

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ЕКТ

\_\_\_\_\_ Анатолій ОПАНАСЮК

\_\_\_\_\_ (підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»**  
зі спеціальності 171 «Електроніка»  
освітньо-професійної програми «Електронні системи та компоненти»  
на тему:

**ПРИСТРІЙ ВИМІРУ ЧАСУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКУ**

Здобувача групи ЕС-01 \_\_\_\_\_ Новака Олексія Олександровича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник, доцент, к.т.н., доцент Олексій Горячев

\_\_\_\_\_

(підпис)

# СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет \_\_\_\_\_ електроніки та інформаційних технологій

Кафедра \_\_\_\_\_ електроніки і комп'ютерної техніки

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_ 171 Електроніка

Освітня програма \_\_\_\_\_ Електронні системи та компоненти

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

Опанасюк А. С.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

1. Тема роботи \_\_\_\_\_

затверджена наказом по університету "13" березня 2024 р. № 0256-VI.

2. Термін здачі студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити) 1) Огляд літератури та постановка задачі роботи. 2) Розробка структурної схеми проєктованого електронного пристрою. 3) Розробка алгоритму роботи проєктованого електронного пристрою. 4) Розробка функціональної схеми проєктованого електронного пристрою. 5) Розробка принципів схем блоків проєктованого електронного пристрою. 6) Розробка програмного забезпечення проєктованого електронного пристрою (при необхідності).

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Схема електрична структурна. 2) Схема алгоритму. 3) Схема електрична функціональна. 4) Схема електрична принципова.

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

8. Керівник роботи \_\_\_\_\_

9. Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд літератури та постановка завдання проектування	06.05.24 – 09.05.24	
2	Розробка структурної схеми проектованого електронного пристрою	10.05.24 – 13.05.24	
3	Розробка алгоритму роботи проектованого електронного пристрою	14.05.24 – 16.05.24	
4	Розробка функціональної схеми проектованого електронного пристрою	17.05.24 – 22.05.24	
5	Розробка принципових схем блоків проектованого електронного пристрою	23.05.24 – 30.05.24	
6	Розробка програмного забезпечення проектованого електронного пристрою	31.05.24-04.06.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	05.06.24 – 07.06.24	
8	Оформлення графічного матеріалу	08.06.24 – 09.06.24	
9	Представлення роботи керівнику і отримання відгуку	10.06.24	
10	Представлення роботи кафедрі для отримання рецензії	10.06.24	

Студент \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ОБРАНИМ НАПРЯМКОМ ПРОЕКТУВАННЯ	6
1.1 Порівняльний аналіз засобів для контролю ультразвуку	6
1.2 Вимірювач часу розповсюдження ультразвуку	13
1.3. Постановка задачі проектування	17
2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ	19
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою	19
2.2 Розробка структурної схеми пристрою	22
3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	23
3.1 Вибір елементної бази	23
3.2 Розробка принципової схеми пристрою	24
3.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми	26
ВИСНОВКИ	34
Список літератури:	36
Додаток А	38
Додаток Б	39

Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.					Пристрій виміру часу розповсюдження ультразвуку		
Перевір.							
Реценз.					Літ.	Лист	Листів
Н. Контр.					4	4	40
Затвердив					Пояснювальна записка. СумДУ ЕС – 01		

## ВСТУП

Неруйнівні методи контролю мають дуже важливе значення підвищення якості та надійності виробів і матеріалів у різних галузях народного господарства нашої країни. Широке поширення цих методів зумовлено тим, що вони дозволяють уникнути великих втрат часу та матеріальних витрат.

В даний час широке застосування на різних машинобудівних підприємствах та підприємствах енергетики набули акустичні методи контролю ультразвуку, зокрема ультразвукова дефектоскопія. Порівняно з іншими методами неруйнівного контролю вона має низку важливих переваг:

- висока чутливість до найнебезпечніших дефектів типу тріщин;
- можливість проводити контроль у ході технологічного процесу, тобто. ультразвукова дефектоскопія має велику продуктивність;
- можливість автоматизації контролю.

Можливість автоматизації контролю дозволяє розробляти та впроваджувати у виробництво різні автоматичні комплекси для контролю виробів у процесі виробництва. До складу таких комплексів можуть входити не тільки автоматичні сканери та блоки керування ними, дефектоскопи, а й ЕОМ. При розробці автоматичних пристроїв широко застосовується інтегральна електроніка, що дозволяє знизити кількість застосовуваних елементів, габаритні розміри блоків, підвищити їх надійність.

У конструктивних документах на ультразвуковий контроль зварних з'єднань труб вибір кута введення та зони переміщення перетворювача встановлений виходячи з геометричних характеристик зварного з'єднання. При цьому передбачається, що швидкості розповсюдження поперечних хвиль постійні перерізом труби і не залежать від напрямку прозвучування.

Обсяг застосування ультразвукового контролю, як у нас, так і за кордоном, за останні роки досяг 70-80%. Це пояснюється більш високою чутливістю та достовірністю до виявлення дефектів, більш високою продуктивністю, меншою вартістю та безпекою у роботі з традиційними

										АДК. АДР.
										6
										5
ЗМ. Зм.	Лист Лист	№ ДОКУМ. № ДОКУМ.	Підпис Підпис	Дата Дата	<b>ЕЛНТ 6.174.00. 141 НЗ</b>					

методами радіографічного контролю. Крім того у таких випадках, як, наприклад, при контролі зварних швів великої товщини ультразвукова дефектоскопія є єдино прийнятним методом контролю.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ОБРАНИМ НАПРЯМКОМ ПРОЕКТУВАННЯ

## 1.1 Порівняльний аналіз засобів для контролю ультразвуку

Дефекти у таврових сполуках тривалий час контролювали візуально-оптичними методами контролю. В даний час існує безліч методів ультразвукової дефектоскопії таких сполук. Найбільшого поширення з ультразвукових методів контролю набув луна-метод. Він має найбільшу чутливість і завадостійкість. Інші методи застосовують у тих випадках, коли застосування відлуння-методу утруднене або недоцільно.

Ультразвуковий контроль зварних швів таврових з'єднань може вироблятися як з боку основного елемента, так і з боку елемента, що приварюється. Спосіб контролю залежить від товщини цих елементів.

Контроль зварного шва таврового з'єднання з повним проплавленням стінки ведеться із застосуванням трьох схем (рис. 1.1).

Залежно від доступу до швів контроль ведуть похилими, а також окремо поєднаними перетворювачами.

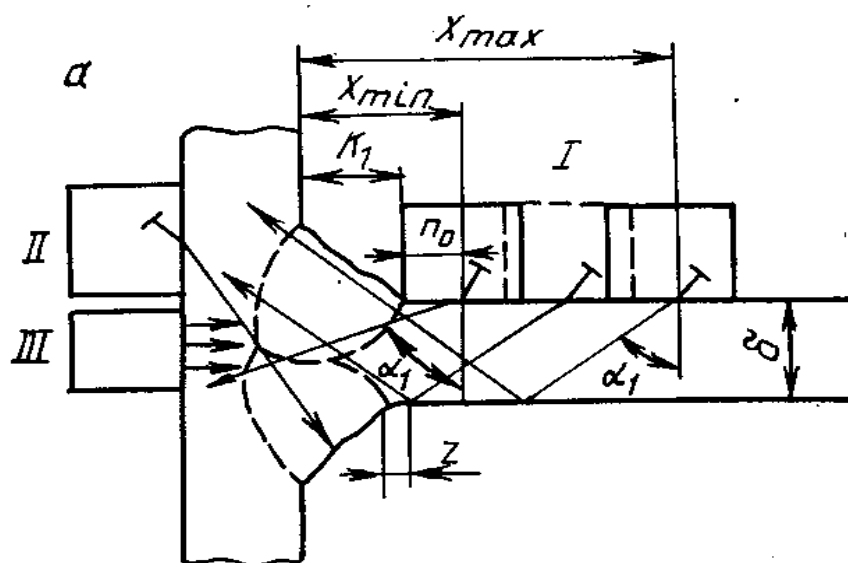


Рис. 1.1. Схеми контролю двосторонніх таврових швів з'єднань

Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата



Найбільш ефективною є схема введення ультразвукових коливань через основний метал листа, що проварюється (схема I), так як вона дозволяє виявити всі види внутрішніх дефектів в зварних швах при мінімальному рівні помилкових сигналів.

При контролі таврових сполук поява хибних сигналів може бути обумовлена лише відображенням від грубих нерівностей на зовнішній поверхні полиці, що зустрічаються дуже рідко і пов'язаних з пошкодженням металу. У тих випадках, коли утруднений доступ з боку стінки, тобто неможливе проведення контролю за схемою I, прозвучування виконують за схемами II та III. Контроль за схемою II забезпечує виявлення пір, шлакових включень, несплавлень і тріщин, орієнтованих перпендикулярно до ультразвукових променів. Однак контроль за такою схемою ускладнюється необхідністю орієнтування перетворювача щодо з'єднання та появою хибних ехо-сигналів від поверхні протилежного валика шва, причому амплітуда хибного ехо-сигналу зазвичай вище амплітуди сигналу від дефекту. Поділ корисних і хибних сигналів проводиться за часом проходження ультразвукових коливань.

Виявити непроварення у корені шва при контролі за схемою II практично неможливо, оскільки ультразвукові промені зазнають дзеркального відображення. Цей небезпечний дефект при доступі для контролю тільки із зовнішньої поверхні полиці виявляється за схемою за допомогою роздільно-сумісного перетворювача або двох похилих поєднаних перетворювачів, включених за роздільною схемою.

Однією з умов, що забезпечують найбільш ймовірно виявлення дефектів перерізу шва, є правильний вибір кута введення УЗ-променя в контрольоване з'єднання.

Сьогодні на практиці для здійснення луна-методу можливе використання широкого переліку приладів. Опишемо деякі з них.

GE Phasor XS.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2. Дефектоскоп GE Phasor XS

Дефектоскоп GE Phasor XS переводить випробувані переваги технології фазованих ґрат на новий – і доступний – рівень. Цей переносний і міцний прилад поєднує переваги фазованих ґрат зі звичайним ультразвуковим дефектоскопом, що відповідає прийнятим нормам. Він простий у використанні, легкий у навчанні та пропонує спеціально розроблені практичні та важливі функції.

При використанні в режимі фазованих ґрат, оператор може електронним чином контролювати кілька променів від одного датчика. Точне керування променем, включаючи кут, фокус і розмір, призводить до підвищення ймовірності виявлення (POD), а також покращення визначення розмірів дефектів. За допомогою одного скана від одного контактного положення охоплюється велика площа, а вичерпні дані можуть переглядатися в реальному часі на повноцінному секторному дисплеї. У порівнянні зі звичайними ультразвуковими засобами контролю, продуктивність та зниження витрат при використанні дефектоскопа Phasor XS очевидні.

