

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно- вимірювальних технологій

Іванов Валерій Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.6, 534.6

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Удосконалення методики і пристрою контролю технічного стану балонів для
скраплених вуглеводневих газів

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175 - Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва спеціальності)

Іванов В. І.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник

Барна Ольга Борисівна, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О.Є.Середюк

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківськ

2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут _____ інформаційних технологій _____

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень магістр

Спеціальність 175 інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТ

Середюк О.Є.

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Іванову Валерію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення методики і пристрою контролю технічного стану балонів для скраплених вуглеводневих газів

керівник роботи Барна Ольга Борисівна, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від “03” грудня 2024 року № 787/7

2. Строк подання студентом роботи 13 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: балони 5л, 12л, 27л на тиск 1,6 МПа, призначені для транспортування і зберігання скраплених вуглеводневих газів (пропану, бутану та їх суміші), товщина стінки балону 3 мм, доступ до об'єкту контролю – односторонній

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу 2. Розроблення методики і пристрою контролю технічного стану балонів для скраплених вуглеводневих газів. 3. Регламентування контролю технічного стану балонів для скрапленого газу і метрологічний аналіз вузлів приладу для контролю якості балонів

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

МР.МТТм-21.00.00.001– Зовнішній вигляд балону для скрапленого газу і технічні характеристики

МР.МТТм-21.00.00.002 – Алгоритм методу контролю і структурна схема блоку обробки акустичного контролю

МР.МТТм-21.00.00.003 – Метод електромеханічних аналогій при акустичному контролі балонів

МР.МТТм-21.00.00.004 – Конструктивні особливості балонів з дефектами

МР.МТТм-21.00.00.05 – Результати проведених досліджень

МР.МТТм-21.00.00.06 - Схема нагромадження похибок блоку збудження акустичних коливань.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормо-контроль	Лютак З.П., професор кафедри		

7. Дата видачі завдання 15.10.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу	15.10.–1.11.2024р.	
2.	Розроблення методики і пристрою контролю технічного стану балонів для скраплених вуглеводневих газів	02.11.–19.11.2024р.	
3.	Регламентування контролю технічного стану балонів для скрапленого газу і метрологічний аналіз вузлів приладу для контролю якості балонів	20.11–28.11.2024р.	
4.	Висновки по роботі	29.11–30.11.2024р.	
5.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	01.12.–13.12.2024р.	

Студент

_____ (підпис)

Іванов В.І

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Барна О. Б.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Магістерська робота: 82с., 13 рис, 2 табл, 2 додатки, 18 джерел, 5 аркушів креслень.

Метою дослідження є розробка та обґрунтування нових методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу, що забезпечують високу точність, надійність і швидкість виявлення дефектів, а також дозволяють знизити витрати на діагностику, підвищити безпеку експлуатації та автоматизувати процеси перевірки.

Метод дослідження – математичне корювання акустичних десонансних явищ в балонах і розрахунок похибок вузлів збудження і вимірювання акустичних коливань.

Об'єкт дослідження: сталеві балони для зберігання та транспортування скрапленого газу.

Предмет дослідження: акустичні характеристики балонів та зміни цих характеристик у разі наявності дефектів.

Здійснений аналіз існуючих методів контролю газових балонів. Вибрана обґрунтована нова методика акустичного контролю газових балонів. Здійснене проектування пристрою для її реалізації, зокрема розроблено електричну принципову схему блоку збудження акустичних коливань, а також проведено розрахунок деяких окремих елементів даної схеми. В проєкті розглянуто регламентування операцій по контролю технічного стану балонів та розраховано метрологічні характеристики обладнання.

СТАЛЕВИЙ БАЛОН, СКРАПЛЕНИЙ ГАЗ, ДЕФЕКТ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ.

Abstract

Master's thesis: 82 p., 13 figures, 2 tables, 2 appendices, 18 sources, 5 sheets of drawings.

The purpose of the study is to develop and substantiate new methods for monitoring the technical condition of liquefied gas cylinders that provide high accuracy, reliability and speed of defect detection, as well as reduce diagnostic costs, improve operational safety and automate inspection processes.

Research method: mathematical correlation of acoustic desonance phenomena in cylinders and calculation of errors of excitation units and measurement of acoustic vibrations.

Object of study: steel cylinders for storage and transportation of liquefied gas.

Subject of research: acoustic characteristics of cylinders and changes in these characteristics in the presence of defects.

The existing methods of gas cylinder inspection were analysed. A well-grounded new method of acoustic inspection of gas cylinders was selected. The design of the device for its implementation was carried out, in particular, the electrical circuit diagram of the acoustic oscillation excitation unit was developed, and some individual elements of this circuit were calculated. The project considers the regulation of operations to control the technical condition of cylinders and calculates the metrological characteristics of the equipment.

STEEL CYLINDER, LIQUEFIED GAS, DEFECT, TECHNICAL
CONDITION, NON-DESTRUCTIVE TESTING

Зміст

ВСТУП.....	5
1 Аналіз методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу.....	7
1.1. Види та основні параметри балонів для скраплених вуглеводневих газів, як об'єкта неруйнівного контролю.....	7
1.2 Види та методи контролю балонів для скрапленого газу.....	12
1.2.1 Візуальний контроль.....	12
1.2.2 Контроль проникаючими речовинами.....	13
1.2.3 Гідравлічний контроль.....	14
1.2.4 Магнітний контроль.....	15
1.2.5 Ультразвуковий контроль.....	19
1.2.6 Радіаційний контроль.....	24
1.3 Особливості контролю технічного стану балонів для скрапленого газу..	25
Висновки до розділу 1 і постановка задачі на дипломне проектування.....	28
2 Розроблення методики і пристрою контролю технічного стану балонів для скраплених вуглеводневих газів.....	30
2.1 Вибір та обґрунтування методу для контролю якості газових балонів.	30
2.2 Обґрунтування умов дослідження газових балонів акустичним методом	35
2.3 Розробка структурної схеми методу.....	38
2.4 Проектування та розрахунок основних блоків.....	41
2.4.1 Проектування пристрою акустичного контролю газових балонів	41
2.4.2 Розрахунок електронного ключа та електромагніту.....	56
2.4.3 Розробка друкованої плати.....	60
Висновки до розділу 2.....	63

3 Регламентування контролю технічного стану балонів для скрапленого газу і метрологічний аналіз вузлів приладу для контролю якості балонів.. 65

3.1 Основи і порядок контролю технічного стану балонів.....	65
3.2 Аналіз джерел невизначеностей розробленої установки.....	69
3.3 Опис вибраного методу метрологічного аналізу блоку збудження акустичних коливань.....	71
3.4 Метрологічний аналіз складових похибок вимірювального блоку.....	73
3.5 Розрахунок сумарної похибки.....	74
Висновки до розділу 3.....	76
Висновки.....	78
Перелік посилань на джерела.....	80

ВСТУП

Контроль технічного стану балонів для скрапленого газу є однією з ключових задач у забезпеченні безпеки, надійності та ефективності експлуатації обладнання, яке широко використовується в промисловості, сільському господарстві, транспорті та побуті.

Актуальність цієї роботи зумовлена наступними факторами:

1. **Безпека експлуатації:** Балони для скрапленого газу працюють під високим тиском, що створює потенційну загрозу вибуху або витоку газу в разі дефектів. Несвоєчасне виявлення таких дефектів, як тріщини, корозія чи механічні пошкодження, може призвести до катастрофічних наслідків, включаючи людські жертви, матеріальні збитки та екологічні проблеми.

2. **Зростання використання скрапленого газу:** З кожним роком збільшується кількість об'єктів, що використовують скраплений газ як паливо, зокрема у транспортних засобах, опалювальних системах та інших енергетичних установках. Це вимагає надійного моніторингу технічного стану балонів для забезпечення стабільної експлуатації.

3. **Регуляторні вимоги:** Згідно з міжнародними та національними нормами, балони для скрапленого газу повинні проходити регулярний технічний огляд і сертифікацію. Недотримання цих вимог може призвести до штрафів, зупинки роботи обладнання та підвищення ризиків для користувачів.

4. **Економічний аспект:** Використання передових методів контролю дозволяє зменшити втрати, пов'язані з виходом із ладу або заміною балонів, продовжити їхній термін служби та забезпечити економію коштів на обслуговуванні обладнання.

Таким чином, виконання роботи з розробки, вдосконалення та впровадження ефективних методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу має важливе практичне та соціально-економічне значення,

сприяє підвищенню безпеки, зменшенню ризиків і забезпеченню стабільної роботи газових систем.

Метою дослідження є розробка та обґрунтування нових методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу, що забезпечують високу точність, надійність і швидкість виявлення дефектів, а також дозволяють знизити витрати на діагностику, підвищити безпеку експлуатації та автоматизувати процеси перевірки.

