати полосу пропускання фільтру, тому побудуємо частотну характеристику цього сигналу та полосу пропускання оберемо як діапазон частот на рівні -20 дБ

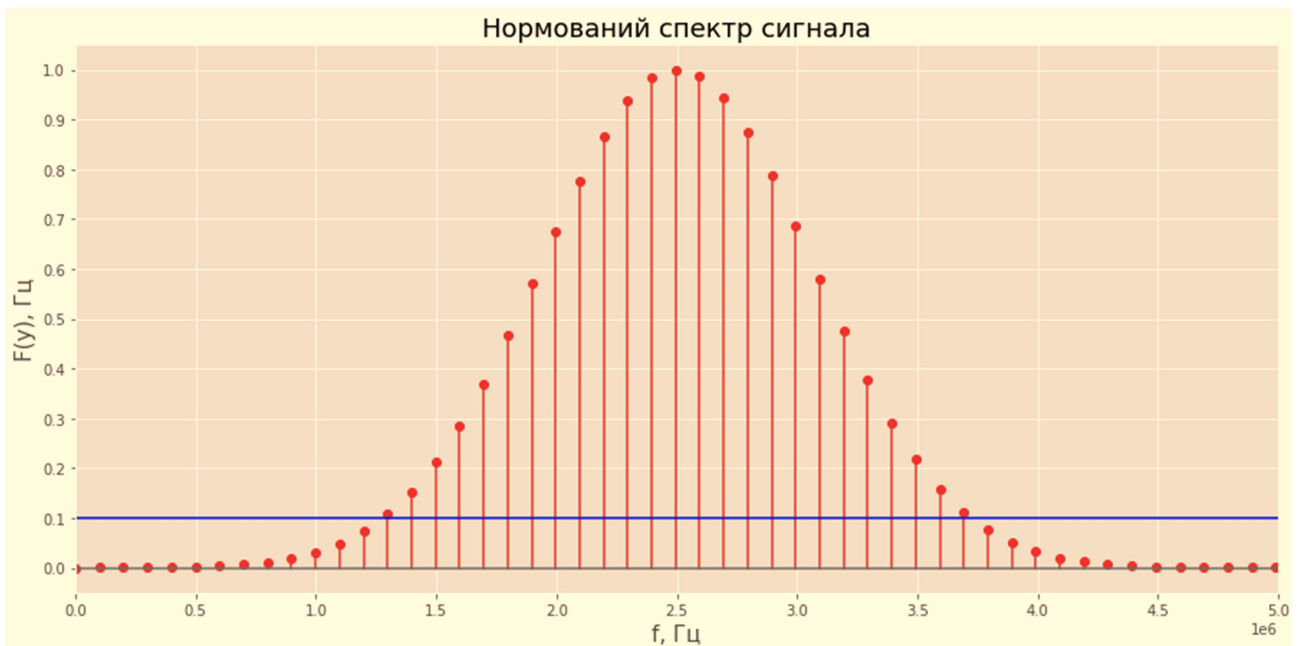


Рис. 2.11. Нормований спектр луна-імпульсного сигналу

З рис. 2.11 випливає, що смуга пропускання фільтру дорівнює від 1.3 МГц до 3.7 МГц. Спроекуємо фільтр за допомогою FilterPro фірми Texas Instruments (рис. 2.10).

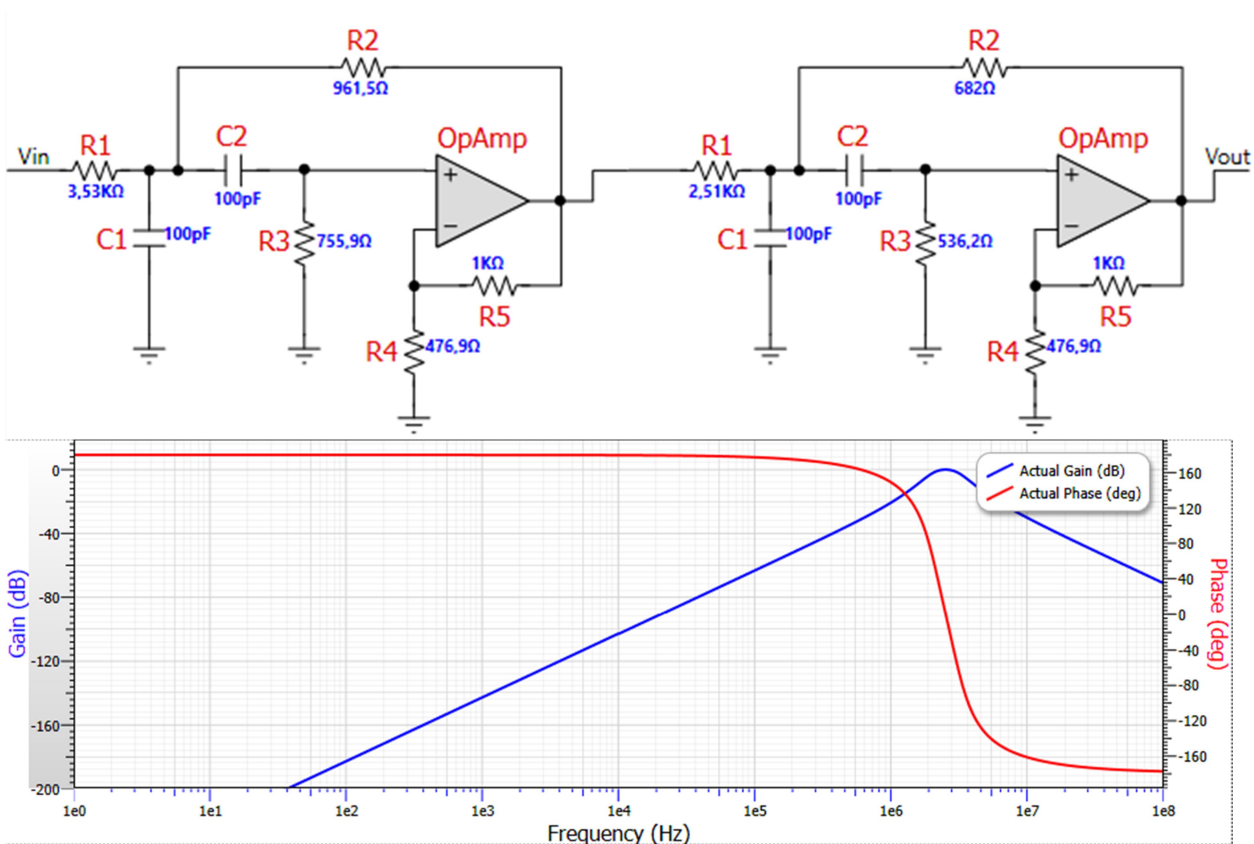


Рис. 2.10 – Змодельований двокаскадний смуговий фільтр

2.5.5. Схема часового регулювання чутливості

Схему ЧРЧ зробимо на базі мікросхеми AD604 від компанії Analog Devices, вона цілком задовольняє встановлені вимоги, для контролю листового прокату. Дана схема має децибельний діапазон від 0 до 54 дБ (рис. 2.11, рис. 2.12).

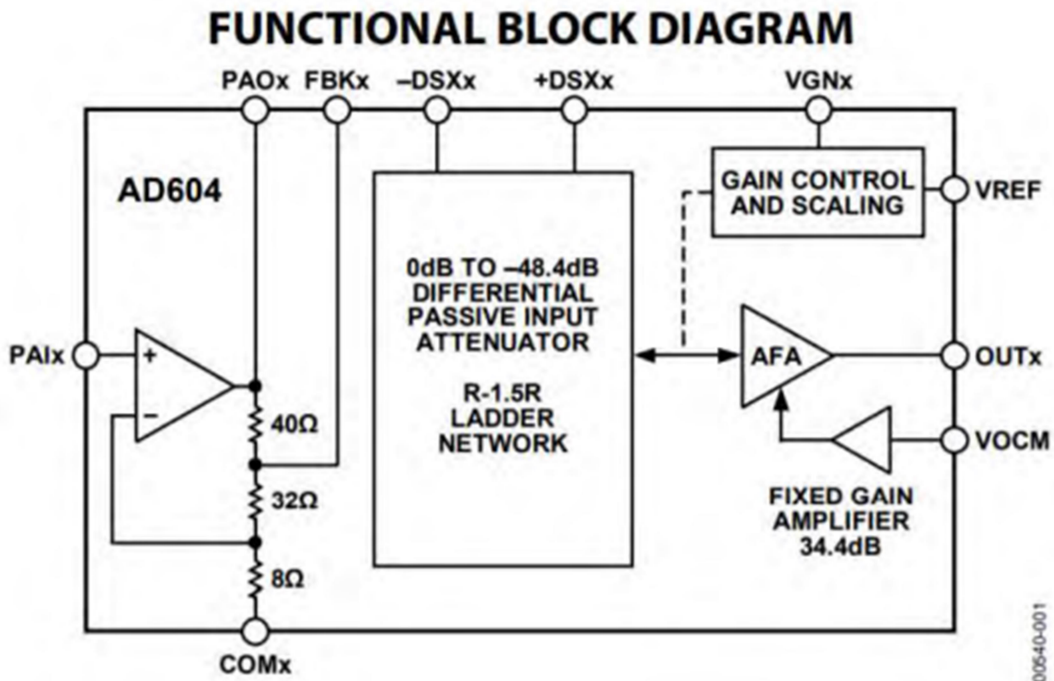


Рис. 2.11 Функціональна діаграма мікросхеми ЧРЧ

На рисунку 2.12 показана конфігурація виводів обраної мікросхеми.

