

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

Радіотехнічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 62-4

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Григор'єв Б. А.

(підпис) (ініціали, прізвище)

«17» листопада 2018р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

за спеціалізацією Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

на тему: Ультразвуковий деректоскоп

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи РІ-371мп

(шифр групи)

Нездименко Дмитро Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст. викладач Тонсюк В.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.

(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н. ст. наук. співр. Шаповалов Є.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

ІЕЗ ім. Є.О.Татона НАН України

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет радіотехнічний

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 172 – телекомунікації та радіотехніка

Спеціалізація інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної
техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.А. Нелін
(ініціали, прізвище)

«30» вересня 2017р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Нездиманко Ршито Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Ультразвуковий дефектоскоп

науковий керівник дисертації Топскі Володимир Ілліч, ст. викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «06» листопада 2018 р. № 4094-с

2. Термін подання студентом дисертації 30 листопада 2018 року

3. Об'єкт дослідження ультразвуковий дефектоскоп


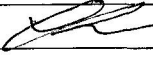
4. Предмет дослідження процес розповсюдження акустичних хвиль в низьковуглецевих сталях.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Проаналізувати існуючі методи неруйнівного контролю низьковуглецевих сталей. 2. Провести аналіз існуючих моделей ультразвукових дефектоскопів. 3. Проаналізувати математичну модель дефектоскопа. 4. Дослідити процес розповсюдження акустичних хвиль. 5. Розробити функціональну і структурну схеми. Розробити стартап-проект та заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу ультрашумова
презентація на слайдів.

7. Орієнтовний перелік публікацій Ультразвукова дефектоскопія -
Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційна
суспільство: економічні, технологічні та технічні аспекти становлення
(випуск 32)

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов Сергій Федорович		

9. Дата видачі завдання 30 вересня 2017 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд методів кер. контр.	вересень - грудень 2017р.	
2	Огляд відомих рішень	грудень - лютий 2018р.	
3	Математична модель ЧЗ дефектоск.	лютий - травень 2018р.	
4	Розр. схем електричної принципов.	травень - липень 2018р.	
5	Розр. конструкц. карбонового поретвор.	серпень - жовтень 2018р.	
6	Оцінка достовірності контролю	жовтень - листопад 2018р.	
7	Розроблення стартап-проекту	листопад - грудень 2018р.	
8	Охорона праці та безпека у надзв. ситуац.	грудень 2018р.	

Студент


(підпис)

Д.В. Нездзіменко
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

В.І. Попсуй
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура й обсяг магістерської дисертації

Магістерська дисертація: 91 с., 45 рис., 29 табл., 2 додатка, 11 джерел.

Ключові слова. *Ультразвуковий дефектоскоп, неруйнівна дефектоскопія, контроль якості, низьковуглецева сталь, зварні з'єднання.*

Актуальність теми. В зв'язку з підвищенням вимог до якості та конкурентоспроможності продукції відповідно зростає роль методів неруйнівного контролю. Наявність великої кількості виробництв та заводів, на яких виконуються зварні з'єднання низьковуглецевих сталей створює потребу розробці апаратури та автоматизації процесів контролю якості. Контроль якості виробів на підприємстві є важливим завданням, саме тому є актуальною розробка ультразвукового дефектоскопа.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз існуючих методів неруйнівного контролю дефектів матеріалів, дослідження процесу розповсюдження акустичних хвиль в низьковуглецевих сталях. Розроблення пристрою ультразвукової дефектоскопії з покращеними характеристиками виявлення дефектів. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі задачі:

- а) розробити конструкцію ультразвукового дефектоскопа з застосуванням сучасної елементної бази;
- б) здійснити математичне моделювання ультразвукового дефектоскопа;
- в) проаналізувати результатів моделювання і зробити висновки;
- г) спроектувати пристрій ультразвукового контролю;
- д) подати матеріали для доповіді на студентській науковій конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (випуск 32);
- ж) за результатами МД оформити доповідь.

Об'єкт дослідження — ультразвуковий дефектоскоп.

Предмет дослідження — процес розповсюдження акустичних хвиль в низьковуглецевих конструкційних сталях.

Методи дослідження: Метод ультразвукової дефектоскопії.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано узагальнений конструктивний підхід для реєстрації дефектів в зварних з'єднаннях.

Практичне значення одержаних результатів можливість використання пристрою на виробництвах для контролю якості продукції з низьковуглецевої сталі.

Нездименко, Д. В. РІ-371 МП, 2018

ABSTRACT

Structure of the master dissertation

Master dissertation: 91 p., 45 fig., 29 tabl. 2 application, 11 sources.

Keywords. Ultrasonic flaw detector, non-destructive defectoscopy, quality control, low carbon steel, welded joints.

Relevance of the topic. In the process to increased requirements for the quality and competitiveness of products, the role of non-destructive testing methods is increasing. The presence of a large number of factories and factories where welding compounds of low carbon steels are made requires the development of equipment and automation of quality control processes. The quality control of products at an enterprise is an important task, which is why the development of an ultrasonic flaw detector is urgent.

The aim of the study The aim of the work is to analyze existing methods of non-destructive testing of defects in materials, to study the process of propagation of acoustic waves in low-carbon steels. Development of ultrasonic defectoscopy device with improved defect detection characteristics. To achieve this goal, the following tasks need to be addressed:

- a) develop the design of an ultrasonic flaw detector with the use of a modern elemental base;
- b) to carry out the mathematical modeling of the ultrasonic flaw detector;
- c) analyze the results of the simulation and draw conclusions;
- d) to design the device of ultrasonic control;
- e) submit materials for the report on the student's scientific
- e) conference "Information Society: Technological, Economic and Technical Aspects of Formation" (Issue 32);
- g) to report on the master dissertation results.

Object of research: Ultrasonic flaw detector.

Subject of research: the process of propagation of acoustic waves in low-carbon constructional steels.

Research methods: Method of ultrasonic defectoscopy.

Scientific novelty of the obtained results. A generalized constructive approach is proposed for registration of defects in welded joints.

The practical value of the results obtained the ability to use the device at the manufacture to control the quality of products from low carbon steel.

Нездименко, Д. В. РІ-371МП, 2018

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської дисертації

на тему: Ультразвуковий дефектоскоп.

Київ — 2018 року

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ.....	9
1.1 Типи дефектів	9
1.2 Методи неруйнівного контролю	10
1.3 Акустичні методи неруйнівного контролю.....	13
2 ОГЛЯД ВІДОМИХ РІШЕНЬ	15
2.1 Ультразвуковий дефектоскоп	15
2.2 Аналіз ринку готової продукції.....	17
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УЗ ДЕФЕКТОСКОПА.....	22
3.1 Розрахунок акустичного тракту.....	22
3.2 Розрахунок електроакустичного тракту	30
4 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	31
4.1 Опис функціональної схеми	31
4.2 Опис часових діаграм	32
4.3 Розрахунок основних вузлів електричної принципової схеми	33
4.4 Розробка друкованої плати	52
5 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА.....	55
6 ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ	57
6.1 Похибка формування вимірювального інтервалу часу.....	57
6.2 Похибка аналого-цифрового перетворення	59
6.3 Середньоквадратична похибка	60
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	61
7.1 Опис ідеї проекту	61

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	62
7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	63
7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	67
7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	68
7.6 Висновки за розділом	70
8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
8.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково—дослідної роботи.	Ошибка! Закладка не определена.
8.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	Ошибка! Закладка не определена.
ВИСНОВКИ.....	87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	88
ДОДАТОК А Технічне завдання.....	90
ДОДАТОК Б Перелік публікацій за темою магістерської дисертації....	91

Нездименко, Д. В. РІЗДІМГ, 2018

ВСТУП

Порушення вимог до якості продукції, що випускається, призводить до збільшення витрат виробництва. Тому вся продукція що виготовляється, проходить контроль якості. Процес полягає у своєчасному запобіганні можливому порушенню вимог до якості та забезпеченні заданого рівня якості за мінімальних витрат на її виробництво.

Якість зварних з'єднань впливає на функціональність всієї конструкції. Дефекти призводять до послаблення міцності виробів з металу та їх руйнування в процесі експлуатації. Після завершення зварювання, вироби повинні піддаватися контролю зварних з'єднань з метою знаходження і виправлення дефектів. Неозброєним оком можна роздивитися лише частину з них – великі зовнішні тріщини і пори, непроварення. Більшість дефектів приховані в глибині металу а мають настільки дрібні розміри, що знайти їх можна тільки з використанням спеціальних пристроїв і матеріалів.

Існує багато методів контролю зварних з'єднань, що відрізняються принципом дії, визначення тих чи інших видів дефектів, технічній оснастці. Методи контролю поділяються на рушійні та нерушійні. Найчастіше використовуються методи нерушійного контролю, так як при їх використанні зберігається цілісність та товарний вид продукції.

В цілому ряді сфер промисловості неруйнівний контроль виділяється як самостійний технологічний процес, так як в більшості випадків затрати на контроль якості прирівнюються затратам на виготовлення виробу.

Із основних методів неруйнівного контролю найбільш ефективними є акустичні. В провідних країнах доля акустичних методів неруйнівного контролю становить 70-75%. Вимоги до якості продукції поставили задачу розробки апаратури та автоматизації процесів контролю для виробництва.

У зв'язку з цим, було вирішено дослідити даний метод контролю та запропонувати пристрій для проведення ультразвукової дефектоскопії.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

В даному розділі проводиться аналітичний огляд існуючих методів неруйнівного контролю. Представлено обґрунтування вибору ультразвукового методу неруйнівного контролю для подальшого дослідження.

1.1 Типи дефектів

В дисертації об'єктом контролю дефектів, виступає низьковуглецева сталь, що є основною сировиною на більшості виробництв. Також, так як якість продукції зі сталі визначається надійністю її зварних з'єднань, особливу увагу буде надано дефектоскопії зварних швів. Міцність зварного з'єднання при статичних та ударних навантаженнях практично не відрізняється від міцності деталей із суцільного металу [1].

Дефекти зварних з'єднань бувають зовнішні і внутрішні [2].

До зовнішніх дефектів при дуговому і газовому зварюванні належать:

- а) нерівномірність поперечного перерізу по довжині швів;
- б) незаплавлені кратери;
- в) подрізи основного металу;
- г) зовнішні тріщини;
- д) відкриті пори тощо.

Внутрішні дефекти:

- а) непроварення кромки або не сплавлення окремих шарів при багат шаровому зварюванні;
- б) внутрішні пори і тріщини;
- в) шлакові включення, тощо.

1.2 Методи неруйнівного контролю

В основу класифікації методів неруйнівного контролю (НК) закладено фізичні процеси взаємодії фізичного поля з об'єктами контролю [3]. За фізичними явищами, на яких засновані ці методи, виділяють такі види НК:

а) Магнітний метод контролю ґрунтується на аналізі магнітних полів розсіювання, що виникають над дефектами, або на визначенні магнітних властивостей виробу що контролюється. Його, як правило, використовують для контролю об'єктів із феромагнітних матеріалів. Вироби контролюють у накладеному постійному або змінному магнітному полі або після намагнічування в залишковому полі. В залежності від магнітних властивостей матеріалу (магнітної проникності, залишкової індукції), форми і розмірів об'єкта контролю використовують різні способи намагнічування: прикладеного магнітного поля або залишкової намагніченості. Інформацію про магнітну проникність і її зміни залежно від напруженості магнітного поля отримують за допомогою котушки індуктивності (індуктивний метод). Після контролю деталі розмагнічують нагрівом вище точки Кюрі. Для ідентифікації магнітних полів розсіювання і вимірювання магнітних характеристик матеріалів також використовують датчики типу ферозондів (ферозондовий метод), перетворювачі Холла, магніторезистори. Також для реєстрації полів розсіювання над дефектом застосовують магнітні порошки або магнітні суспензії (магнітнопорошковий метод).

б) Вихреструмний метод (електромагнітний метод) ґрунтується на реєстрації і аналізі взаємодії електромагнітного поля вихреструмного перетворювача з електромагнітним полем вихрових струмів, які наводяться в об'єкті контролю. Цим методом контролюють вироби із струмопровідних матеріалів. Вихрові струми збуджуються в об'єкті перетворювачем у виді індуктивної котушки, що живиться перемінним або імпульсним струмом. Приймаючим перетворювачем (вимірником) служить та ж або інша котушка. Збудливу і приймальну котушки розташовують або з одного боку, або по різні

сторони від об'єкта контролю. Інтенсивність і розподіл вихрових струмів в об'єкті залежать від його розмірів, електричних і магнітних властивостей матеріалу, від наявності в матеріалі порушень суцільності, взаємного розташування перетворювача й об'єкта контролю.

в) Електричний метод НК ґрунтується на реєстрації параметрів електричного поля, яке взаємодіє з об'єктом що контролюється цим полем. Інформаційними параметрами являються електрична ємність або потенціал. Ємкісний вид методу використовують для контролю діелектричних чи напівпровідникових матеріалів. Після зміни діелектричної проникності контролюють хімічний склад пластмас, напівпровідників, наявність в них дефектів, вологи, сипучих матеріалів. Потенційний вид використовують для контролю товщини провідникового шару напівпровідників, наявності в них прогалин.

г) Радіохвильовий метод НК ґрунтується на реєстрації змін параметрів електромагнітних хвиль радіодіапазону, які взаємодіють з об'єктом який контролюється. Зазвичай використовують хвилі надвисокої частоти довжиною 1...100мм і контролюють вироби з матеріалів, де радіохвилі не сильно затухають: діелектрики (пластмаси, кераміка, скловолокно), магнітодіелектрики (ферити), напівпровідники, тонкостінні металеві об'єкти. Інформаційними параметрами є амплітуда, фаза, вектор поляризації, частота, час розповсюдження хвиль.

д) Тепловий метод НК ґрунтується на реєстрації змін теплових полів контрольованого об'єкту. Він використовується для об'єктів з будь-яких матеріалів та будь-якої товщини

е) Візуально-оптичний метод НК ґрунтується на спостереженні і аналізі параметрів оптичного випромінювання, яке взаємодіє з об'єктом що контролюється. При візуальному контролі вимірювальною характеристикою являється зміна інтенсивності світла. Візуально контролюють вихідні матеріали, напівфабрикати, готову продукцію, виявляють відхилення форми і

розмірів валиків зварних з'єднань, недоліків матеріалу та обробки, поверхневі дефекти.

ж) Метод проникаючих речовин ґрунтується на проникненні в порожнини дефектів контрольованого об'єкту спробних речовин. Цей метод використовують для виявлення погано видимих неозброєним оком поверхневих дефектів в виробах з будь-яких матеріалів. Його поділяють на методи капілярні і течешукання. Капілярний метод заснований на капілярному проникненні в порожнину дефекту індикаторної рідини, що добре змочує матеріал об'єкта. Його застосовують для виявлення слабо видимих неозброєним оком поверхневих дефектів. Метод течешукання використовують для виявлення наскрізних дефектів.

з) Необхідною умовою виявлення дефектів методами проникаючих речовин є наявність в дефектах порожнин, вільних від забруднень та інших речовин, що мають вихід на поверхню об'єктів і глибину поширення, що значно перевищує ширину їх розкриття.

и) Радіаційний метод НК ґрунтується на реєстрації і аналізі проникаючого через об'єкт іонізуючого випромінювання. Досліджуваний об'єкт просвічують рентгенівським або гамма-випромінюванням, що проникає через метал завдяки чому визначають дефекти. Промені проходячи через метал, опромінюють плівку, залишаючи в місцях дефектів темніші плями, оскільки дефектні місця мають менше поглинання. Інформаційною ознакою методу являється ослаблення інтенсивності іонізуючого випромінювання. Цей метод використовується до будь яких матеріалів і дозволяє визначити не тільки макродефекти але й мікроструктуру металів. Рентгенівський контроль безпечніший для працівників але установка має великі габарити через що використовується тільки стаціонарно. Гамма-випромінювачі значно інтенсивніші і дозволяють контролювати метали значної товщини, також апаратура для даного методу є портативною і дешевшою через що широко поширені в компаніях що займаються монтажем.

к) Акустичний метод НК ґрунтується на реєстрації параметрів пружних хвиль, які збуджуються або утворюються в об'єктах в результаті взаємодії з дефектами. Зазвичай використовують пружні хвилі ультразвукового (УЗ) діапазону. Цей метод називають ультразвуковим. До акустичних методів відноситься акустична емісія, коли в виробі утворюються пружні коливання внаслідок перебудови структури, зародження і розвиток дефектів, корозії, пластичних деформацій. Особливістю даного методу є застосування пружних хвиль, параметри яких тісно пов'язані з властивостями матеріалу (пружність, щільність, анізотропія, інші). В залежності від виду акустичного методу (УЗ дефектоскопія, акустична емісія) інформаційними ознаками являються: амплітуда, фаза, час розповсюдження, число імпульсів, амплітудно частотний спектр, густина сигналів.

1.3 Акустичні методи неруйнівного контролю

Серед методів неруйнівного контролю можна виділити основні, найбільш поширені: радіаційний, акустичний та магнітний методи контролю. Ультразвукова дефектоскопія є одним з найбільш поширених методів акустичного неруйнівного контролю. В даній магістерській дисертації проводиться аналіз пошуку дефектів в низьковуглецевих сталях ультразвуковим методом дефектоскопії, тому що порівняно з магнітним та радіаційним методами він має значні переваги, такі як:

- а) висока проникаюча здатність УЗ хвилі, що дозволяє виявляти дефекти в великогабаритних виробих;
- б) висока чутливість, що дозволяє виявляти дрібні дефекти;
- в) цей вид контролю застосовується до всіх матеріалів, що досить добре проводять акустичні хвилі (метали, пластмаси, кераміка, бетон);
- г) за допомогою ультразвукового методу вимірюють товщину стінок виробів, виявляють різноманітні дефекти і неоднорідні структури, визначають геометричні характеристики виробів;

- д) висока швидкість проведення контролю дозволяє використовувати даний метод в масовому виробництві;
- е) безпека процесу контролю;
- ж) автоматизація процесу та обробка даних в цифровому вигляді;
- з) дешевизна і простота контролю, можливість проведення вимірювань при односторонньому доступі до деталі, можливість визначення місця розташування і розміру дефекту.

Для контролю виробу методом УЗ дефектоскопії використовуються УЗ коливання – механічні коливання пружного середовища, частота яких знаходиться за межею сприйняття людського слуху ($>20\text{кГц}$). На практиці використовують коливання частотою $1,0\dots 15\text{МГц}$ [3].

Метод УЗ контролю дозволяє виявляти поверхневі і глибинні дефекти тріщини, раковини, розшарування в металевих і неметалевих матеріалах (в тому числі зварних і паяних швах, клеєних багатошарових конструкціях), визначати зони корозії металів, вимірювати товщину. Контроль відбувається з використанням спеціального обладнання – перетворювача і дефектоскопа.

Фізичною основою метода є властивість звукових хвиль великої частоти в гомогенному тілі поширюватися як спрямовані промені без значної абсорбції (особливо в металі), а на кордоні металу з повітрям давати практично повне відображення. УЗ дає можливість фактично необмеженого проникнення в глибину і виявлення дефектів будь-яких розмірів і при будь-якому їх розташуванні [4]. Ультразвукова дефектоскопія найбільш універсальний спосіб неруйнівного контролю. В результаті проведеного аналізу вибрано метод ультразвукової дефектоскопії для подальшого дослідження.

2 ОГЛЯД ВІДОМИХ РІШЕНЬ

В даному розділі проводиться аналіз структури дефектоскопа та його конструкції. Наводяться приклади існуючих моделей та вивчається ринок апаратури для ультразвукової дефектоскопії.