Для досягнення мети дослідження необхідно виконати такі основні завдання:

Провести аналіз існуючих методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу, їх переваг, недоліків і обмежень, зокрема акустичного методу, та визначити можливості для його вдосконалення.

Розробити математичні моделі, які описують вільні коливання балонів з урахуванням різних видів дефектів (дірки, тріщини, корозія тощо), та провести теоретичне моделювання змін характеристик акустичного відгуку залежно від типу і розміру дефекту.

Провести серію експериментів для вивчення акустичного відгуку балонів із різними видами дефектів, зокрема в лабораторних і промислових умовах, і перевірити достовірність теоретичних розрахунків.

Розробити структурну схему приладу для контролю технічного стану та розрахувати його основні блоки, що забезпечить високу продуктивність перевірки балонів і мінімізацію людського фактора.

Здійснити метрологічний аналіз вдосконаленого акустичного методу.

Об'єкт дослідження: сталеві балони для зберігання та транспортування скрапленого газу.

Предмет дослідження: акустичні характеристики балонів та зміни цих характеристик у разі наявності дефектів.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БАЛОНІВ ДЛЯ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ

1.1. Види та основні параметри балонів для скраплених вуглеводневих газів, як об'єкта неруйнівного контролю

Балони для скраплених вуглеводневих газів виготовляються з сталі із запірними пристроями об'ємом 5, 12, 27 і 50 л на тиск 1,6 МПа, призначені для транспортування і зберігання скраплених вуглеводневих газів (пропану, бутану та їх суміші).

Балони класифікують [1]:

- за типом:

1 - балони без обичайки з клапаном;

2 - балони з обичайкою і клапаном*;

3 - балони з обичайкою і вентиляем;

4 - балони без обичайки з вентиляем;

- за виконанням**;

В - з коміром;

К - з ковпаком;

Р - з ручкою (ручками);

- за різьбою горловини:

W 27,8;

W 19,2;

M 22x1,5-6H.

Основні параметри та розміри балонів повинні відповідати наведеним на рис. 1.1 і в табл. 1.1.

Таблиця 1.1-Розміри балонів, мм.

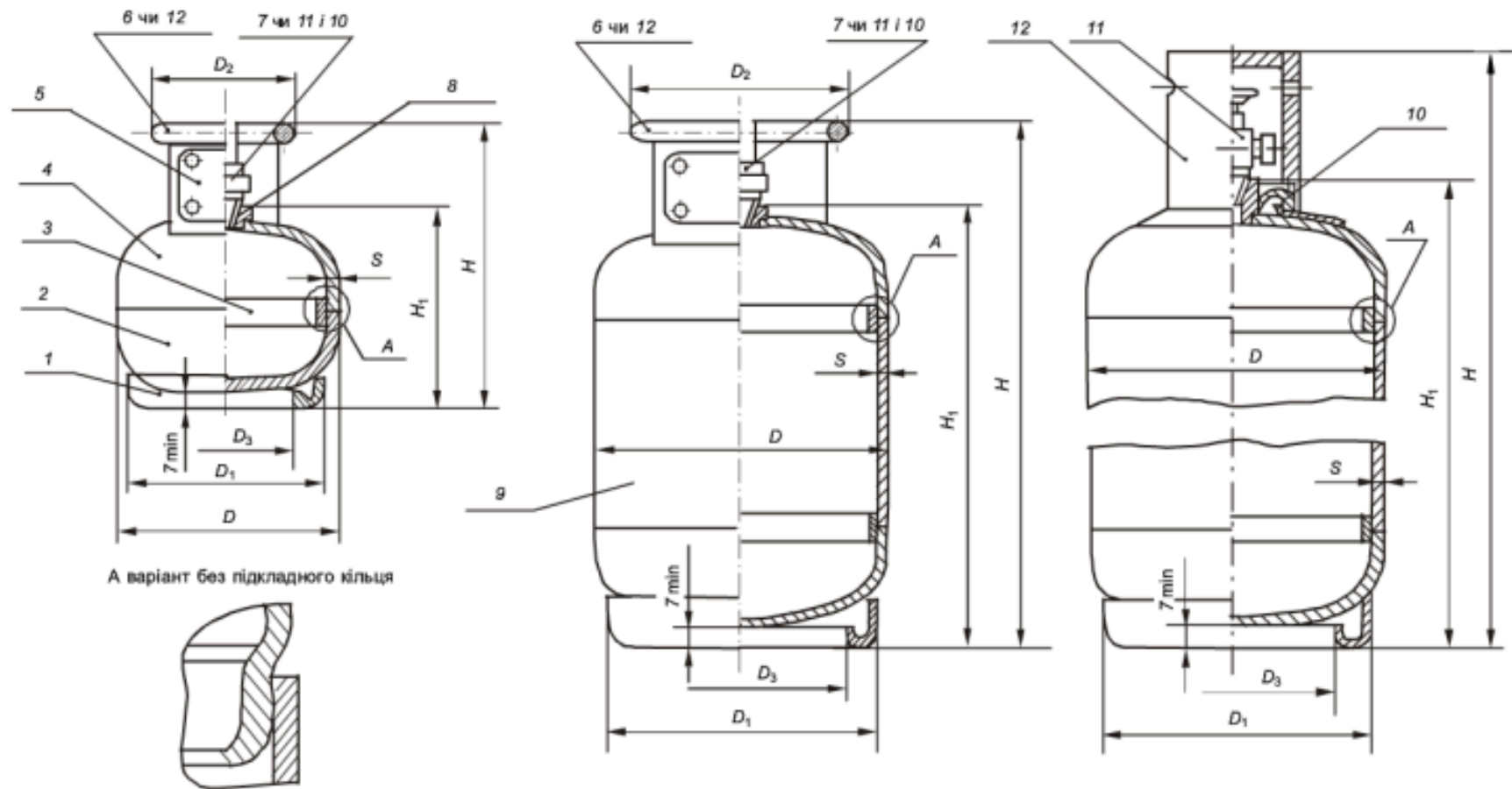
Розміри у міліметрах

Об'єм, л, не менше	S	D		D ₁		D ₂		D ₃		H ₁ , не більше	H, не більше	Маса скрапленого газу (пропану), кг, не більше	Маса порожнього балона, кг							
		номін.	гран. відхил	номін.	гран. відхил	номін.	гран. відхил	номін.	гран. відхил				номін.	гран. відхил						
5	2,0	222	+2,0	200	±1,45	155	+2,0	160	+2,5	210	295	2,0	4,0	±0,40						
12	2,2	250	+2,5							270	292	299	230	+2,9	400	485	5,0	6,0	±0,60	
															340	425		6,5	±0,60	
27	3,0	299	+3,0	270	±1,60	222		230	+2,9	500	590	11,4	14,5	±1,40						
				292											270	292	510	610	13,0	±1,3
				299																
	2,5	292	+2,9	292	840	980	21,2	22,0	±2,20											
50	2,5	292	+2,9	292	876	1015				19,0	±1,90									

Примітка 1. Зовнішній діаметр (D) балона наведений без урахування випуклості зварних швів.

Примітка 2. Маса порожнього балона наведена з урахуванням маси нанесеної емалі, без урахування маси запірної пристрою, ковпака і захисних кілець.

Примітка 3. Маса скрапленого газу (пропану) під час виготовлення балона не контролюється і дана для маркування на табличці.



1 - башмак ; 2 - днище нижнє ; 3 - кільце підкладочнє ; 4 - днище верхнє ; 5 - табличка ; 6 - ворітник ; 7 - клапан ; 8 - горловина ; 9 - обичайка; 10 - кільце горловини; 11 - вентиль; 12 - ковпак

Рисунок 1.1 - Балони для скраплених вуглеводневих газів об'ємами 5л, 12л та 27 л

Допуски форми і розміщення поверхонь при виготовленні балонів та їх складових частин повинні бути не більші чим вказані в табл. 1.2

Табл. 1.2 - Допуски форми і розміщення поверхонь при виготовленні балонів та їх складових частин, мм

Найменування відхилення	Норма для балону об'ємом , л		
	5	12	27
Зміщення кромок в стикових зварних з'єднаннях: повздовжніх кільцевих		0,2	0,3
	1,2		1,3
Відхилення від круглості обичайок і днищ балону в зборі	1,0		1,5
Відхилення профілю повздовжнього січення еліптичної частини днища від геометричної форми еліпса	2,0		3,0
Відхилення від площинності торцьової поверхні днища	1,0		
Зстонщення фактичної товщини стінки днищ	0,2		0,3
Відхилення від перпендикулярності циліндричної частини балону відносно опорної площини башмака на довжині 100 мм	2,0		
Відхилення від співвісності ворітника і балону	2,0		-
Відхилення від співвісності різьби горловини і верхнього днища	2,0		

Днища балонів повинні бути еліптичної форми. Зовнішня висота еліптичної частини повинна бути не менше 55 мм для балонів 5 і 12 л і висота циліндричної частини днищ повинна бути не менше 15 мм.