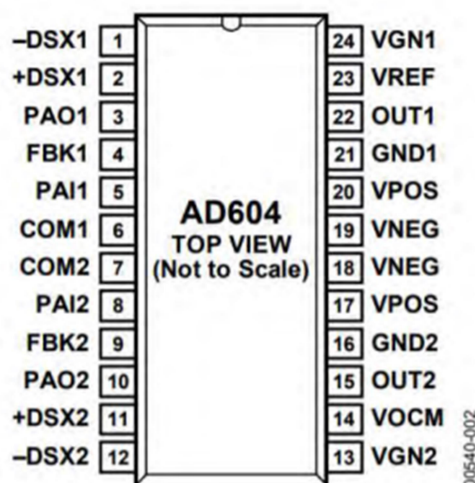


Рис. 2.12 Конфігурація виводів

- Виробник NVE Corp / Sensor Products
- Напруга живлення 4.5 V ~ 30 V 46
- Корпус 8-MSOP, Micro8™, 8-uMAX, 8-uSOP.
- Струм вихідний 4.5mA
- Тип виходу Digital, Open Collector
- Струм - вихідний (макс.) 20mA
- Робоча температура -40 ° C ~ 125 ° C

2.5.6. Розрахунок та вибір АЦП

Щоб обрати АЦП беремо до уваги наступні умови:

- а) Частота дискретизації має перевищувати максимальну частоту вхідного сигналу мінімум вдвічі;
- б) Розрядність АЦП повинна бути такою, що задовольняє вимогам щодо точності;
- в) Вхідний сигнал повинен бути в межах динамічного діапазону [25].

При забезпеченні двох вибірок при максимальній частоті прийнятого сигналу 3,7 (МГц) необхідно обрати частоту дискретизації $f_d \geq 7,4$ (МГц). Розрахуємо мінімальне значення сигналу на вході АЦП з урахуванням коефіцієнта підсилення. $x_{min} = 0,1$ В, $K_{\Pi} = 10$, $U_{АЦП} = 3.3$ В:

$$X_{min} = x_{min} * K_{\Pi} = 0.1 * 10 = 1 \text{ (В)} \quad (2.27)$$

Проведемо розрахунок кроку квантування з урахуванням похибки що не має перевищувати $\delta_{xm} = 1\%$.

$$Q = \frac{\delta_{xm} * X_{min}}{100\%} = \frac{0,01 * 1}{1} = 0.01 \text{ (В)} \quad (2.28)$$

Розрахуємо максимальну розрядність АЦП:

$$q_{ацп} = \left[\log_2 \left(\frac{U_{ацп}}{Q} \right) \right] + 1 = \left[\log_2 \left(\frac{3.3}{0.01} \right) \right] + 1 = 9.366 \text{ (біт)} \quad (2.29)$$

Розрядність обираємо 10, частоту дискретизації від 60 МГц. Згідно розрахунків обираю АЦП ADS823 з частотою дискретизації 60 МГц (рис.2.13).

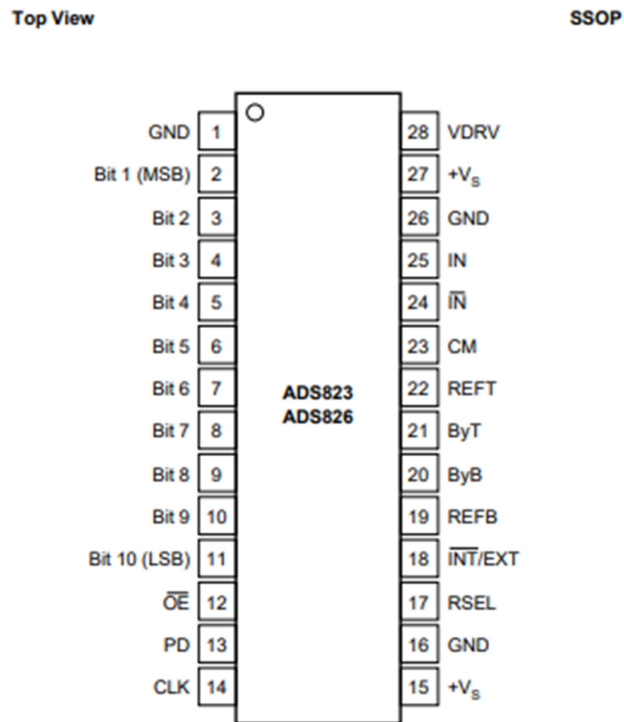


Рис. 2.13 Зовнішній вигляд мікросхеми АЦП ADS823

2.5.7. Розрахунок та вибір пам'яті

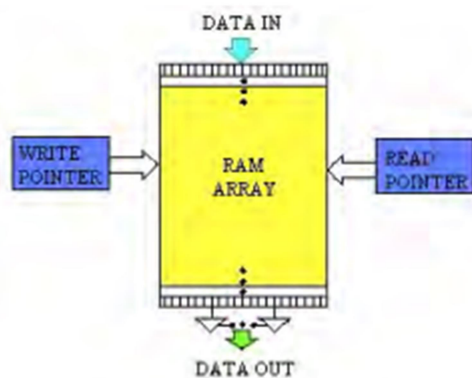


Рис. 2.14 Базова архітектура пам'яті FIFO

Пам'ять FIFO відрізняється наявністю виділеного порту для читання і виділеного порту щоб записувати дані. Оскільки в пам'яті є покажчики та

двопортова структура пам'яті FIFO, строби зчитування та запису даних надходять до входів пам'яті в довільному порядку. Коли операції запису й читання виконуються послідовно в часі в пам'яті RAM, то в пам'яті FIFO можливий запис і зчитування в асинхронних режимах.

За формулою можна розрахувати часову затримку між зондуєчим та донним сигналами:

$$H_{ок} = \frac{C_{ок} * \tau}{2} \quad (2.30)$$

Виразимо час затримки τ :

$$\tau = \frac{2 * H_{ок}}{C_{ок}} = \frac{2 * 40}{5900} = 1.356 * 10^{-5} \text{ (с)} \quad (2.31)$$

Розрахуємо кількість вибірок $f_{ацп} = 60 * 10^6$ Гц:

$$N_{в} = \frac{\tau}{T_{ацп}} = \tau * f_{ацп} = 813.559 \quad (2.32)$$

Тоді розрахуємо об'єм даних:

$$\Delta(б) = 813.559 * 10 = 8135.593 \text{ (біт)} \approx 1016 \text{ (байт)} \quad (2.33)$$

Визначимо $\Delta(б) = 128$ Кб

Підходяща мікросхема CY7C4285V (рис.2.15)

Основні технічні характеристики мікросхеми:

- Велика швидкість роботи: 100 МГц (10 нс час читання/цикл запису).
- Об'єм пам'яті 128 Кб;
- Напруга живлення 3.3 (В);
- 0,35-мкм CMOS;

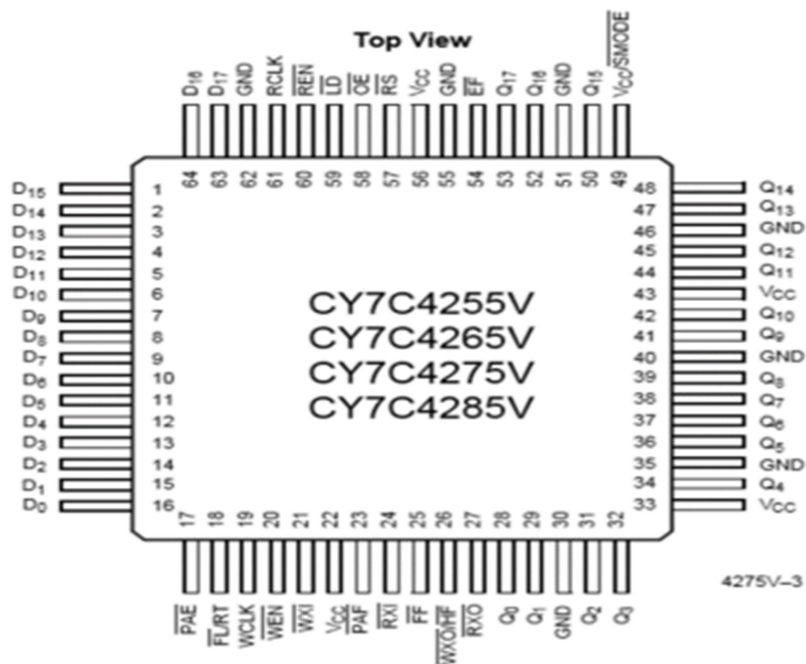


Рис. 2.15. Зовнішній вигляд мікросхеми CY7C4285V

2.5.8 Вибір дешифратора

Сімейство 74НС складається із високошвидкісних логічних пристроїв, що використовують схему КМОП. Це серія логічних мікросхем загального призначення із низьким енергоспоживанням. Доступні різні типи, включаючи стандартні логічні вентиля, шістнадцяткові інвертори, буфери, декодери, підсилювачі; демультіплексори, тригерні інвертори Шмітта, лічильники, підсилювачі; регістри зсуву.

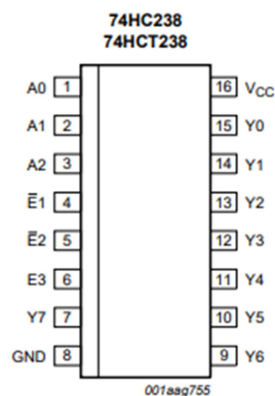


Рис. 2.16. Зовнішній вигляд мікросхеми дешифратора

Дешифратор 74НСТ238 (рис.2.16.) декодує три двійкові зважені адресні входи (А0, А1 і А2) до восьми взаємовиключних виходів (від Y0 до Y7). Пристрій має три входи включення (Е1 і Е2 і Е3).