2.1 Ультразвуковий дефектоскоп

Ультразвуковий дефектоскоп – це електронно акустичний пристрій, призначений для генерування та прийому ультразвукових коливань з ціллю знаходження порушень суцільності або однорідності матеріалів і визначення їх характеристик. Він представляє собою невеликий, портативний, мікропроцесорний пристрій який за допомогою програмного забезпечення забезпечує аналіз, визначення та класифікацію дефектів в об'єкті контролю [5].



Рисунок 2.1 — Ультразвуковий дефектоскоп

Типова система ультразвукової дефектоскопії складається з декількох функціональних блоків, таких як генератор, приймач, перетворювач і пристрій

реєстрації і індикації сигналів. Генератор створює електричні імпульси. Сигнал по кабелю передається на ультразвуковий перетворювач і попадаючи на п'єзоелемент, перетворюється в механічні коливання. Ультразвукова хвиля вводитьься і розповсюджується через матеріал. Коли в хвилевому шляху відбувається розрив (тріщина), частина енергії відіб'ється назад від поверхні дефекту. Сигнал відбитої хвилі перетвориться в електричний сигнал перетворювачем і відобразиться на екрані в вигляді ехо-імпульсу. З сигналу отримується інформація про місцезнаходження (координати) дефекту, його розміри, орієнтацію та інші параметри [6].

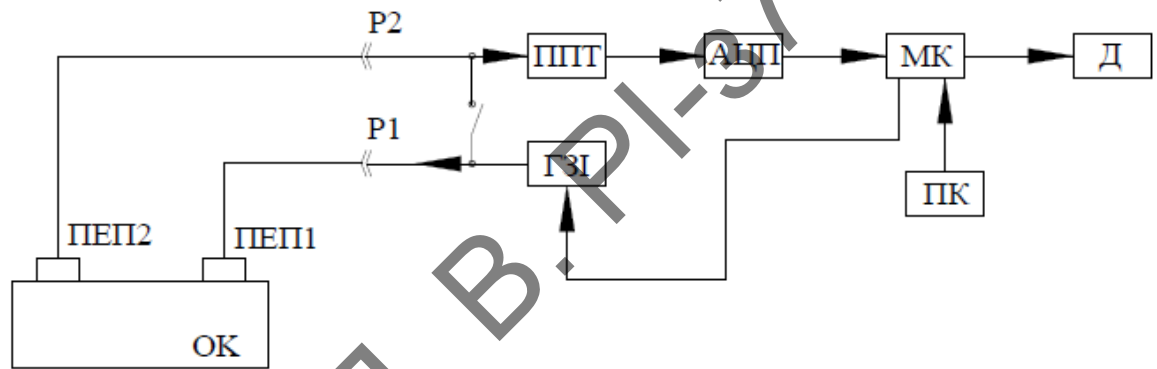


Рисунок 2.2 — Структурна схема ультразвукового дефектоскопу

ОК – об'єкт контролю;

ПЕП 1,2 – п'єзоелектричні перетворювачі;

P 1,2 – роз'єми;

ППТ – приймально-підсилювальний тракт;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МК – мікроконтроллер;

Д – дисплей;

ПК – пристрій керування;

ГЗІ – генератор зондуючих імпульсів.

Структурна схема імпульсного ультразвукового дефектоскопа приведена на рисунку 2.2. Генератор зондуючих імпульсів створює короткочасні імпульси високочастотних електричних коливань, які потрапляють на п'єзоперетворювач (ПЕП1), де електричні коливання перетворюються на пружні ультразвукові хвилі. Після проходження ОК, імпульси УЗК потрапляють на п'єзоперетворювач (ПЕП2). Мікроконтролер керує частотою посилення зондуючих імпульсів в ОК. Далі сигнал надходить до приймально-підсилювального тракту (ППТ). Посилені сигнали фільтруються смуговим фільтром, після чого вони потрапляють на МК через АЦП, а оброблені дані про стан ОК виводяться на дисплей [6].

2.2 Аналіз ринку готової продукції

Розвиток сучасних технологій неруйнівного контролю вимагає удосконалення наявної апаратурної бази. В області ультразвукової дефектоскопії найважливішою тенденцією такого розвитку являється комп'ютеризація не тільки процесу обробки отриманої інформації, але й самої процедури УЗ вимірювань. Нове покоління УЗ дефектоскопів представляє собою електронну мікропроцесорну систему, що дозволяє здійснювати акустичні вимірювання, накопичування і обробку результатів. Їх електронні і дефектоскопічні параметри дуже близькі, так як в усіх приборах використовуються практично практично однакові п'єзоперетворювачі. Окрім функціоналу дуже важливими є габарити і маса пристрою.

На ринку України дефектоскопи користуються високою популярністю. Попит на них постійно зростає. На багатьох підприємствах приборів даного класу ще не вистачає, що призводить до збільшення конкуренції. Крім внутрішньої конкуренції українським виробникам приходиться конкурувати і з іноземними компаніями. Іноземними виробниками пропонується широкий вибір дефектоскопічної апаратури на ринку України, яка задовольняє найсучасніші вимоги до якості УЗ контролю. Однак її висока вартість і часта відсутність сервісних центрів призводить до ситуації коли витрати на

експлуатацію перевищують можливості вітчизняних споживачів. Отже ультразвукові дефектоскопи є затребуваними на ринку і є актуальним для вітчизняних виробництв.

Розглянемо кілька моделей дефектоскопів що виробляються в Україні.

Ультразвуковий дефектоскоп УД2-70 (рисунок 2.3)



Рисунок 2.3 — Ультразвуковий дефектоскоп УД2-70

Пристрій був розроблений ООО «Ультракон-Сервіс» в 2001 році, коли на вітчизняному ринку була проблема дефіциту недорогих пристроїв даного класу. Основні технічні характеристики дефектоскопа наведені в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Основні технічні характеристики УЗД УД2-70

Робочі частоти	0,4; 1,25; 1,8; 2,5; 5; 10 МГц
Діапазон контролю (сталь)	0...5000 мм
Динамічний діапазон підсилення тракту	100дБ
Динамічний діапазон ВРЧ	60дБ
Час автономної роботи	7 год.
Маса	3,5 кг.
Габарити	245x145x75 мм.

Ультразвуковий дефектоскоп загального призначення УД2-70 реалізований на мікропроцесорній базі використовується для контролю продукції на наявність дефектів типу порушення суцільності і однорідності матеріалів, виробів і напівфабрикатів, зварних з'єднань, вимірювання відношень амплітуд сигналів від дефектів, глибини і координат їх знаходження. Пристрій налічує ряд автоматичних систем з допомогою яких може самостійно забезпечувати спрацювання сигналізації в випадку знаходження дефекту, вимірювати амплітуду сигналу відносно стандартного рівня, визначати координати знайдених дефектів, вирівнювати ехо-сигнал за амплітудою (для компенсації затухання УЗ), регулювати чутливість дефектоскопа в залежності від амплітуди опорного сигналу. Також пристрій має можливість збереження програм налаштувань параметрів дефектоскопа в пам'яті та запам'ятовування дефектограм. Візуалізація даних контролю відбувається на кольоровому графічному *TFT* екрані, передбачена можливість обміну даних з комп'ютером. Всі автоматичні системи працюють незалежно одна від одної що відкриває широкі можливості для налаштування різноманітних методів УЗК. З 2001 року компанія виробила декілька сотень пристроїв УД2-70, що вказує на його високу популярність на багатьох виробництвах [7].

Ультразвуковий дефектоскоп *DIO 1000 PA* (Рисунок 2.4)

Дефектоскоп виробляється чеською компанією *STARMANS electronics*. Пристрій поєднує в собі традиційні методи виявлення дефектів та провідні технології контролю. Невелика маса і габарити дають можливість проводити контроль в складно доступних місцях. Пристрій має *TFT* дисплей з високою роздільною здатністю. Дефектоскоп має змогу підключати фазовані решітки або сканера *TOFD*. Є можливість підключення фото та відео апаратури. Ще одним з плюсів даного пристрою є режим автоматичного калібрування, який значно спрощує процес налаштування.



Рисунок 2.4 — Ультразвуковий дефектоскоп *DIO 1000 PA*

Основні технічні характеристики наведені в Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Основні технічні характеристики УЗД *DIO 1000 PA*

Робочі частоти	0,5-30 МГц
Діапазон контролю (сталь)	1...29000 мм
Динамічний діапазон підсилення тракту	111дБ
Динамічний діапазон ВРЧ	71дБ
Час автономної роботи	10 год.
Маса	1,5 кг.
Габарити	224x188x34 мм.

Дефектоскоп *DIO 1000 PA* має всі відомі на сьогоднішній день можливості і прикладні функції, що характерні для сучасного цифрового дефектоскопа, а саме: автоматичне визначення глибини розміщення, відстані по поверхні та траєкторії ультразвуку до дефекту, функція тригонометричного визначення положення дефекту, режим визначення товщини, вбудований калькулятор оцінки зварних з'єднань, можливість візуалізації дефектів. В додавок до всього він компактний, легкий та зручний в користуванні [8].

Отже ринок дефектоскопів України налічує як вітчизняні так і закордонні компанії. Перші ж мають перевагу в зв'язку з зручністю та дешевизною подальшого обслуговування. Дефектоскопи українських компаній це проекти розроблені в кінці 90-х що постійно удосконалювалися. І ці компанії мають доволі непоганий потенціал і вже завоювали свою частину ринку напрацювавши певну групу постійних клієнтів. Отже даний спектр ринку є насиченим і не легким для входження але попит на дефектоскопи росте і ринок потребує нових гравців.

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УЗ ДЕФЕКТОСКОПА

3.1 Розрахунок акустичного тракту

Розрахунки виконано за [10].

Товщину п'єзоелементу можна визначити як:

$$h_{ПЕ} = \frac{c_{ПЕ}}{2f},$$

де $c_{ПЕ}$ – швидкість ультразвукової хвилі у п'єзоперетворювачі;
 f – частота випромінювання.

Підставивши значення отримуємо:

$$h_{ПЕ} = \frac{c_{ПЕ}}{2f} = \frac{3300 \text{ м/с}}{2 \cdot 5 \cdot 10^6 \text{ Гц}} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

3.1.1 Розрахунок акустичного тракту поздовжніх хвиль

Розрахунок ближньої зони перетворювача:

$$r_{\text{бл.}} = \frac{r^2}{\lambda},$$

де r – радіус п'єзоперетворювача, який становить 2 мм;

λ – довжина хвилі в об'єкті контролю.

Довжина хвилі λ :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{5900 \text{ м/с}}{5 \cdot 10^6 \text{ Гц}} = 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c – швидкість ультразвуку в сталі;

f – частота випромінювання.

Отримуємо:

$$r_{\text{бл.}} = \frac{r^2}{\lambda} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{1,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = 3,389 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Для введення поздовжніх хвиль кут падіння має бути меншим за перший критичний кут:

$$\beta_{кр1} = \arcsin \frac{c_{l1}}{c_{l2}} = \arcsin \frac{2690 \text{ м/с}}{5900 \text{ м/с}} = 27^\circ$$

Схема акустичного тракту у разі похилого введення ультразвукових хвиль виглядає так (рис 3.1).

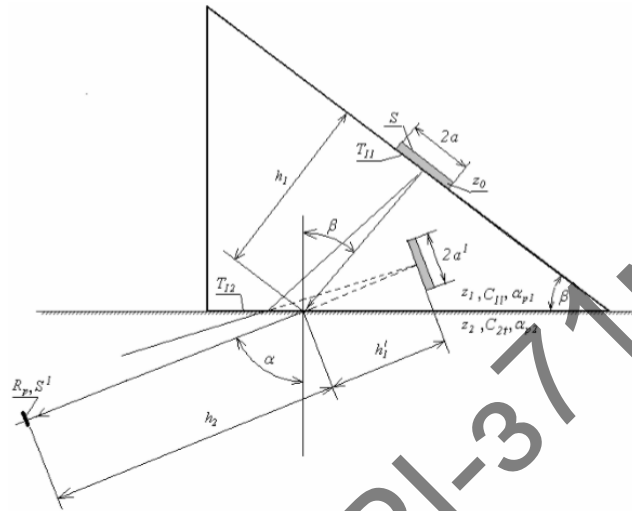


Рисунок 3.1 – Акустичний тракт у разі похилого введення з трансформацією хвиль

Виберемо оптимальний кут падіння ультразвукових хвиль в ОК так, щоб забезпечити максимальну інтенсивність поздовжньої хвилі і мінімальну поперечної. За графіком наведеним в [9] (рис. 3.2):

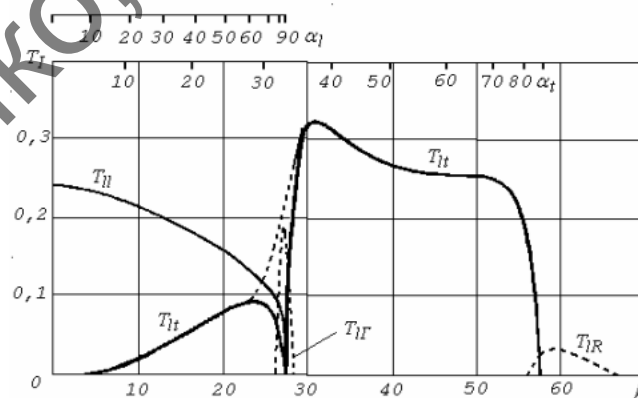


Рисунок 3.2 – Графік залежності коефіцієнту проходження ультразвукових хвиль від куту падіння

За графіком обираємо кут падіння 15 градусів.

Згідно закону Сінеліуса хвиль (рис. 3.3) визначимо кут введення ультразвукових хвиль в ОК:

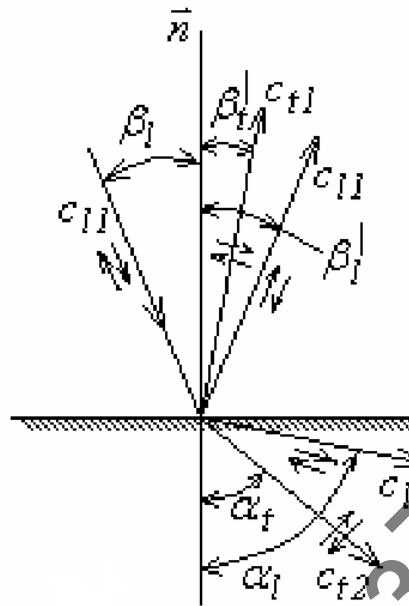


Рисунок 3.3 – Трансформація поздовжньої хвилі

$$\frac{\sin \beta_1}{c_{11}} = \frac{\sin \alpha_1}{c_{12}} \Rightarrow \frac{\sin(15^\circ)}{2690} = \frac{\sin(\alpha_1)}{5900} \Rightarrow \alpha_1 = \arcsin\left(\frac{0.258 \cdot 5900}{2690}\right) = 34.38^\circ$$

Знайдемо кут розшир головної пелюстки:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{1.22 \cdot \lambda_{ok}}{2a}\right) = \arcsin\left(\frac{1.22 \cdot 1.18 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}\right) = 21.09^\circ$$

Звідки:

$$2\theta = 42.18^\circ$$

Отримаємо наступну картину (рис 2.4):

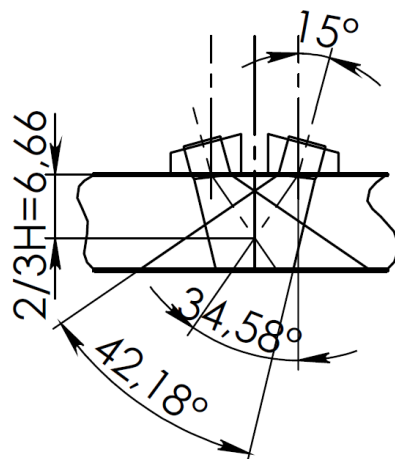


Рисунок 3.4 – Кути заломлення поздовжньої хвилі та розхил головної пелюстки

Відповідно до схеми акустичного тракту і променевої картини виконаємо еквівалентні заміни (рис.2.5)

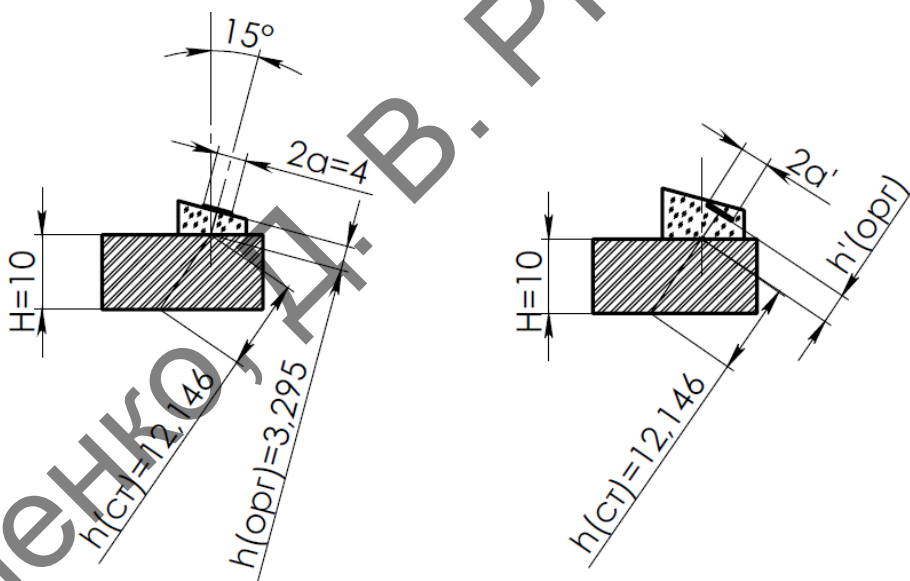


Рисунок 3.5 – Перехід від реальної схеми вимірювання до еквівалентної

$$h'_{\text{орг}} = h_{\text{орг}} \frac{c_{l1} \cos \alpha_l}{c_{l2} \cos \beta_l} = 3.295 \cdot 10^{-3} \frac{2690}{5900} \cdot \frac{\cos(34.38^\circ)}{\cos(15^\circ)} = 1.28 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Коефіцієнт акустичного тракту для даного імпульсу у разі похилого введення буде визначатися як:

$$K_{a.m.} = \frac{S \frac{\cos \alpha_l}{\cos \beta_l}}{\lambda^2 (h'_{орг} + h_{см})^2} T_{I1} T_{I2} R_p R(\theta) e^{-2(h_{орг} \alpha_{p(орг)} + h_{см} \alpha_{p(см)})}$$

Розрахуємо коефіцієнт проходження по інтенсивності:

$$T_{I1} = \frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)^2},$$

де z_1 і z_2 імпеданси кожного із середовищ п'єзоелемента і матеріалу призми відповідно.

$$z_1 = C_{ЦТС} \cdot \rho_{ЦТС} = 3300 \cdot 7450 = 2.458 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right)$$

$$z_2 = C_{орг} \cdot \rho_{орг} = 2690 \cdot 1180 = 3.174 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right)$$

$$T_{I1} = \frac{4 \cdot 2.458 \cdot 10^7 \cdot 3.174 \cdot 10^6}{(2.458 \cdot 10^7 + 3.174 \cdot 10^6)^2} = 0.405$$

Виходячи з графіка залежності коефіцієнта проходження від кута падіння (рис. 3.2) приймаємо $T_{I2} = 0.18$

Розрахуємо еквівалентну площу перетворювача:

$$S = \frac{\pi(2a')^2}{4} = \frac{\pi \cdot (3.42 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 9.18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Оскільки ми вважаємо, що хвиля повністю відбилась від даної поверхні, величину R_p приймаємо рівну 1.