На зовнішніх та внутрішніх поверхнях балону не допускаються раковини, закати, тріщини та глибокі риски, якщо вони виводять товщину стінки балону за межі допустимих мінусових відхилень на товщину листа.

Деталі балона, які знаходяться під тиском, повинні бути виготовлені з листового сталевого прокату групи міцності ОК370В, 5-категорії за нормованими характеристиками, III групи оброблення поверхні, з гарантією зварюваності згідно з ДСТУ 2834 (ГОСТ 16523). Сортамент листової сталі повинен відповідати ГОСТ 19903 чи ГОСТ 19904

Горловину потрібно виготовляти із сталей марок Ст3сп чи Ст3пс згідно з ДСТУ 2651 (ГОСТ 380) чи зі сталі марки 20 згідно з ГОСТ 1050.

Матеріали для деталей, зварюваних з деталями балона, які перебувають під тиском, повинні бути сумісні за зварюваністю.

Балон з запірним пристроєм повинен бути міцним та щільним. Ознаки розриву, підтікання, сльозіння, пітніння та видимі залишкові деформації не допускаються.

Руйнівний тиск для балону повинен бути не менше 5 МПа. Шви зварних з'єднань, що знаходяться під тиском повинні бути міцними та щільними. Підтікання, потіння та видимі залишкові деформації в зварювальних з'єднаннях не допускаються. Дозволяється при виготовленні виправляти дефекти зварювальних з'єднань не більше разу на одному місці.

Показники механічних властивостей стикових зварних з'єднань обичаєк та днищ повинні бути [1]:

- тимчасовий опір розриву - не менше 380 Н\ мм.кв
- кут загину - не менше 100 град

Зовнішні поверхні балону пофарбовані атмосферостійкою емаллю червоного кольору [1].

1.2 Види та методи контролю балонів для скрапленого газу

Комплекс дефектоскопії балонів високого тиску включає наступні основні методи неруйнівного контролю:

- візуальний контроль;
- проникненням речовин;
- магнітопорошковий контроль;
- ультразвуковий контроль;
- радіаційний контроль;
- гідравлічний контроль.

1.2.1 Візуальний контроль

Це один із методів неруйнівного контролю (НК), що базується на оцінці стану об'єкта за допомогою зору, іноді із застосуванням спеціального обладнання (лупи, ендоскопи, дзеркала, камери тощо). Його мета – виявити дефекти або невідповідності в матеріалах, зварних з'єднаннях, покриттях, конструкціях або виробих, які можуть впливати на їхню міцність, безпеку та функціональність. Візуальний контроль виконують у відповідності з [2].

Перед проведенням контролю необхідно очистити поверхню балону від забруднень. Візуальний контроль проводиться як із зовнішнього, так і з внутрішнього боку об'єкта. Огляд зовнішньої поверхні об'єкта проводиться неозброєним оком або з використанням лупи із збільшенням від 3 до 10. При контролі внутрішньої поверхні використовують ендоскоп.

Контроль проводиться для виявлення таких дефектів:

- тріщин;
- подряпин;
- корозії;
- вмятин;
- непроварів у зварних швах;
- оцінка геометричних параметрів;

- вимірювання відхилень від заданих розмірів чи форм;
- перевірка правильності складання конструкції

Переваги методу полягають у простоті виконання, невисокій вартості, можливості застосування на будь-якому етапі виробництва або експлуатації.

Цей метод є ефективним для виявлення зовнішніх дефектів розмірами від 0.03-0.08 мм [2,3].

1.2.2 Контроль проникаючими речовинами

Контроль із використанням проникаючих речовин базується на здатності індикаторних рідин проникати у порожнини поверхневих і наскрізних дефектів об'єкта завдяки капілярному ефекту. Індикаторні сліди, які утворюються внаслідок цього процесу, можна виявити візуально або за допомогою спеціальних перетворювачів.

Основні етапи методу:

Підготовка поверхні – об'єкт очищається від забруднень, наприклад, шляхом механічної обробки (піскоструминної, шліфування, полірування) або хімічної, електрохімічної чи ультразвукової очистки.

Нанесення пенетранта – на поверхню об'єкта наносять індикаторну рідину, яка під дією капілярних сил заповнює дефекти.

Видалення надлишку пенетранта – надлишок рідини забирається тканиною, розчинником або промиванням.

Нанесення проявника – проявник розпилюють або наносять щіткою, що дозволяє зробити дефекти помітними за рахунок яскравих індикаторних слідів.

Виявлення дефектів – проводиться візуально або за допомогою оптичних чи фотографічних засобів.

Фінальне очищення – видаляють залишки проявника та пенетранта шляхом протирання, промивання або інших способів [3].

Способи заповнення дефектів:

капілярне;
вакуумне;
компресійне (під тиском);
ультразвукове (з використанням ультразвукового поля);
деформаційне (вплив звукових коливань або статичного навантаження).
Переваги та недоліки:

Метод є високоточним і підходить для виявлення невидимих чи слабовидимих поверхневих і наскрізних дефектів, а також дозволяє визначати їхню протяжність і орієнтацію. Основним недоліком є його низька продуктивність через тривалість процесу.

1.2.3 Гідравлічний контроль

Гідравлічний контроль – це метод перевірки цілісності та герметичності балонів високого тиску шляхом створення в них надлишкового тиску за допомогою рідини, зазвичай води. Метою методу є виявлення тріщин, протікань, пористості, деформацій або інших дефектів, які можуть знижувати безпеку використання балона.

Основні етапи проведення.

Підготовка балона, що включає зовнішній огляд та очищення від забруднень; перевірку вентилів та з'єднувальних елементів.

Далі балон заповнюється рідиною, переважно водою, оскільки вода не стискається, що робить випробування безпечнішим у разі руйнування балона.

Наступним етапом є створення тиску. За допомогою гідравлічного насоса в балоні створюється тиск, який перевищує робочий (зазвичай у 1,5 рази) і утримується протягом певного часу.

Оцінка результатів - виявляються протікання, зміни форми балона або інші порушення.

Після випробування перевіряється, чи повертається балон до початкових розмірів (відсутність залишкових деформацій).

Гідравлічні випробування регламентуються відповідними технічними стандартами та нормативними документами, такими як ДСТУ EN ISO 6406 – періодична перевірка сталевих балонів; ДСТУ EN ISO 18119 – перевірка балонів із композитних матеріалів; Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском (ПБЕП) [5,6].

Можна зазначити такі переваги методу:

- безпека: використання рідини знижує ризик вибуху у разі руйнування балона.

- простота: обладнання для випробувань є досить доступним і не вимагає складних процедур.

- універсальність: застосовується до балонів різних матеріалів (сталь, композити) та розмірів.

- висока надійність: дозволяє перевірити герметичність і здатність балона витримувати тиск.

До недоліків методу можна віднести:

- тривалість: процес займає більше часу порівняно з іншими методами.

- водяні залишки: після випробувань балон необхідно ретельно осушувати, щоб уникнути корозії.

- можливість пошкодження: за неправильного виконання випробувань або надлишкового тиску балон може отримати деформації.

Також метод не дозволяє виявити дефекти, які не проявляються під впливом рідини (наприклад, мікротріщини на внутрішніх стінках).

Гідравлічний метод є надійним і широко застосовуваним для перевірки балонів високого тиску, особливо в промислових умовах.

1.2.4 Магнітний контроль

Найбільш поширеним у магнітних методів контролю при контролі балонів ВТ є магнітопорошковий контроль [2,4].

Це пов'язано з його високою чутливістю до поверхневих і підповерхневих дефектів, простотою, універсальністю і наглядністю представлення результатів контролю.

В основу методу покладено здатність металу намагнічуватися під дією прикладеного магнітного поля. Джерелами магнітних полів при МПД служать постійні магніти, електромагніти і провідники, по яким тече струм. Будь-яке однорідне по магнітним властивостям феромагнітне тіло намагнічується в магнітному полі таким чином, що величина магнітної індукції в кожній точці січення тіла однакова, тобто густина і напрям магнітних силових ліній однакова в кожному малому об'ємі тіла. Магнітне поле, яке має такий характер, називається однорідним. Якщо феромагнітне тіло помістити в магнітне поле, то в цьому тілі виникає магнітна індукція, а така магнітна проникність феромагнітної речовини значно перевищує магнітну проникність навколишнього повітря, то магнітна індукція в середині речовини буде значно більше магнітної індукції в повітрі. Якщо при цьому у виробі є дефекти (флокени, тріщини, надриви, включення неферомагнітних речовин і др.), тобто ділянки, які мають різну магнітну проникність, то магнітна індукція в такому виробі також буде неоднорідною. В тих ділянках виробу, де дефекти виходять на по верхню, магнітний потік розсіюється. Характер магнітного розсіювання залежить від напруженості магнітного поля і магнітної проникності матеріала (рис. 1.2), розмірів виробу і його форми характеру і глибини знаходження дефекту, нанесення магнітної суспензії; зняття дефектограми; розбраковуку; розмагнічування.