Якщо під час звичайного ультразвукового контролю потрібен інший кут, оператор повинен замінити свій датчик і знову візуалізувати інтеграцію нової інформації. При цьому відображається інша часова розгортка та інший рівень чутливості. Незважаючи на те, що така операція не є проблемою для досвідченого оператора, на це потрібен час. Завдяки можливостям дефектоскопа Phasor XS ці незручності мінімізуються радикально.

										Адк.
										Адк.
										9
										10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
ЗМ.	ЛІСТ	№ ДОКУМ.	ПІДПИС	ДАТА						

ЕЛІТ 6.171.00.141 ПЗ  
 ЕЛІТ 6.171.00.141 ПЗ

Формування кольорового зображення в реальному часі дефектоскопом Phasor XS забезпечує інтегровану перехресну візуалізацію деталі завдяки використанню кількох променів. Крім того, для відображення в комбінації із зображенням може бути обраний одиночний А-скан. Використовуючи один датчик, можна досягти більших результатів, ніж будь-коли раніше – і за більш короткий час.

Дефектоскоп УСД-60 [19].



Рис. 1.3. Дефектоскоп УСД-60

Новий універсальний ультразвуковий дефектоскоп, що дозволяє скористатися всім багатством можливостей сучасної цифрової техніки: виводити сигнал у вигляді А, В-сканів, підключати датчик шляху для побудови координатної розгортки виробу (у спеціалізованих версіях), записувати великий обсяг даних, автоматично формувати звіти та протоколи. Дозволяє вимірювати товщину виробів з високою точністю, проводити ручний, автоматизований контактний та іммерсійний (спеціальна і-зона) контроль.

Універсальна архітектура приладу дозволяє будувати на його базі механізовані та роботизовані комплекси контролю (до 32 каналів)

Дефектоскоп поєднує останні досягнення аналогової і цифрової техніки, широку універсальність, багаті функціональні можливості, зручність і простоту користування, високу надійність.

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		111

Технологія ручного УЗ-контролю складається з низки простих та складних операцій. Оператор переміщує перетворювач у навколошовній зоні складною траєкторією, безперервно спостерігає за екраном дефектоскопа і виконує логічні операції з переробки отриманої інформації та оцінки якості контрольованого виробу. Така напружена робота призводить до швидкої фізичної втоми оператора, внаслідок чого відбувається пропуск дефектів.

Одним із основних недоліків ручного контролю є те, що після нього не залишається об'єктивних документів (дефектограм), за якими можна було б контролювати роботу операторів. Це зумовлює залежність оцінки якості контрольованого виробу від кваліфікації, фізичного стану та умов роботи оператора.

Автоматизація контролю значно підвищує його продуктивність та достовірність. Підвищення гідності досягається тим, що фіксація виявлених дефектів проводиться не візуально оператором, а за рахунок отримання дефектограми на паперовій стрічці за допомогою будь-якого реєструючого пристрою.

Автоматизований пристрій для УЗ-контролю повинен включати такі основні вузли: акустичний блок з перетворювачами та механізмом для їх переміщення поверхнею контрольованого виробу; система стеження за швом з'єднань та якістю акустичного контакту; електронний блок для генерування зондувальних імпульсів та прийому ехо-сигналів; систему подачі та збору контактної рідини; електронний блок для логічного оброблення інформації про дефект, включаючи ЕОМ, реєстратори інформації на дефектограмі в аналоговій або цифровій формі; систему зворотного зв'язку для управління траєкторією та швидкістю сканування в залежності від отриманої інформації про дефект; систему автоматичного відбраковування та ін.

Рівень автоматизації установки визначається наявністю у ній згаданих систем. Якщо всі ці системи входять у конструкцію установки, досягається повна автоматизація контрольних операцій. Такі установки називають

					<i>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичними стендами. Стенди – дуже складне, громіздке та дороге обладнання, тому застосовувати їх на виробництві не завжди доцільно.

Автоматизації зазвичай передують розробка та впровадження методів та засобів механізації. Спочатку окремі операції ручного контролю мають бути замінені механізмами та пристроями з механічним двигуном. У багатьох випадках достатньо механізувати (частково автоматизувати) контрольні операції, передавши автоматизованого пристрою, наприклад, функції пошуку та реєстрації дефектів. Такі пристрої менш складні конструкції і можуть бути виконані у вигляді малогабаритних дефектоскопів.

Наприклад, сканер HSFCS-XY01 (рис. 1.4). Це гнучкий сканер, що має необхідну гнучкість для контролю нерівних і похилих поверхонь. Система множинних чашкових присосів тримає сканер на деталі. HSFCS-XY01 також може бути оснащений чашковими присосами, які активуються вручну, що унеможливорює використання компресора.

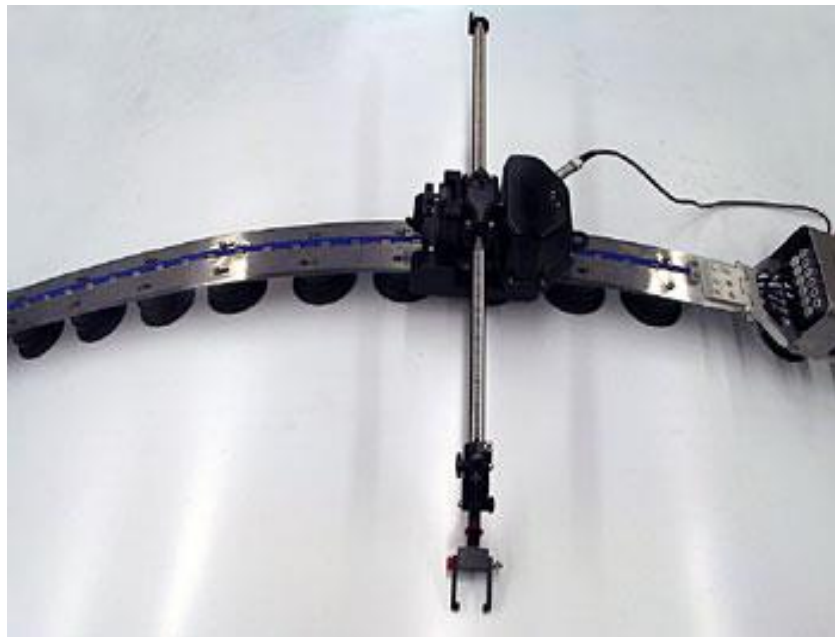


Рис. 1.4. Гнучкий сканер HSFCS-XY01

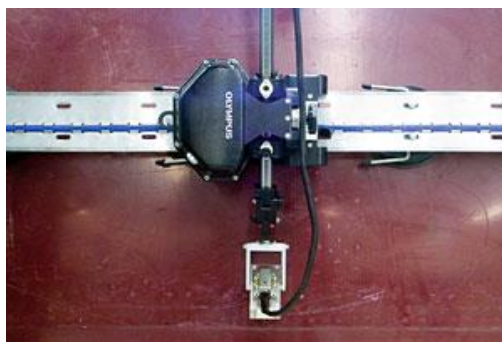


Рис. 1.5. Гнучкий сканер HSFC3-XY01 із чашковими присосами активованими вручну

Пристрій типу «УН1», що складається з двох ультразвукових перетворювачів (45°, 4...5 МГц), механічного пристосування, що має направляючий і фіксуєчий гвинт для ПЕП – призначений для УЗК зварних з'єднань труб, судин, металоконструкцій і реалізує дзеркальний метод контролю та луна-метод.

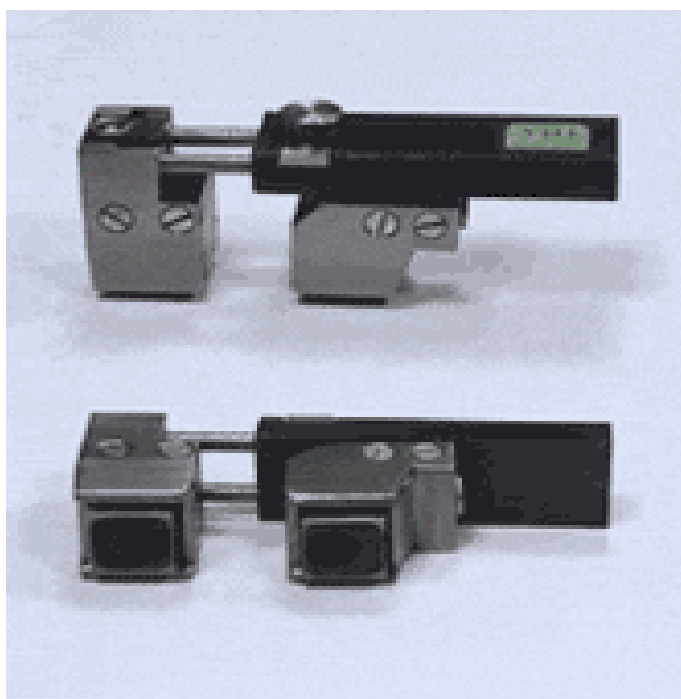


Рис. 1.6. Скануючий пристрій УН1

Сканер HS10-X01 типу «миша» розроблений для одноелементних ПЕП або ФР при скануванні у лабораторії або у виробничому середовищі. Цей

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						13
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

сканер пропонує ефективне рішення для ручного сканування однією рукою. Коліщатка кодувальника зроблені так, щоб не ковзати на вологих поверхнях.

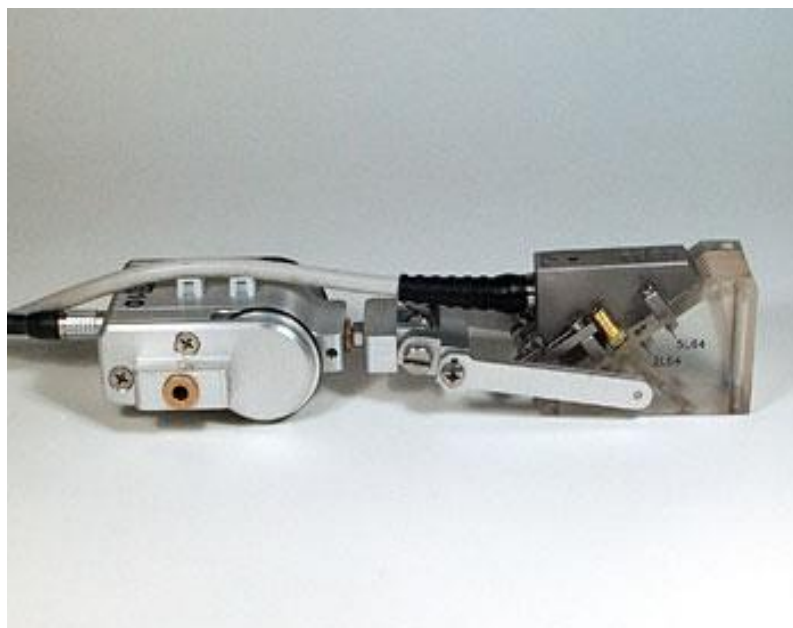


Рис. 1.7. Сканер типу HS10-X01 типу «миша»

## 1.2 Вимірювач часу розповсюдження ультразвуку

Відомий спосіб вимірювання часу  $T_r$  поширення сигналу, наприклад ультразвукового сигналу, між двома датчиками, що полягає в збудженні випромінюючого датчика за допомогою збуджуючого імпульсу ІЕ1. Такий збуджуючий імпульс є формою прямокутника, і його спектр частот включає частоту збудження датчика.