Коефіцієнт a_p для органічного скла є табличною величиною і дорівнює 30 Нп/м при частоті 2.5 МГц. Для визначення коефіцієнта затухання на частоті 5 МГц складемо пропорцію:

$$\frac{2.5\text{МГц}}{5\text{МГц}} = \frac{30\text{Нп/м}}{\alpha_{p(\text{орг})}} \Rightarrow \alpha_{p(\text{орг})} = \frac{5\text{МГц} \cdot 30\text{Нп/м}}{2.5\text{МГц}} = 60\text{Нп/м}$$

Коефіцієнт a_p для сталі є табличною величиною і дорівнює 5 Нп/м при частоті 2.5МГц. Для визначення коефіцієнта затухання на частоті 6 МГц складемо пропорцію:

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

Оскільки очевидно, що відбивач знаходиться в межах головної пелюстки, приймаємо $R(\theta)=0.5$.

Підставивши значення можна розрахувати коефіцієнт акустичного тракту у для донного імпульсу:

$$K_{a.m.} = \frac{9.18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\cos(34.38^\circ)}{\cos(15^\circ)}}{1.18 \cdot 10^{-3} \cdot (12.146 \cdot 10^{-3} + 1.28 \cdot 10^{-3})} \cdot 0.405 \times \\ \times 0.18 \cdot 0.5 \cdot e^{-2(3.295 \cdot 10^{-3} \cdot 60 + 12.146 \cdot 10^{-3} \cdot 10)} = 9.5 \cdot 10^{-3}$$

Розрахуємо коефіцієнти акустичних трактів для випадку дифракції ультразвукових хвиль від країв тріщини.

Оскільки довжина хвилі в ОК дорівнює $\lambda = 1.18 \cdot 10^{-3}$ м, то мінімальний діаметр дефекту який можливо виявити $d_{\text{def}} = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

Але оскільки прийнятий сигнал буде від хвиль, що будуть дифрагувати на краях тріщини приймаємо:

$$d_{\text{приц}} = 0.1 \cdot d_{\text{def}}$$

Розрахуємо площу дефекту:

$$S_{\text{деф}} = \frac{\pi(d_{\text{пріци}})^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.1 \cdot 2 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 3.14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Розрахуємо коефіцієнт акустичного тракту у випадку дифракції хвиль на краях тріщини:

$$K_{a.m.} = \frac{S_{\text{деф}} \cdot S \cdot \frac{\cos \alpha_l}{\cos \beta_l}}{\lambda^2 (h'_{\text{орг}} + h_{\text{см}})^2} T_{I1} T_{I2} e^{-2(h_{\text{орг}} \alpha_{p(\text{орг})} + h_{\text{см}} \alpha_{p(\text{см})})}$$

Визначимо шлях, що пройде ультразвук в ОК до верхнього краю дефекту для випадку, коли він знаходиться на акустичній осі та на глибині $2/3H$ (рис 3.6).

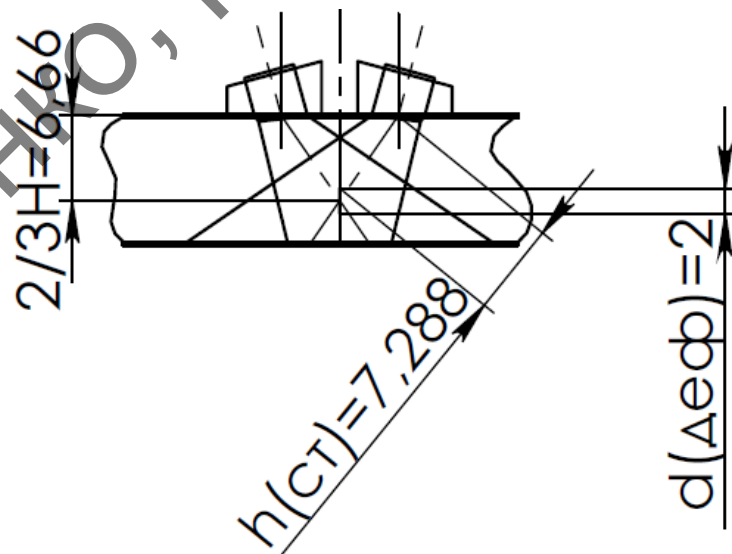


Рисунок 3.6 – Відстань, що проходить ультразвук до верхнього краю дефекту

Звідси визначимо коефіцієнт акустичного тракту:

$$K_{a.m.1} = \frac{3.14 \cdot 10^{-8} \cdot 9.18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\cos(34.38^\circ)}{\cos(15^\circ)}}{(1.18 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (7.288 \cdot 10^{-3} + 1.28 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0.405 \times \\ \times 0.18 \cdot e^{-2(3.295 \cdot 10^{-3} \cdot 60 + 7.288 \cdot 10^{-3} \cdot 10)} = 10.2 \cdot 10^{-5}$$

Визначимо шлях, що пройде ультразвук в ОК до верхнього краю дефекту для випадку, коли він знаходиться на акустичній осі та на глибині $2/3H$ (рис 3.7).

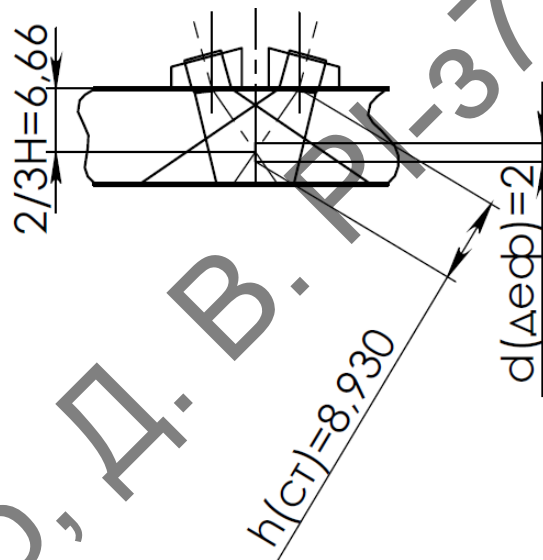


Рисунок 3.7 – Відстань, що проходить ультразвук до нижнього краю дефекту

Звідси визначимо коефіцієнт акустичного тракту:

$$K_{a.m.2} = \frac{3.14 \cdot 10^{-8} \cdot 9.18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\cos(34.38^\circ)}{\cos(15^\circ)}}{(1.18 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (8.93 \cdot 10^{-3} + 1.28 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0.405 \times \\ \times 0.18 \cdot e^{-2(3.295 \cdot 10^{-3} \cdot 60 + 8.93 \cdot 10^{-3} \cdot 10)} = 6.97 \cdot 10^{-5}$$

3.2 Розрахунок електроакустичного тракту

Коефіцієнт електроакустичного тракту:

$$K_{EAT} = K_{a.m.} \cdot K_{ПП} = \frac{U_{np}}{U_{\epsilon}},$$

де U_{np} – напруга прийнятого сигналу;

U_{ϵ} – напруга випроміненого сигналу;

$K_{a.m.}$ – коефіцієнт послаблення акустичного тракту;

$K_{ПП}$ – коефіцієнт подвійного перетворення (для ЦТС-19 приймаємо 0,1).

Оскільки амплітуда прийнятого сигналу має бути набагато більше рівня завад, тобто, $U_{np} \gg U_{завад}$ задаємося рівнем завад, $U_{завад} = 100 \text{ мкВ}$, тоді мінімальним рівнем прийнятого сигналу $U_{np.мін.} = 500 \text{ мкВ}$.

Знайдемо мінімальну амплітуду зондуючого імпульсу:

$$U_B = \frac{U_{np.мін.}}{K_{a.m.2} \cdot K_{ПП}} = \frac{500 \cdot 10^{-6}}{6.97 \cdot 10^{-5} \cdot 0.1} = 71.73 (B)$$

Приймаємо амплітуду зондуючого імпульсу рівну для першого генератора 100 В.

Знаходимо $U_{np.мін.}$:

$$U_{np.мін.} = K_{a.m.2} \cdot K_{ПП} \cdot U_B = 6.97 \cdot 10^{-5} \cdot 0.1 \cdot 100 = 697 \cdot 10^{-6} (B)$$

Знаходимо $U_{np.макс.}$:

$$U_{np.макс.} = K_{a.m.} \cdot K_{ПП} \cdot U_B = 9.5 \cdot 10^{-3} \cdot 0.1 \cdot 100 = 0.095 (B)$$

Таким чином було розраховано характеристики перетворювача:

- товщина п'єзоперетворювача – $0,33 \cdot 10^{-3}$ м;
- кут головної пелюстки – $21,09^\circ$;
- площа перетворювача – $9,18 \cdot 10^{-6}$ м²;
- Коефіцієнт акустичного тракту – $10,2 \cdot 10^{-5}$.

4 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

4.1 Опис схеми функційної

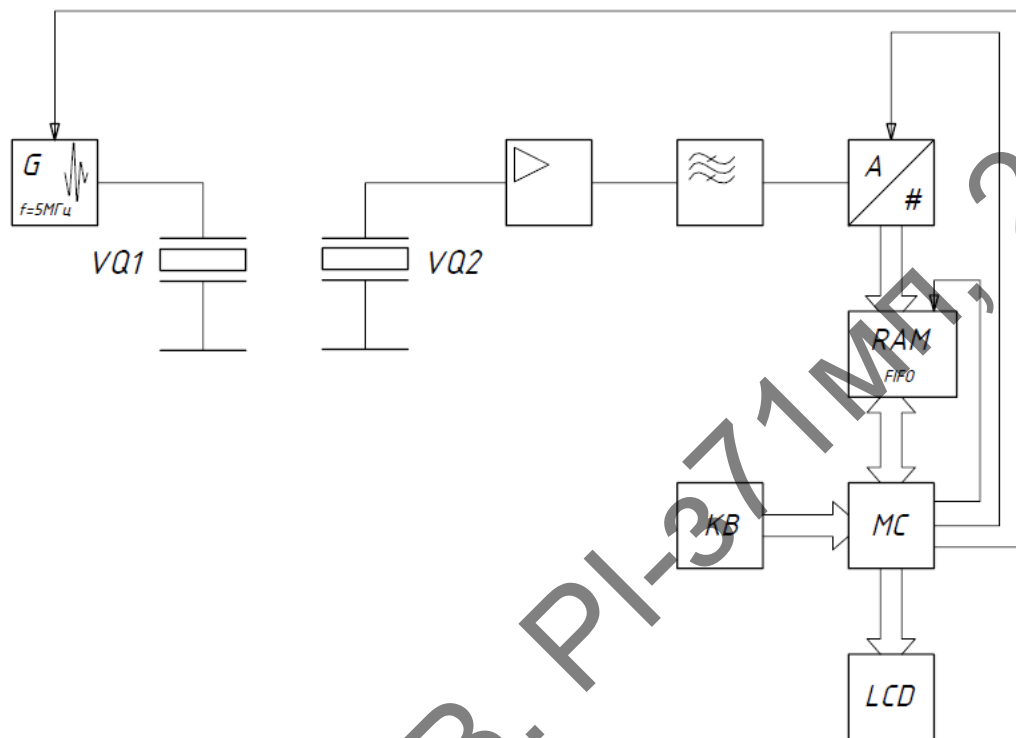


Рисунок 4.1 — Функціональна схема приладу

G – генератор зонduючих імпульсів;

KB – клавіатура;

LCD – цифровий дисплей;

MC – мікроконтролер;

RAM – зовнішня пам'ять;

Мікроконтролер формує імпульс запуску на генератор ударного збудження який формує зонduючий імпульс на п'єзоперетворювачі. В ОК перетворювач збуджує УЗ хвилю, в результаті інший перетворювач приймає хвилю що пройшла через ОК. Далі сигнал підсилюється і потрапляє на фільтр. Смуговий фільтр відтинає зайві гармоніки вхідного сигналу та пропускає лише інформативний сигнал основної частоти. Відфільтрований сигнал поступає на АЦП, що перетворює його в цифровий код. Мікроконтроллер

після певних арифметичних дій виводить інформацію про стан ОК на *LCD* дисплей [10].

4.2 Опис часових діаграм

Розглянемо фрагмент функціональної схеми (рис. 4.2) та побудуємо часові діаграми:

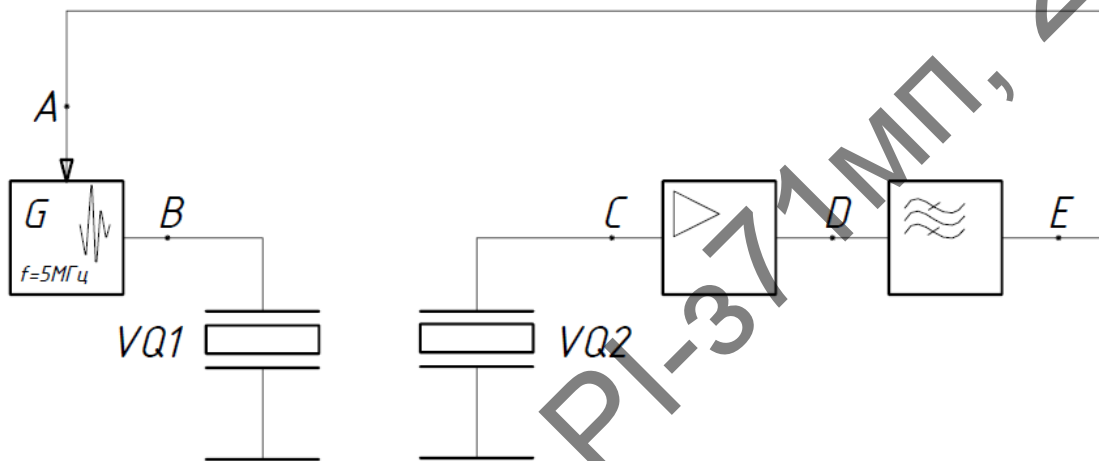


Рисунок 4.2 — Фрагмент функціональної схеми

Мікроконтролер подає сигнал (рис. 4.3A) на керуючий затвор транзистора відкриваючи його на час $t1$, що супроводжується збудженням резонансного контуру. При збудженні резонансного контуру, п'єзоелемент генерує акустичні коливання (рис. 4.3B) в ОК з амплітудою $A1$. Цей імпульс називається — зондуєчий імпульс. Після затримки $t2$ (рис. 4.3C) на приймаючий ПЕП приходить під поверхневий імпульс. Після нього через час $t(dw1)$ на приймаючий ПЕП надходить сигнал від імпульсу, що дифрагував на верхньому краю тріщини. Після нього через час $t(dw2)$ на приймаючий ПЕП надходить сигнал від імпульсу, що дифрагував на нижньому краю тріщини. Після нього через час $t(bw)$ на приймаючий ПЕП надходить сигнал від донного імпульсу. Далі ці сигнали підсилюються (рис 4.3D) та надходять на смуговий фільтр (рис 4.3E) [11].

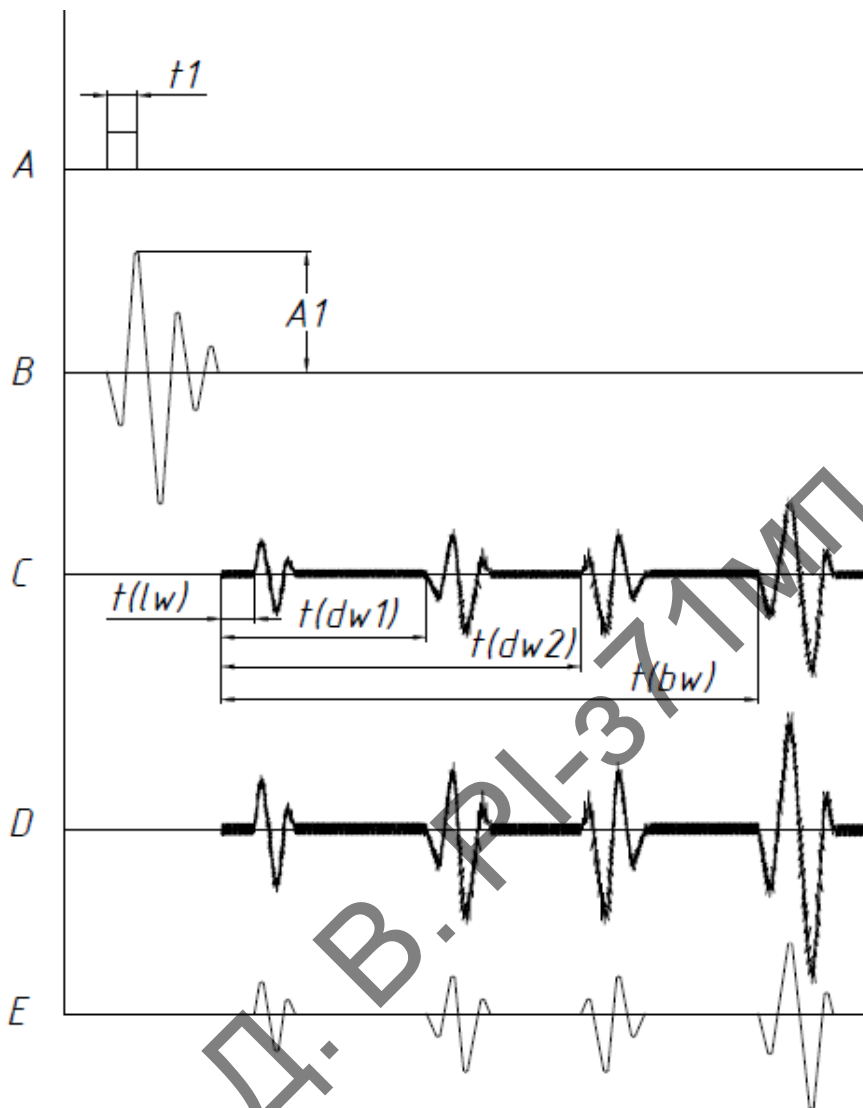


Рисунок 4.3 — Часові діаграми роботи приладу

4.3 Розрахунок основних вузлів схеми електричної принципової

4.3.1 Розрахунок генератору зондуючих імпульсів

$$U_{Впозд.} \cong 0.4U_{жс} \Rightarrow U_{жс} = \frac{U_B}{0.4} = \frac{100}{0.4} = 250B$$

$$U_{max} \cong 0.3 \cdot E_m \cdot h = 0.3 \cdot 3000 \cdot 0.33 = 297B$$

E_m – напруженість змінного електричного поля для ПЕП з ЦТС-19

Генератор зондуючих імпульсів (рис. 4.4.) призначений для збудження п'єзоелемента, який в свою чергу генерує ультразвукові коливання в ОК.