Поверхня балона повинна бути очищена від окалини, масел та іншого бруду.

Поверхню балона перед контролем обезжирюють, якщо контроль проводять з використанням водної магнітної суспензії і просушують, якщо контроль проводять сухим способом.

Контроль балонів проводять тільки в прикладеному полі шляхом намагнічування локальних ділянок виробу за допомогою електродів

(циркулярне намагнічування) і портативного електромагніта (повздовжнє намагнічування) постійним та випрямленим пульсуючим струмом.

Наносити магнітний порошок на контрольований виріб можна двома способами: сухим і мокрим.

В першому випадку для знаходження дефектів використовується сухий магнітний порошок, в - другому випадку використовують магнітну суспензію (зважений стан магнітного порошку в дисперсійному середовищі). Результати контролю оцінюють по наявності на поверхні об'єкта валика магнітного порошку, видимого неозброєним оком або за допомогою оптичних засобів. Чіткий нерозпилившийся валік свідчить про дефект, який виходить на поверхню, розпилений валік - про підповерхневий дефект. Довжина валика дорівнює протяжності дефекту з похибкою, яка рівна ширині валика. Після зняття дефектограми (за допомогою прозорої клейкої стрічки) виріб розмагнічують. Цей процес вводиться до періодичної зміни величини і напрямку магнітного поля, в якому знаходиться виріб, з поступовим зменшенням цього поля до нуля [3].

При магнітно-порошковій дефектоскопії створюється магнітне поле розсіювання над дефектом. Утворення магнітного поля розсіювання пояснюється тим, що дефект, який представляє собою порожнину, яка заповнена повітрям, або іншою немагнітною речовиною, утворює різкий локальний опір магнітному потоку, внаслідок чого лінії магнітної індукції частково витісняються з січення магнітопровода, обходять дефект і частина з них проходить через повітря над ним. Над краями дефекту виникають магнітні полюси, які утворюють магнітне поле розсіювання (рис. 1.3). Якщо в районі поля розсіювання знаходиться магнітний порошок, то він буде притягуватись до місця виходу і входу магнітних ліній розсіювання як до полюсів магніту і зафіксує наявність дефекту.

Контроль МПД включає наступні операції:

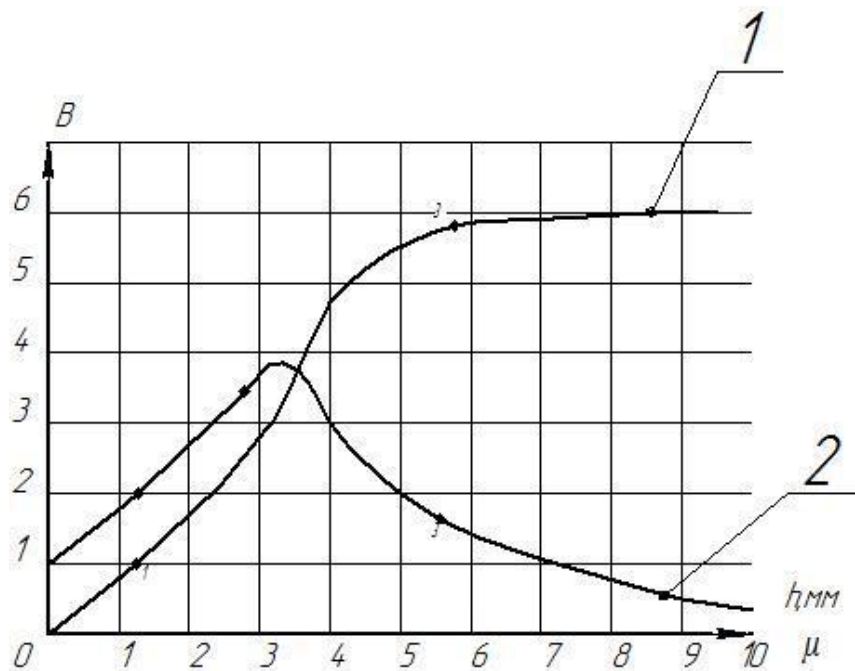
- підготовку поверхні до контролю;
- намагнічування;

нанесення магнітної суспензії; зняття дефектограми; розбраковку; розмагнічування.

Поверхня балона повинна бути очищена від окалини, масел та іншого бруду.

Поверхню балона перед контролем обезжирюють, якщо контроль проводять з використанням водної магнітної суспензії і просушують, якщо контроль проводять сухим способом.

Контроль балонів проводять тільки в прикладеному полі шляхом намагнічування локальних ділянок виробу за допомогою електродів (циркулярне намагнічування) і портативного електромагніта (повздовжнє намагнічування) постійним та випрямленим пульсуючим струмом.



1 - Розсіювання магнітного поля без наявності дефекту;

2 - Розсіювання магнітного поля з дефектом в матеріалі;

B - індукція магнітного поля, Тл;

μ - магнітна проникність матеріалу, H/A^2

Рисунок 1.2. - Залежність характеру магнітного розсіювання від напруженості магнітного поля і магнітної проникності матеріалу

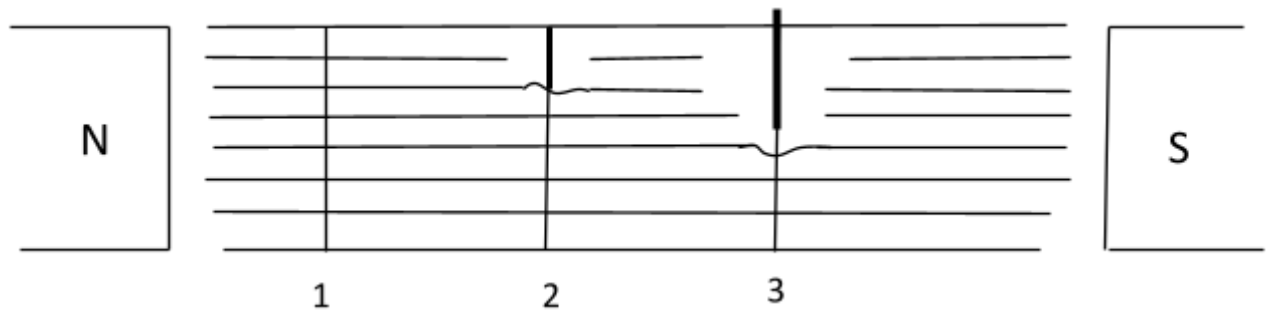


Рисунок 1.3 - Загальний вигляд розсіювання магнітного поля

Недоліком цього методу є низька продуктивність при контролі великої кількості балонів ВТ і значної витрати часу.

1.2.5 Ультразвуковий контроль

Ультразвуковий контроль [7,8] базується на явищах, пов'язаних з проходженням (поглинанням, розсіюванням) і відбиттям ультразвукових коливань від внутрішніх несучільностей в матеріалах. УЗК дозволяє знаходити внутрішні об'ємні і площинні дефекти типа тріщин, раковин, пористості.

Луноімпульсний метод (метод лунолокації), який базується на посилянні в об'єкт коротких імпульсів УЗК та прийомі відбитих безпосередньо від дефекту сигналів.

Ознакою дефекту є поява луносигналу на екрані дефектоскопа. Цей метод знайшов найбільше розповсюдження на практиці завдяки високій чутливості, простоті реалізації та універсальності (1.4а).

Дзеркально - тіньовий метод призначений для контролю виробів з плоско паралельними та коаксіальними поверхнями. Можна використовувати один перетворювач. Признаком дефекту є зменшення амплітуди даного сигналу (рис. 1.4б).

Метод вільних коливань або спектральний метод базується на аналізі спектра частот власних коливань виробу, який вібрує після удару по ньому. Аналіз спектра проводиться або на слух, або за допомогою спеціальної

апаратури, метод успішно використовують для оцінки пружних констант матеріалів шляхом збудження вільних коливань в зразку певної форми і розмірів (рис. 1.4 в).

Резонансний метод дефектоскопії і товщинометрії базується на збудженні і аналізі резонансних коливань в досліджуваному об'ємі виробу. По резонансним частотам визначають товщину виробу. На наявність дефекту вказує занижені у порівнянні з номінальним значенням товщини, послаблення або зникнення резонансних піків наосцилоскопічному індикаторі (рис. 1.4 д).

Метод акустичної емісії базується на реєстрації пружних хвиль, які виникають в момент утворення і розвитку тріщин (при гідравлічному контролі). Кількість сигналів, які реєструються за одиницю часу характеризують інтенсивність процесу утворення тріщин. По часу приходу сигналів від одного джерела до кожного приймача можна визначати координати тріщин.