Цей імпульс ініціює випромінювання передаючим датчиком ультразвукової хвилі в середу, що розділяє обидва датчики. Ультразвукова хвиля буде поширюватися у напрямку приймаючого датчика.

На рис. 1.8 представлений збудливий сигнал ІЕ1 випромінюючого датчика і сигнал на виході приймаючого датчика SR1.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

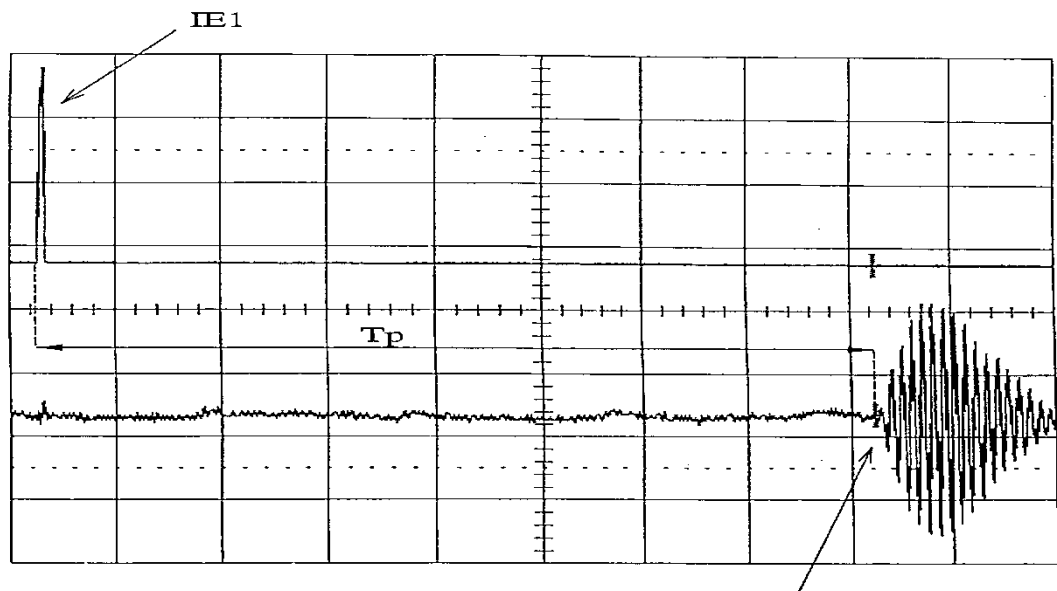


Рис. 1.8. Збудливий сигнал ІЕ1 випромінюючого датчика і сигнал на виході приймаючого датчика SR1

Спосіб полягає в тому, що визначають перше коливання вищезгаданої хвилі з моменту її приходу на датчик. Часом  $T_p$  поширення є час між моментом, коли випромінюючий датчик піддається впливу збудливого імпульсу, і моментом визначення першого коливання ультразвукової хвилі, що прийшла на рівень датчика, який приймає. Цей спосіб важко реалізувати, він також призводить до помилкових результатів вимірювання часу розповсюдження сигналу. Ультразвукова хвиля у приймаючого датчика ініціює сигнал у відповідь з дуже слабкою амплітудою. Як приклад можна розглянути вимірювання параметрів при проходженні ультразвукового сигналу стосовно мереж опалення при використанні одного датчика з частотою резонансної близько 1 МГц. Отримують сигнал у відповідь з амплітудою приблизно від 3 до 10 мВт.

На рис. 1.9 показано поширення сигналу у відповідь від приймаючого датчика SR1, коли випромінюючий датчик збуджений одним імпульсом.



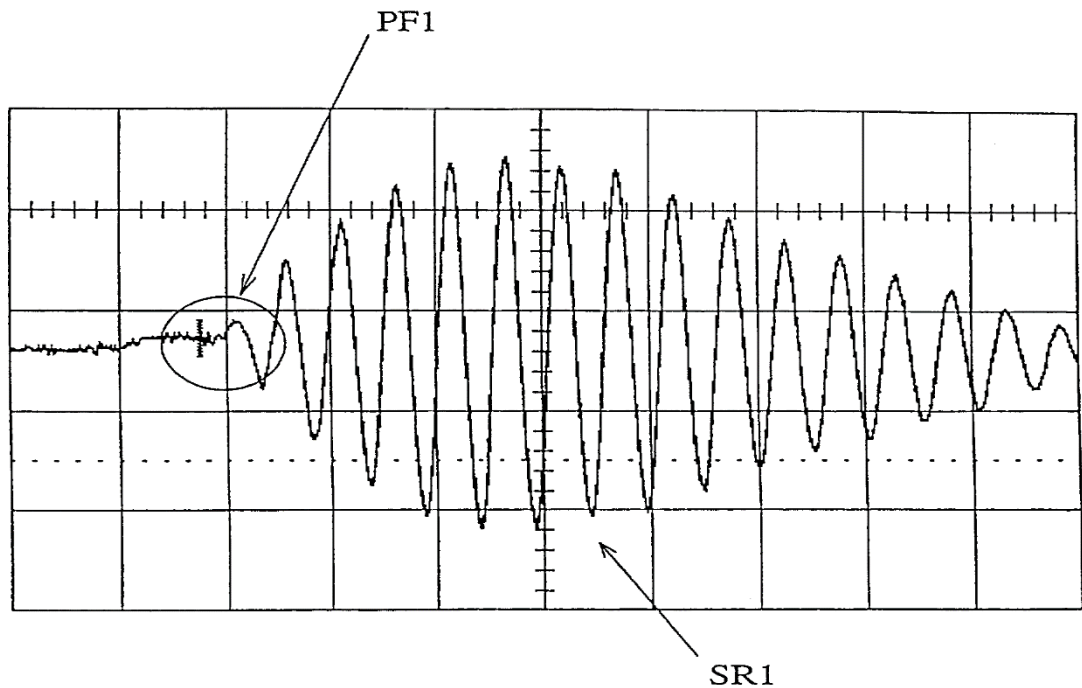


Рис. 1.9. Поширення сигналу у відповідь від приймаючого датчика SR1, коли випромінюючий датчик збуджений одним імпульсом

Спосіб полягає у визначенні першого коливання ультразвукової хвилі PF1 шляхом визначення перевищення порогової напруги. Спосіб вимагає, з одного боку, визначення дуже низьких рівнів напруги, а з іншого боку, точного управління порогом відключення пристрою визначення моменту надходження коливання, щоб запізнення ввести в вимірювання часу поширення сигналу. Вказаний спосіб може бути точним, якщо використовують електронний елемент з ефективним відключенням порога, але електронний елемент є дорогим. Крім того, спосіб може бути неточним під час використання електронного елемента з відключенням порога.

З патенту США US 5123236 відомий спосіб визначення часу розповсюдження ультразвукової хвилі від одного датчика до іншого. Випромінюючий датчик збуджується квадратним імпульсом, який ініціює появу сигналу у відповідь, типового для генератора загасаючих коливань, пікове значення амплітуди коливань якого збільшується для деякої кількості періодів перед тим, як зменшитися. У способі передбачається можливість визначення часу поширення ультразвукового сигналу між моментом

										Адк.
										16
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата	<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>					

випромінювання випромінюючого датчика і моментом його прийому приймаючим датчиком. Здійснюють розрахунок огинаючого сигналу у відповідь шляхом визначення, з одного боку, амплітуди групи періодів, а з іншого боку, моментів проходження сигналу через нульове значення вищевказаних періодів. Точка перетину цієї огинаючої з базовою лінією сигналу у відповідь потім розраховується для того, щоб визначити момент появи відповідного сигналу на рівні датчика.

Нарешті, визначення часу поширення сигналу здійснюється шляхом обчислення різниці між моментом збудження та моментом появи сигналу.

З документа DE 4017022 відомий електронний пристрій, призначений для підвищення точності вимірювання часу розповсюдження ультразвукової хвилі від одного датчика до іншого. Цей пристрій дозволяє точно визначити момент, що відповідає приходу ультразвукової хвилі. Отримуваний сигнал надходить на два компаратори з різними пороговими значеннями напруги. Генеруються один так званий циклічний сигнал, і один так званий періодичний сигнал. Ці сигнали служать для включення лічильника довжини циклу і лічильника довжини періоду. Вихід лічильника довжини циклу з'єднаний із запам'ятовуючим пристроєм для збереження бінарного сигналу. Наприкінці виміру довжини циклу зміст пам'яті аналізується з урахуванням періоду сигналу. Мережа враховує збережене значення, щоб коригувати довжину циклу та визначати час розповсюдження сигналу.

Витратомір з використанням ультразвукових сигналів, описаний у документі US 5777238, вимірює час поширення ультразвукового сигналу шляхом використання щонайменше одного відносного стробуючого адаптивного або динамічного сигналу, що включає одну постійну складову і одну змінну складову, а також одного детектора або сходження до нуля.

Сходження до нуля визначають для кожного періоду, що становить отриманий сигнал, і визначення часу поширення ґрунтується на середній величині, розрахованій для періодів часу, що відповідають цим моментам проходження через нульове значення.

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						17
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

Зазначені способи є складними для втілення і вимагають проведення різних вимірювань і зберігання значень, і навіть проведення численних розрахунків.

### 1.3. Постановка задачі проектування

У даному проекті необхідно розробити пристрій для УЗ контролю зварного виробу за допомогою вимірювання часу розповсюдження ультразвуку. Як зварне з'єднання будемо розглядати таврове з'єднання труб. Тавровим називають зварне з'єднання, в якому торець одного елемента примикає під кутом і приварений до бічної поверхні іншого елемента. При тавровому з'єднанні кут між полицею та стінкою може бути як прямим, так і відрізнятись від нього. Поєднання товщини може бути різним. Вони часто зустрічаються у будівельних конструкціях.