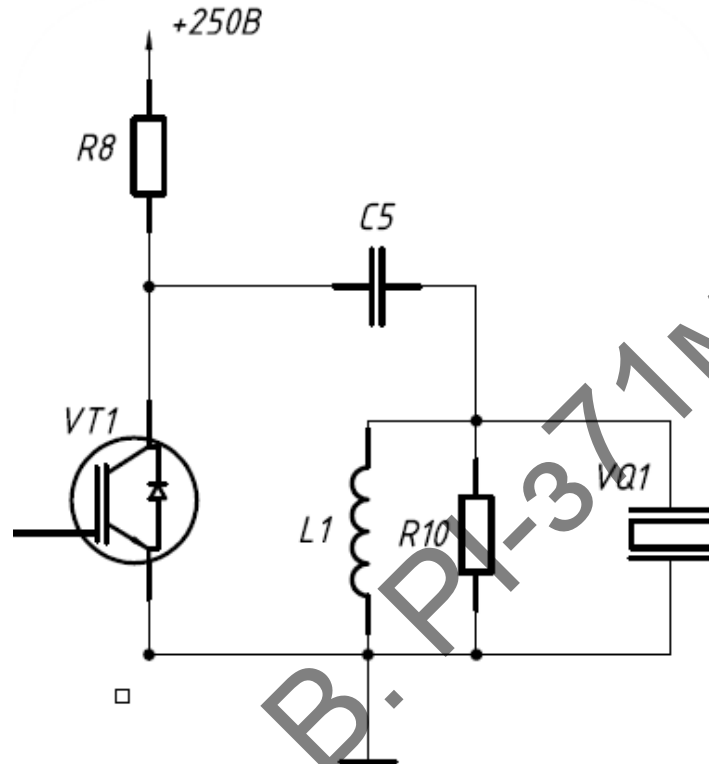


Рисунок 4.4 — Генератор зондуючих імпульсів

У даній магістерській дисертації використано схему ГЗІ з n-канальним біполярним транзистором у якості ключа – *FGH40N60SMD*. Біполярний транзистор у режимі ключа відкритий рівно на час наявності на його затворі додатної напруги певної величини (для *FGH40N60SMD* від 3.5 В). Для керування таким транзистором потрібен драйвер, використаємо *IR2122S* (рис. 4.5.) та (рис. 4.6) [10].

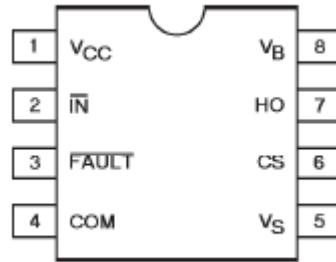


Рисунок 4.5 – Драйвер для керування біполярним транзистором

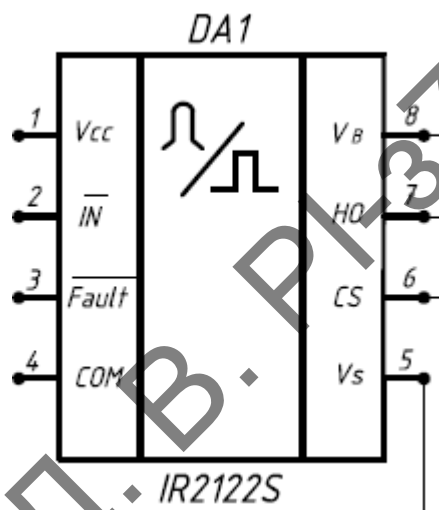


Рисунок 4.6 — Драйвер на принциповій схемі

Генератор працює наступним чином: при відсутності імпульсу на керуючому електроді SW транзистора $VT1$, транзистор закритий і в цей час відбувається заряд конденсатора $C1$, до рівня $U_c = +E$. Надходячи на керуючий електрод транзистора $VT1$ імпульс відкриває електрод транзистора і конденсатор $C5$ розряджається по контуру, збуджуючи при цьому резонансний контур. При його збудженні, п'єзоелемент генерує акустичні коливання в ОК [10].

На рис. 4.7 зображена типова схема включення драйвера $IR2122S$.

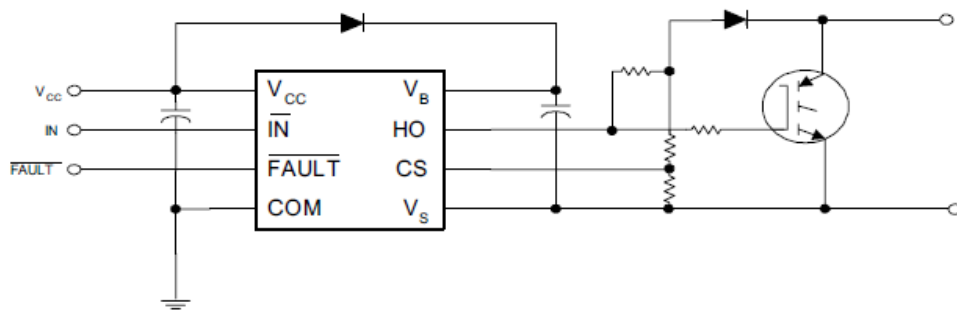


Рисунок 4.7 — Схема підключення драйвера IR2122S

Для того, щоб було можливо проводити контроль на всю глибину ОК, період заряду конденсатора C_1 має бути не більшим, ніж період слідування імпульсів збудження. Розрахуємо час зарядки конденсатора:

$$\tau_{\text{заряд}} \leq 2 \cdot \frac{h_{\text{ок}(\text{min})}}{C_{\text{ок}}} = 2 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3}}{5900} = 3.39(\text{мкс})$$

Приймаємо: $\tau_{\text{заряд}} = 3.4(\text{мкс})$

Для виконання процесу зарядки за необхідний час, розраховуємо значення резистора R_8 . Значення ємності C_1 рекомендується приймати в діапазоні $(1 \div 10) \text{ нФ}$. Призначимо $C_1 = 7 \text{ нФ}$.

$$R_8 = \frac{\tau_{\text{заряд}}}{3 \cdot C_1} = \frac{3.4 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 7 \cdot 10^{-9}} = 161.9(\text{Ом}) \approx 162(\text{Ом}) = R_{10}$$

Ємність п'єзоперетворювача розраховується за наступною формулою:

$$C_{\text{ПЕП}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{\text{ЦТС19}} \cdot \frac{S}{h} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1700 \cdot \frac{12.57 \cdot 10^{-6}}{0.33 \cdot 10^{-3}} = 0.573(\text{ннФ}),$$

де $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – електрична постійна;

$\varepsilon_{\text{ЦТС-19}}$ – відносна діелектрична постійна (для ЦТС-19 = 1700);

S – площа поверхні дискового перетворювача;

h – товщина перетворювача.

Згідно з *datasheet* (рис. 4.8) опір транзистора у відкритому стані 6 Ом

Electrical Characteristics of the IGBT T_C = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Off Characteristics						
BV _{CES}	Collector to Emitter Breakdown Voltage	V _{GE} = 0V, I _C = 250μA	600	-	-	V
$\frac{\Delta BV_{CES}}{\Delta T_J}$	Temperature Coefficient of Breakdown Voltage	V _{GE} = 0V, I _C = 250μA	-	0.6	-	V/°C
I _{CES}	Collector Cut-Off Current	V _{CE} = V _{CES} , V _{GE} = 0V	-	-	250	μA
I _{GES}	G-E Leakage Current	V _{GE} = V _{GES} , V _{CE} = 0V	-	-	±400	nA
On Characteristics						
V _{GE(th)}	G-E Threshold Voltage	I _C = 250μA, V _{CE} = V _{GE}	3.5	4.5	6.0	V
V _{CE(sat)}	Collector to Emitter Saturation Voltage	I _C = 40A, V _{GE} = 15V	-	1.9	2.5	V
		I _C = 40A, V _{GE} = 15V, T _C = 175°C	-	2.1	-	V
Dynamic Characteristics						
C _{ies}	Input Capacitance	V _{CE} = 30V, V _{GE} = 0V, f = 1MHz	-	1880	-	pF
C _{oes}	Output Capacitance		-	180	-	pF
C _{res}	Reverse Transfer Capacitance		-	50	-	pF
Switching Characteristics						
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	V _{CC} = 400V, I _C = 40A, R _G = 6Ω, V _{GE} = 15V, Inductive Load, T _C = 25°C	-	12	16	ns
t _r	Rise Time		-	20	28	ns
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time		-	92	120	ns
t _f	Fall Time		-	13	17	ns
E _{on}	Turn-On Switching Loss		-	0.87	1.30	mJ
E _{off}	Turn-Off Switching Loss		-	0.26	0.34	mJ
E _{ts}	Total Switching Loss	-	1.13	1.64	mJ	

Рисунок 4.8 — Характеристики транзистора *FGH40N60SMD*

Час розряду визначається як:

$$\tau_{розр} = 3 \frac{C_1 \cdot C_{ПЕП}}{C_1 + C_{ПЕП}} \cdot R_{VT1} = 3 \cdot \frac{7 \cdot 10^{-9} \cdot 0.573 \cdot 10^{-9}}{7 \cdot 10^{-9} + 0.573 \cdot 10^{-9}} \cdot 6 = 9.53(\text{нс})$$

Умова виконується:

$$\tau_{розр} \ll \tau_{заряд} \Rightarrow 9.53 \cdot 10^{-9} \text{ с} \ll 3.4 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

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

$$f_p \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_{ПЕП}}} \quad (4.1)$$

Виражаємо індуктивність котушки L_1 для заданої частоти з формули

(4.1):

$$L_{1(\text{новзд.})} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_p^2 \cdot C_{ПЕП}} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot 5^2 \cdot 10^{12} \cdot 0.573 \cdot 10^{-9}} = 1.77(\text{мкГн})$$

Тривалість імпульсу збудження перетворювача повинна дорівнювати приблизно півперіоду частоти коливання п'єзопластини перетворювача тобто:

$$\tau_{zi} = \frac{1}{2 \cdot f_p} = \frac{1}{2 \cdot 5 \cdot 10^6} = 100(\text{нс})$$

4.3.2 Розрахунок підсилювача

Для підсилення прийнятого сигналу використаємо операційний підсилювач AD8031 (рис. 4.9), його АЧХ наведено на рис 4.10 [10].

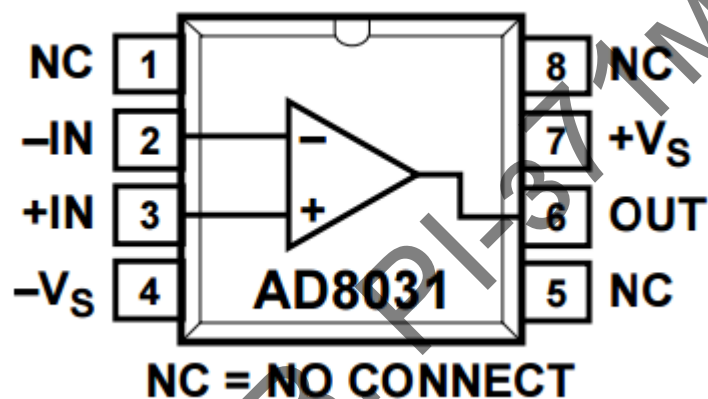


Рисунок 4.9 — Операційний підсилювач AD8031

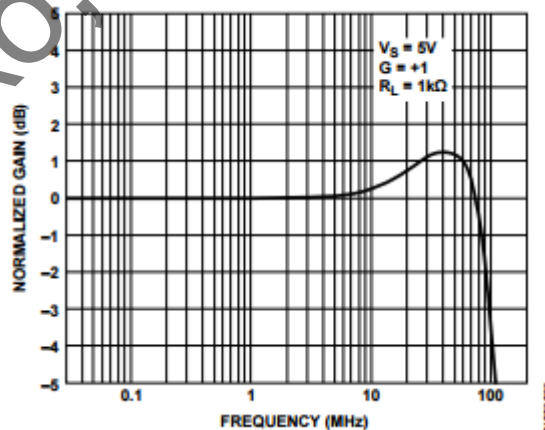


Рисунок 4.10 — АЧХ підсилювача AD8031

Необхідно підсилити вхідну напругу так, щоб вихідна напруга не перевищувала 2.5В, приблизно в діапазоні від 0.005В до 1,8В.

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

$$K = \frac{U_{макс.}}{U_{пр.макс.}} = \frac{1.8}{0.095} = 18.94$$

Приймаємо $K = 18$.

Розрахуємо напругу, яка буде на виході за формулою :

$$U_{підс.} = K \cdot U ,$$

де K – коефіцієнт підсилення;

U – напруга, яка поступає на вхід ОП.

Напруга, яка буде на виході ОП, для $U_{пр.макс.}$:

$$U_{підс.макс.} = 18 \cdot 0.095 = 1.71 (В)$$

Розрахуємо напругу, яка буде на виході, для $U_{пр.мін.}$:

$$U_{підс.мін.} = 18 \cdot 697 \cdot 10^{-6} = 0.012 = 12 (мВ)$$

Дана амплітуда після підсилення цілком задовольняє поставленні задачі.

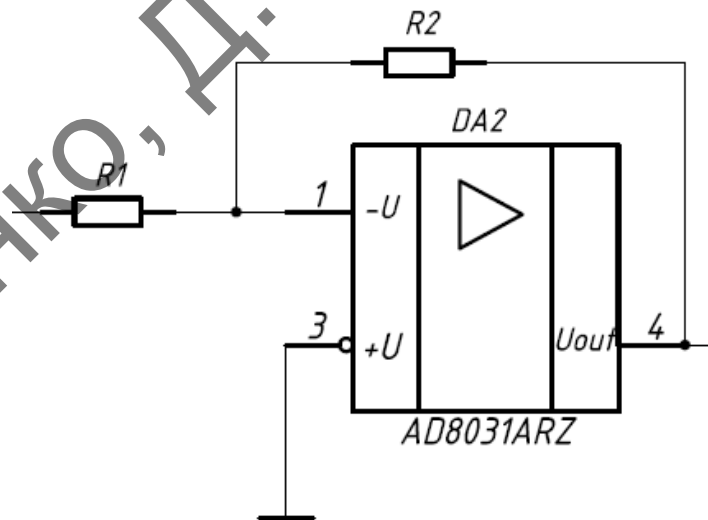


Рисунок 4.11 — Підсилювач на базі ОП AD8031

Резистори $R1$ та $R2$ визначають коефіцієнт підсилення:

$$K = \frac{R2}{R1} ,$$

де K – коефіцієнт підсилення.

Підбираємо резистори $R1=15$ кОм, $R2 =270$ кОм.

Загальний коефіцієнт підсилення:

$$K = \frac{270 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} = 18$$

4.3.3 Розрахунок активного смугового фільтру

Розрахунки виконано за [10].

Для позбавлення від сигналів завад, використовуємо смуговий фільтр, що відфільтрує зайві частотні гармоніки, які не є частинами інформативного сигналу. Щоб визначити смугу пропускання фільтру, необхідно визначити частотну характеристику прийнятого сигналу з п'єзоперетворювача.

Відомо, що модель ехо-імпульсного сигналу має наступний вигляд:

$$U(t) = A \cdot e^{-(g \cdot w \cdot t)^2} \cdot \sin(w \cdot t), \quad (4.5)$$

Де,

A – амплітуда прийнятого сигналу;

g – коефіцієнт швидкості згасання;

w – частота перетворювача.

Змоделюємо даний сигнал в програмі Matlab (рис. 4.12)



Рисунок 4.12 — Ехо-імпульсний сигнал для $g=0.16$ (3 коливання)

Для визначення смуги пропускання фільтру побудуємо частотну характеристику даного сигналу (рис. 4.13) і встановимо смугу пропускання як діапазон частот на рівні -20 дБ. З рис. 4.13 видно, що смуга пропускання фільтру лежить в діапазоні від 3.3 МГц до 6.8 МГц, і складає 3.5 МГц.

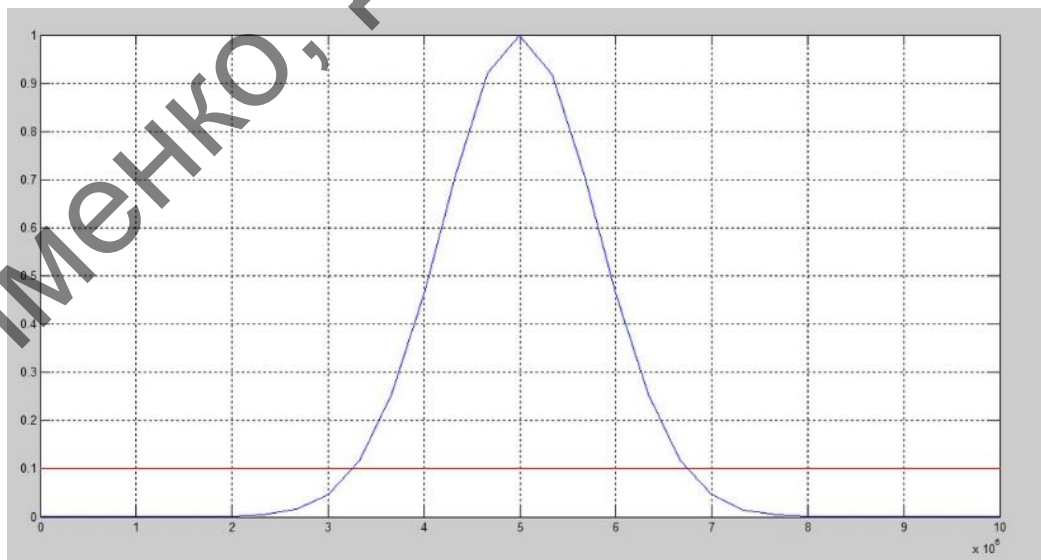


Рисунок 4.13 — АЧХ ехо-імпульсного сигналу

Спроектуємо двокаскадний фільтр, четвертого порядку, за допомогою програми FilterPro (рис. 4.14), та розглянемо його характеристики (рис. 4.15).

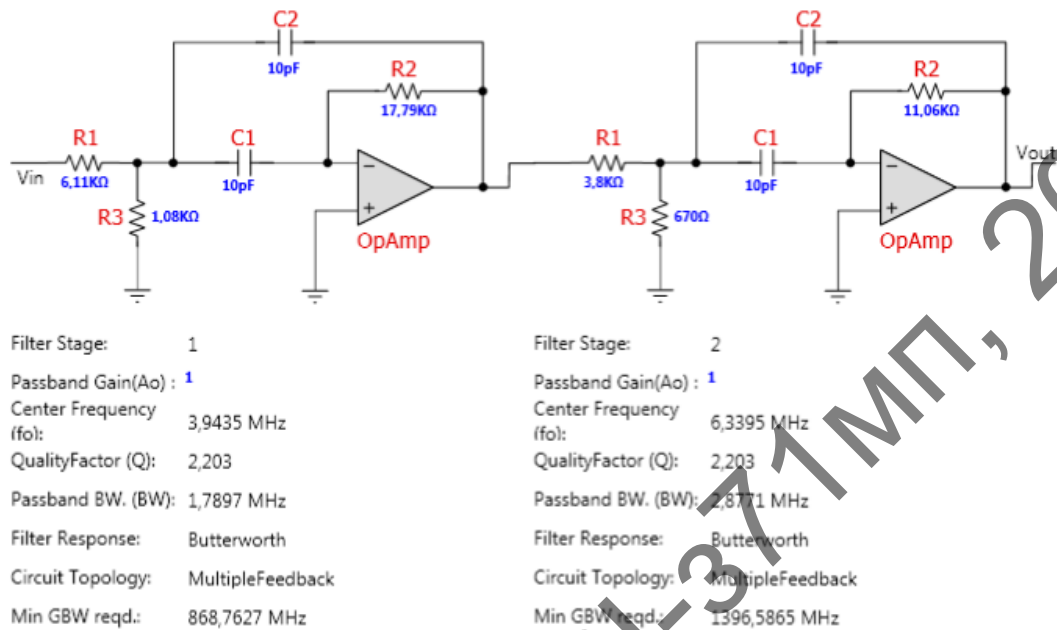


Рисунок 4.14 — Електрична схема двокаскадного фільтра Баттерворта

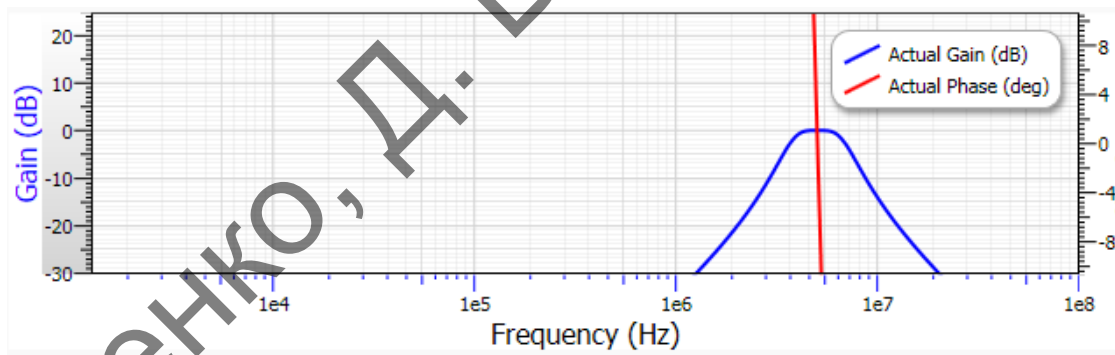


Рисунок 4.15 — Характеристики змодельованого фільтра

Для побудови фільтра використаємо операційний підсилювач AD8031, що має наступні характеристики(рис.4.16). Побудуємо схему в *Multisim* (рис. 4.17) та звірямося з характеристиками фільтра на частоті 5МГц (рис. 4.18), 3.3МГц (рис. 4.19), 6.8МГц (рис. 4.20) за допомогою програми *Multisim*.