2.5.9 Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер в своєму складі містить мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм та обробки даних, порти вводу і виводу та блоки зі різними функціями такими як АЦП, компаратори, лічильники.

Мікроконтролери STM32H747 (рис. 2.17) виробництва STMicroelectronics є флагманом серед усіх лінійок STM32 і перевершують їх за багатством функціоналу та продуктивності. Їх ціна порівнянна, а часом і нижче за аналоги, що дозволяє зменшити вартість кінцевого рішення.

Контролери побудовані на базі ядра Cortex-M7 (ARM7M) і працюють на частоті до 480 МГц. Cortex-M7 використовують для створення різноманітних портативних пристроїв, медичного обладнання, девайсів для промислового керування, а також пристрої які потребують значної обчислювальної потужності. Процесор гарно виконує завдяки ці задачі тому що має нові DSP інструкції.

Мікроконтролери STM32H7 сильно перевершують інші сімейства STM32 як і різноманітність вбудованого функціоналу (рис.2.18). Так, кількість таймерів було збільшено до 24. До них входять стандартні таймери загального призначення, що мало споживають (LPTIM), що працюють аж до режиму STOP, пара сторожових таймерів. Також на окрему згадку заслуговує таймер високої роздільної здатності (HRTIM). Він призначений для генерації ШІМ високої роздільної здатності при керуванні двигуном або освітленням.

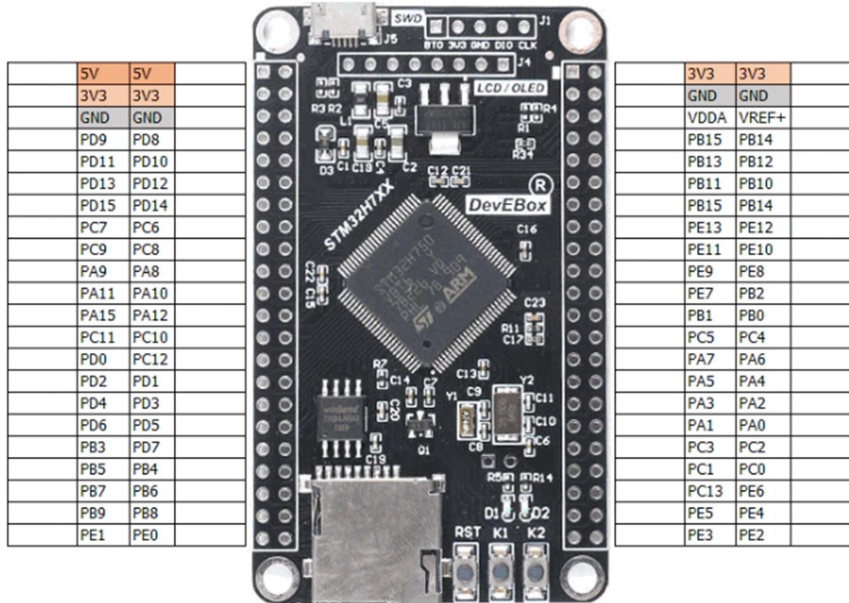


Рис. 2.17 Зовнішній вигляд мікросхеми STM32H7XX

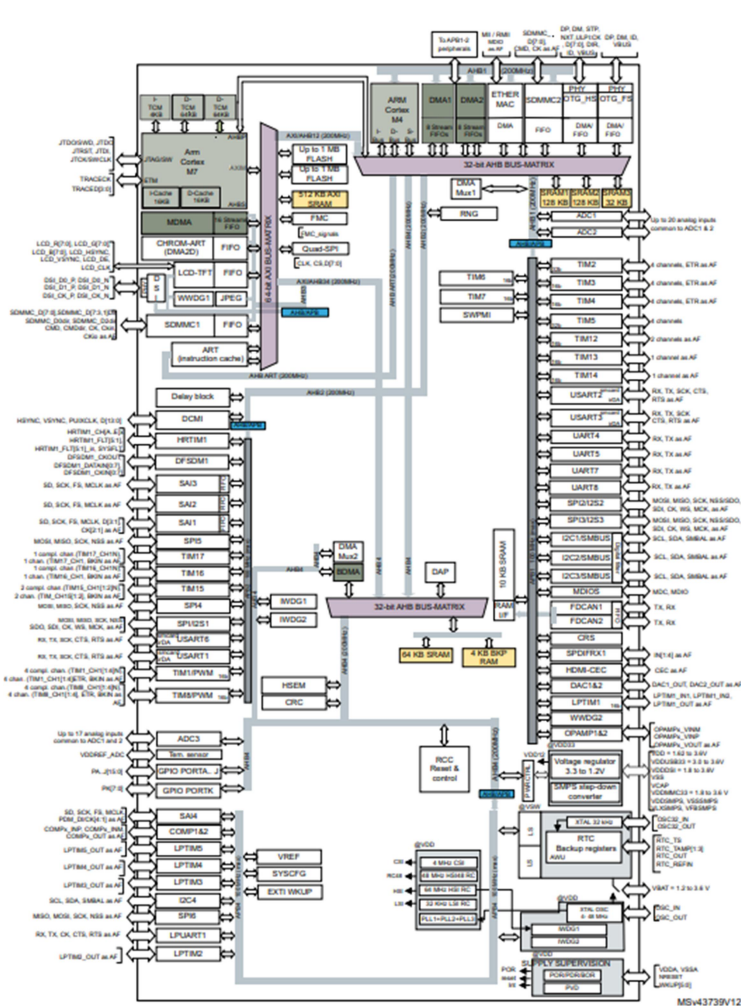


Рис.2.18 Внутрішня структура мікросхеми STM32H7XX

2.5.10 Вибір дисплея

Для виведення інформації потрібен екран, було обрано рідкокристалічний 4.3-дюймовий 480x272 TFT з 30-контактним інтерфейсом SPI FPC (Рис. 2.18).

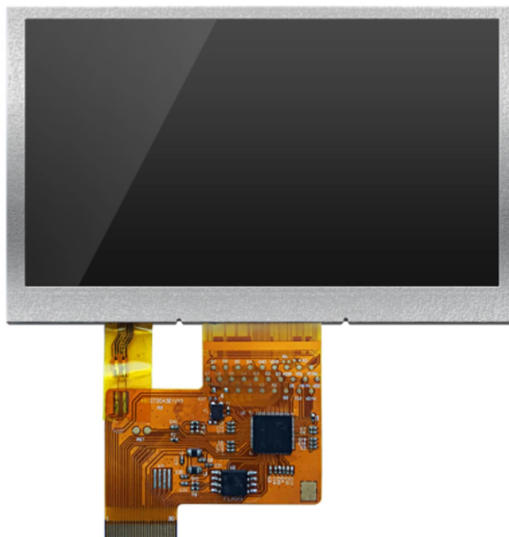


Рис. 2.18 – SYC480272E1V10

- Назва бренду TCC
- Назва модуля SYC480272E1V10
- Місце походження Шеньчжень, Китай
- Режим відображення TFT / Негативний / Трансмівний
- Розміри контуру 105,42 * 67,07 * 3,01 мм
- Активна площа 95,04 * 53,86 мм
- РК-дисплеїв розміром 4,3 дюйма
- Тип підсвічування 7 чіпів білих світлодіодів, 21 В 20 мА
- Робоча температура -20 °С ~ + 70 °С
- Температура зберігання -30 °С ~ + 80 °С
- Тип інтерфейсу SPI.

Висновки до розділу

В розділі підбору та розрахунку електронних компонентів обрано частоту датчика 2.5 МГц, проведено розрахунок п'єзоелектричного перетворювача і згасання ультразвукової хвилі в ОК. Використавши закон Синеліуса, ми дізналися кут введення ультразвукової хвилі в ОК. Використавши відомі дані за формулами ми розраховали коефіцієнт акустичного тракту і електроакустичний тракт. Також розраховано та підібрано вузли електричної схеми такі як:

- розрахунок генератора зондуючих імпульсів;
- підбір схеми ЧРЧ;
- розрахунок аналогово-цифрового перетворювача;
- розрахунок операційного підсилювача;
- розрахунок смугового фільтра;
- підбір пам'яті;
- підбір дешифратора;
- підбір мікроконтролера;
- підбір дисплея.

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ

3.1. Розробка конструкції перетворювача

Згідно з розробленою конструкцією в програмному середовищі SolidWorks було створено модель прямого суміщений перетворювач(рис. 3.2) що був розрахований в п. 2.1.