Найбільш поширеним методом ультразвукової дефектоскопії для контролю балонів ВТ є луноімпульсний метод.

З однієї сторони виробу вводять пружні коливання за допомогою роздільно-суміщених перетворювачів (рис. 1.4 є). Зондуючий імпульс посиляють в ділянку виробу, яка контролюється, один за одним через певні проміжки часу. Періодом імпульсів називають час, який пройшов від початку дії одного імпульсу до початку дії наступного.

Зондуючий імпульс УЗК, пройшовши через товщу матеріалу, відбивається від протилежної поверхні виробу і, повертаючись, частково потрапляє на п'єзоелемент пошукової головки. На екрані ЕПТ виникає донний імпульс 5.

При наявності дефекту 3 імпульс УЗК відбивається від нього раніше, ніж від протилежної поверхні деталі. Між початковим 4 і донним імпульсами виникає проміжний імпульс 6. Якщо дефект повністю перекриває шлях УЗ пучку, то на екрані ЕПТ буде спостерігатися тільки початковий імпульс і імпульс від дефекту (рис. 1.4, е).

Прозвучування з використанням нормального шукача дозволяє визначити тільки глибину H залягання дефекту у відповідності з виразом :

$$H = Ct/2, \quad (1.1)$$

де t - час проходження ультразвукового імпульсу до дефекту і назад.

Наклонний шукач дозволяє визначити не тільки глибину залягання дефекту H , але і відстань до нього від центра випромінювання шукача B , тобто встановлює місце знаходження дефекту координати відбиваючої поверхні визначаються :

$$H=r \cdot \cos J = C_t \cdot t/2 \cdot \cos J = [C_L(T^{-2} t_n)] / \cos J, \quad (1.2)$$

$$L=r \cdot \sin J = C_t \cdot t/2 \cdot \sin J = [C_L(T^{-2} t_n)] / \sin J, \quad (1.3)$$

де J - кут розповсюдження проміння УЗК в матеріалі;

T - час, за який імпульс УЗК проходить відстань від випромінювача до дефекту і назад;

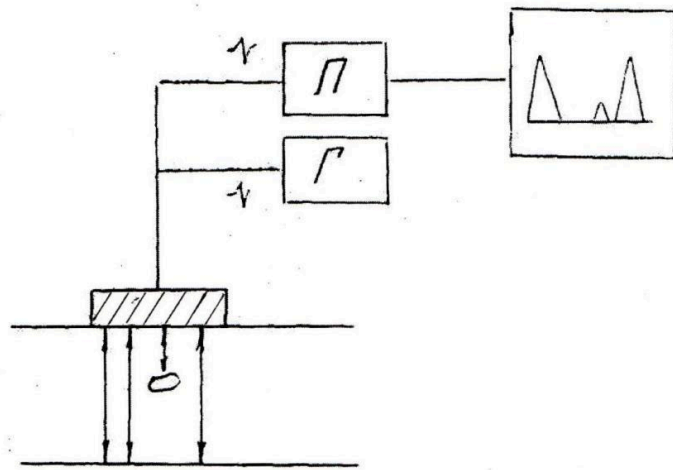
t_n - час проходження імпульсу УЗК в призмі шукача. Ці співвідношення показують, що вимірювання координат при відомих C_t , t_n і J зводиться до визначення часу T .

До переваг УЗК відносяться:

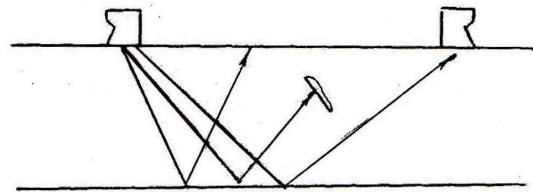
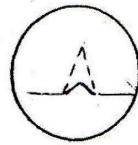
- Висока чутливість, яка дозволяє виявляти дрібні дефекти.
- Велика проникаюча здатність, яка дозволяє знаходити внутрішні дефекти.
- Можливість визначення місця і розмірів дефекту.
- Практично миттєва індикація дефектів, яка дозволяє автоматизувати контроль
- Простота, повна безпека роботи оператора.

Недоліки цього метода наступні.

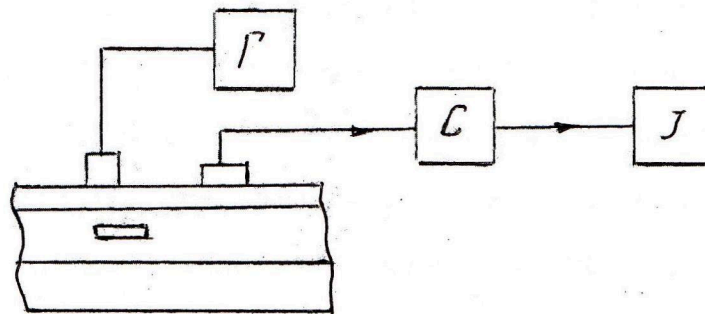
- Необхідність розробки спеціальної методики контролю, яка зв'язана з складною формою балона.
- Необхідність високої чистоти обробки поверхні об'єкта.
- Низька продуктивність.



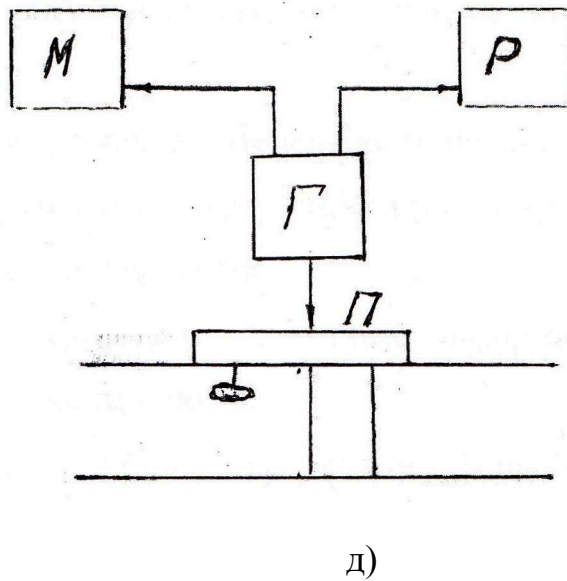
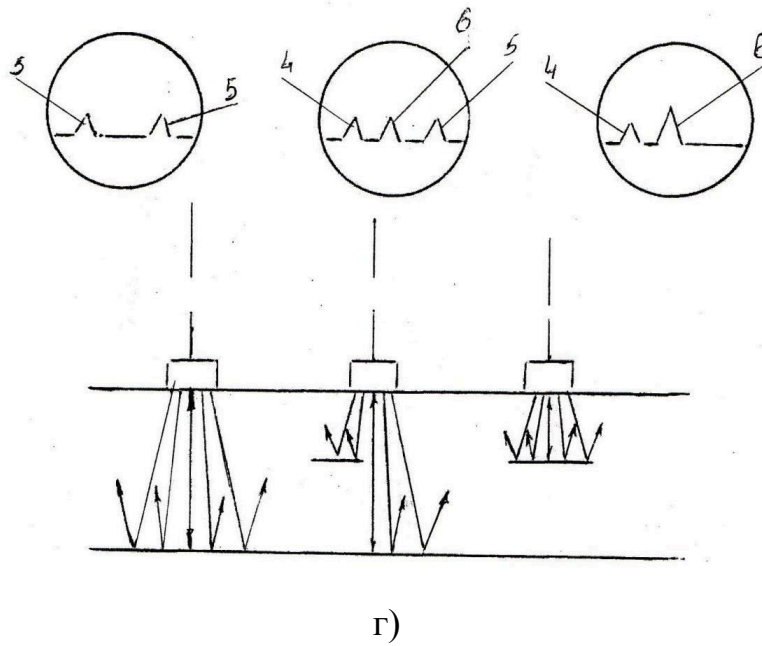
a)



б)



B)



Г – генератор, І – індикатор, Р - реєстратор резонансу

С - спектроаналізатор М - модулятор частоти П - перетворювач

а - луноімппульсний метод; б - дзеркально-тіньовий метод; в - метод вільних коливань; г - метод акустичної емісії; д - резонансний метод

Рисунок 1.4 - Види ультразвукового контролю

1.2.6 Радіаційний контроль

Радіаційний контроль проводиться з метою виявлення в зварних з'єднаннях внутрішніх дефектів (тріщин, шлакових включень) [3,4].

Радіаційна дефектоскопія базується на реєстрації і аналізу іонізуючого випромінювання після його взаємодії з об'єктом контролю.

При проходженні випромінювання через різні ділянки об'єкта воно послаблюється по різному:

- в більш високій степені - в місцях більших товщин і більш суцільних ніж основний матеріал, включень;
- в меншій степені - в місцях, де товщина і щільність матеріалу менше (рис. 1.5).

Таким чином, розподіл інтенсивності по січенню пройшовшого об'єкт пучка випромінювання несе інформацію про внутрішню будову об'єктів, або має радіаційне зображення об'єкта.