Розрізняють кілька видів таврових сполук: без скосу та зі скосом кромки з одного або двох сторін. Кут зазвичай приймають рівним  $55-60^\circ$ , а зазор між елементами, що з'єднуються  $0,5-1$  мм [4]. Зовнішній вигляд об'єкта контролю представлено на рис. 1.10.

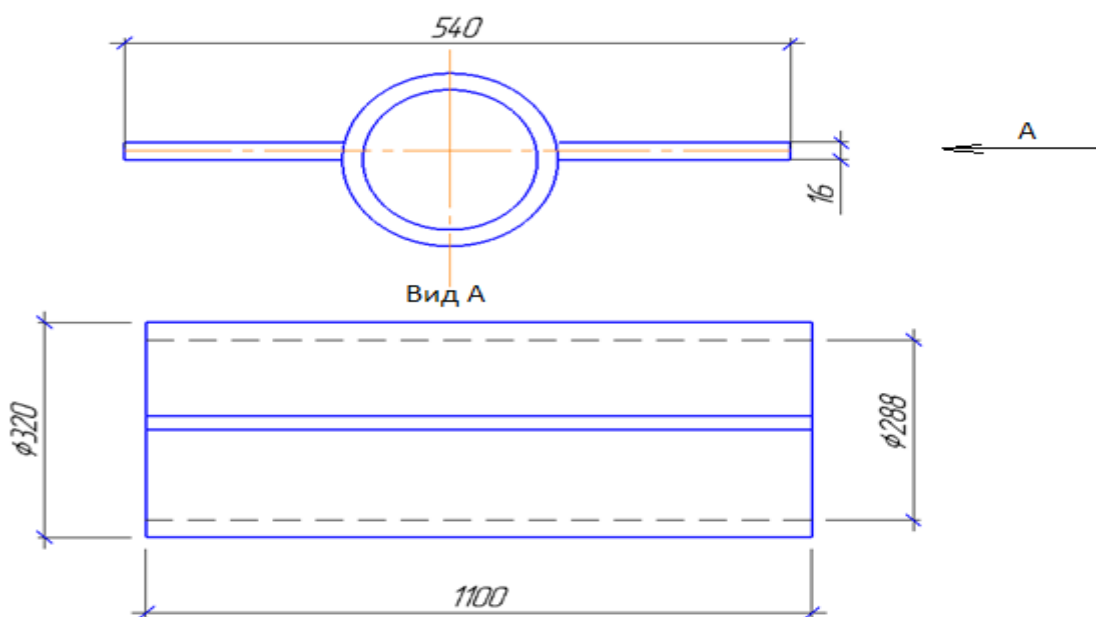


Рис. 1.10. Зовнішній вигляд об'єкта контролю

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						18
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Технологія виготовлення зварного з'єднання, що є тавром, полягає в наступному: два листи, виготовлених зі сталі 20 (в даному випадку), з'єднані з трубою за допомогою ручного дугового зварювання.

Матеріал виробу – сталь 20 – сталь конструкційна вуглецева якісна, мікроструктура такої сталі, є зерна з середнім розміром, близько 60 мкм.

Акустичні характеристики матеріалу виробу наведені у таблиці 1.1 [20].

Таблиця 1.1

Акустичні характеристики матеріалу виробу

Матеріал	Модуль пружності E, Па	Модуль зсуву G, Па	Густина	Коефіцієнт Пуассона	Швидкість звуку, м/с			Хвильовий опір зпр, Па·с/м <sup>10</sup>
					поздовжніх хвиль	поверхневих хвиль	поперечних хвиль	
Сталь 20	1,9·10 <sup>9</sup>	80·10 <sup>10</sup>	7,77·10 <sup>3</sup>	0,28	5100	3010	3210	45,6

Коефіцієнт згасання ультразвуку частотою  $f = 2,5$  МГц для сталі 20 дорівнює  $\delta = 0,009$  дБ/мм для поздовжніх та поперечних хвиль.

## 2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ

### 2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

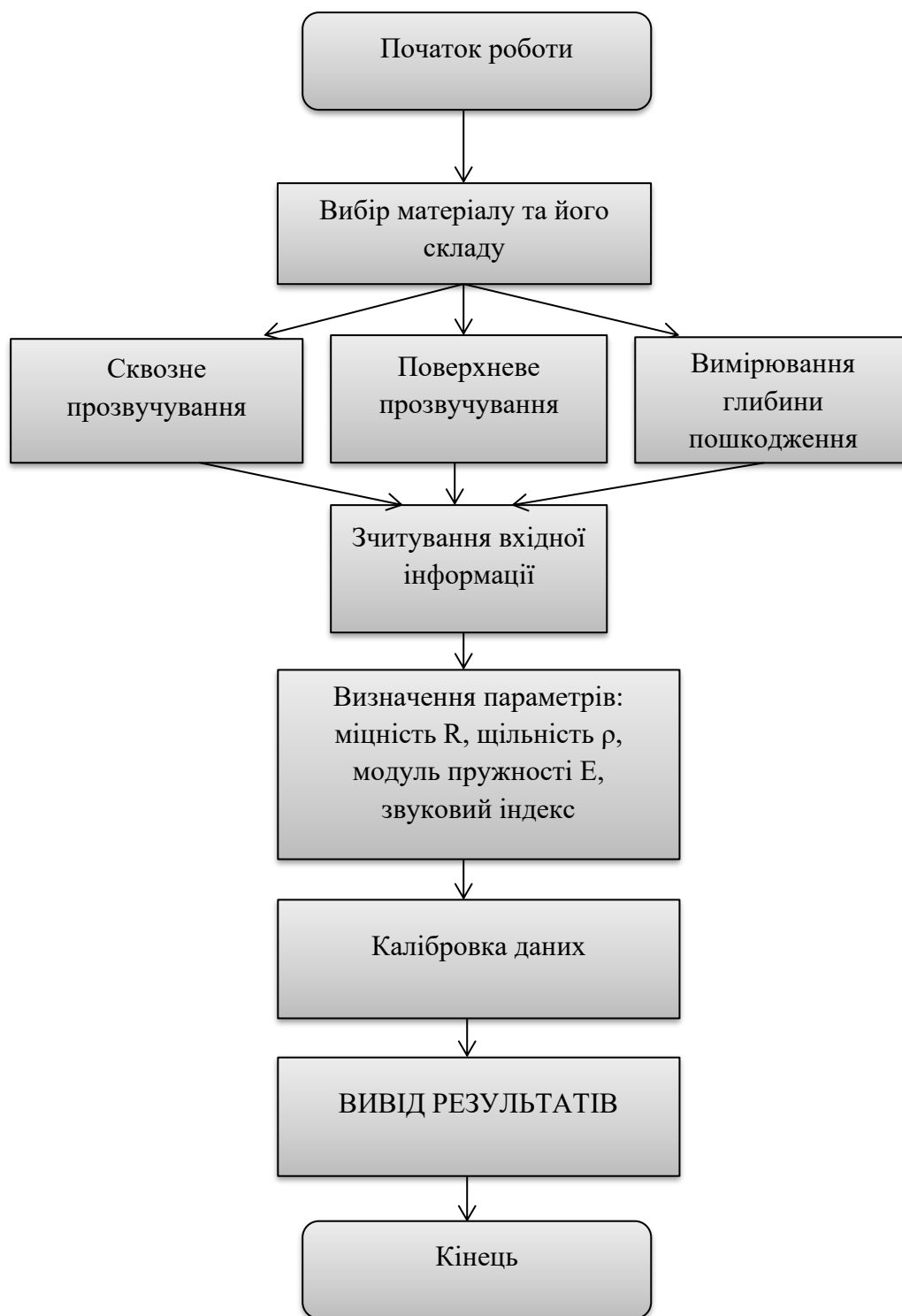
Робота приладу ґрунтується на вимірі часу проходження ультразвукового імпульсу в матеріалі виробу від випромінювача до приймача. Швидкість ультразвуку обчислюється діленням відстані між випромінювача та приймача на вимірний час. Для підвищення достовірності в кожному вимірювальному циклі виконується 6 вимірювань і результат формується шляхом їхньої статистичної обробки та відбраковування викидів. Далі оператор виконує серію від 1 до 15 вимірювань (на його вибір), яка також піддається математичній обробці з визначенням середнього значення та коефіцієнта варіації.

Швидкість поширення ультразвукової хвилі у матеріалі залежить від його щільності та пружності, від наявності дефектів (тріщин і порожнеч), що визначають міцність та якість. Отже, прозвучуючи елементи виробів, конструкцій можна отримувати інформацію про:

- міцності та однорідності;
- модуля пружності та щільності;
- наявності дефектів та їх локалізації.

Алгоритм функціонування пристрою наведемо на рис. 2.1.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		



Режими роботи пристрою:

1. Режим поверхневого прозвучування з фіксованою базою. Встановити датчик на контрольований об'єкт обома перетворювачами перпендикулярно поверхні виробу та притиснути із зусиллям 5 – 10 кг.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Переконайтесь у відсутності грубих відхилень показань від очікуваного рівня та при стабільних показаннях натиснути клавішу «М», зафіксувавши у пам'яті, таким чином, перший результат.

Для більш точного результату вимірювань рекомендується утримувати датчик на об'єкті протягом 10 – 30 секунд, спостерігаючи за зміною показань і фіксуючи результат за максимальною швидкості ультразвуку; розкид свідчень викликаний ненадійністю акустичного контакту та перешкодами, тому при вимірах датчик повинен бути нерухомим.

Далі повторити виміри на інших ділянках об'єкта, щоразу фіксуючи результат натисканням клавіші М, останній результат серії фіксується клавішею М з видачею середнього значення серії та коефіцієнта варіації.

2. Режим наскрізного прозвучування. Якщо виміри виконуються з конусними насадками, протекторами або з мастилом, то для цього варіанта необхідно відкалібрувати прилад на контрольному зразку.

Виміряти лінійкою або штангенциркулем товщину контрольованого матеріалу та ввести її значення через пункт головного меню База вимірювання.

Встановіть датчик на контрольований об'єкт. У процесі вимірювань оператор двома руками притискає випромінювач і приймач до контрольованого об'єкта до отримання стійких показань, а потім знімає датчик з об'єкта, показання на дисплеї автоматично утримуються до чергового притискання.

Якщо результат вимірювання потрібно занести в пам'ять приладу, натисніть клавішу «М».

3. При вимірюванні глибини тріщини в режимі вимірювання. На дисплеї малюється схема установки датчиків. Для виконання вимірювань встановити датчики, як зазначено на схемі. Провести перший вимір. Натиснути клавішу «М», перемістити датчики згідно з новою схемою та виконати другий вимір. Після чергового натискання клавіші «М» на дисплеї виводиться час першого та другого виміру в мкс та розраховане значення глибини тріщини.