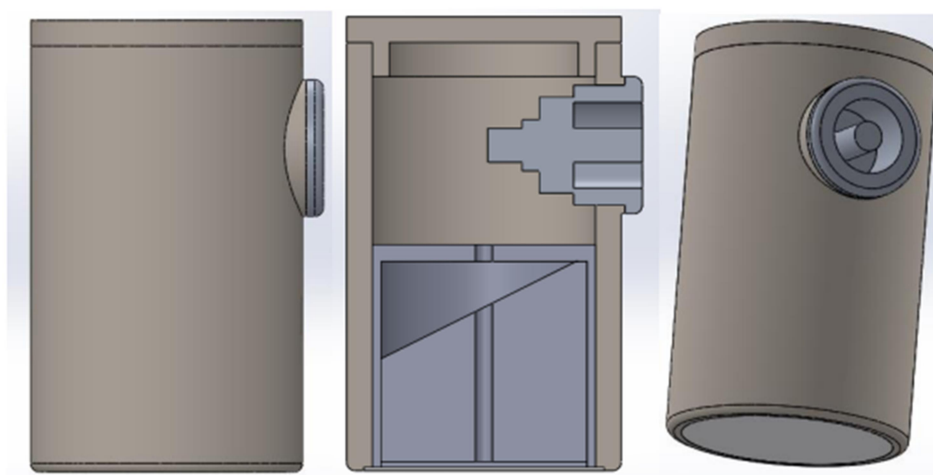


Рис. 3.2. 3D Модель суміщеного перетворювача

3.2. Технологія виготовлення перетворювача

Конструкція прямих суміщених перетворювачів передбачає наявність декількох обов'язкових елементів: п'єзоелемента, демпфера, протектора і корпусу. Тому технологія виготовлення прямих суміщених перетворювачів включає технологію отримання кожного елемента і їх з'єднання між собою [26].

Корпус п'єзоелектричного перетворювача роблять з металічного матеріалу чи діелектрика. Акустичний вузел складається з протектора, демпфера і самої п'єзопластини ці складові зафіксовані в корпусі заливальною масою. Спершу для підключення напруги живлення прикріплюють дроти за

допомогою пайки. Провідники виводять на роз'єм Лето або ін. , якщо такого роз'єму немає живлення закріплюють напряму до електричної схеми.

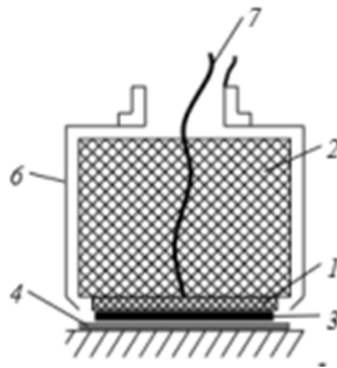


Рис. 3.1. Конструкція прямого перетворювача

П'єзопластина 1, притиснута або приклеєна з одного боку до протектору 3, з іншого – до демпфера 2. П'єзопластину, протектор і демпфер, склеюють між собою, розміщують в корпусі 6. За допомогою провідників 7 п'єзопластину з'єднують з електронним блоком дефектоскопа. Рідина контактна 4 забезпечує передачу пружних коливань ультразвукової частоти від перетворювача до ОК 5 та навпаки.

Щоб зібрати резонатор спершу проводять підготовку п'єзоелемента. П'єзоелементи поляризовані та покриваються електродами, напрям поляризації вказується на електроді. За допомогою випалювання на поверхню п'єзокераміки наносять електроди. Щоб це зробити пластину омивають розчином з соди чи спиртом, після чого просушують за температури 600°C протягом, приблизно двох годин. Далі дуже тонким шаром на поверхню наносять срібну пасту пензликом після чого вона сохне. у ванні з трансформаторним маслом або силікатною рідиною проводять поляризацію пластин. Пайка проводиться паяльником жало якого зроблене з мідного дроту та має діаметр 1-2 мм. Температура нагрівання жала не може бути більша 100°C . Використовують легкоплавкі припої, які мають малу усадку при затвердінні. Після цього проходить складання акустичного вузла з використанням клею, з'єднують п'єзоелемент з протектором та демпфером. Зібраний резонатор поміщають в

корпусі перетворювача та закріплюють заливкою відповідною по властивостям заливальною масою.

3.3. Розробка конструкції сканера та підбір двигуна

Нехай переміщення блоку ПП відбувається зі швидкістю $N = 60$ мм/с, а навантаження на гвинт складає $P = 50$ Н. Тоді з умови міцності розрахуємо мінімальний діаметр гвинтової передачі:

$$d_{\text{гв. min}} \geq \sqrt{\frac{4P\varphi}{\pi[\sigma]}}, \text{ де} \quad (2.34)$$

$\varphi = 1.25$, коефіцієнт, що враховує деформацію кручення, а $[\sigma] = 125$ МПа

$$d_{\text{гв. min}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 50 \cdot 1.25}{\pi \cdot 125}} \approx 0.8 \text{ (мм)} \quad (2.35)$$

Вибираємо $d_{\text{гв.}} = 16$ мм

$p = 5$ мм – крок різі, $k = 2$ – кількість заходів;

Розрахуємо хід різі h :

$$h = p * k = 5 * 2 = 10 \text{ (мм)} \quad (2.36)$$

Частота обертання гвинта:

$$n_{\text{гв.}} = \frac{60 * V_{\text{вих.}}}{10} = \frac{60 * 60}{10} = 360 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}}\right) \quad (2.37)$$

Кутова швидкість обертання:

$$\omega_{\text{гв.}} = \frac{\pi * n}{50} = \frac{3.14 * 360}{50} = 22.619 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right) \quad (2.38)$$

Обертний момент валу гвинта визначається за формулою:

$$T_{\text{гв.}} = \frac{P * d_{\text{гв.}}}{2} * \log(\lambda + \rho) \quad (2.39)$$

$$\lambda = \arctg\left(\frac{h}{\pi d_{\text{гв.}}}\right) - \text{кут підйому} \quad (2.40)$$

$\rho = 4 \dots 6^\circ$ – кут тертя

$$\lambda = \arctg\left(\frac{h}{\pi d_{\text{гв.}}}\right) = \arctg\left(\frac{10}{3.14 * 16}\right) \approx 11.3^\circ \quad (2.40)$$

$$T_{ГВ.} = \frac{50 \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{2} * \log(11.3 + 5) \approx 0.484 \text{ (кг} \cdot \text{с} \cdot \text{см)} \quad (2.39)$$

Двигун:

$$N_{Вих.} = T_{ГВ.} * \omega_{ГВ.} = 0.484 * 22.619 = 10.956 \text{ (Вт)} \quad (2.41)$$

$$N_{Дв.} = 10.956 * 1.4 = 15.338 \text{ (Вт)} \quad (2.42)$$

Отже за допомогою отриманих розрахунків обираємо двигун FL130BYG2503.

На рисунку 3.3 показаний зовнішній вигляд двигуна FL130BYG2503.

- Кутовий крок, град 1.8;
- Похибка кутового кроку, град $\pm 5\%$ (повний крок, без навантаження);
- Похибка опору обмоток двигуна $\% \pm 10\%$;
- Похибка індуктивності $\% \pm 20\%$;
- Діапазон робочої температури $-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$;
- Опір ізоляції $\geq 100 \text{ M}\Omega$, 500 VDC;
- Максимальне радіальне биття валу двигуна, мм 0.02 (при навантаженні 450 г);
- Максимальне осьове биття валу двигуна, мм 0.08 (при навантаженні 450 г);
- Максимальне допустиме радіальне навантаження на вал 220 Н;
- Максимальне допустиме осьове навантаження на вал 60 Н;
- Максимальне нагрівання двигуна 80°C (при номінальному струмі, 2 фази);
- Крутний момент, $\text{кг} \times \text{см}$ 509;
- Струм фази ШД, 7А.



Рис. 3.3 Двигун FL130BYG2503

На рисунку 3.4 показані габаритні розміри двигуна FL42STH33-0316A.

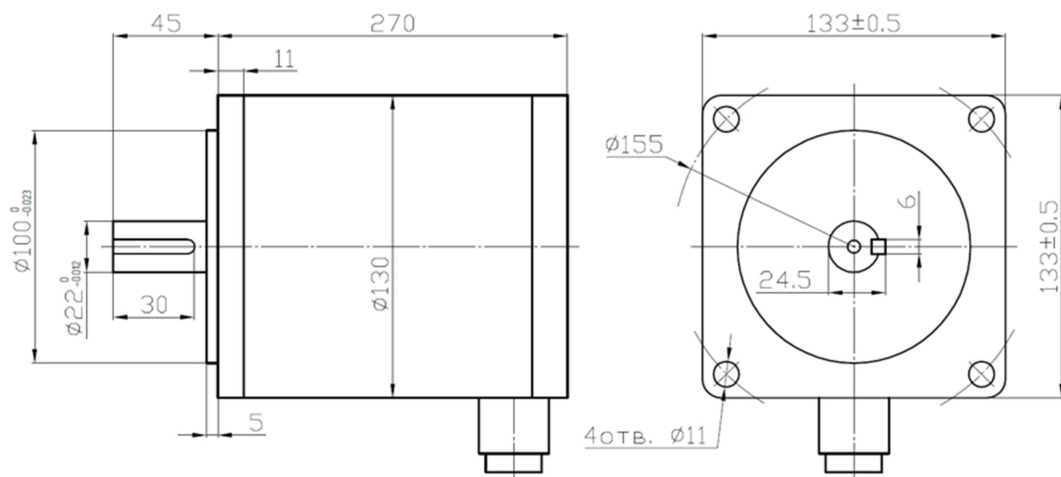


Рис. 3.4 Габаритні розміри двигуна FL42STH33-0316A

Кроковий двигун - це безщітовий електродвигун постійного струму, котрий ділить повне обертання на ряд рівномірних кроків.