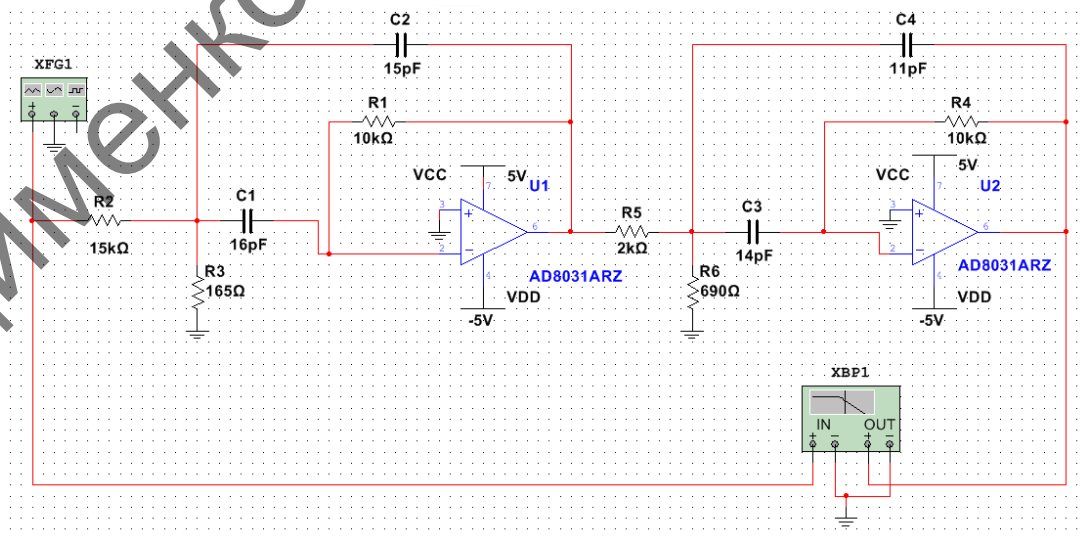
±5 V SUPPLY

@ $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 5\text{ V}$, $R_L = 1\text{ k}\Omega$ to 0 V , $R_F = 2.5\text{ k}\Omega$, unless otherwise noted.

Table 3.

Parameter	Conditions	AD8031A/AD8032A			AD8031B/AD8032B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
DYNAMIC PERFORMANCE								
-3 dB Small Signal Bandwidth	$G = +1$, $V_O < 0.4\text{ V p-p}$	54	80		54	80		MHz
Slew Rate	$G = -1$, $V_O = 2\text{ V step}$	30	35		30	35		V/ μs
Settling Time to 0.1%	$G = -1$, $V_O = 2\text{ V step}$, $C_L = 10\text{ pF}$		125			125		ns
DISTORTION/NOISE PERFORMANCE								
Total Harmonic Distortion	$f_c = 1\text{ MHz}$, $V_O = 2\text{ V p-p}$, $G = +2$		-62			-62		dBc
	$f_c = 100\text{ kHz}$, $V_O = 2\text{ V p-p}$, $G = +2$		-86			-86		dBc
Input Voltage Noise	$f = 1\text{ kHz}$		15			15		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Input Current Noise	$f = 100\text{ kHz}$		0.4			0.4		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
	$f = 1\text{ kHz}$		5			5		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Differential Gain	$R_L = 1\text{ k}\Omega$		0.15			0.15		%
Differential Phase	$R_L = 1\text{ k}\Omega$		0.15			0.15		Degrees
Crosstalk (AD8032 Only)	$f = 5\text{ MHz}$		-60			-60		dB
DC PERFORMANCE								
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 0\text{ V}$; $V_{OUT} = 0\text{ V}$		± 1	± 6		± 0.5	± 1.5	mV
	T_{MIN} to T_{MAX}		± 6	± 10		± 1.6	± 2.5	mV
Offset Drift	$V_{CM} = 0\text{ V}$; $V_{OUT} = 0\text{ V}$		5			5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$V_{CM} = 0\text{ V}$; $V_{OUT} = 0\text{ V}$		0.45	1.2		0.45	1.2	μA
	T_{MIN} to T_{MAX}			2.0			2.0	μA
Input Offset Current			50	350		50	250	nA
Open-Loop Gain	$V_{CM} = 0\text{ V}$; $V_{OUT} = \pm 2\text{ V}$	76	80		76	80		dB
	T_{MIN} to T_{MAX}	74			74			dB
INPUT CHARACTERISTICS								
Common-Mode Input Resistance			40			40		M Ω
Differential Input Resistance			280			280		k Ω
Input Capacitance			1.6			1.6		pF
Input Voltage Range			-5.5 to +5.5			-5.5 to +5.5		V
Input Common-Mode Voltage Range			-5.2 to +5.2			-5.2 to +5.2		V
Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = -5\text{ V to }+5\text{ V}$	66	80		66	80		dB
	$V_{CM} = -5\text{ V to }+3.5\text{ V}$	66	90		66	90		dB
Differential/Input Voltage				3.4			3.4	V
OUTPUT CHARACTERISTICS								
Output Voltage Swing Low	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	-4.94	-4.98		-4.94	-4.98		V
Output Voltage Swing High	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	+4.94	+4.98		+4.94	+4.98		V
Output Voltage Swing Low	$R_L = 1\text{ k}\Omega$	-4.7	-4.85		-4.7	-4.85		V
Output Voltage Swing High	$R_L = 1\text{ k}\Omega$	+4.7	+4.75		+4.7	+4.75		V
Output Current			15			15		mA
Short Circuit Current	Sourcing		35			35		mA

Рисунок 4.16 — Характеристики операційного підсилювача AD8031

Рисунок 4.17 — Схема фільтра побудована в середовищі *Multisim*

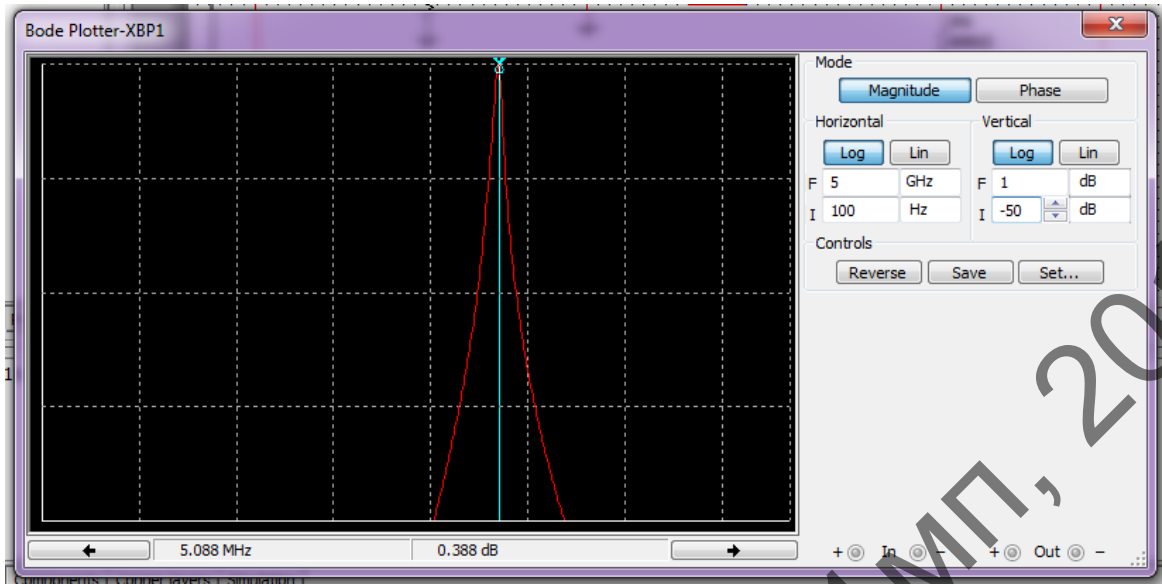


Рисунок 4.18 — Характеристики фільтра в *Multisim* на частоті 5МГц

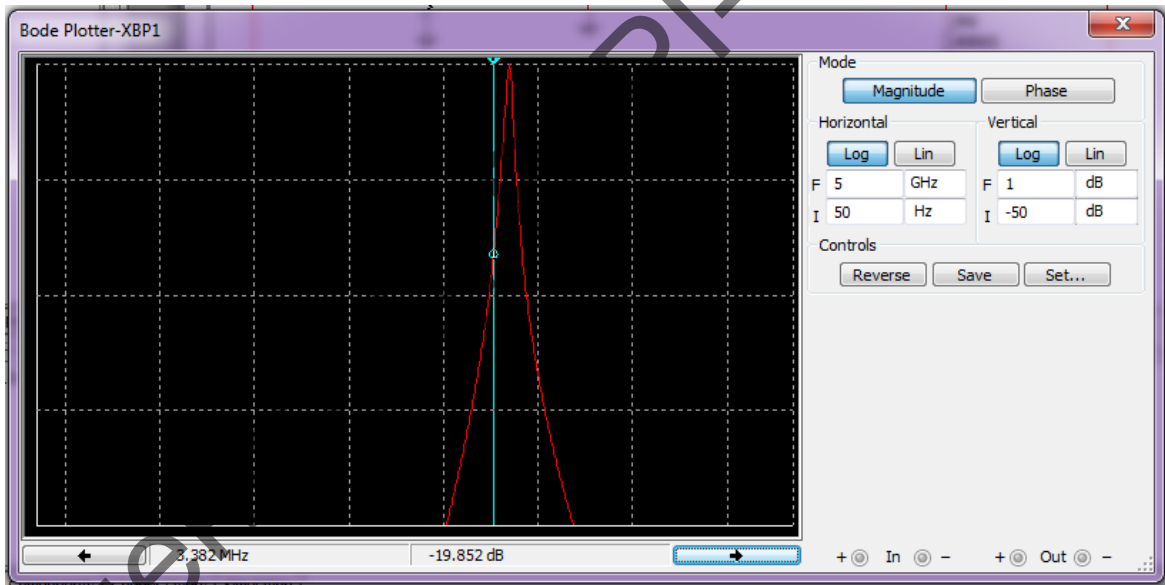


Рисунок 4.19 — Характеристики фільтра в *Multisim* на частоті 3.3МГц

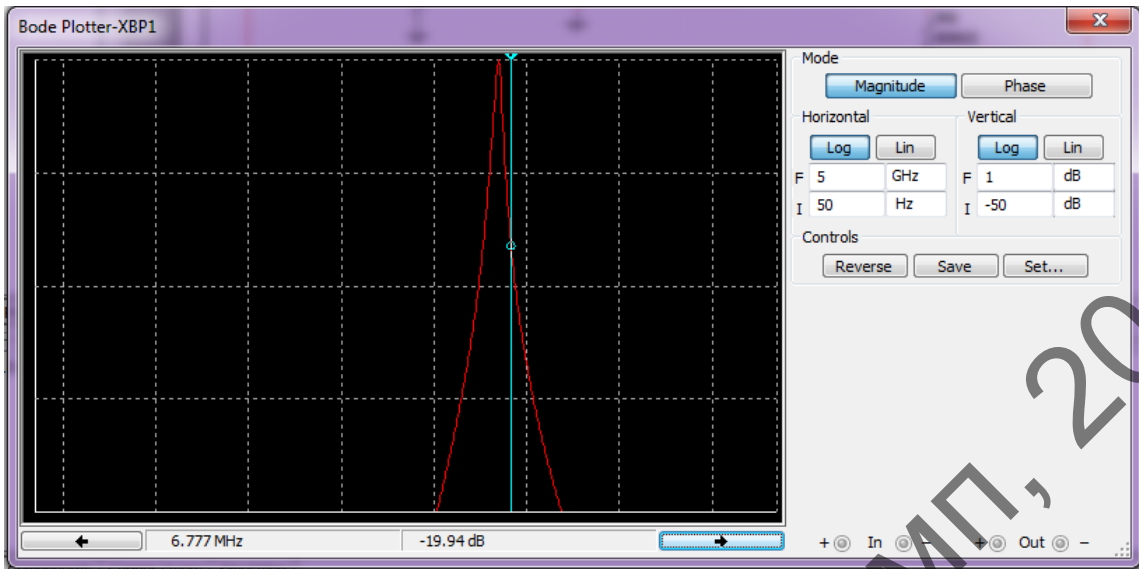


Рисунок 4.20 — Характеристики фільтра в *Multisim* на частоті 6.8МГц

4.3.4 Розрахунок та вибір АЦП

Розрахунки виконано за [10].

Вибір АЦП проводимо виходячи з трьох умов:

- Частота дискретизації повинна бути як мінімум у 2 рази вищою за максимальну частоту (в спектрі) вхідного сигналу;
- Максимальна похибка не повинна перевищувати 1%;
- Вхідний сигнал повинен бути в межах динамічного діапазону.

При забезпеченні двох вибірок при максимальній частоті прийнятого сигналу 6.8 МГц необхідно обрати частоту дискретизації $f_d \geq 13.6$ МГц.

Приймаємо: $f_d = 27$ МГц.

$U_{пр.макс.} = 2.37$ В;

Вибір розрядності здійснюється за допустимою відносною похибкою квантування сигналу приведенного до входу АЦП:

$$\delta_x = \frac{E_m}{x_{\min}},$$

де x_{\min} – мінімальне значення на вході АЦП. Враховуючи, що

$$E_m = \eta \cdot Q,$$

де $\eta = 1$ або $0,5$.

$$Q \leq \frac{\delta_{X_m} \cdot x_{\min}}{\eta} \text{ або } Q \leq \sqrt{12} \cdot \delta_{x_\sigma} \cdot x_{\min}$$

$$q_{\text{АЦП}} = \left[\log_2 \left(\frac{U_{\max}}{Q} \right) \right] + 1$$

$$K_U \leq \frac{U_{\max}}{x_{\max}} = \frac{18}{1.71} = 1.05$$

Розрахуємо мінімальне значення сигналу на вході АЦП з урахуванням

підсилення:

$$x_{\min} = K_U \cdot x_{\min} = 1.05 \cdot 0.012 = 0.0126$$

$$Q = \frac{\delta_{x_m} \cdot x_{\min}}{100\%} = \frac{1\% \cdot 0.0126}{100\%} = 0.13(\text{мВ})$$

$$q_{\text{АЦП}} = \left[\log_2 \left(\frac{1.8}{0.00013} \right) \right] + 1 = 15$$

Отже, потрібно обрати АЦП з наступними характеристиками:

Частота дискретизації $f_d = 27$ МГц;

Розрядність $N = 16$;

Динамічний діапазон повинен бути в межах: $[-1.8; 1.8]$ В.

Обираємо AD9446 (рис 4.21).

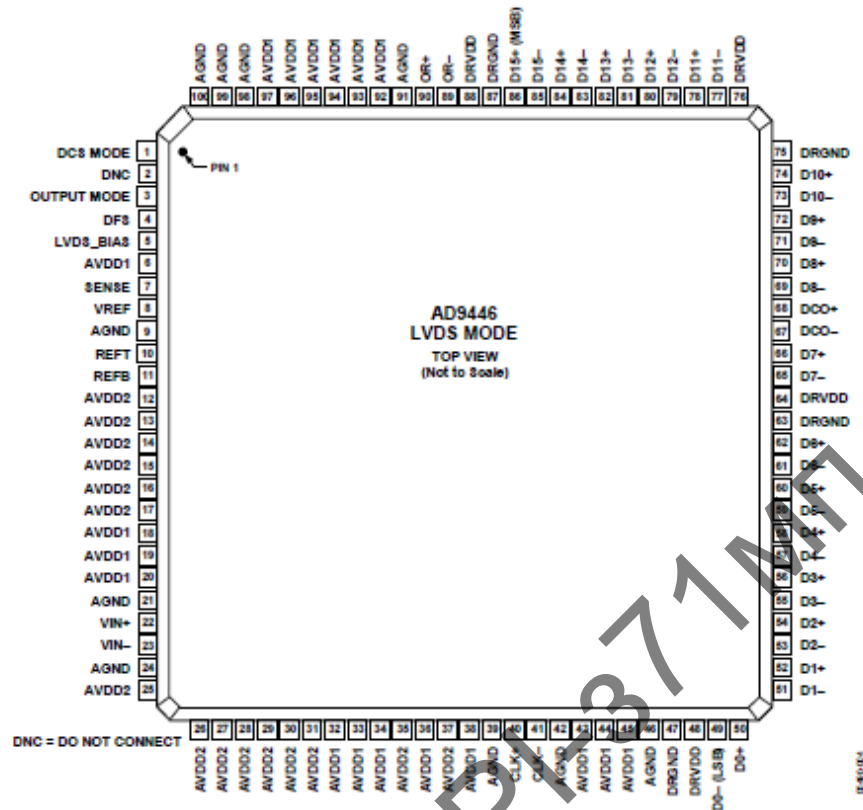


Figure 4. 100-Lead TQFP/EP Pin Configuration in LVDS Mode

Рисунок 4.21 — АЦП AD9446

Параметри:

- 16-розрядний АЦП;
- частота дискретизації = 80 МГц;
- динамічний діапазон [-1.8;1.8] В;
- $SNR = 83.6$ дБ.

4.3.5 Розрахунок та вибір ОЗП

Розрахунки виконано за [10].

В якості ОЗП використовується пам'ять типу *FIFO*:

Особливості *FIFO*:

- відсутність адресних ліній;
- базова архітектура *FIFO* представлена у вигляді масиву *RAM* ;
- наявність окремого порту для читання і окремого порту запису даних.

Використання *FIFO* дає змогу виконувати передачу даних між окремими елементами, що працюють з різними тактовими частотами і різною розрядністю шини.

Час затримки визначаємо як:

$$\tau_{\max} = 2 \cdot \frac{h_{OK(\max)}}{C_{OK}} = 2 \cdot \frac{14.299 \cdot 10^{-3}}{5900} = 4.8(\text{мкс})$$

Визначимо $h_{OK(\max)}$ з рис. 4.22.