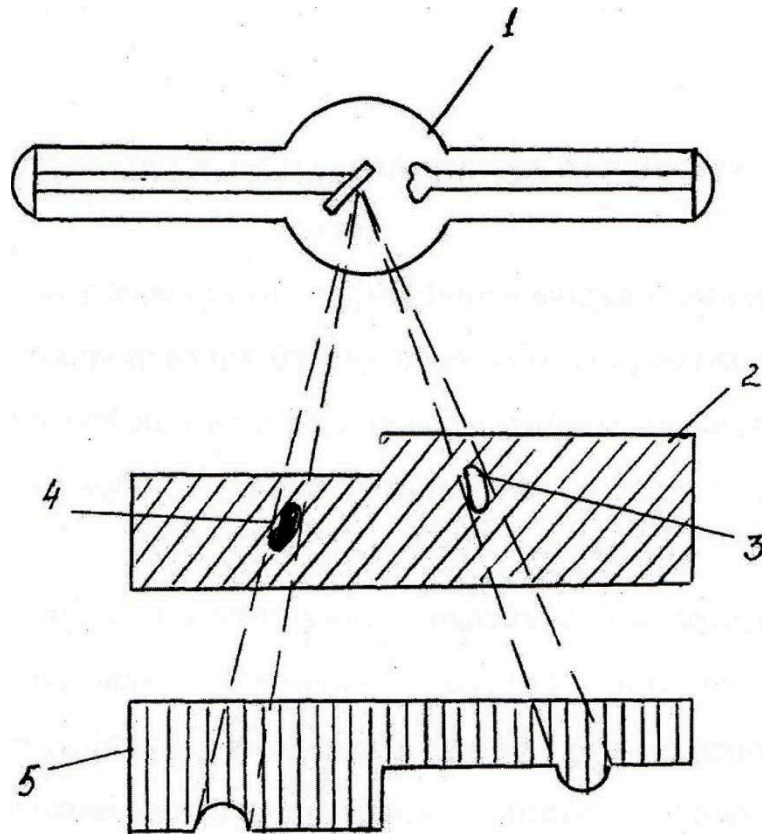
За способом отримання первинної інформації розрізняють наступні методи радіаційного контролю:

Радіографічний метод, при якому радіаційне зображення об'єкта проектується на радіографічну плівку.

Аналізуючи зображення на радіографі, роблять заключення про якість об'єкта контролю.

Це самий розповсюджений метод радіаційної дефектоскопії, так як він відрізняється високою чутливістю, простотою і наявністю і документального підтвердження результатів контролю. Але до недоліків методу слід віднести низьку продуктивність і дороговизну методу.

Радіоскопічний метод базується на перетворенні радіаційного зображення контрольованого об'єкта в світлотіньовому зображенні на екрані відеоконтрольного пристрою. Продуктивність цього методу в 3-10 разів вище продуктивності радіографічного контролю, але чутливість до дефектів в 2 рази нижче.



- | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|---|--------------------|
| 1 | - джерело випромінювання | 3 | - раковина |
| 2 | - об'єкт контролю | 4 | - щільне включення |
| 5 - еюра інтенсивності випромінювання | | | |

Рисунок 1.5. - Радіаційний контроль

Крім цього, при використанні цього методу затруднений захист персоналу від ІВ.

В загальному перевагою цих методів є те, що вони дозволяють з високою точністю визначити місце знаходження дефекту, його тип, форму і розміри. Але недоліком є низька продуктивність і дороговизна цього методу.

1.3 Особливості контролю технічного стану балонів для скрапленого газу

Міцність балону перевіряють гідравлічним випробуванням.

Гідравлічне випробування балону проводять випробувальним тиском $(2,5_{+0,04})$ МПа на протязі не менш 60 с із послідуєчим зниженням тиску до $(1,6_{+0,04})$ МПа, при якому оглядають всі зварювальні з'єднання та прилеглі до них ділянки.

Балони рахуються, що витримали гідравлічне випробування, коли не виявлено ознак розриву, підтікання, сльозіння, потіння та видимих залишкових деформацій в зварювальних з'єднаннях та в основному металі.

При випробуванні зовнішня поверхня повинна бути сухою.

Щільність балону після гідравлічних випробувань перевіряють пневматичним випробувальним тиском $(1,6_{+0,04})$ Мпа. Балон занурюють у ванну з водою таким чином, щоб над ним був стовб води 20 - 40 мм. Час витримки - не менше 60 с. Поява бульбашок не допускається.

Дозволяється взамін гідравлічного випробування балону проводити пневматичне на стенді з панцерною камерою, з метою безпеки робіт.

Балон повинен знаходитись в камері під тиском $(2,5_{+0,04})$ Мпа не менше 60 с із послідуєчим зниженням тиску до $(1,6_{+0,04})$ Мпа. Після чого балон занурюють у вану з водою для перевірки на щільність по вище наведеній методиці.

Перевірку зварювальних з'єднань кожного балону проводять:

- зовнішнім оглядом у відповідності з вимогами ДСТУ EN ISO 6406 і галузевої інструкції по зварюванню та контролю зварних з'єднань ;
- просвічуванням проникаючим випромінюванням у відповідності з вимогами ДСТУ EN ISO 6406, або радіоскопічними методами з використанням рентгенотелевізійних установок ;
- випробуванням на статичний розтяг та згиб по ДСТУ EN ISO 6406 стикових зварювальних з'єднань обичаєк і днищ ;
- гідравлічними випробуваннями ;
- пневматичними випробуваннями.

Для перевірки механічних властивостей повздовжніх та кільцевих швів зварювання контрольних з'єднань проводять окремо від зварювальних

елементів балону з обов'язковим дотриманням всіх умов зварювання контрольних стикових з'єднань.

Розміри контрольних з'єднань вибирають такими, щоб з них можна було вирізати по два взірця для всіх видів механічних випробувань, і при необхідності, додаткове подвоєне число взірців для проведення повторних випробувань.

При отриманні незадовільних результатів допускається повторне випробування на подвоєному числі взірців, що вирізаються із тих же контрольних взірців.

Перевірку на руйнування проводять гідравлічним тиском. Випробування проводять підвищенням тиску до 2,5 МПа, при цьому балон не повинен деформуватись. Після досягнення тиску до 2,5 МПа та перевірки діаметру балону тиск збільшують до настання руйнування балона.

Не дозволяється руйнування балону при тиску меншому чим 5 МПа.

Висновки до розділу 1 і постановка задачі на дипломне проектування

Аналіз проведеного дослідження методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу дозволяє зробити такі висновки.

Оцінка технічного стану газових балонів вимагає застосування комплексу методів неруйнівного контролю, що дозволяє виявити як поверхневі, так і внутрішні дефекти.

Незважаючи на розвиток сучасних методів, візуальний огляд залишається першим і обов'язковим етапом контролю, оскільки дозволяє швидко виявити грубі дефекти.

Методи магнітопорошкового, капілярного, ультразвукового та радіаційного контролю дозволяють виявити різноманітні типи дефектів, кожен з яких має свої переваги та обмеження.

Дотримання стандартів та процедур забезпечує уніфікацію підходів до контролю та підвищує його надійність. Основною метою контролю є забезпечення безпечної експлуатації газових балонів.

Таким чином, проаналізувавши відомі методи контролю якості балонів скрапленого газу, а також діючі методи контролю їх технічного стану видно, то для підвищення ефективності неруйнівного контролю доцільно розробити новий метод і пристрій неруйнівного контролю, який би базувався на акустичному контролі.

Для досягнення мети дослідження необхідно виконати такі основні завдання:

Провести аналіз існуючих методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу, їх переваг, недоліків і обмежень, зокрема акустичного методу, та визначити можливості для його вдосконалення.

Розробити математичні моделі, які описують вільні коливання балонів з урахуванням різних видів дефектів (дірки, тріщини, корозія тощо), та

провести теоретичне моделювання змін характеристик акустичного відгуку залежно від типу і розміру дефекту.

Провести серію експериментів для вивчення акустичного відгуку балонів із різними видами дефектів, зокрема в лабораторних і промислових умовах, і перевірити достовірність теоретичних розрахунків.

Розробити структурну схему приладу для контролю технічного стану та розрахувати його основні блоки, що забезпечить високу продуктивність перевірки балонів і мінімізацію людського фактора.

Здійснити метрологічний аналіз вдосконаленого акустичного методу.

2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ І ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БАЛОНІВ ДЛЯ СКРАПЛЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

2.1 Вибір та обґрунтування методу для контролю якості газових балонів

У попередньому розділі розглянуто існуючі методи контролю газових балонів і виявлено, що основним їх недоліком є низька продуктивність. Тому метою даного проекту є розробка досить продуктивного і дешевого методу контролю.