Існує три основні типи крокових двигунів:

- 1) Змінні крокові;
- 2) Гібридні синхронні.
- 3) Постійні магнітні;

Перевагами є:

- Досягнута низька вартість контролю;
- Міцність - Простота конструкції ;

- Може працювати в системі управління з відкритим циклом ;
- Низькі витрати ;
- Менша ймовірність застою або ковзання ;
- Високий крутний момент при запуску і низькі швидкості ;
- Працюватиме в будь-якому середовищі ;
- Може використовуватися в робототехніці в широких масштабах;
- Висока надійність;
- Кут обертання двигуна пропорційний вхідному імпульсу;
- Мотор має повний обертовий момент у спокої (якщо обмотки під напругою) ;
- Добра реакція на запуск чи зупинку;
- Дуже надійний, оскільки в моторі немає контактних щіток. Тому термін служби мотора просто залежить від терміну експлуатації підшипника;
- Відповідь двигунів на цифрові вхідні імпульси забезпечує управління з відкритим контуром, що робить двигун більш простим і дешевшим для управління;
- Можна досягти обертання низької швидкості синхронного обертання з навантаженням, яке безпосередньо з'єднане з валом.

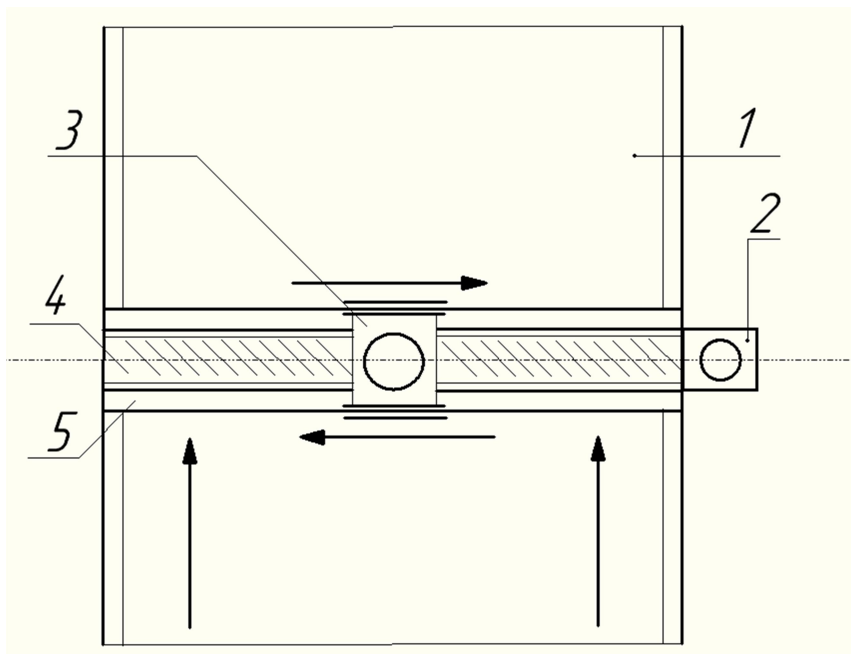


Рис.3.5. Схематичне зображення конструкції

На рис.3.5 зображена схема конструкції сканера, 1 – стіл подачі листового прокату, 2 – двигун, що переміщає блок п'єзоперетворювачів, 3 – каретка з блок п'єзоперетворювачів з'єднана з двигуном, 4 – гвинт, 5 – рама на якій закріплений гвинт.

Висновки до розділу

В розділі розробки конструкції зроблено моделювання конструкції фіксації ПЕП на об'єкті контролю та сам датчик. Обрано схему контролю прокату. В програмному середовищі Solid Works зроблене моделювання датчика та конструкції. Була описана будова перетворювача. Обрана гвинтова передача, за допомогою якої буде забезпечуватись рух нашої систему по ОК, а тому був розрахований та підібраний двигун FL42STH33-0316A з вказаними у розділі характеристиками.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ»

4.1. Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту

В основу ідеї стартап-проекту покладено систему ультразвукового неруйнівного контролю, яка відрізняється від наявних на ринку методом закріплення перетворювачів на об'єкті контролю, що підвищує вірогідність контролю та збільшує можливість відшукування дефектів різного типу або розташованих під різним кутом. Дана система може бути застосована для контролю виробів широкого спектру, хоча основний об'єкт контролю, на який вона орієнтована – сталений листовий прокат товщиною до 40 мм.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована ультразвукова система контролю листового прокату	Контроль сталеного листового прокату	Точність знаходження дефектів
		Автоматизована система
		Надійність

Так як на ринку наявно багато приладів аналогів (конкурентів), то є доцільним провести аналіз переваг товару порівняно з ними:

- З'ясуємо переваги технічних та економічних властивостей та характеристик товару.
- З'ясуємо перелік конкурентів або товарів-аналогів, які вже є наявні на ринку.
- Порівняємо показники, тобто прилад є кращим, таким ж самим (аналогічним) або прилад є слабкішим.

Конкурент 1 – Ультразвуковий дефектоскоп TVP128 (Eclipse Scientific);

Конкурент 2 – Ультразвуковий дефектоскоп АРМС-МГ4;

Конкурент 3 – Ультразвуковий дефектоскоп Olympus OmniScan MX2.

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

№ П/ П	Техніко-економічн і характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1	Вартість	170000	200000	110000	280000	-	-	+
2	Мобільність	+	-	-	-	-	+	-
3	Точність	+	+	-	+	-	-	+
4	Остаточний діагноз	Попередній	Остаточний	Остаточний	Остаточний	+	-	-
5	Торгова марка	Немає	+	+	+	+	-	-

Далі проводимо аудит технологій, це дозволить дізнатись як можна реалізувати ідею створення проекту. Візьмемо до уваги дві основні технології: це 3д друк + ЧПУ які почали активно розвиватись близько 10 років тому і не є дорогими. Інша технологія це гуртове замовлення виготовлення по нашим кресленням і розробкам на підприємствах які надають такі послуги.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматизована ультразвукова система контролю листового прокату	Виготовлення на замовлення у підприємствах	Наявна	Недоступна
2		Самостійне виготовлення	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Оптимальною буде технологія виготовлення даного приладу самостійно, за допомогою 3D-принтера.				

Підсумком цього підрозділу є те, що дану ідею можна реалізувати самостійно, використавши вже наявні на ринку технології, наприклад за допомогою 3D-принтера.

4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В цьому підрозділі буде проведено аналіз ринкових можливостей та загроз, які можуть виникнути під час впровадження проекту. Визначення ринкових можливостей дозволить спланувати напрям розвитку, визначити потреби потенційних клієнтів та оцінити наявні пропозиції конкурентів. Проект повинен мати певну групу людей (виконавців), будуть забезпечувати розвиток та підтримку компанії, тобто головних гравців. Загальний обсяг продаж – попередня оцінка прибутку, яку зможе принести наша компанія. Аналіз ринку — комплекс дій, спрямованих на вивчення усіх факторів, умов, ситуацій, які впливають на стан і розвиток ринку, на зміни його обсягів, структури, масштабів. Аналіз ринку проводиться з метою одержання об'єктивної інформації про реальну ситуацію на ринку, виявлення та оцінки сили впливу основних чинників. Обмеження для входу – можливі перешкоди, які можуть виникнути під час запуску продукту на ринок. Вимоги до стандартизації та сертифікації – певні вимоги, яких потрібно дотримуватись під час запуску продукту (особливо стосується таких товарів, як наша автоматизована система, за рахунок її особливостей та унікальностей). Середня норма рентабельності представляє прибутковість проекту як відношення між середньорічними надходженнями від його реалізації і величиною початкових інвестицій.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомий
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка приладу на стандартних зразках, для підтвердження точності контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

Отже, в результаті цього аналізу ми можемо зробити висновок, що ринок зростає та наш продукт є актуальним.

Встановимо потенційних клієнтів, яким можна буде запропонувати даний прилад (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	Прилад має найкраще співвідношення ціна-якість та найкращу точність сканування	Науковці, виробництва.	Орієнтація на відносно недорогі універсальні напівавтоматичні засоби неруйнівного контролю	Простота експлуатації, висока точність, розумна ціна та якісне обслуговування

В таблиці було визначено вимоги клієнтів до даного продукту , основні відмінності у поведінці потенційних цільових груп клієнтів та фактори, які формують їх поведінку відносно продукту.

При застосуванні технологій такого типу, як даний проект виникають деякі загрози. Для того, щоб уникнути можливих проблем потрібно використовувати якісне обладнання, завчасно проводити технічне обслуговування та працювати з приладом повинні лише висококваліфіковані працівники.

За рахунок того, що дані прилади мають високу ціну, вони не є поширеними, тому виникає ще одна проблема вводу товару на ринок. Саме тому ціна даного проекту не є дуже високою, якщо порівняти з аналогами, що повинно сприяти кращому входженні продукту до ринку. Проведемо аналіз факторів загроз та можливостей при виведенні товару на ринок (табл. 4.6 - 4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Поява на ринку іноземних компаній конкурентів	Вивчення продукту-конкурента та вдосконалення свого
2	Інфляція	Нестабільність курсу гривні, через що можуть зменшитись продажі	Реалізація продукту в стабільнішій валюті та слідкування за ситуацією в країні
3	Дії країни-агресора на сході	Може вплинути на коло потенційних покупців	Знаходження клієнтів з інших країн, вихід на міжнародний ринок
4	Постачання	Проблема з фірмами постачальниками	Заміна постачальника або шукати альтернативу
5	Технічний	Збої в програмі в зв'язку з неправильним налаштуванням	Спрощення алгоритмів налаштування або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

У таблиці 4.6 було проведено аналіз можливих загроз, які можуть виникнути під час впровадження товару на ринок, а також було представлено деякі шляхи вирішення загроз або шляхи, за допомогою яких можна звести ці загрози до мінімуму.

Таблиця 4.7. 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 продажів і отже прибутків компанії
3	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту

В цій таблиці було визначено можливості, які сприяють введенню продукту на ринок та плюси, які може отримати компанія завдяки цим можливостям.