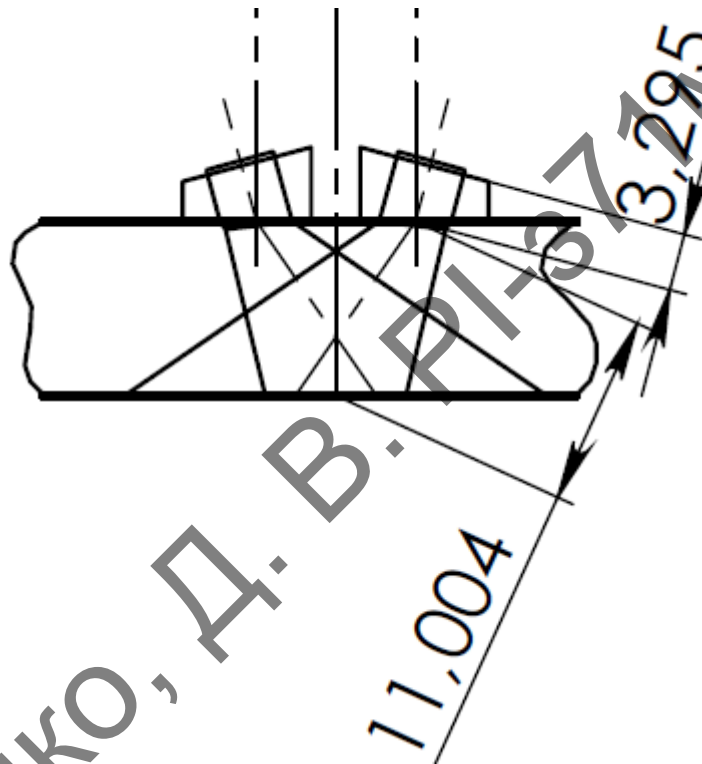


Рисунок 4.22 — Максимальний шлях, що пройде промінь

Отже:

$$\tau_{\max} = 2 \cdot \frac{h_{OK(\max)}}{C_{OK}} = 2 \cdot \frac{14.299 \cdot 10^{-3}}{5900} = 4.8(\text{мкс})$$

Розрахуємо кількість вибірок :

$$N_B = \tau_{\max} \cdot f_{АЦП} = 4.8 \cdot 10^{-6} \cdot 27 \cdot 10^6 = 130.87$$

Розрахуємо об'єм даних:

$$\Delta(\delta) = 130.87 \cdot 16 = 2094(\text{біт}) = 264(\text{байт})$$

Приймаємо: $\Delta(\delta) = 1(\text{КБ})$

Обираємо мікросхему : *SN74ACT7804* (рис. 4.23) з характеристиками:

- а) об'єм пам'яті: 1.1 КБ;
- б) розрядність: 18;
- в) час вибірки: 15 нс ;
- г) напруга живлення: 4.5-5.5 В.

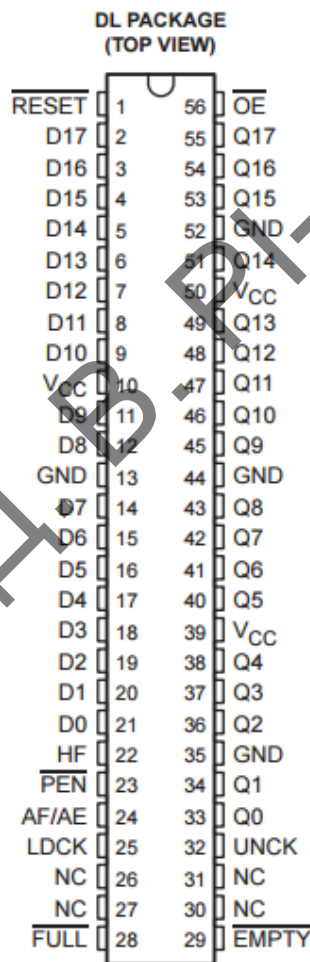


Рисунок 4.23 — Мікросхема *SN74ACT7804*

4.3.6 Вибір мікроконтролера

У приладі використаємо мікроконтролер *AT32UC3A0512* на базі ядра *AVR32* (рис. 4.24). Що має наступні характеристики:

- а) частота до 66 МГц;
- б) висока продуктивність та ефективність;
- в) до 512 КБ вбудованої флеш пам'яті і до 48 КБ *SRAM*;
- г) вбудовані напруги лінійних та імпульсних стабілізаторів;
- д) прямий доступ до пам'яті і система обробки подій;
- е) корпус *TQFP* на 100 виводів.



Рисунок 4.24 — *AT32UC3A0512*

4.3.7 Вибір дисплея

У даному приладі інформація буде виводитися на дисплей у вигляді *В*-скану. Дисплей повинен подавати інформацію спостерігачеві в доступній формі, і бути компактним.

Взявши за увагу вище сказане обираємо дисплей *ITDB02-3.2S* (рис. 4.25) з наступними характеристиками:

- а) Розміри 84 x 57 мм;
- б) Живлення 5 В.



Рисунок 4.25 — Зовнішній вигляд дисплею *ITDB02-3.2S*

4.3.8 Вибір клавіатури

Для керування приладом використаємо ряд кнопок *B3S-1000P* (рис. 4.26), що підключаються до мікроконтролера у вигляді матричної клавіатури (рис. 4.27).

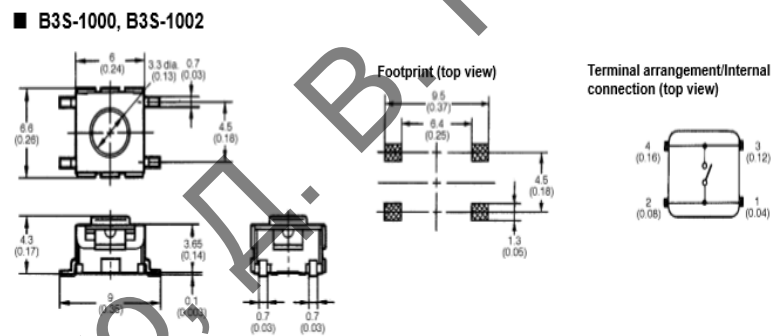


Рисунок 4.26 — Загальний вигляд *B3S-1000P*

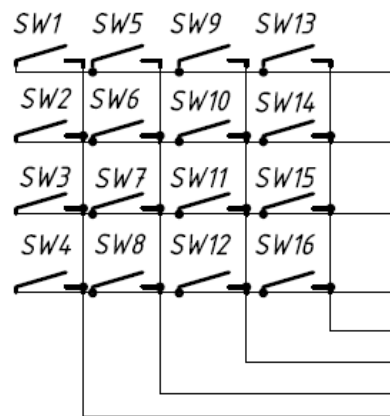


Рисунок 4.27 — Підключення клавіатури до електричної схеми

4.4 Розробка друкованої плати підсилювача

Розводка плати виконана в програмному середовищі *Altium Designer 16*.

Створюємо електричну схему та підключаємо її до роз'єму (рис. 4.28).

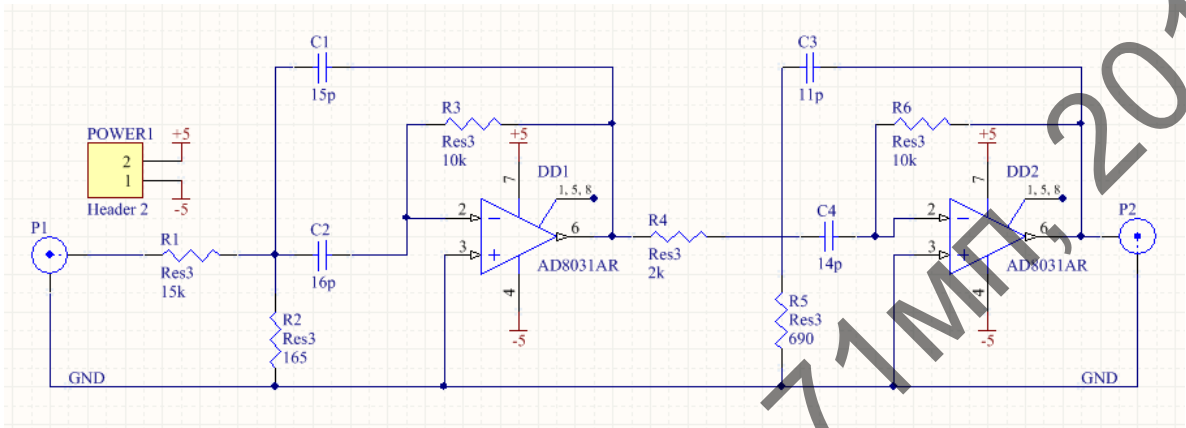


Рисунок 4.28 — Електрична схема в *Altium Designer 16*

Розміщуємо елементи та з'єднуємо посадкові місця згідно електричної схеми (рис. 4.29).

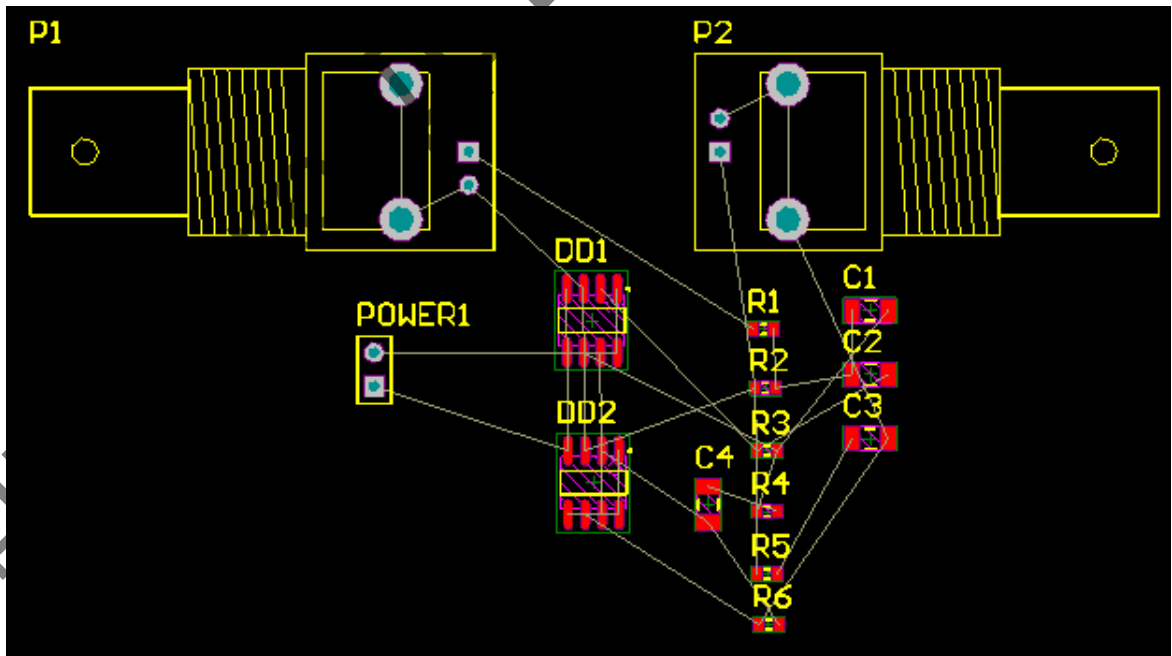


Рисунок 4.29 — З'єднання посадкових місць

Використаємо режим автоматичного трасування друкованої плати (рис. 4.30).

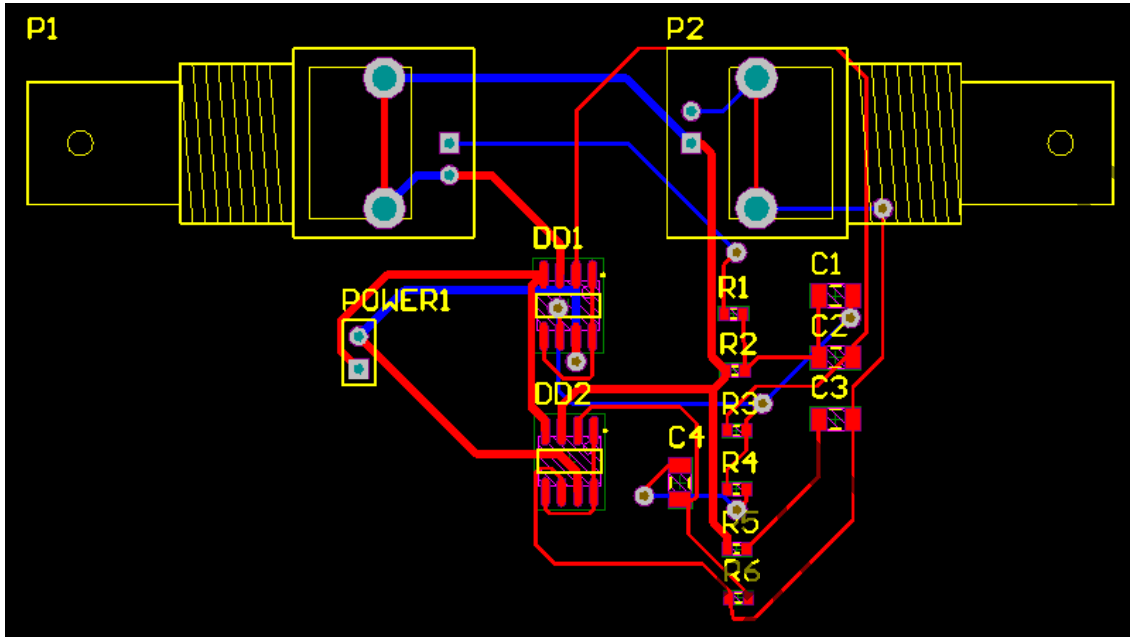


Рисунок 4.30 — Розводка друкованої плати в автоматичному режимі (червоні лінії – сторона А, сині – сторона Б)

Зовнішній вигляд друкованої плати зображено на рис. 4.31 та рис. 4.32.

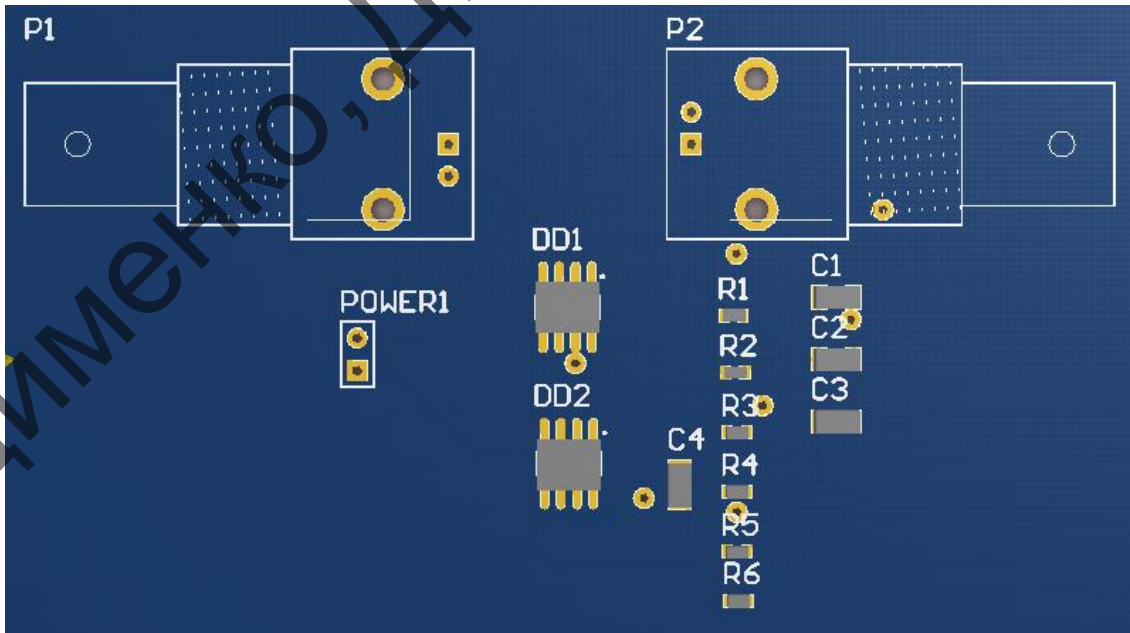


Рисунок 4.31 — Сторона А

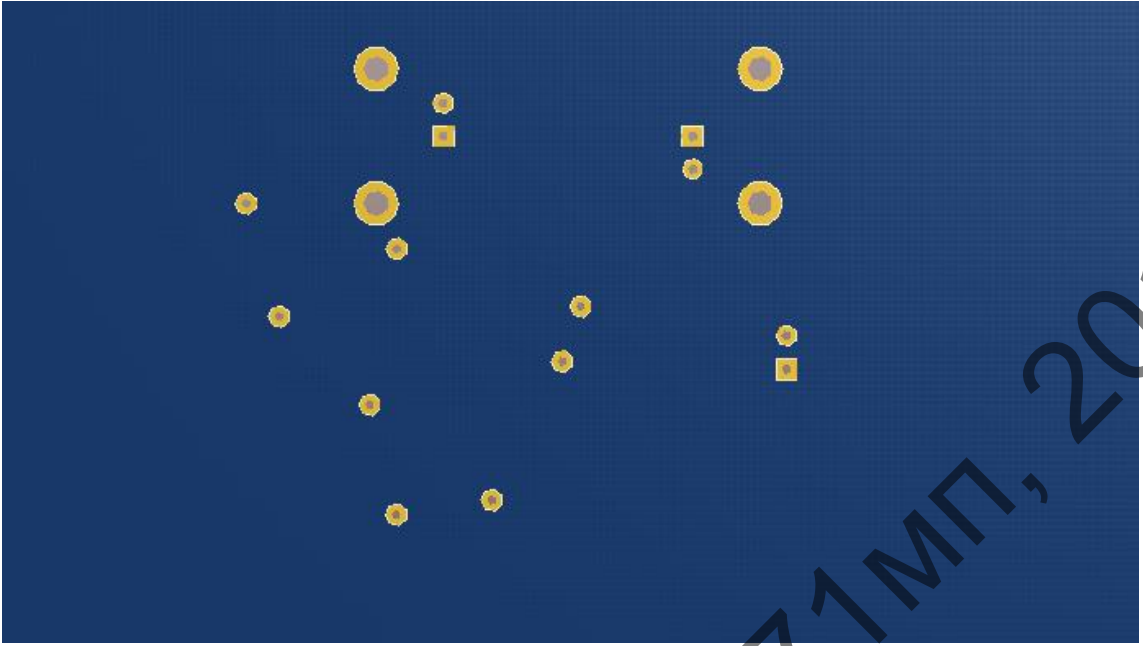


Рисунок 4.32 — Страница Б

Нездименко, Д. В. РІ-371 МП, 2018

5 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Конструкція ПП (рис. 5.1.) передбачає наявність декількох обов'язкових елементів (рис 5.2): п'єзоелемент, призма, демпфер, корпус, штуцери трубок для подачі контактної рідини.