Візьмемо за основу акустичний метод контролю якості, а точніше метод вільних коливань.

Суть цього методу полягає у збудженні в об'єкті контролю механічним чи іншим способом вільних акустичних коливань, їх реєстрації і вимірюванні часу загасання цих коливань [7,8].

Диференціальне рівняння вільних загасаючих коливань задається у вигляді:

$$d^2S/dt^2 + 2\delta \cdot dS/dt + w_0^2 S, \quad (2.1)$$

$\delta = \text{const}$ - де коефіцієнт загасання, S - величина, що коливається, w_0 - циклічна частота вільних незагасаючих коливань даної коливної системи.

Розв'язки рівняння розглянемо у вигляді:

$$S = e^{-\delta t} U, \quad (2.2)$$

де $U = U(t)$. Після знаходження першої і другої похідних виразу (2.2) і підстановки їх у (2.1) маємо:

$$U'' + (w_0^2 - \delta^2)U = 0, \quad (2.3)$$

Нехай

$$w^2 = w_0^2 - \delta^2 > 0, \quad (2.4)$$

тоді ми отримаємо наступне рівняння:

$$U'' + w^2 U = 0,$$

розв'язком якого є функція

$$U = A_0 \cos(\omega t + \varphi).$$

Таким чином розв'язком рівняння (2.1) у випадку малого загасання

$$S = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (2.5)$$

$$A = A_0 e^{-\delta t}, \quad (2.6)$$

амплітуда загасаючих коливань, а A_0 - початкова амплітуда. Залежності (2.5) та (2.6) показані на рис.2.1.

Проміжок часу $t=1/\delta$, протягом якого амплітуда загасаючих коливань зменшується в e раз, називається часом релаксації.

Період загасаючих коливань з врахуванням формули (2.4) дорівнює :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} \quad (2.7)$$

Якщо $A(t)$ і $A(t + T)$ - амплітуда двох послідовних коливань, які відповідають моментам часу, які відрізняються на період

$$I_{\text{ц}} = \frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\delta T} \quad (2.8)$$

називається декрементом загасання, а його логарифм

$$\theta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{Ne} \quad (2.9)$$

логарифмічним декрементом загасання; Ne - число коливань, які здійснюються за час зменшення амплітуди в e раз.

$$s = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

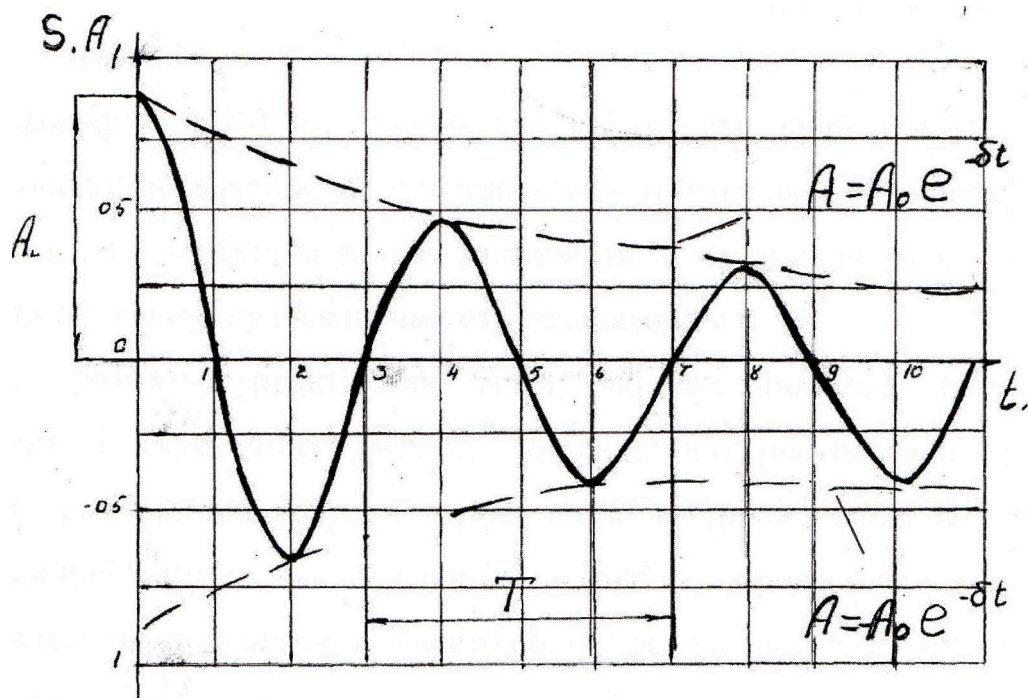


Рисунок 2.1 - Часова діаграма вільних загасаючих коливань

Для характеристики коливної системи, використовують поняття добротності Q , яка при малих значеннях логарифмічного декременту дорівнює:

$$Q = \frac{\pi}{\theta} = \pi N e = \frac{\pi}{\delta T_0} = \frac{\omega_0}{2\delta} \quad (2.10)$$

З формули бачимо, що добротність пропорційна числу коливань Ne .

Наявність дефектів в об'єкті контролю, який в даному випадку являється коливною системою, впливає на добротність системи (як правило, зменшують її), а значить і зменшують час релаксації.

Отже, порівнюючи покази часу релаксації зразкового балону з показами часу релаксації контрольованого балону, ми можемо зробити висновок про якісний стан об'єкту контролю.

З формули (2.10) ми бачимо, що добротність даної коливної системи прямопропорційна власній частоті резонатора, тобто в даному випадку балона.

Отже нам необхідно знайти залежність, з допомогою якої ми б могли визначити власну частоту резонатора ω_0 .

Для розв'язку практичних задач, які зустрічаються при розгляді механічних і акустичних систем, доцільно використовувати зручний і ефективний механічний апарат у вигляді теорії чотирьох полюсників [9].

Для цієї мети спеціально був розроблений метод електромеханічних аналогій. Цей метод базується на наступних аналогіях.

Аналогія по змінних характеристиках. Відомо, що електрична напруга U є причиною руху електричних зарядів. Очевидно, сила F - його аналог, так як вона служить причиною руху тіл та інших механічних елементів. Електричний струм у провіднику являє собою швидкість руху зарядів $i = dq/dt$. Аналогом його є швидкість руху тіл та елементів $v = dx/dt$. Зміщення тіла від свого початкового положення стає аналогом електричного заряду.

Аналогія по параметрах. Падіння напруги на індуктивному опорі

$$U = L \frac{dI}{dt}, \quad (2.11)$$

Співставляючи цю формулу з другим законом Ньютона:

$$F_m = m \frac{dv}{dt}, \quad (2.12)$$

та враховуючи аналоги по змінних, отримуємо, що індуктивність служить аналогом маси. Кінетична енергія $T = mv^2/2$ і енергія магнітного поля $W_M = Li^2/2$, також аналогічні між собою не тільки по формі, але і по властивостях.

Падіння напруги на ємнісному опорі $U_C = q/C$. Порівнюючи цей вираз з законом Гука $F_k = kx$, бачимо, що електрична ємність C -аналог зворотної величини пружності механічної системи k . Якщо замість пружності системи взяти величину, яка зворотна до неї гнучкість $C_M = 1/k$, то тоді ємність і гнучкість будуть аналогами. Потенційна енергія при повздовжній деформації тіла $p = F/2k = C_M F^2/2$ і енергія електричного поля конденсатора $W = CU^2/2$ аналогічні між собою по формі і по властивостям.

Падіння напруги на активному опорі $U_R = Ri$ і сила тертя $F_r = \Gamma_M V$ також аналогічні між собою. Тому коефіцієнт тертя і активний електричний опір аналогі.

Відношення напруги до струму електричний опір є аналогом механічного опору, якщо представити останнє у вигляді відношення сили до швидкості коливань $Z_M = F/v$.

Користуючись даними аналогіями розглянемо наш балон як резонатор Гельмгольца. Приймаємо його як механічну коливну систему, в якій маса m дорівнює масі повітря у горлі резонатора, а активний опір r_m дорівнює сумі опорів в'язкості повітря і опору випромінювання в навколишнє середовище, а гнучкість C_M - гнучкості повітря в порожнині резонатора. Якщо взяти порожнину циліндричної форми з довжиною l_{Π} і поперечним перерізом S_n , то її гнучкість буде $1_{\Pi}/\gamma r_{ac} S_n$ де γr_{ac} представляє собою модуль пружності

повітря при адиабатичному процесі. Після перерахування до горла резонатора гнучкість порожнини у відповідності з коефіцієнтом трансформації $n = S/S_n$ при заміні добутку $S_n l_n$ на об'єм V , буде $C_m = V/\gamma\rho_{ac}S^2$, $m=plS$, де l - довжина горла резонатора, S – поперечне січення горла, V - об'єм порожнини резонатора.