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	На ринку засобів неруйнівного контролю існують декілька великих гравців.	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди

2. Рівень конкурентної боротьби Локальний	Конкуренція спостерігається в межах країни	Намагання вдосконалення продукту та спроби вийти на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою Міжгалузева	Конкуренція є тільки між представниками галузі неруйнівного контролю	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту
4. Конкуренція за видом товарів	Конкуренція існує в межах кожного окремого методу контролю (ультразвуковий, вихрострумний тощо.)	Реклама для демонстрування переваг
5. За характером конкурентних переваг Нецінова	Основним критерієм, який визначає системи контролю, які відносяться до однієї галузі є достовірність контролю	Покращення свого продукту та зменшення ціни відносно компаній-конкурентів
6. За інтенсивністю	Важливими є характеристики продукту, а не конкретний виробник	Покращення характеристик системи.

У таблиці було проаналізовано ринок збуту для нашого товару та визначили основні риси конкуренції.

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

Отже, проаналізувавши таблицю 4.9 можна зробити висновок, що можливість роботи на ринку є. Також було визначено характеристики, якими повинен володіти наш товар, щоб буди конкурентоспроможним.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаризамінники
------------------	---------------------------	-----------------------	---------------	---------	-----------------

	Існує 3 прямих конкурентів, які надають схожі послуги	Іноземні компанії, які можуть увійти на наш ринок. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Деталі та знаряддя постачаються через інтернет. Концентрація постачальників Значення розміру поставок	Клієнтами є різні промислові підприємства та заводи. Система інформації. Прибутки. Контроль якості	Компанія має сильну пропозицію, високу якість та надійність якої аналоги не можуть забезпечити
Висновки:	Проводити аналіз конкурентних пропозицій, працювати над підвищенням якості та надійності	Високий ризик входу нових гравців, адже вхідні бар'єри є не дуже високими. На даний момент потенційних конкурентів немає	Так як конкуренція на ринку постачальників дуже велика – вони не впливають на ринок.	Клієнти потребують невисоких цін та високої якості. Отже для виконання їх потреб потрібно покращувати товар не підвищуючи ціну.	Підтримувати хороші позиції на ринку та конкурентну перевагу, розробляти нові види товарів

На основі таких таблиць, як 4.2, 4.5-4.7 визначимо фактори конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Велика кількість постачальників	Своєчасна доставка продукту
2	Вартість	Зменшення вартості за рахунок виготовлення деталей на 3D-принтері
3	Мобільність	Невелика вага та невеликі габаритні розміри дають змогу переміщати систему.
4	Висока якість	Висока якість продукту яка дозволяє клієнту бути впевненим в своїй результатів досліджень

В таблиці 4.10 було наведено фактори, які показують конкурентоспроможність нашого проекту.

За допомогою визначених факторів конкурентоспроможності, наведених в таблиці 4.10 проведемо аналіз сильних та слабких сторін нашого проекту.

Таблиця 4.11. Порівняння сильних та слабких сторін стартап-проекту.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з («система контролю листового прокату»)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Велика кількість постачальників	12						v	
2	Вартість	15				v			
3	Мобільність	17	v						
4	Висока якість	16		v					

Користуючись даними, наведеними в таблицях 4.10 та 4.11 можна сказати, що даний проект є доволі конкурентоспроможним. Основною перевагою системи є висока якість та точність.

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

В таблиці 4.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені

альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: За наявності патентів споживач впевнений в якості отриманого продукту. За рахунок хорошої підтримки ми закріплюємо свої позиції на ринку. Завдяки високій якості продукту приваблюються нові клієнти.</p>	<p>Слабкі сторони: Так як на ринку багато постачальників, у клієнтів багатий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту і збільшувати кількість його постачальників. За рахунок високої ціни клієнти обирають більш дешевий продукт, що призводить до втрати потенційного заробітку.</p>
<p>Можливості: Науково-технічні, Попит Економічні, Політико-правові, Екологія</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вдосконалення продукту через впровадження нових технологій; 2. Збільшення продаж; 3. Отримання державних замовлень на отримання послуг; 4. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників; 5. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги. 	<p>Загрози: 1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм. 3. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу; 4. Втрата потенційних клієнтів через недостатню технічну підтримку; 5. Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.

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	1,5 роки
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	1 рік
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.3. Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проекту

Здійснимо опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Висока	90%	80%	Середня
2	Виробництва	Висока	80%	75%	Середня
Які цільові групи обрано: всі					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою ультразвукову систему для контролю листового прокату та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію зростання маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку. Визначимо базову стратегію розвитку проекту (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	Диференційований маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	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, не буде. Буде утворено унікальну продукцію	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці 4.16 проводимо аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартапкомпанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробимо стратегію позиціонування (табл. 4.17). що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

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 формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торгівельний проект. Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.18 підсумуємо результати 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	Мобільність	Можливість швидкого переміщення системи для експрес контролю або попередньої діагностики.	Малогабаритна, не важка конструкція

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

Розробимо трьохрівневу маркетингову модель товару: уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, 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 листового прокату. Можна виділити наступні вигоди використання: Мобільність; Підвищення швидкодії.		
II. Товар у	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор

реальному виконанні	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування) 3. Досконалість виробничого виконання (Досконалий дизайн)	Нм	Е
	4. Вартість обслуговування (Низька системи та її обслуговування)	Нм	Тл
		Нм	Вр
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо Розробка за стандартами, тестування		
	Пакування коробка		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару УЗ система контролю листового прокату		
III. Товар із підкріпленням	До продажу Гарантія, доставка		
	Після продажу Після продажне обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: свідоцтво на авторське право			

В таблиці 4.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20).

Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товаризамінники	Рівень цін на товарианалоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	100-350 тис. грн	~250000грн	Високий	100000/150000 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
1	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 напряму з виробником та реалізації продукту через прямий продаж.

Розробим концепцію 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
1	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, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

4.4 Висновки до розділу

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що у даного проекту на даний момент є хороша можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому

продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап - проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет і для якогось одного сегменту ринку, а тільки після закріплення на ринку вже починати шукати клієнтів в інших сегментах і пропонувати їм наш продукт.

Також можна зробити висновок що для розширення ринку подальша імплементація проекту є дуже доцільною. Надалі є можливості вивести проект на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що прилад даного типу має меншу вартість та невисоке енергоспоживання за рахунок використання ортогонального методу виміру, який дозволяє реалізувати прилад з невисокою вартістю, в порівнянні з існуючими приладами, але точність якого не поступається серійним рішенням.

ВИСНОВКИ

В ході роботи було приведено теоретичні дані про основні види листового прокату, були показані та проаналізовані типи дефектів, що можуть з'являтися в них та методи, якими вони контролюються.

В ході виконання проекту була розроблена автоматизована ультразвукова система для контролю сталюого листового прокату, за допомогою якої можна значно полегшити процес контролю та збільшити його вірогідність. На основі вже існуючих перетворювачів, був розроблений ПЕП, який кріпиться до спеціальної конструкції, що є частиною автоматизованої системи.

У програмному середовищі SolidWorks було зроблено тривимірну модель конструкції фіксації датчиків і датчик.

Також було створено структурну і функціональну схему, на основі яких потім електричну принципову, до якої було підібрано електронні компоненти.

Розроблено стартап-проект щодо реалізації вводу на ринок запропонованого виробу, а саме автоматизованої ультразвукової системи контролю листового прокату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева.
2. Листовой металл // Большой энциклопедический политехнический словарь. — 2004
3. Кошланський Д.М. Особливості розвитку прокатного виробництва листових матеріалів // матеріали ІХ всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання – 2016. – т. 1. – с. 156-156.
4. Паврос, С.К. Горячекатаный листовой прокат. – В мире неразрушающего контроля. 2002.№4. С. 10-11.
5. ТИ 123-2П-25-2000. Акустический контроль горячекатаных и холоднокатаных листов. – Технологическая инструкция. 2000. г.Аша. – 17.с.
6. Гріффен О. Л. Розвиток методів неруйнівного контролю // питання історії науки і техніки. – 2010.
7. Коротич В. И., Набойченко С. С., Сотников А. И., Грачев С. В., Фурман Е. Л., Ляшков В. Б. (под ред. В. И. Коротича). Начала металлургии: Учебник для вузов. — Екатеринбург: УГТУ, 2000. — 392 с. — ISBN 5-230-06611-3.
8. Дзюбик А. Р., Николишин Т. М., Пороховський Ю. В. Вплив залишкових напружень на граничну рівновагу трубопроводу з внутрішньою тріщиною довільної конфігурації // фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2016.
9. Винокур б. Б. Флокени в сталі (огляд) // металознавство та обробка металів. – 2009. – №. 2. – с. 45-50.
10. Вихретоковый контроль.–2-е изд., испр.– М.: Машиностроение, 2006. – 688 с.
11. Куц Ю. В. И др. Электромагнитні методи неруйнівного контролю. Частина 1: магнітний неруйнівний контроль. – 2012.

12.Воронько І.І., Суть проведення капілярного методу неруйнівного контролю на прикладі авіаційних деталей //збірник наукових праць лóгос. – 2020. – с. 106-109.

13.Т. 2: В 2 кн. Кн. 1: А.И. Евлампиев, Е.Д. Попов, С.Г. Сажин, Л.Д. Муравьева С.А. Добротин, А.В. Половинкин, Ю.А. Кондратьев. Контроль герметичности. Кн 2: Ю.К. Федосенко, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, Ю.Я. Останин

14.Глоба С. М. И др. Основні вимоги щодо вибору засобів радіографічного контролю зварних з'єднань : дис. – НТУ" ХПІ", 2016.