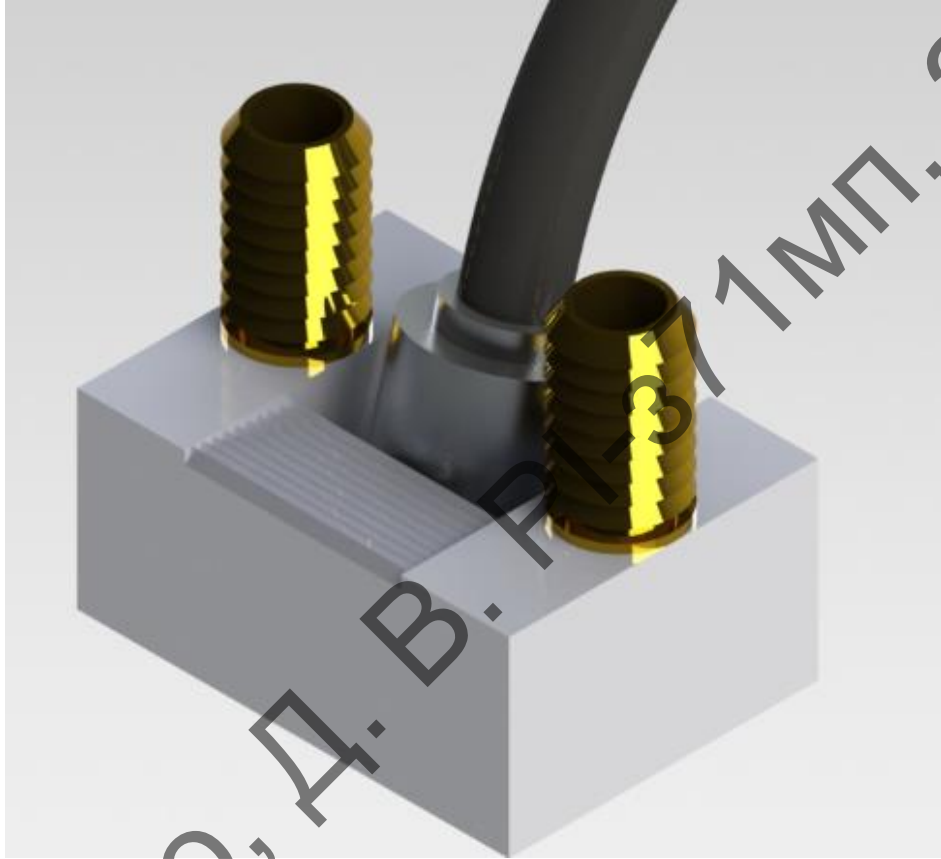
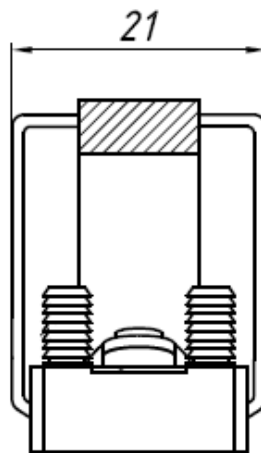
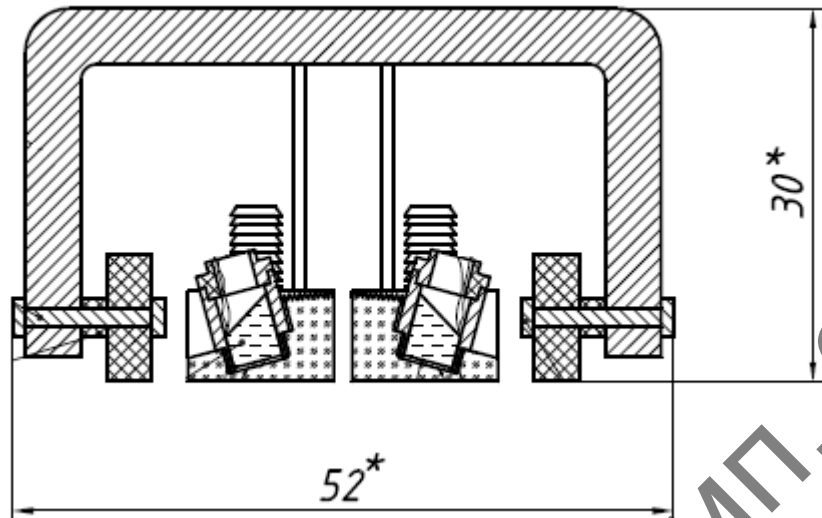


Рисунок 5.1 — 3D вигляд первинного перетворювача



A)



Б)

Рисунок 5.2 — Первинний перетворювач з опорними компонентами
 А) Вид справа Б) Вид спереду

Первинні перетворювачі кріпляться на штангу 4 через приклеєні до призми тримачі. ПЕП разом з демпфером 7 у своєму власному корпусі 2 вкручується в призму 3. Штуцери 1 для подачі контактної рідини також вкручуються в призму.

Розміри перетворювача:

- Висота 30мм;
- Довжина 52мм;
- Ширина 21мм.

6 ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ

За вхідними даними магістерської дисертації, вірогідність контролю складає 95%, тобто похибка не повинна перевищувати 5%.

Потенційні можливості дефектоскопа за точністю вимірювання визначаються похибкою формування вимірювального інтервалу. Решта складових загальної похибки результату повинна бути узгоджена з похибкою, що визначається. Такий підхід приводить до оптимального узгодження методичного і апаратного рішення.

Виникнення приладових похибок зумовлене властивостями використовуваних вимірювальних приладів. Похибка кожного конкретного приладу є систематичною, але її значення звичайно невідомо, а значить, її неможливо виключити введенням в результат вимірювання відповідної поправки. У паспорті приладу прийнято вказувати межі допустимої похибки, що означає максимально можливу похибку при рекомендованих умовах роботи приладу.

Сумарна похибка результату вимірювання включає, перш за все, наступні групи похибок [9]:

- а) похибки формування вимірювального інтервалу;
- б) похибки перетворення вимірювального інтервалу в аналогову величину, зручну для подальшого аналого-цифрового перетворення (це може бути похибка розширення вимірювального інтервалу, або похибка перетворення його в напругу);
- в) похибки аналого-цифрового перетворення.

6.1 Похибка формування вимірювального інтервалу часу

Для зменшення похибки формування інтервалу належить виконувати відлік часу за однаковими періодами коливань і на однаковому відносному пороговому рівні (відносно U_{\max}), тобто на однакових фазах радіоімпульсів. Якщо вимірювання ведеться за першим періодом імпульсу, а порогові рівні U_0

і U_0 мінімальні, але не нижчі за рівень завод, сумарна абсолютна похибка формування вимірювального інтервалу складе значення $\Delta\tau = \pm|x_1 - x_2| \cdot T$ і за певних умов може бути доведена до 0. При вживанні певних заходів до обробки сигналу можна зменшити значення x до значення 0.05. Тоді мінімальна похибка формування інтервалу складе:

$$\Delta\tau_1 = \pm 0.05 \cdot T = \pm \frac{0.05}{f} = \frac{0.05}{5 \cdot 10^6} = \pm 10^{-8} (c)$$

6.1.1 Похибка за рахунок проходження через контактну рідину

Якщо час проходження УЗ сигналу через шар рідини включено у вимірювальний інтервал, сам вимірюваний інтервал буде збільшений на величину:

$$\Delta\tau_2 = 2 \cdot \frac{h_p}{c_p}$$

де c_p – швидкість звуку в контактній рідині,

h_p – товщина шару контактної рідини.

Товщина контактної рідини має бути не більша довжини хвилі в цій рідині:

$$h_p \leq \frac{c_p}{f} = \frac{1500}{2 \cdot 5 \cdot 10^6} = 0.15 (мм)$$

Приймемо шар контактної рідини 1мкм.

$$\Delta\tau_2 = 2 \cdot \frac{h_p}{c_p} = 2 \cdot \frac{15 \cdot 10^{-6}}{1500} = 2 \cdot 10^{-8} (c)$$

Величина h_p неістотна у випадку вимірювання ОК великої товщини. Проте, з нею доводиться рахуватися, якщо значення товщини шару контактної рідини спільномірний з ОК.

Похибка $\Delta\tau_2$ може стати систематичною за умови стабілізації h_p . В загальному випадку вона носить випадковий характер.

6.1.2 Похибка за рахунок нестабільності швидкостей звуку в ОК

При налаштуванні дефектоскопу по еталонному зразку в похибку формування вимірювального інтервалу τ , відвідного товщині вимірюваного ОК, ввійде і складова похибки за рахунок варіації швидкості звуку $\Delta c = 10 \text{ м/с}$ в ОК по відношенню до швидкості звуку c в еталоні

$$\Delta \tau_3 = \tau \cdot \frac{\Delta c}{c} = 3.39 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10}{5900} = 5.74 \cdot 10^{-9} (\text{с})$$

6.1.3 Похибка формування вимірювального інтервалу між імпульсами

$$\delta_\tau = \frac{\Delta \tau_1 + \Delta \tau_2 + \Delta \tau_3}{\tau} = \frac{10^{-8} + 2 \cdot 10^{-8} + 5.74 \cdot 10^{-8}}{3.39 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\% = 2.57\%$$

Знайдемо дисперсію похибки формувального інтервалу між імпульсами, вважаючи, що вона розподілена за нормальним законом:

$$\sigma_\tau = \frac{\delta_\tau}{3} = \frac{2.57\%}{3} = 0.86\%$$

6.2 Похибка аналого-цифрового перетворення

Так як інформативним параметром в випадку товщинометрії є час, то важливо враховувати похибку дискретизації:

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{\Delta t_{\text{АЦП}}}{T_{\text{вим.}}} \cdot 100\%,$$

$$\text{де } \Delta t_{\text{АЦП}} = \frac{1}{f_{\text{АЦП}}}$$

$T_{\text{вим.}}$ – час вимірювання для мінімальної товщини ОК.

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{\Delta t_{\text{АЦП}}}{T_{\text{вим.}}} \cdot 100\% = \frac{1}{3.4 \cdot 10^{-6}} \cdot 27 \cdot 10^{-6} \cdot 100\% = 0.01089 \cdot 100\% = 1.089\%$$

Знайдемо дисперсію похибки від АЦП, вважаючи, що вона розподілена за прямокутним законом:

$$\sigma_{AЦП} = \frac{\delta_{AЦП}}{\sqrt{3}} = \frac{1.089}{\sqrt{3}} = 0.62\%$$

6.3 Середньоквадратична похибка

Використовуючи отримані результати розрахуємо середньоквадратичну похибку:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\tau}^2 + \sigma_{AЦП}^2} = \sqrt{(0.86)^2 + (1.089)^2} = 1.387\%$$

За граничною теоремою, сума великої кількості незалежних випадкових величин, що впливають на результат вимірювання, підкоряється нормальному закону розподілу:

$$\delta_{\Sigma} = \pm 3 \cdot \sigma_{\Sigma} = \pm 3 \cdot 0.405 = \pm 4.167\%$$

Отже, розрахована похибка цілком задовольняє заданим умовам.

Нездименко, Д. В. РІЗДМД, 2018

7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

7.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 7.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Оптимізація показників надійності, що визначаються тепловими режимами в блоці радіоелектронної апаратури	Виробництво	Збільшення надійності окремих чарунок в блоці радіоелектронної апаратури
	Наука	

Основним конкурентом розроблюваному проекту є дефектоскоп УД2-70 розроблений ООО «Ультракон-Сервіс», який дозволяє контролювати якість продукції вихреструмним методом ультразвукової дефектоскопії. Вагомою перевагою представленого пристрою є дешева вартість та новітня елементна база.

Таблиця 7.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1	Простота	✓				✓
2	Дешевизна	✓				✓
3	Швидкодія		✓		✓	

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для реалізації цього проекту потрібно вибрати мову програмування чи середовище програмування. Оглянуто три варіанта:

- 1 *Mathcad*—система комп'ютерної алгебри з класу систем автоматизованого проектування, орієнтована на підготовку інтерактивних документів з обчисленнями і візуальним супроводженням, відрізняється легкістю використання і застосування для колективної роботи.
- 2 Мова програмування *C++* — мова програмування високого рівня з підтримкою кількох парадигм програмування: об'єктно-орієнтованої, узагальненої та процедурної.
- 3 Мова програмування *JavaScript* — динамічна, об'єктно-орієнтована мова програмування. Реалізація стандарту ECMA Script. Найчастіше використовується для створення сценаріїв в веб-сторінок, що надає можливість на стороні клієнта (пристрої кінцевого користувача) взаємодіяти з користувачем, керувати браузером, асинхронно обмінюватися даними з сервером, змінювати структуру та зовнішній вигляд веб-сторінки.

Таблиця 7.3 — Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Оптимізація показників	<i>Mathcad</i>	Так	Так
2	надійності, що визначаються	<i>C++</i>	Так	Так
3	тепловими режимами в блоці радіоелектронної апаратури	<i>JavaScript</i>	Ні	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: <i>JavaScript</i>				

Даний проект можливо реалізувати і у якості технологічного шляху обрано *JavaScript* через наявність у автора проекту знань у мові програмування

JavaScript та можливості розробки програми в браузері, що значно прискорює процес тренування мережі.

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах даного підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 7.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, ум. од.	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Невідома
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Невідома

За результатами аналізу можна зробити висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням.

Визначимо потенційні групи клієнтів.

Таблиця 7.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Значно менша ціна ніж уже існуючих пристроїв на ринку, а також більший спектр функціоналу.	Науковці, виробництва,	Невідомі	Точність, швидкість обрахунку, адекватність результату

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 7.6 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал ПЗ конкурентів	Нові пристрої оснащені новішою елементною базою.	Вихід з ринку

Таблиця 7.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал у проекті що розробляється	Додавання нових моделей та можливостей у проект, що розроблюється	Розроблення цього функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 7.8 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції — монополістична	Кілька підприємство майже зайняло усю нішу	Значний
За рівнем конкурентної боротьби — національне	Дане підприємство відомо по всій Україні	Значний
За галузевою ознакою — внутрішньогалузева	Конкуренція виконується в рамках однієї галузі	Значний
Конкуренція за видами товарів — невідомо		
За характером конкурентних переваг — цінова	Товар даного підприємства має дуже високу вартість	Значний
За інтенсивністю — невідомо		

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Таблиця 7.9 — Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Сертифіковані прилади	Дефектоскопи	ООО«Ультракон-Сервів»	Невідомо	Невідомо
		Дефектоскопи	« <i>STARMANS electronics</i> »	Невідомо	Невідомо
		Пристрої пошуку дефектів	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Міжнародна компанія програє через високу ціну на свій продукт і в подальшому високі витрати на обслуговування. Вітчизняна ж компанія є конкурентом хоча незначним так як ринок дефектоскопів в країні тільки розвивається.	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності

Таблиця 7.10 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Простота	Дана розробка не вимагає від користувача особливих знань у галузі
2	Дешевизна	Поширюється безкоштовно і кожний має можливість користуватися нею
3	Швидкодія	Розраховуються достатні показники для конкретного проекту

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 7.11 — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів — конкурентів у порівнянні з проектом, що розробляється						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота								
2	Дешевизна								
3	Швидкодія								

Проведемо *SWOT*-аналіз

Таблиця 7.12 — *SWOT*-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Простота Дешевизна	Слабкі сторони: Невідома компанія Відсутність стартового капіталу
Можливості: Розширення функціоналу Нові технології	Загрози: Продукти-замінники

З огляду на *SWOT*-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 7.13 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Готові	Високий	У сегменті значна конкуренція	Важко
2	Виробництва	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Важко
Які цільові групи обрано: науковці, розробники радіоелектронної апаратури					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку.

Таблиця 7.14 — Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Простота, дешевизна, швидкодія	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку

Таблиця 7.15 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкуренту?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Ні	Ні	Заняття конкурентної ніші

Розробимо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 7.16 — 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
1	Точність			

7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 7.17 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Оптимізація показників надійності, що визначаються тепловими режимами в блоці радіоелектронної апаратури	Швидке створення розміщення чарунок в блоці радіоелектронної апаратури та швидка оптимізація показників надійності	Швидкодія, безкоштовність, точність

Таблиця 7.18 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Оптимізація показників надійності, що визначаються тепловими режимами в блоці радіоелектронної апаратури
2. Товар у реальному виконанні	Властивості:
	1. Простота
	2. Дешевизна
	3. Швидкодія
	Якість: апробація на готових фізичних моделях
	Пакування: відсутнє
	Марка: відсутня
3. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Товар не буде якимось чином захищатись від копіювання та буде поширюватись як є. Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар.

Таблиця 7.19 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	200-400 тис. ум. од.	До 200 тис ум. од.	Високий	Безкоштовно

Визначимо оптимальну систему збуту

Таблиця 7.20 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідома	Вільний доступ до товару	Невідома	Вільний доступ до товару

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій

Таблиця 7.21 — Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	Інтернет, наукові публікації, наукові та технічні виставки	Можливості проекту	Донести про можливості проекту	Донесення про можливості та сильні сторони проекту

7.6 Висновки за розділом

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що є можливість ринкової комерційності проекту оскільки на ринку є попит на таку продукцію. Але оскільки метою цього проекту не є матеріальне збагачення, продукт буде поширюватись вільно, безкоштовно та без обмежень .

Нездименко, Д. В. РІ-371МП, 2018

8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі розглянуто питання стосовно безпечних і комфортних умов праці при розробці, виготовленні та експлуатації спроектованого виробу – ультразвукового дефектоскопа. Оскільки в технічній частині були враховані усі вимоги стосовно захисту виробничого персоналу від негативної дії ультразвукових коливань відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 та ГОСТ 12.1.003-83, то ці питання в цьому розділі не розглядаються. В розділі визначені основні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори, технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці і виробничої санітарії та визначені основні заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.

8.1 Визначення потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При проведенні повного циклу дослідницьких робіт та робіт з виготовлення первинного перетворювача потенційно – небезпечними та шкідливими факторами є:

- а) можливість ураження електричним струмом;
- б) наявність електромагнітного випромінювання у місці роботи;
- в) підвищений рівень шуму та вібрацій;
- г) невідповідність освітлення санітарним нормам;
- д) несприятливі мікрокліматичні умови;
- е) вплив бризів та крапель розплавленого припою;
- ж) група психологічних шкідливих виробничих факторів;
- з) можливість виникнення пожежі.

Розглянемо вплив цих факторів більш детально.

8.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни працівників і виробничої санітарії

1 Роботодавець повинен створити для кожного працівника безпечні і нешкідливі умови праці шляхом належного облаштування робочих місць.

2 Робочі місця повинні розміщуватися поза лінією руху вантажу, який транспортується вантажопідіймальними засобами.

3 Параметри мікроклімату в межах робочої зони повинні відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень Державних Санітарних Норм (ДСН).

4 Рівень шуму на робочих місцях повинен відповідати нормам, встановленим Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99.

5 Загальні вимоги безпеки до захисту від шуму на робочих місцях, шумові характеристики машин та механізмів повинні відповідати вимогам Державного Стандарту (ДЕСТ (рос. ГОСТ)) ГОСТ 12.1.003-83 "Система стандартів безпеки труда. Шум. Общие требования безопасности".

6 Рівень вібрації на робочих місцях не повинен перевищувати норм, встановлених Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99.

7 Параметри електромагнітних полів на робочих місцях повинні відповідати вимогам Державних санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів.

8 У робочій зоні виробничих приміщень вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати граничнодопустимих концентрацій, встановлених ГОСТ 12.1.005-88 "Система стандартів безпеки труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".

9 Забороняється захаращувати робочі місця готовою продукцією, матеріалами, деталями і предметами, які не використовуються у процесі виробництва.

10 Площа робочої поверхні столу повинна забезпечувати зручне розміщення технологічного устаткування, приладів та інструментів з урахуванням зони досяжності працівника в горизонтальній і вертикальній площинах.

11 Працівники, які виконують роботи під час виробництва радіо- та електронної апаратури, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту.

12 Роботодавець повинен забезпечити працівників, які виконують роботи із застосуванням речовин та розчинів, що викликають подразнення шкіри і слизової оболонки носа, профілактичними пастами або мазями відповідно до вимог ГОСТ 12.4.068-79 «Система стандартів безпеки труда. Средства индивидуальной защиты дерматологические. Классификация общие требования».

8.2.1 Електробезпека

У процесі експлуатації електронно-обчислювального обладнання людина може доторкнутися до частин електроустаткування, які перебувають під напругою. Нещасні випадки трапляються при недотриманні правил електробезпеки при роботі з обладнанням або електромонтажних роботах. Тому важливо дотримуватись правил електробезпеки. Оцінка небезпеки дотику до струмоведучих частин відноситься до визначення сили струму, що протікає через тіло людини, і порівняння його із допустимим значенням відповідно до ГОСТ 12.1.038-88. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення електроустаткування до електромережі, роду й величини напруги живлення, схеми включення.