## 2.2 Розробка структурної схеми пристрою

Пристрій буде складатися з:

- Електронний блок;
- Датчик поверхневого прозвучування у зборі;
- П'єзоелектричний перетворювач для наскрізного прозвучування;
- Контрольний зразок з оргскла.

Основні характеристики пристрою:

Діапазон вимірів часу розповсюдження УЗ імпульсів, мкс – 10...999,9

Дискретність виміру часу поширення УЗ імпульсів, мкс – 0,1

Межі основної абсолютної, що допускається як похибка вимірювання часу поширення УЗ імпульсів, мкс –  $\pm(0,01t + 0,1)$

Межа допустимої додаткової похибки вимірювання часу поширення УЗ імпульсів при відхиленні температури навколишнього середовища від меж нормальної області на кожні 10 °С у межах робочого діапазону, частка від основної похибки, трохи більше – 0,6

Абсолютна чутливість, дБ, щонайменше – 110

База вимірювань при поверхневому прозвучуванні, мм – 120 ±3

Робоча частота УЗ імпульсів\*, кГц – 60±20

Живлення приладу від джерела постійного струму напругою, (з індикацією розряду батарей) – 2,5±0,5.

## 3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

### 3.1 Вибір елементної бази

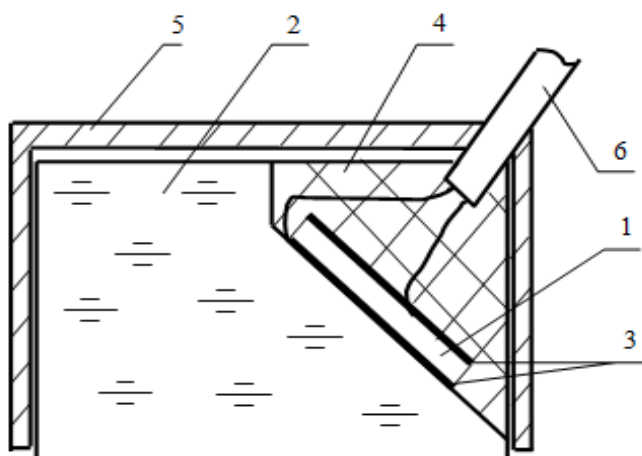
					<i>ЕлІТ 6.171.00. 141 ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



Для контролю заданого виробу, згідно з прийнятою схемою прозвучування та сканування, використовується похилий перетворювач.

За допомогою похилого перетворювача контрольований виріб вводяться поперечні хвилі. Це забезпечується завдяки тому, що похилий перетворювач має призму (лінію затримки), на яку під певним кутом приклеюється п'єзопластина. П'єзоелемент випромінює в призму поздовжні хвилі, які на кордоні призми з виробом заломлюються, трансформуються та частково відбиваються у призму. Для контролю заданого виробу вибрано поперечні хвилі. Для того щоб у виріб вводився тільки цей тип хвиль, необхідно, щоб кут призми знаходився між першим і другим критичними кутами.

Отже, пристрій для вимірювання часу розповсюдження ультразвуку буде складатися з електронного блоку, датчика поверхневого прозвучування у зборі, п'єзопластина перетворювача для наскрізного прозвучування.



1 – п'єзопластина; 2 – призма; 3 – електроди; 4 – демпфер; 5 – корпус;  
6 – з'єднувальний кабель

Рис. 3.1 Ескіз пристрою для вимірювання часу розповсюдження ультразвуку

### 3.2 Розробка принципової схеми пристрою

Прилад складається з електронного блоку та ультразвукового перетворювача. На лицьовій панелі електронного блоку розташовані 12-ти клавійна клавіатура та графічний дисплей. У верхній торцевій частині

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк. 25
Зм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата		

корпусу встановлені роз'єми для підключення датчика поверхневого прозвучування. На правій торцевій частині приладу розташований роз'єм USB інтерфейсу. Доступ до акумуляторів здійснюється через кришку батарейного відсіку на нижній стінці корпусу (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Принципова схема електронного блоку пристрою для вимірювання часу розповсюдження ультразвуку:

1 – вхід приймального перетворювача, 2 – вихід випромінюючого перетворювача

Принципову схему п'єзоелектричного перетворювача для наскрізного прозвучування наведемо у Додатку А.

УЗ-хвилі добре відбиваються від найтонших повітряних зазорів, тому передачі УЗ-коливань від перетворювача до виробу проміжок з-поміж них заповнюють шаром рідини. Існує кілька способів передачі ультразвуку.

- контактний спосіб;
- щілинний спосіб;
- імерсійний спосіб;

– безконтактні способи.

При контактному способі перетворювач притискають поверхні виробу, попередньо змащеною рідиною (наприклад, маслом). У деяких випадках шар рідини замінюють або доповнюють еластичним матеріалом. Контактний мастильний матеріал повинен добре змочувати контрольований матеріал та поверхню перетворювача, створювати тонкий рівномірний шар та не стікати надто швидко з поверхні.

При щілинному способі між перетворювачем та виробом спеціальним обмежувачем створюється зазор (його товщина приблизно дорівнює довжині хвилі ультразвуку), в який безперервно подають контактну рідину. Цей спосіб може бути використаний, якщо поверхня контрольованого виробу розташована вертикально або має змінну кривизну.

При імерсійному способі між перетворювачем та виробом створюється товстий шар рідини шляхом поміщення виробу у ванну з водою або утворення локальної рідинної ванни. Цей спосіб має ряд переваг у порівнянні з контактним: високу стабільність випромінювання та прийому УЗК за рахунок сталості акустичного зв'язку між перетворювачем та виробом; відсутність зношування перетворювачів, тому що при контролі між перетворювачем та виробом немає тертя; можливість контролю виробів із грубо обробленою або захищеною покриттям поверхнею без попередньої підготовки.

Безконтактний спосіб – акустичні коливання збуджуються через шар повітря (повітряно-акустичний зв'язок) або за допомогою електромагнітних, оптико-теплових та інших явищ. Безконтактні способи зазвичай мають чутливість значно меншу, ніж контактні.

УЗ-хвилі добре відбиваються від найтонших повітряних зазорів, тому передачі УЗ-коливань від перетворювача до виробу проміжок з-поміж них заповнюють шаром рідини [9].

Для створення стабільного акустичного контакту як контактне мастило для даного випадку буде використовуватися машинне масло.

### 3.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми

Для розрахунку перетворювача, як необхідні початкові дані потрібно знати робочу частоту і розмір п'єзопластини.

Знайдемо робочу частоту.

Оптимальне значення робочої частоти можна визначити, вирішуючи завдання досягнення максимальної граничної чутливості з урахуванням аналізу формул акустичного тракту при заданому значенні максимальної акустичної чутливості дефектоскопа  $P_{min}/P$ , де  $P_{min}$  – найменший акустичний сигнал, реєстрований апаратурою. Для перетворювача без затримки має виконуватися умова:

$$\frac{P}{P_0} = D_{lt} \frac{S_a S_b \cos \alpha}{\lambda^2 (r+r_n)^2 \cos \beta} e^{-2(\delta \cdot r + \delta_{np} \cdot r_{no})} \quad (3.1)$$

де  $S_a$  – площа п'єзопластини;

$S_b$  – мінімальна площа дефекту.

У цьому вираженні частотно-залежними є величини  $\delta$ . При цьому в області  $>10 D$  коефіцієнт загасання визначається формулою:

$$\delta = Af + Bf^4 D^3 \quad (3.2)$$

де  $A$  і  $B$  – константи. Для сталі  $A = 0,1$ ,  $B = 105$ , а області  $4 \leq 10$  формулою  $\frac{\lambda}{D}$

$$\lambda = A1Df^2 \quad (3.3)$$

Вирішуючи завдання про максимум чутливості з урахуванням формул (3.1 – 3.3) можна записати рівняння для знаходження оптимальної частоти при контролі об'єктів з дрібнозернистим матеріалом:

$$BD^3 f_{opt}^4 + 0.5 A f_{opt} - \frac{1}{x} = 0 \quad (3.4)$$
$$x = \frac{2h}{\cos \alpha} + \frac{e}{\cos \alpha} = 103,65 \text{ мм.}$$

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						27
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Розрахунковим шляхом визначаємо, що  $f_{opt} = 1,99$  МГц. Прийmemo  $f_p = 2,5$  МГц, згідно зі стандартним рядом частот.

Основним елементом перетворювача є п'єзопластина. Матеріал п'єзопластини – ЦТС-19.

Таблиця 3.1

Показники ЦТС-19

Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку $\rho c$ , м/с	Температу ра точки Кюрі $T$ , °C	П'єзо- модуль $d_{ik}$ , Кл/Н	Модуль Юнга $\mu$ , Па	Коефіці єнт Пуассо на $\nu$	Характери стичний імпеданс $Z$ , Па·с/м
$7 \cdot 10^3$	$(3,3 \pm 0,3) \cdot 10^3$	290	$200 \cdot 10^{-12}$	$(0,55-0,85) \cdot 10^{11}$	0,38	$23 \cdot 10^6$

Характеристики цього матеріалу наведені вище. Демпфер у похилих перетворювачах, як правило, відсутній [6].

Далі необхідно вибрати матеріал призми, кут її нахилу та геометричні параметри. Матеріал призми повинен задовольняти цілу низку вимог [9]. Як матеріал призми виберемо органічне скло, так як його доцільно застосовувати в діапазоні частот 1,5 ... 5 МГц. Показники цього матеріалу представлені у таблиці 3.2 [16].

Таблиця 4.2

Характеристики органічного скла

Густина $\rho$ 10 <sup>-3</sup> . г/см <sup>3</sup>	Швидкість поздовжньої хвилі $C_l$ , м/с	Швидкість поперечної хвилі $C_t$ , м/с
1,18	2670	1120

Товщину п'єзопластини визначимо з наступного співвідношення:

$$h_1 = \frac{c_1}{2 \cdot f_p} = \frac{3300}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^6} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ (м)} \quad (3.5)$$

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		28

Оптимальні параметри п'єзопластини становлять:

$$a \cdot f = 10..20 \text{ мм} \cdot \text{МГц.} \quad (3.6)$$

Кут нахилу призми  $\beta$  повинен забезпечувати введення в об'єкт контролю хвиль необхідного типу під потрібним кутом. Так як у нашому випадку необхідно вводити поперечні хвилі, то кут нахилу призми вибираємо таким, щоб він був між першим та другим критичним кутом.

$$\beta^1 = \arcsin \arcsin \left( \frac{c_{ln}}{c_{tu}} \right) = 31.57^\circ \quad (3.7)$$

де  $\beta^1$  – перший критичний кут;

$C_l$  – швидкість поздовжньої хвилі в призмі;

$C_t$  – швидкість поздовжньої хвилі у виробі.

$$\beta^{11} = \arcsin \arcsin \left( \frac{c_{ln}}{c_{tu}} \right) = 56.28^\circ \quad (3.8)$$

де  $\beta^{11}$  – другий критичний кут;

$C_l$  – швидкість поздовжньої хвилі в призмі;

$C_t$  – швидкість поперечної хвилі у виробі.