15.Івіцька Д.К., Баженов В.Г. Аналіз електростатичного методу неруйнівного контролю для різних типів структур матеріалів //Матеріали V міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. – 2016. – т. 1. – с. 210-211.

16.Тасаж В. С. Обробка даних, що отримані у результаті контролю методом вільних коливань. – 2020.

17.Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ», 2010 – 448 с

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

19.Ермолов И. Н. И др. Ультразвуковой пьезопреобразователь. – 1983.

20.Ермолов И. Н. Достижения в теоретических вопросах ультразвуковой дефектоскопии, задачи и перспективы //Дефектоскопия. — 2004. — №. 10. — С. 13-48.

21.Ляшенко Г.А., Полянова Н.В. Шляхи удосконалення ультразвукових діагностичних систем //актуальні проблеми автоматики та приладобудування. – с. 60.

22.Иванов Э.А., Степура А.В. Электромагнитно-акустические преобразователи (эмап) //современные направления в технологии машиностроения и в управлении качеством-2014. – 2014. – с. 23.

23.Салам Б. И др. Современное состояние методов и средств ультразвукового контроля проката с применением электромагнитно-акустических преобразователей. – 2019.

24.Крепич С. Я. Метод синтезу смугового фільтра для заданих обмежень на його модуль коефіцієнта передачі : дис. – тернопіль, ТНЕУ, 2014.

25. Куц Ю. В., Маєвський С. М. Технічні та медичні системи неруйнівного контролю. – 2016.

26.Соловйова В. С., Богомолв М. Ф. Особливості проектування ультразвукових медичних п'єзоперетворювачів //вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №. 2. – с. 148-148.

ДОДАТОК А

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Опришка Максима Сергійовича

№ З/п	Найменування праць	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1.	ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ПРОКАТУ	XVII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених	4	

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ



*XVII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

07-08 грудня 2021 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2021

<i>М.Н. Panasenko, student of group PV-01mp, PhD, professor Eremenko V.S.</i> MONITORING SYSTEM OF ECOLOGICAL PARAMETERS OF RECREATION AREAS.....	232
<i>В.А. Пасічник, студентка гр. ПН-01мп, к.т.н., асист. Івасенко В.М.</i> АНАЛІЗ ВИКИДІВ ВІД РОБОТИ УТИЛІЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН	235
<i>Р.О. Потієнко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков</i> КОНТРОЛЬ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ.....	239
<i>Р.Р. Рудницький, студент гр. ПН-01мп, А.М. Мазуренко, студент гр. ПН-81</i> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АГРЕГАЦІЇ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ	243
<i>Д.В. Тимофеев, студент гр. ПН-01мп, к.т.н., доц. Маркін М. О.</i> ВПЛИВ ДЖЕРЕЛА ОСВІТЛЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я.....	248

СЕКЦІЯ 6. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОЕКТУВАННІ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ, ТЕХНІЧНІЙ ТА МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ

<i>М.О. Глуценко, студент гр. ПК-01мп, к.т.н., Богдан Г.А.</i> ПРИСТРОЇ ВІЗУАЛЬНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПОЖЕЖ.....	254
<i>М.Ю. Заболуєва, студентка гр. ПК-81</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗАХВОРЮВАНЬ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ	257
<i>В.В. Лемешенко, студент гр. ПК-01мп</i> АВТОМАТИЗОВАНІ ПРИЛАДИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ НА БАЗІ СМАРТФОНА	261
<i>В.П. Малько, студент гр. ПК-11мп</i> КООРДИНАТНА РЕЄСТРАЦІЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ	264
<i>В.П. Малько, студент гр. ПК-11мп</i> ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОПРОЦЕСОРІВ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ РОБОТІВ	268
<i>Д.В. Маснуха, студент гр. ПК-01мп</i> ВИЯЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ В ОБ'ЄКТАХ СКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ	271
<i>М.С. Опришко, студент гр. ПК-01мп</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ПРОКАТУ	274
<i>Д.В. Петренко, студент гр. ПК-01мп</i> ПЕРСПЕКТИВА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ	278

УДК 620.179.1

М.С. Опришко, студент гр. ПК-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ПРОКАТУ

Анотація. В даній статті розглянуто переваги та недоліки використання електромагнітно-акустичних перетворювачів в автоматизованих системах контролю листового прокату. Описано основні фізичні особливості та способи реалізації даного методу, розглянуто можливості зменшення впливу завад та можливі шляхи збільшення швидкодії системи.

Ключові слова: Електромагнітно-акустичний перетворювач, дефектоскопія, листовий прокат, ультразвуковий контроль.

ВСТУП

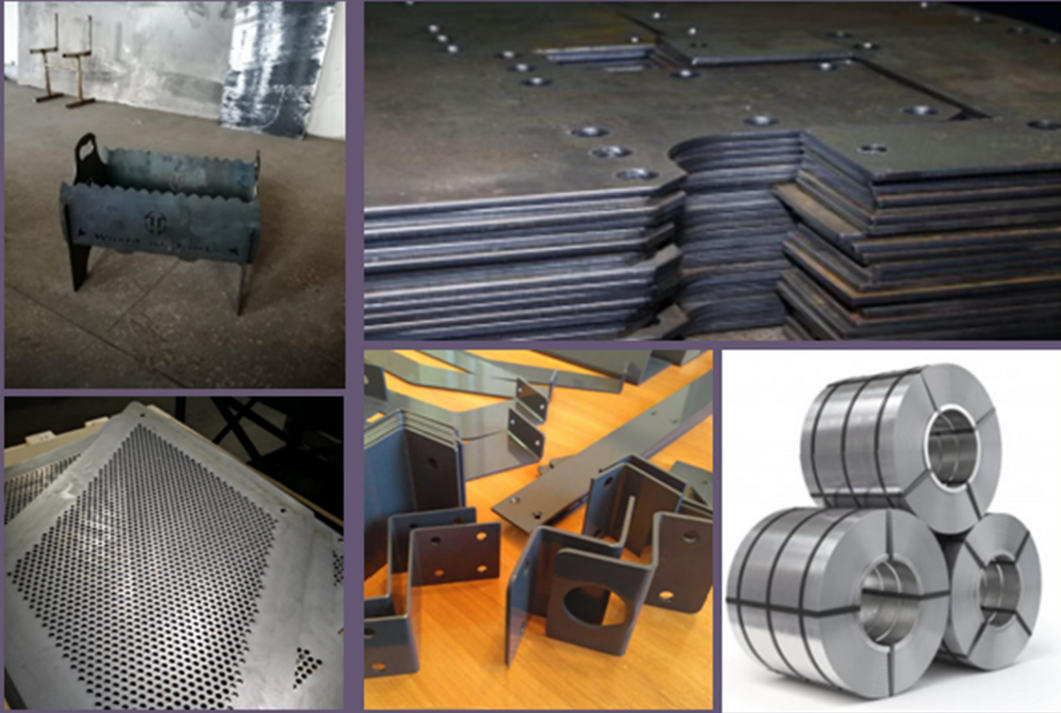
В сучасному світі велика кількість виробів виготовляється за допомогою прокатки: листи, труби, заготівлі, рейки та ін. Вимоги до якості цієї продукції постійно зростають та забезпечуються неруйнівними методами контролю (НК), серед яких основним є ультразвуковий (УЗ). Значні обсяги виробництва металовиробів потребують виконувати УЗ контроль з високою швидкістю сканування, в гарячому та холодному стані, зачищати поверхню об'єктів контролю. Але традиційні контактні методи у багатьох випадках не можуть забезпечити швидкий та якісний УЗ контроль. Аналогічні проблеми мають місце при експлуатації різних об'єктів та виробів, наприклад, з лакофарбовими або пластиковими покриттями, які необхідно видаляти перед проведенням УЗ дефектоскопії, а потім відновлювати після контролю, що значно здорожує технологію НК. Вирішити зазначені недоліки традиційного методу УЗ контролю можливо за рахунок застосування безконтактних методів збудження та прийому ультразвукових імпульсів, серед яких найбільш розвиненим вважається електромагнітно – акустичний (ЕМА).

ПРОБЛЕМИ «ТРАДИЦІЙНИХ» МЕТОДІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ

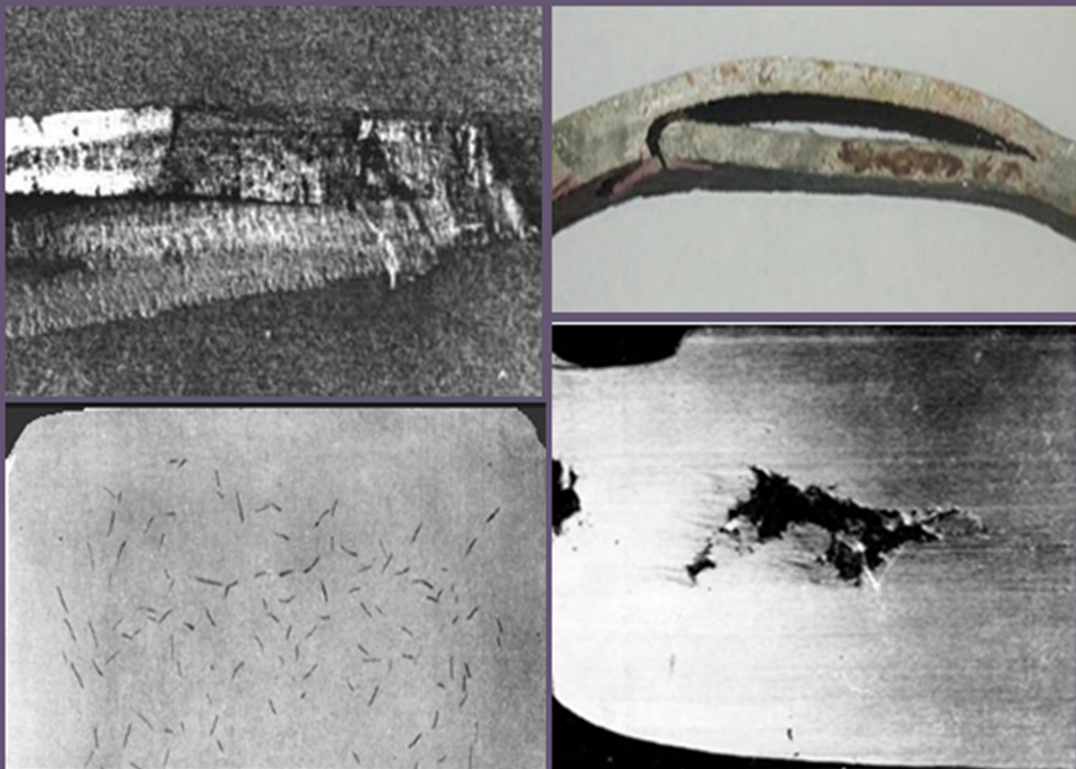
Системи, які реалізують «традиційні» методи контролю листового прокату (імерсійний, променевий, щілинний), мають загальну ознаку – в них обов'язково використовується контактна рідина (рис.1) в якості проміжного середовища (найчастіше вода), між перетворювачем та об'єктом контролю (ОК) [1].

Необхідність застосування контактних рідин доволі часто конфліктує із сучасними технологіями металургії. Стає все важче забезпечити вимоги щодо швидкості переміщення, температури, крім того, використання п'єзоелектричних перетворювачів вимагає підготовки поверхні для введення ультразвуку в метал, зокрема створення шорсткості поверхні не нижче класу 5 [2]. Навіть додавання інгібіторів до води часто призводить до корозії ОК, що є суттєвим недоліком, так як псується товарний вид продукції.

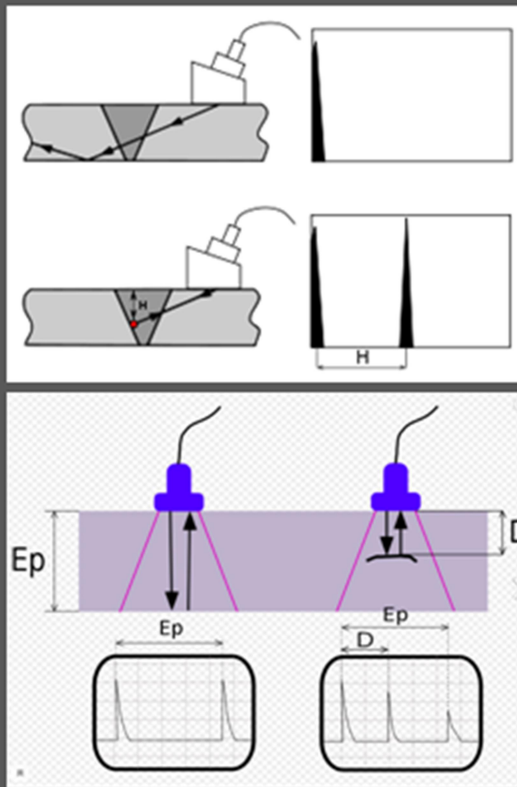
Продукція з листового металу



Дефекти листового металу



Луна-імпульсний акустичний метод



У ході вирішення поставленої задачі було обрано луна-імпульсний метод, адже він є найбільш поширеним: перетворювач генерує коливання (тобто виступає в ролі генератора) і він же приймає відбиті від дефектів луна-сигнали (приймач). Даний спосіб набув широкого поширення за рахунок своєї простоти, так як для проведення контролю потрібно тільки один перетворювач і відсутня потреба суміщенні акустичних осей при використанні двох перетворювачів. Крім того, це один з небагатьох методів ультразвукової дефектоскопії, що дозволяє досить точно визначити координати дефекту, такі як глибину залягання і положення в досліджуваному об'єкті (щодо перетворювача).

Структурна схема системи

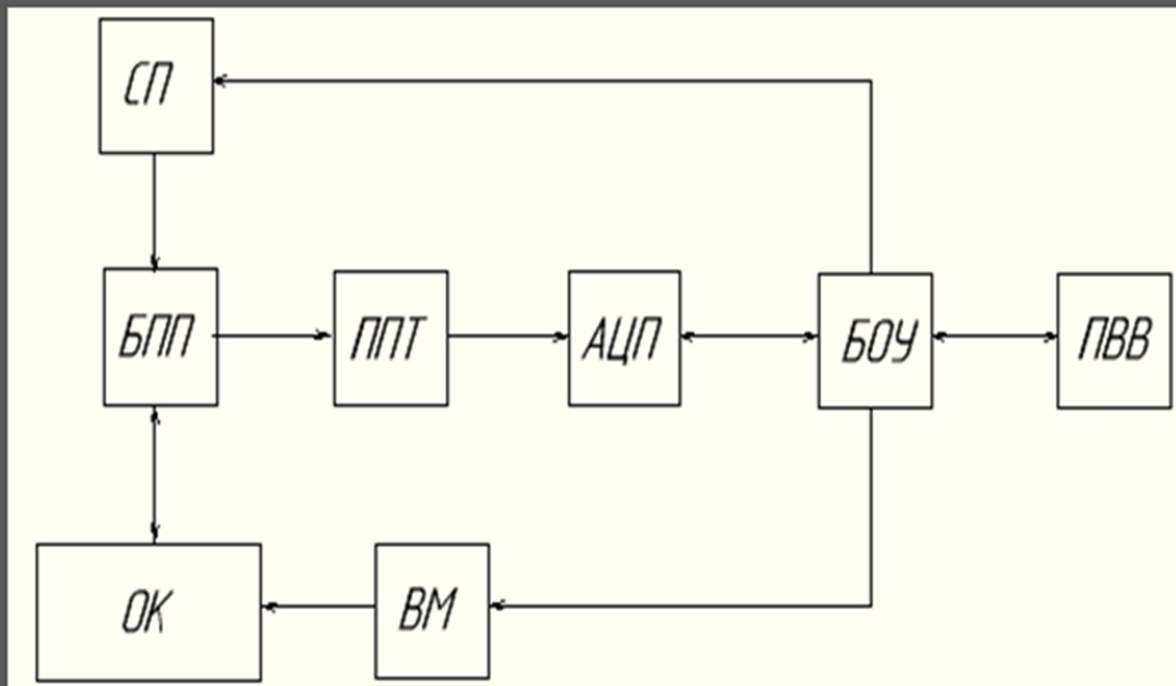


Схема функціональна

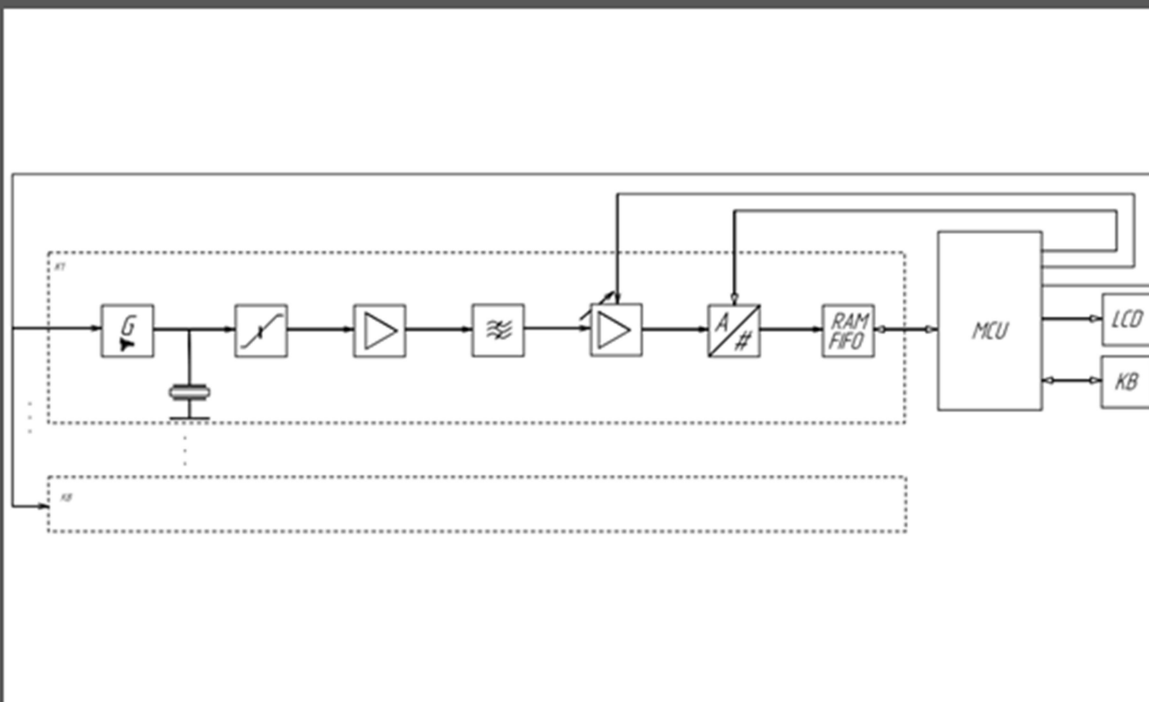


Схема принципова