Гранично допустимі значення напруги доторкання та сили струму для нормального (безаварійного) та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини по шляху «рука – рука» чи «рука – ноги» регламентуються ГОСТ 12.1.038-88 (табл.4.1 та 4.2).

Таблиця 8.1 — Гранично - допустимі значення напруги доторкання та сили струму I_L , що проходить через тіло людини при нормальному режимі електроустановки

Вид струму	U_T, B (не більше)	I_L, mA (не більше)
Змінний, 50 Гц	2	0,3
Змінний, 400 Гц	3	0,4
Постійний	8	1,0

Гранично-допустимі значення сили струму (змінного та постійного), що проходить через тіло людини при тривалості дії більше ніж 1 с нижчі за пороговий невідпускаючий струм, тому при таких значеннях людина, доторкнувшись до струмопровідних частин установки, здатна самостійно звільнитися від дії електричного струму.

Таблиця 8.2 — Гранично допустимі значення напруги доторкання та I_L , що проходить через тіло людини при аварійному режимі електроустановки

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість дії струму t, c					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	>1,0
Змінний, 50 Гц	U_T, B (не більше)	500	250	100	70	50	36
	I_L, mA (не більше)	500	250	100	70	50	6
Постійний	U_T, B (не більше)	500	400	250	230	200	40
	I_L, mA (не більше)	500	400	250	230	200	15

Основними причинами ураження людей електричним струмом є доторкання до відкритих струмоведучих частин, до струмопровідних елементів обладнання, які виявилися під напругою в результаті порушення ізоляції.

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт (згідно ПУЕ, ГОСТ 12.1.009-76) є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту. У системі трифазних мереж із глухо заземленою нейтраллю, найкращими засобами захисту є: надійна ізоляція струмоведучих частин електроустаткування відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 і занулення відповідно до Правил Улаштування Електроустановок (ПУЕ) (з'єднання елементів, що перебувають під напругою, із глухо-заземленою нейтраллю). Крім того, для заземлення переносних частин обладнання застосовують спеціальне з'єднання.

Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання. Виконаємо розрахунок ланцюга захисного відключення однофазного проводу при аварійному режимі роботи. Струм КЗ можна обчислити за формулою:

$$I_{kz} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{\phi} + Z_{TR}}, \text{ A}$$

де $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ - напруга фазного проводу;

$R_0 = 3 \text{ Ом}$ - опір нульового проводу;

$R_{\phi} = 7 \text{ Ом}$ - опір фазного проводу;

$Z_{TR}/3 = 0,1 \text{ Ом}$ - еквівалентний опір трансформатора.

$$I_{\phi} = \frac{220}{3 + 7 + 0,1} = 21,78 \text{ A}$$

Струм спрацьовування автоматів захисту з електромагнітним розпилювачем повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання при струмі короткого замикання до 100 А.

$$I_c = \frac{21,78}{1,4} = 15,56 \text{ A}$$

Автомати струмового захисту що використовуються в робочому приміщенні мають струм спрацьовування 10А, що задовільняє дану вимогу.

Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні (I_{KZ}):

$$U_T = I_{KZ} \cdot R_0 = 21,78 \cdot 3 = 65 \text{ В}$$

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-88 (табл. 5.1) для напруги дотику 65 В час спрацювання автомату струмового захисту повинний бути менше 0,8с.

Автомати що використовуються мають струм спрацювання менше 0,2 с., що відповідає даним вимогам.

8.2.2 Освітлення робочої зони

Істотне значення для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці має забезпечення норм освітленості на робочому місці. Величина освітленості регламентується нормами Державно Будівельних Норм (ДБН) ДБН В.2.5-28-2006. Робоче приміщення належить до I групи – приміщення, у яких розрізнення об'єктів зорової роботи здійснюється при фіксованому напрямку лінії зору працюючих на робочу поверхню.

Зорові роботи, які проводяться в робочому приміщенні, належать до робіт середньої точності, IV розряд зорової роботи з найменшим розміром об'єкта розрізнення від 0,5 до 1 мм, підрозряд зорової роботи «Г».

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5-28-2006. Для загального освітлення використовують головним чином люмінесцентні лампи, що обумовлено їхніми перевагами. Для розрахунку штучного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання потоку:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot C},$$

де Φ – світловий потік; E – нормована мінімальна освітленість; K – коефіцієнт запасу; S – освітлювана площа; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення; C – коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку на розрахунковій площі; N – число світильників.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 визначаємо норму освітленості:

$$E = 300 \text{ лк}; K = 1,5; S = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}^2; Z = 1,2.$$

Необхідна кількість люмінесцентних ламп визначається по формулі:

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot C}.$$

Найбільш прийнятними для приміщення є люмінесцентні лампи ЛД (денного світла) потужністю 40 Вт. Нормальний світловий потік лампи ЛД-40 дорівнює $\Phi = 2340$ люмен (лм). Величиною i , індексом приміщення можна встановити залежність від площі приміщення й висоти підвісу:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

де $A=5\text{м}$ – довжина приміщення; $B=4\text{м}$ – ширина приміщення; H – висота підвісу;

$$h = H - h_p - h_c,$$

де $H=3,5\text{м}$ – висота приміщення; $h_p=0,8\text{м}$ – висота робочої поверхні;

$h_c=0,4\text{м}$ – висота від стелі до нижньої частини лампи;

$$h = 3,5 - 0,8 - 0,4 = 2,3 \text{ м};$$

$$i = \frac{4 \cdot 5}{2,3 \cdot (4 + 5)}.$$

Коефіцієнт використання світлового потоку на розрахунковій площі $C = 0,3$. У підсумку число світильників вийде рівним:

$$N = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,2}{2340 \cdot 0,3} = 1,5$$

Для штучного освітлення в робочому приміщенні достатньо використати 2 люмінесцентні лампи денного світла ЛД – 40, зі світловим потоком $\Phi = 2340$ лм кожна.

Для зменшення мерехтіння штучного освітлення використовується схема включення зі зсувом фаз.

8.2.3 Виробничий шум

Допустимі шумові характеристики на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях нормуються відповідно до ДСН 3.3.6.037-99. Загальний рівень звуку в лабораторії не перевищує 50 дБА .

Таблиця 8.3 — Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях

	Рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	11,5	63	25	250	500	1000	2000	4000	8000
Рівні звуку, дБА	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 та ДСН 3.3.6.037-99 захист від шуму в приміщенні, створеного на робочих місцях внутрішніми джерелами здійснюється наступними методами: зменшенням шуму в джерелі, раціональним плануванням і обладнанням робочого приміщення звукоізоляційними матеріалами. Таким чином рівень шуму не перевищує гранично - допустимий рівень, а це відповідає поставленим вимогам.

8.2.4 Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат приміщення для роботи визначається наступними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря й інтенсивністю теплового випромінювання на робочому місці, температурою поверхні.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальне й припустиме значення параметрів мікроклімату залежно від періоду року й категорії робіт. У таблиці наведені оптимальні й припустимі

значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт Іб (роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.)

Таблиця 8.4 — Оптимальні й допустимі параметри (для постійного робочого місця) мікроклімату в приміщенні

Параметри	Холодний період		Теплий період	
	оптимальні	допустимі	оптимальні	допустимі
Температура °С	21 - 23	20-24	22-24	21-28
Відносна вологість, %	60 - 40	75	60-40	60
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,2	0,2	0,3 – 0,1

8.2.5 Вимоги з охорони праці при пайці ЕРЕ і випалюванні ізоляції

Нині майже усі електромонтажні з'єднання РЕА здійснюються пайкою. Технологічний процес пайки включає випалювання ізоляції і лудіння.

Всі різновиди процесів пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища аерозолем припою і флюсу, парами різних рідин, застосовуваних для флюсу, змивки і розчинення лаків, парами соляної кислоти, газами (окис вуглецю, вуглеводні) і т.д. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються в аерозоль конденсації.

Враховуючи шкідливість початкових компонентів, що входять до складу припоїв, флюсів, миючих середовищ, і забруднення атмосфери виробничих приміщень пилом, парами і газами, для досягнення сприятливих умов праці необхідно провести комплекс наступних заходів:

а) Ділянки, на яких зосереджені операції пайки, виділяють в окремі приміщення.

б) Стіни, віконні рами, опалювальні прилади, повітропроводи мають бути гладкими і покриваються масляною фарбою світлих тонів (панелі на рівні 1,5...2 м від підлоги краще облицьовувати плиткою). Підлоги мають бути водонепроникними, мати підвищену міцність і опір стиранню і займанню, без щілин і мати ухили до трапів каналізації. На ділянках пайки їх миють після кожної зміни. Не рідше за один раз в тиждень роблять вологе прибирання усього приміщення.

в) При ручній пайці і випалюванні ізоляції в цілях захисту від поразки електричним струмом електропаяльник та електровипалювалька мають працювати від електромережі напругою не вище 42 В.

г) Прибирання устаткування робиться із застосуванням пневмоприбиральної системи. Робочі поверхні столів, ящиків для зберігання інструментів і тара у кінці зміни очищаються і обмиваються гарячим мильним розчином.

д) Використані серветки і ганчір'я після зміни повинні спалюватися, повторне їх використання не допускається.

е) Шафи для зберігання робочого одягу і особистих речей щотижня усередині і зовні обмиваються гарячою водою з милом.

ж) Експлуатація ділянок пайки, не обладнаних витяжною вентиляцією, забороняється. Вентиляційні установки повинні вмикатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення.

з) Приміщення, в яких розміщуються ділянки пайки, обладнуються відособленою приточно-витяжною вентиляцією. Приплив повітря повинен складати 95% об'єму витягу.

и) Особи, що не досягли 18-літнього віку, до постійної роботи з припоями, що містять свинець і кадмій, не допускаються.

к) Жінки, зайняті пайкою, в період вагітності і годування дітей перекладаються на роботу, не пов'язану з пайкою.

л) Усі, хто поступають на роботу мають бути проінструктовані про запобіжні заходи при поводженні з припоями і флюсами. Особлива увага при інструктажі слід приділяти питанням особистої гігієни.

Таблиця 8.5 — Клас небезпеки, ГДК та біологічна дія ШР при пайці ручним паяльником

Найменування ШР	Клас небезпеки	ГДК, мг/м ³	Біологічна дія на організм людини
Компоненти припою			
Свинець	I	0,01	Уражає всі органи та системи організму, має мулятивну здатність
Олово	III	10,0	Подразнююча (кашель, задуха)
Компоненти флюса			
Каніфоль	IV	40,0	Подразнююча та наркотична дія
Компоненти обтиральних матеріалів			
Ацетон	IV	>200,0	Подразнююча та наркотична дія.
Спирт етиловий			Послідовно уражає усі відділи центральної нервової системи,
Бензин		400	кумулятивну здатність.

8.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Основними складовими частинами ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

8.3.1 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив повинен:

- а) негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС та пожежної охорони, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- б) повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- в) організувати оповіщення людей про НС;
- г) вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- д) вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установки, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні:

- а) перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- б) вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- в) у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- г) перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- д) забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС ;
- е) організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації і ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС та пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

8.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- а) поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- б) трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- в) трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- г) ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- д) ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- е) дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів.

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС /пожежу/ здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів — обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС (пожежу), не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС (пожежу).

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам пунктів ДБН В.2.5-56-2014 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд".

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- а) у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- б) у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС /пожежу/ та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Вимоги до світлових покажчиків "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднанні.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устрою електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного — від мережі змінного струму, резервного — від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

8.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В по вибухо-пожежній небезпеці. Відповідно до ПУЕ (ДНАОП 0.00-1.32-01) клас робочих зон приміщення лабораторії по пожежонебезпеці — П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

- 1 Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.
- 2 Строге дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
- 3 Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Приміщення обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДТЛ (площа, що знаходиться під захистом одного датчика, становить 15 м²), відстань між датчиками рівна 4 м, що відповідає нормам ДБНВ 2.5-56-2014.

Відповідно до ГОСТ 12.4.009-75 й ISO 3941-77 для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е” — наявність електрообладнання під напругою) використовуються два вогнегасники вуглекислотно-брометиленові ОУБ-3. Вибір вогнегасної речовини ґрунтується на тому, що у вогні можуть опинитись електричні пристрої, що знаходяться під напругою.

Таким чином, кількість, розміщення й вміст первинних засобів гасіння пожеж цілком задовольняють всім вимогам ДСТУ 3675-98 й ISO 3941-77. Крім того, у коридорі є 2 пожежних крана і ящик з піском. Дотримано усіх заходів безпеки відповідно до ГОСТ 12.3.019-80 і НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2003 та СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 8.4 — Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

ВИСНОВКИ

1 Проведений аналіз існуючих методів і приладів неруйнівного контролю дозволив визначити найбільш універсальний метод. Для подальшого дослідження контролю дефектів вибрано ультразвуковий метод.

2 Створена математична модель дозволила визначити електричні характеристики дефектоскопу.

3 Відмінність розробленого пристрою від існуючих, полягає у тому, що представлений пристрій має нову елементну базу. Це дає ряд переваг, таких як: підвищення вірогідності контролю, зменшення габаритних розмірів та енергоспоживання, підвищення надійності роботи.

4 Проаналізувавши структурну схему було розроблено функціональну схему ультразвукового дефектоскопа. В результаті розрахунків визначено що структура та конструкція перетворювача мають вагомий вплив на характеристики визначення дефектів.

5 Приймальний тракт складається з двох основних елементів підсилювача та фільтра. В програмному середовищі Multisim проведено моделювання та дослідження фільтра. Досліджено характеристики фільтра в діапазоні частот 3,5 – 6,5 МГц. Отримані характеристики відповідають вимогам до ультразвукового дефектоскопу.

6 Проведено розрахунки акустичного тракту, що дозволило сформулювати вимоги до підсилювача сигналів. Порахувавши сумарну похибку результатів вимірювання, отримано результат що задовольняє вимогам ТЗ.

7 Ультразвуковий дефектоскоп є незамінним для багатьох галузей виробництва. В цілому ряді сфер промисловості контроль якості виділяється як самостійний технологічний процес. Процесі реєстрації дефектів дозволяє отримувати надійну і якісну продукцію.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1 Електронний посібник з дисципліни: основи зварювального виробництва [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/tf/m_ta_pfkм/2013/13-38/.
- 2 Прохоров В.І. Конспект лекцій з дисципліни «Контроль якості зварювання» / В. І. Прохоров. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010. – 169 с.
- 3 Алешин Н.П. Фізичні методи нерушійного контролю зварних з'єднань / Н.П. Алешин // М.: Машинобудівництво, 2006. — 368с.
- 4 Нездименко Д.В. Ультразвукова дефектоскопія / Д.В. Нездименко // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 32)» / Збірник тез доповідей: випуск 32 (м.Тернопіль, 16 жовтня 2018 р.). – Тернопіль. – 2018. – 156 с.
- 5 Троицкий В.А. Ультразвуковой контроль: дефектоскопи, нормативні документи, стандарти по УЗК / В.А. Троицкий – Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2006. – 221 с.
- 6 Ультразвуковий дефектоскоп [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.diagram.com.ua/list/u-zv-d.shtml/>.
- 7 Ультразвуковий дефектоскоп УД2-70 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ultracon-service.com.ua/index.php/ru/articles/item/6-ultrasonic-flaw-detector-ud2-70-article>.
- 8 Ультразвуковий дефектоскоп STARMANS DIO1000PA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ntcexpert.ru/uc/ultrazvukovoi-defektoskop/559-ultrazvukovoj-defektoskop-starmans-dio-1000-pa>.
- 9 Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц. – Київ: НТУУ «КПІ», 2009. – 431 с.
- 10 Ермолов И.Н. Розрахунки в ультразвуковій дефектоскопії / И.Н. Ермолов, А.Х. Вopilкин, В.Г. Бадалян // Короткий довідник. — Москва, 2004. – 108 с.

11 Ultrasonic time-of-flight-diffraction (TOFD) examination of butt-fusion joints of high-density polyethylene (HDPE) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.olympus-ims.com/ru/applications/ultrasonic-tofd-butt-fusion/>.

Нездименко, Д. В. РІ-371МП, 2018

ДОДАТОК А
Технічне завдання

Нездименко, Д. В. РІ-371МП, 2018

ДОДАТОК Б ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

*Нездименко Д.В., студент VI курсу
НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, м. Київ
Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури*

УЛЬТРАЗВУКОВА ДЕФЕКТОСКОПІЯ

Ультразвукова дефектоскопія - група методів дефектоскопії, заснованих на застосуванні пружних хвиль ультразвукового діапазону. Вперше метод був запропонований С.Я. Соколовим в 1928 році. Ультразвукова дефектоскопія - один з найбільш універсальних способів неруйнівного контролю, методи якого дозволяють виявляти поверхневі і глибинні дефекти тріщини, раковини, розшарування в металевих і неметалевих матеріалах (в тому числі зварних і паяних швах, клеєних багатошарових конструкціях), визначати зони корозії металів, вимірювати товщину (резонансний метод). Контроль відбувається з використанням спеціального обладнання - перетворювача і дефектоскопа.

Фізичною основою методів ультразвукової дефектоскопії є той факт, що звукові хвилі великої частоти в гомогенному тілі поширюються як спрямовані промені без значної абсорбції (особливо в металі), а на кордоні металу з повітрям дають практично повне відображення. Ультразвук дає можливість фактично необмеженого проникнення в глибину і виявлення дефектів будь-яких розмірів і при будь-якому їх розташуванні.

Частота ультразвуку

Для контролю матеріалів зазвичай використовують ультразвук в діапазоні від 0,25 до 25 МГц. Верхня межа частіше обмежується 14 МГц.

Частоту слід вибирати відповідно до завданням дослідження. Ультразвук малих частот (0,25-1 МГц) слабо розсіюється навіть в матеріалах з грубою структурою і може успішно використовуватися для контролю деталей з необробленою поверхнею. Оскільки кут розкриття пучка звукових променів

малих частот великий, вони не придатні для виявлення дрібних дефектів. У цьому випадку використовують ультразвук частоти 2 - 6 МГц. Кут розкриття пучка в цьому випадку значно менший. Промені утворюють пучок голкоподібної форми, який сильно розсіюється в межах великих кристалів в структурі, і тому їх доцільніше використовувати тільки при невеликих радіусах дії, хоча проникаюча здатність велика. Для дослідження грубо оброблених поверхонь вони можуть бути застосовані.

Складність у використанні височастотних ультразвукових хвиль також полягає в тому, що на частотах вище 6 МГц п'єзоелементи представляють собою тонкі кристалічні пластинки, які можуть легко зруйнуватися від механічного впливу.

Ультразвукова дефектоскопія - один з найбільш універсальних способів неруйнівного контролю.

Основні переваги даної групи методів:

- висока проникаюча здатність ультразвукової хвилі, що дозволяє виявляти дефекти в великогабаритних виробах (кузовах автомобілів, корпусах ядерних реакторів і т. д.);
- висока чутливість, що дозволяє виявляти дрібні дефекти;
- висока швидкість проведення контролю дозволяє використовувати даний метод в масовому виробництві;
- дешевизна і простота контролю, можливість проведення вимірювань при односторонньому доступі до деталі, можливість визначення місця розташування і розміру дефекту.

Література

1. П. Рети. Неруйнівні методи контролю. М., Машиностроение, 1972..