Для деталей з товщиною 16 мм застосуємо кут введення об'єкт контролю  $\alpha=65^\circ$ .

Для визначення кута введення променя скористаємося законом Снелліуса:

$$\frac{\sin \beta}{C_l} = \frac{\sin \alpha}{C_t} \quad (3.9)$$

Отримаємо,

$$\beta = \arcsin \frac{\sin \alpha \cdot C_l}{C_{шиз}} = \arcsin \frac{\sin 65^\circ \cdot 2670}{3210} = 49^\circ \quad (3.10)$$

Виберемо кут призми  $49^\circ$  для даного значення  $\alpha$ :

$$\alpha = \arcsin \arcsin \left( \frac{3210 \cdot \sin 49^\circ}{2670} \right) = 64.88^\circ \quad (3.11)$$

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						29
Зм.	Лист	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Необхідно відзначити, що промені, що виходять з призми, в дальній зоні поширюються у вигляді пучка променів, що розходиться. Крайніми променями пучка, що розходиться, слід вважати ті, амплітуди яких зменшуються до 20 дБ у порівнянні з центральним променем. Облік розбіжності пучка променів дає додаткові обмеження щодо вибору кута нахилу  $\beta$ . При цьому повинні виконуватись:

умова відсутності поздовжньої хвилі:

$$\beta - \beta_1 > \arcsin \arcsin \left( \frac{c_l}{c'_l} \right); \quad (3.12)$$

умова відсутності поверхневої хвилі:

$$\beta + \beta_1 \leq \arcsin \arcsin \left( \frac{c_l}{c'_s} \right); \quad (3.13)$$

де  $c'_s c'_s = 3010 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  – швидкість поверхневої хвилі у виробі;

$\beta_1$  – кут між акустичною віссю та крайнім променем.

Знайдемо  $\beta_1$

$$\beta_1 = \arcsin 0.54 \frac{\lambda}{a} = \arcsin 0.54 \frac{1.32 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3}} = 6.82^\circ \quad (3.14)$$

Тоді

$$\beta - \beta_1 = 49^\circ - 6.82^\circ = 42.18^\circ, \quad (3.15)$$

$$\arcsin \frac{c_l}{c'_l} = 31.57^\circ. \quad (3.16)$$

Отже, так як  $42.18^\circ > 31.57^\circ$ .

$$\beta - \beta_1 > \arcsin \frac{c_l}{c'_l}$$

Перевіримо відсутність поверхневої хвилі за умовою (3.11)

$$\beta + \beta_1 = 49^\circ + 6.82^\circ = 55.82^\circ. \quad (3.17)$$

$$\arcsin \frac{c_l}{c'_s} = \arcsin \frac{2670}{3010} = 62.5^\circ. \quad (3.18)$$

Отже, так як  $55.82^\circ \leq 62.5^\circ$ .

$$\beta + \beta_1 \leq \arcsin \arcsin \left( \frac{c_l}{c'_s} \right)$$

Таким чином, поздовжня та поверхнева хвиля в об'єкті контролю відсутні

					<b>ЕлІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Форма призми та її розміри вибираються такими, щоб вони забезпечували відсутність хибних імпульсів. Для цього необхідно, щоб відбиті від поверхні призма-виріб хвилі не потрапляли на п'єзопластину. У ближній зоні п'єзоелемента випромінювану хвилю можна вважати слабкою. Тоді вимоги такі, що промінь AA', що виходить з нижньої частини п'єзопластини після відбиття від нижньої поверхні призми з урахуванням трансформації, не повинен потрапляти на верхню частину п'єзопластини, а промінь BB', що виходить із верхньої частини пластини не повинен потрапляти на ребро двогранного кута. Ці умови можна записати у такому вигляді:

$$AD > \frac{2 \cdot a \cdot \cos \beta}{\operatorname{tg}(\beta + \gamma_t)}, \quad (3.19)$$

де  $\gamma_t = \arcsin\left(\frac{\sin \beta \cdot c_{III}}{c_{II}}\right) = \arcsin\left(\frac{\sin 49^\circ \cdot 1120}{2670}\right) = 18.8^\circ$  – Кут відображення

поперечної хвилі,

де  $c_{II}$  – швидкість поперечних хвиль у призмі, м/с.

Звідси

$$AD > \frac{2 \cdot 6 \cdot \cos 49^\circ}{\operatorname{tg}(49^\circ + 18.8^\circ)} = 3.21(\text{мм}) \quad (3.20)$$

Приймаємо  $AD = 4$  мм.

Стріла перетворювача  $n$  визначається за такою формулою:

$$n = O'C > O'B' = \frac{a}{\cos \beta} = \frac{6}{\cos 49^\circ} = 9.15(\text{мм}) \quad (3.21)$$

З урахуванням корпусу та рифлення стрілу перетворювача приймаємо рівною 11 мм.

Шлях центрального променя у призмі визначається за умови:

$$r_{n0} = OO' \geq a[2\operatorname{ctg}(\beta + \gamma_t) + \operatorname{tg}\beta] \quad (3.22)$$

$$r_{n0} = 6[2\operatorname{ctg}(49^\circ + 18.8^\circ) + \operatorname{tg}49^\circ] = 10.02(\text{мм})$$

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		31



Таким чином, всі відбиті хвилі повинні потрапляти в пастку і, випробовуючи в ній багаторазові відображення до попадання на п'єзоелемент, повинні послабити щонайменше на 60 дБ. Послаблення центрального променя у призмі по дорозі від пластини до об'єкта має бути трохи більше 10 дБ.

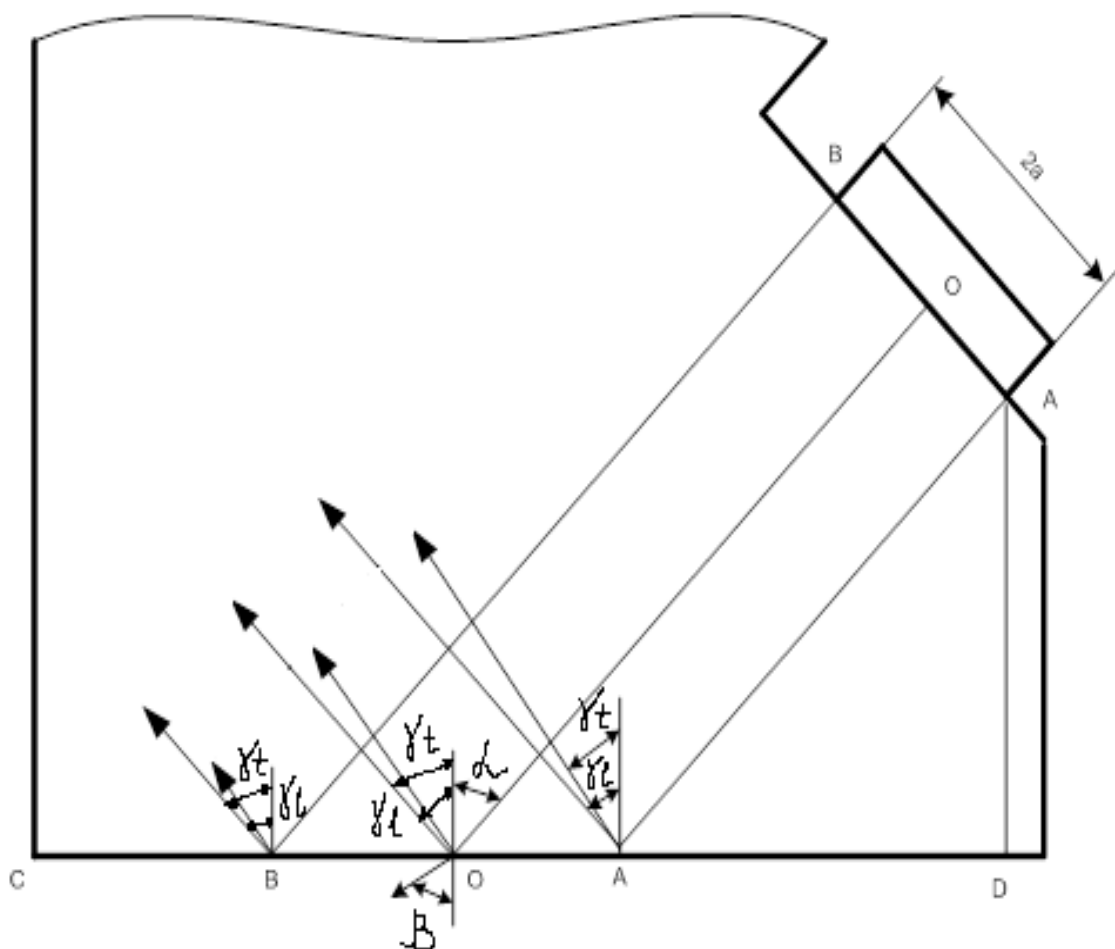


Рис. 3.3. Розрахункова схема призми перетворювача

Акустичне поле перетворювача з лінією затримки можна оцінити введенням уявного п'єзоелемента. Напрямок акустичної осі уявного випромінювача визначається кутом введення центрального променя у виріб. Відстань уздовж акустичної осі від точки введення до уявного п'єзоелемента обчислюється за такою формулою:

$$r_n = r_{no} \frac{c_{III} \cdot \cos \alpha}{c_{II} \cdot \cos \beta} = 10.02 \cdot \frac{2670 \cdot \cos 64.88^\circ}{3210 \cdot \cos 49^\circ} = 5.39(\text{мм}) \quad (3.23)$$

Зм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата

Уявний випромінювач будується перпендикулярно до акустичної осі, а його розміри приймають рівними розміру заломленої променевої трубки реального випромінювача, як показано на рис. 3.4. Для дискового п'єзоелемента уявний випромінювач матиме форму еліпса з віссю  $2a_1$  в площині рівної падіння:

$$2 \cdot a_1 = 2a \cdot \cos(\alpha) / \cos(\beta) = 2 \cdot 6 \cdot \cos 64.88^\circ / \cos 49^\circ = 7.6876 \text{ (мм)} \quad (3.24)$$

Друга вісь матиме розмір  $2a = 12 \text{ мм}$ .

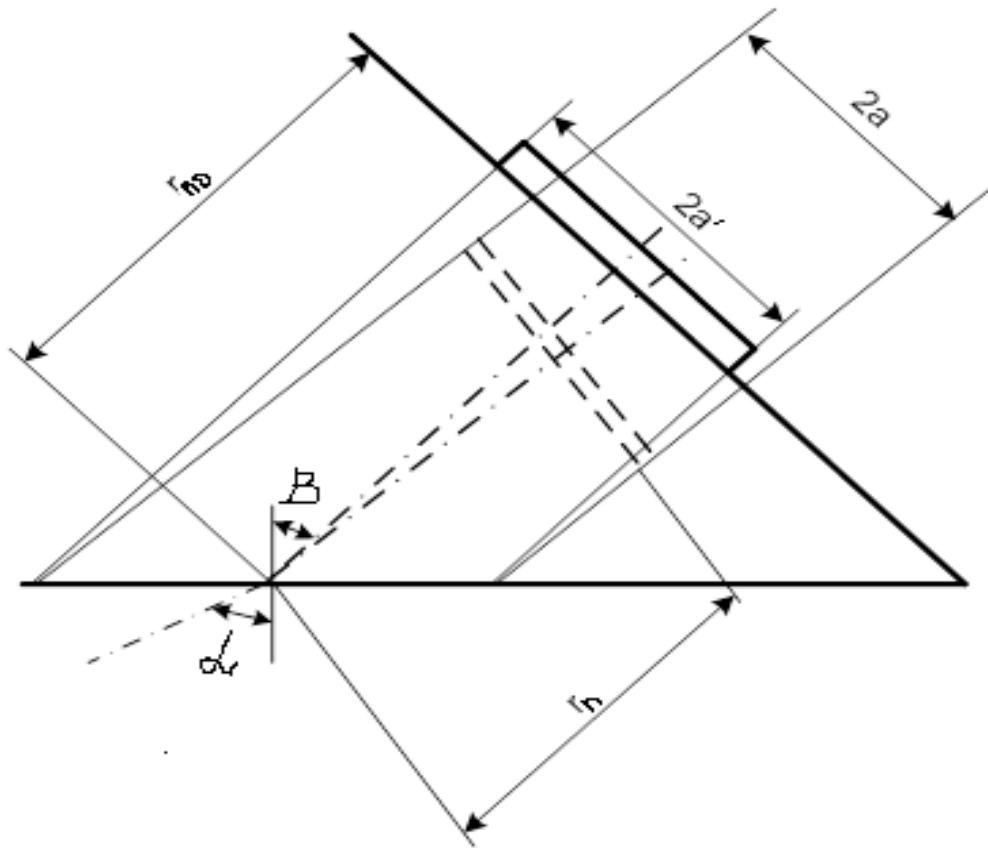


Рис. 3.4. Схема розрахунку поля перетворювача з акустичною затримкою

Визначимо параметри ближньої та дальньої зони перетворювача за формулами:

$$r_0 = \frac{(a')^2 \cdot f_p}{c_{ти}} = \frac{(3.84 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2.5 \cdot 10^6}{3210} = 11,72 \cdot 10^{-3} \quad (3.25)$$

кут розкриття основної пелюстки

$$\theta = \arcsin 0,61 \frac{c_{III}}{f_p \cdot a_1} \approx \arcsin 0,61 \frac{2670}{2.5 \cdot 10^6 \cdot 3.84 \cdot 10^{-3}} = 9.67^\circ \quad (3.26)$$

За допомогою програми Mathcad були отримані результати розрахунку похилого перетворювача при відображенні ехосигналу від диска, сфери та нескінченної смуги. Ці результати представлені у додатку Б.

## ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті описано розробку пристрою для УЗ контролю зварного виробу за допомогою вимірювання часу розповсюдження ультразвуку. Як зварне з'єднання будемо розглядати таврове з'єднання труб. Тавровим називають зварне з'єднання, в якому торець одного елемента

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						35
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

примикає під кутом і приварений до бічної поверхні іншого елемента. При тавровому з'єднанні кут між полицею та стінкою може бути як прямим, так і відрізнятись від нього. Поєднання товщини може бути різним. Вони часто зустрічаються у будівельних конструкціях.

Робота приладу ґрунтується на вимірі часу проходження ультразвукового імпульсу в матеріалі виробу від випромінювача до приймача. Швидкість ультразвуку обчислюється діленням відстані між випромінювача та приймача на вимірний час. Для підвищення достовірності в кожному вимірювальному циклі виконується 6 вимірювань і результат формується шляхом їхньої статистичної обробки та відбраковування викидів. Далі оператор виконує серію від 1 до 15 вимірювань (на його вибір), яка також піддається математичній обробці з визначенням середнього значення та коефіцієнта варіації.

Швидкість поширення ультразвукової хвилі у матеріалі залежить від його щільності та пружності, від наявності дефектів (тріщин і порожнеч), що визначають міцність та якість. Отже, прозвучуючи елементи виробів, конструкцій можна отримувати інформацію про: міцності та однорідності; модуля пружності та щільності; наявність дефектів та їх локалізації.

Пристрій буде складатися з: електронного блоку; датчика поверхневого прозвучування у зборі; ультразвукового перетворювача для наскрізного прозвучування; контрольного зразку з оргскла.

Основні характеристики пристрою:

Діапазон вимірів часу розповсюдження УЗ імпульсів, мкс – 10...999,9

Дискретність виміру часу поширення УЗ імпульсів, мкс – 0,1

Межі основної абсолютної, що допускається як похибка вимірювання часу поширення УЗ імпульсів, мкс –  $\pm(0,01t + 0,1)$

Межа допустимої додаткової похибки вимірювання часу поширення УЗ імпульсів при відхиленні температури навколишнього середовища від меж нормальної області на кожні 10 °С у межах робочого діапазону, частка від основної похибки, трохи більше – 0,6

					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						36
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

Абсолютна чутливість, дБ, щонайменше – 110

База вимірювань при поверхневому прозвучуванні, мм –  $120 \pm 3$

Робоча частота УЗ імпульсів\*, кГц –  $60 \pm 20$

Живлення приладу від джерела постійного струму напругою, (з індикацією розряду батарей) –  $2,5 \pm 0,5$ .

Прилад складається з електронного блоку та ультразвукового перетворювача. На лицьовій панелі електронного блоку розташовані 12-ти клавішна клавіатура та графічний дисплей. У верхній торцевій частині корпусу встановлені роз'єми для підключення датчика поверхневого прозвучування. На правій торцевій частині приладу розташований роз'єм USB інтерфейсу. Доступ до акумуляторів здійснюється через кришку батарейного відсіку на нижній стінці корпусу

### Список літератури:

1. Аналіз ультразвукової дефектоскопії осей колісних пар вагонів. URL : [http://4ua.co.ua/transport/ta3ac79a4c43a89421306c36\\_0.html](http://4ua.co.ua/transport/ta3ac79a4c43a89421306c36_0.html)
2. Беркута В. Г., Валевиц С. М. Ультразвукова дефектоскопія. Навчальний посібник. Кіровоград : ТОВ «Імекс-ЛТД», 2016. 177 с.

					<b>ЕлІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						37
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

3. Дідковський В. С., Лейко О. Г., Савін В. Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання). Навчальний посібник. Кіровоград: «Імекс ЛТД», 2016. 448 с.

4. Дорожовець М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2 т. / М. Дорожовець В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик, за ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка». 2005, – т.2. Вимірювальна техніка. – 656 с.

5. Закревський О.Ф. Точність вимірювання амплітуди ультразвукових механічних коливань вихрострумовим методом. Електроника и связь. 2013. № 1. С. 89–93.

6. Методичні вказівки «Акустичні перетворювачі» / Уклад. : Цапенко В. К. Київ, 2014. 86 с.

7. Онищенко С.В. Обробка конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум : навчальний посібник. Москва : Нобель Пресс, 2015. 121 с.

8. Петрик В. Ф. Використання безпроводних технологій передачі даних для вирішення задач у неруйнівному контролі. О. Л. Кустовський, В.Ф.Петрик, К.М. Серий, Д.О.Мельник // Вісник НТУ «ХПІ». 2012 р. № 40. С.71- 77.

9. Протасов А. Г. Вихрострумовий дефектоскоп з телеметричним каналом зв'язку. Вісник НТУ «ХПІ». 2014 р. № 19. С.132-139.

10. Ультразвукова обробка технологічної сировини полімерних композиційних матеріалів : навчальний посібник / О.П. Колосова та ін. Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. 188 с.

11. Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю. Київ: НТУУ, 2009. 431 с.

12. Óscar M. Artificial neural networks for quality control by ultrasonic testing in resistance spot welding / M. Óscar, L. Manuel, M. Fernando // Journal of Materials Processing Technology – Valladolid, Spain: Universidad de Valladolid – (Ingeniería de Materiales). – (2-3; т. 183). – С. 226–233.

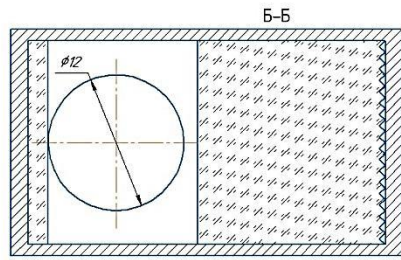
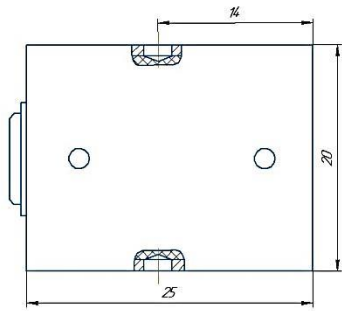
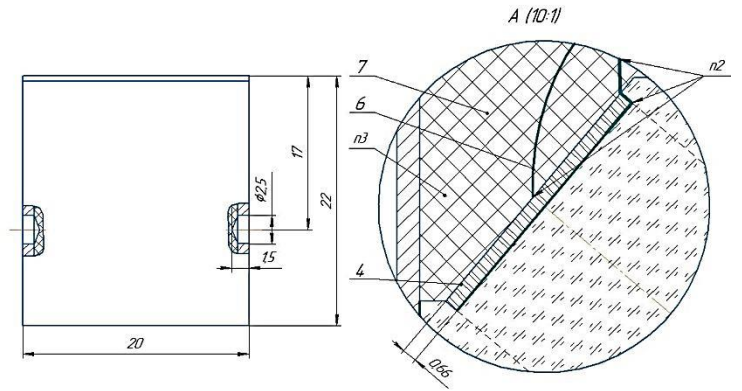
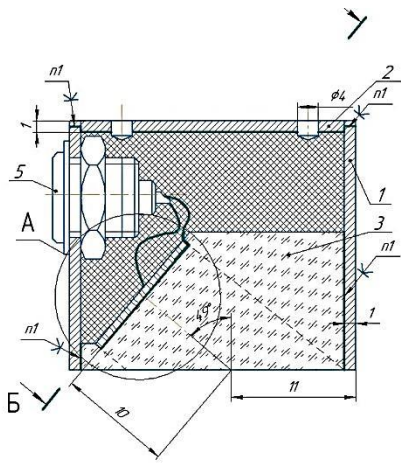
					<b>ЕЛІТ 6.171.00. 141 ПЗ</b>	Арк.
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Single-Walled Carbon Nanotubes. J Pharm Sci. 2015 Aug;104(8):2594-9. doi: 10.1002/jps.24483. Epub 2015 May 27.

14. Vogt G. Inline-process and quality control of spotwelds of carbodies – Ultrasonic sensors integrated in resistance welding electrodes // in Proceedings 17th World conf. on nondestructive testing: conf. proc., 25–28 Oct. 2008. – Shanghai, China, 2008. – P. 1–6.

## Додаток А

Принципову схему п'єзоелектричного перетворювача для наскрізного  
прозвучування





## Додаток Б

### Графіки чутливості

Розрахунок чутливості:

Характеристики середовищ:

поздовжня:

поперечна:

густина:

Коеф згасання:

матеріал:

$$C12 := 5100$$

$$Ct2 := 3210$$

$$\rho2 := 7770$$

$$\delta := 0.009$$

призма:

$$C11 := 2670$$

$$Ct1 := 1120$$

$$\rho1 := 1180$$

$$\delta_{pr} := 0.58$$

Частота:

$$f := 2.5 \cdot 10^6$$

Кут нахилу призми:

$$\beta := 49 \text{ deg}$$

$$b_{min} := 1.5 \cdot 10^{-3}$$

розмір дефекту:

Кут введення:

$$\alpha := 65 \text{ deg}$$

$$b_{max} := 6.0 \cdot 10^{-3}$$

Шлях ультразвуку в призмі:

$$r1 := 10.0210^{-3}$$

радіус п'єзопластини:

$$a := 6 \cdot 10^{-3}$$

Відстань до дефекту:

$$r := 11.4810^{-3}, 0.015, 82.3910^{-3}$$

---

$$Z1 := \rho1 \cdot C11$$

$$\alpha_t := \arcsin\left(\frac{\sin(\beta) \cdot Ct2}{C11}\right)$$

$$Z1 := \rho2 \cdot C12$$

$$Zt := \rho2 \cdot Ct2$$

$$\alpha_t := \frac{\alpha_t \cdot 180}{\pi}$$

$$\alpha_l := \frac{\arcsin\left(\frac{\sin(\beta) \cdot C12}{C11}\right) \cdot 180}{\pi}$$

Кут введення поздовжніх хвиль =

$$a1 = 90 - 52.038i$$

Кут введення поперечних хвиль =

$$a2 = 65.141$$

$$Dlt := \frac{4 \cdot Zt \cdot Z1 \cdot \cos(2 \cdot at)^2}{\left( Zt \cdot \cos(2 \cdot at)^2 + Zt \cdot \sin(2 \cdot at)^2 + Z1 \right)^2}$$

$$E := e^{-2 \cdot (\delta + \delta_{pr} \cdot r1)}$$

$$r\Delta := r1 \cdot \frac{C11 \cdot \cos(\alpha)}{Ct2 \cdot \cos(\beta)}$$

### Диск:

Кількість ліній:

$$n := 6$$

$$i := 1..n$$

$$h := \frac{b_{max} - b_{min}}{n - 1}$$

$$dm := b_{min}, b_{min} + h.. b_{max}$$

dm =

$1.5 \cdot 10^{-3}$
$2.4 \cdot 10^{-3}$
$3.3 \cdot 10^{-3}$
$4.2 \cdot 10^{-3}$
$5.1 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^{-3}$

$$d_i :=$$

$1.5 \cdot 10^{-3}$
$3.75 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^{-3}$

$$S(d) := \pi \cdot d^2$$

$$S_a := \pi \cdot a^2$$

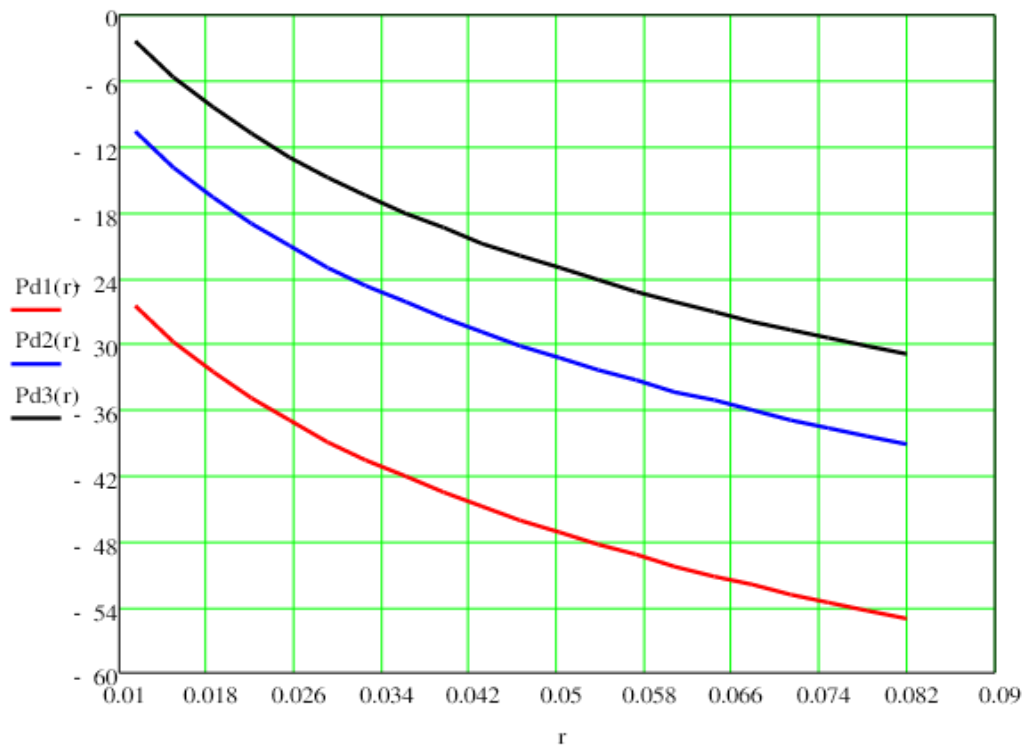
$$\lambda := \frac{Cl_2}{f}$$

**⇒**

$$Pd1(r) := 20 \log \left[ \frac{Dlt \cdot S_a \cdot S(d)_1 \cdot \cos(\alpha)}{\lambda^2 \cdot (r + r\Delta)^2 \cdot \cos(\beta)} \cdot E \right]$$

$$Pd2(r) := 20 \log \left[ \frac{Dlt \cdot S_a \cdot S(d)_2 \cdot \cos(\alpha)}{\lambda^2 \cdot (r + r\Delta)^2 \cdot \cos(\beta)} \cdot E \right]$$

$$Pd3(r) := 20 \log \left[ \frac{Dlt \cdot S_a \cdot S(d)_3 \cdot \cos(\alpha)}{\lambda^2 \cdot (r + r\Delta)^2 \cdot \cos(\beta)} \cdot E \right]$$

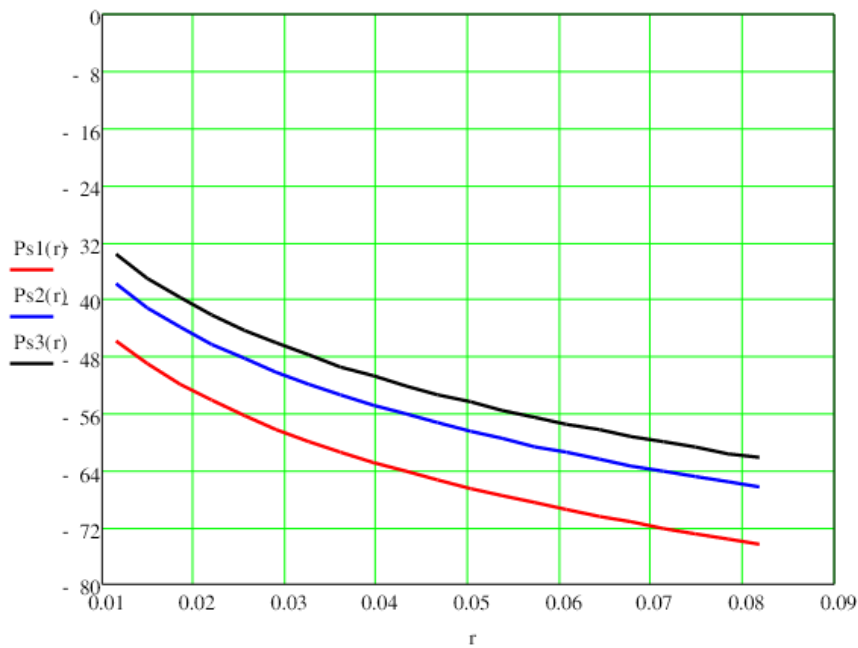


**Сфера:**

$$Ps1(r) := 20 \log \left[ \frac{Dlt \cdot Sa \cdot d_1 \cdot \cos(\alpha)}{4 \cdot \lambda \cdot (r + r\Delta)^2 \cdot \cos(\beta)} \right] \cdot E$$

$$Ps2(r) := 20 \log \left[ \frac{Dlt \cdot Sa \cdot d_2 \cdot \cos(\alpha)}{4 \cdot \lambda \cdot (r + r\Delta)^2 \cdot \cos(\beta)} \right] \cdot E$$

$$Ps3(r) := 20 \log \left[ \frac{Dlt \cdot Sa \cdot d_3 \cdot \cos(\alpha)}{4 \cdot \lambda \cdot (r + r\Delta)^2 \cdot \cos(\beta)} \right] \cdot E$$



**Смысл:**

$$Pp(b) := 20 \log \left[ \frac{Dlt \cdot Sa \cdot b \cdot \frac{\cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}}{\left[ \lambda \cdot (28 \cdot 10^{-3} + r\Delta) \right]^{1.5} \cdot \cos(\beta) \cdot \sqrt{2}} \right] \cdot E \quad b := bmin, bmin + 0.01 \cdot 10^{-3} .. bmax$$