Тоді власна частота такого резонатора дорівнює:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{mC_m}} = \sqrt{\frac{\gamma\rho_{ac}S}{1V}} = c\sqrt{S/1V} \quad (2.13)$$

Якщо балон має отвір, наприклад в дні порожнини, то його можна розглядати як подвійний резонатор Гельмгольца. Тоді, на відміну від схеми звичайного резонатора, механічний ланцюг(яка складається з отвору довжиною L_2 і площиною S), можна представити опором, яке складається з індуктивності m_2 і опору r_{m2} , які підключені паралельно до ємності C_m . З цього можна побачити як наявність другого отвору (дефект-дірка) в стінці балону може вплинути на його власну частоту коливання. Перевагою даного методу є його висока продуктивність, простота реалізації, можливість автоматизації процесу вимірювання, відносна дешевизна.

Але недоліком є те, що за допомогою цього методу неможливо визначити розміри та місцезнаходження дефекту.

2.2 Обґрунтування умов дослідження газових балонів акустичним методом

Проведемо теоретичні дослідження акустичного відгуку для балонів ємністю 5 л (рис 1.1).

Визначимо об'єм даного газового балону. Для цього задаємося наступними значеннями:

висота циліндричної частини балону	$h = 40$ мм
висота верхнього та нижнього днища балону	$l = 53$ мм
внутрішній діаметр балону	$d = 218$ мм
товщина стінки балону	$a = 2$ мм
довжина горловини	$h_r = 35$ мм

внутрішній діаметр горловини

$$d = 22 \text{ мм.}$$

Розглянемо внутрішній об'єм балону як суму об'ємів горловини V_r , циліндра V_u та двох сфероподібних частин днища V_c , які можна вписати в цей балон:

$$V = V_c + V_u + V_r, \quad (2.14)$$

Об'єм сфероподібних днищ знаходиться за наступною формулою:

$$V_c = 4\pi kR^3/3, \quad (2.15)$$

k - коефіцієнт, який враховує відхилення форми верху і низу балону від сфери (приймається рівним 0,33).

$$V_c = 4 \cdot 3,14 \cdot (0,109)^3 \cdot 0,33/3 = 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Об'єм циліндру знаходимо за наступною формулою:

$$V_u = S \cdot h = \pi R^2 \cdot h, \quad (2.16)$$

$$V_u = 3,14 \cdot (0,109)^2 \cdot 0,04 = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Об'єм горловини дорівнює:

$$V_r = S_r \cdot h_r = \pi R_r^2 \cdot h_r, \quad (2.17)$$

$V_r = 3,14(0,011)^2 \cdot 0,035 = 15,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ Знайдемо об'єм балону:

$$V = 1,79 \cdot 10^{-3} + 1,49 \cdot 10^{-3} + 15,19 \cdot 10^{-6} = 5,084 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V = 5,08 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Тепер користуючись формулою (2.13) знайдемо власну частоту резонатора (балона):

$$w_0 = 331 \sqrt{3,14 \cdot \frac{10^{-4}}{6} \cdot 10^{-2} \cdot 5,08 \cdot 10^{-3}} = 606 \text{ с}^{-1} \text{ с}^{-1}$$

Отже період загасаючих коливань згідно (2.7) дорівнює:

$$T = 2\pi/w_0, \quad T = 2 \cdot 3,14/606 = 0,01 \text{ (с)}$$

Дослідження проводились для трьох видів дефектного стану об'єкту контролю: дірка, тріщина, корозія. Тестовані імпульси перевірено на балоні без дефекту. Графік отриманих залежностей зображений на листі МР.МТТМ-21.00.00.005.

Графік 1- це акустичний відгук балона, який не має дефектів. На графіку 2 зображено експоненту, яка є огинаючою графіка 1.

На графіку 2 подано акустичний відгук балона з діркою. Звідки видно, що період імпульсів відгуку збільшився, а амплітуда зменшилась.

Збільшення періодів імпульсу пояснюється тим, що балон з діркою в цьому випадку представляє собою подвійний резонатор Гельмгольца. Тоді в цьому випадку частота власних коливань резонатора знаходиться за наступною формулою:

$$\omega_0 = 1 / \sqrt{mC_M}, \quad (2.18)$$

де

$$m = m_1 + m_2 = \rho l_1 S_1 + \rho l_2 S_2, \quad (2.19)$$

де l_1, S_1 - довжина і площа отвору (дірки).

Зменшення амплітуди імпульсу по відношенню до тестованого імпульсу пояснюється тим, що існує акустичний "витік" через отвір дефекту. Крім того в отворі дефекту відбуваються додаткові затухання акустичного імпульсу і створюються коливання, які є в протифазі до основних. Завдяки цьому внаслідок інтерференції хвиль амплітуда вихідних імпульсів також зменшується.

На графіку 3 зображено акустичний відгук балона, який має тріщину. Як видно з графіку період імпульсів залишився практично незмінним, а їх амплітуда зменшилась. Це пояснюється тим, що внаслідок наявності тріщини порушується суцільність балона виникають додатні паразитні резонанси, які гасять амплітуду хвилі.

На графіку 4 подано акустичний відгук балона з корозією. Як видно з графіка загасання імпульсів відбувається в основному в області високих частот. Це пояснюється тим, що корозія в балоні представляє собою його вторинну внутрішню оболонку. Внаслідок цього змінюється основна резонансна частота, а в акустичному відгуку відбувається сумування

основних резонансів в балоні і резонансів, що виникають між іржею і поверхнею балону.

Крім того, внаслідок значної пористості, корозія поглинає акустичні хвилі. Чим більша площа корозії в об'ємі балона, тим більше зміниться графік.

Отже ми бачимо, що при проведенні контролю можна, в принципі, визначити тип дефекту. Але слід відзначити, що при наявності декількох дефектів, кожен з них буде вносити свою складову в загальну картину загасання. Тому в цьому випадку буде практично неможливо ідентифікувати кожен з дефектів.

Але в нашому випадку це не так важливо, тому що головною задачею є відбракування з великої кількості балонів пошкоджених. Після цього можна провести більш детальний контроль за допомогою ультразвукового або іншого методу.

2.3 Розробка структурної схеми методу

Алгоритм методу неруйнівного контролю газових балонів за допомогою запропонованого приладу складається з наступних елементів-операцій:

- підготовка балону до контролю - блок № 1;
- встановлення балону на випробувальному стенді-б л о к № 2 ;
- підготовка приладу контролю до роботи-блок №3;
- подача пускового сигналу - блок № 4;
- збудження акустичних коливань у балоні, що контролюється - блок № 5;
- прийом акустичного сигналу-відгуку балону - блок №6 ;
- підсилення сигналу до необхідного рівня - блок № 7;
- випростовування підсиленого сигналу - блок № 8;
- встановлення рівнів спрацювання компараторів-б л о к № 9 ;

- оцифровка - блок № 10;
- визначення часу загасання імпульсу - блок №11;
- індикація результату - блок № 12.

Блок №1. Підготовка балону до контролю полягає в наступному. Балон, що контролюється, підлягає обробці у карусельно-миючій машині або центрифугі у розчині каустикової соди при підвищеній температурі на протязі 3-5 хвилин. Після цього балон підлягає промивці водою та сушці у потоці гарячого повітря на протязі нетривалого проміжку часу. Цей метод обробки є більш досконалим в порівнянні із тими методами, що існували раніше. Наприклад, за допомогою одного з цих методів балон, що контролюється підлягав обробці у посудині на протязі двох діб. Можна зробити висновок, що метод обробки за допомогою карусельно-миючої машини або центрифуги є значно продуктивнішим.

Блок №2. Наступною операцією є встановлення балону, що контролюється на випробувальному стенді. Встановлення балону проводиться на спеціально призначених для цього фіксаторах.

Блок №3. Підготовка приладу до контролю здійснюється наступним чином. Проводиться включення приладу до мережі 220 В та витримка його у включеному стані на протязі 15-20 хвилин. Це необхідно для встановлення стабільних температурних режимів у приладі, що приводить до зменшення похибки випробувань. При підготовці приладу також проводиться калібровка та деякі інші підготовчі операції, наприклад, візуальний контроль цілісності вимірювального комплексу, перевірка якості заземлення.

Прилад контролю складається з трьох основних блоків: блоку збудження акустичних коливань, вимірювального блоку та необов'язкового блоку інформаційної обробки.

Блок №4. Наступною операцією є збудження акустичного сигналу у балоні, що контролюється за допомогою блоку збудження акустичних коливань. При надходженні стартового імпульсу управління відбувається

формування каліброваного імпульсу для дії на електромагніт. Стартовий імпульс може бути поданий на прилад з комп'ютерної системи (при подальшій автоматизації) або безпосередньо оператором за допомогою вбудованого в прилад перемикача. Під впливом цього імпульсу електромагніт здійснює калібрований удар по стінці балону, що викликає збудження акустичних коливань в ньому.(Блок №5)

Блок №6. Прийом акустичного сигналу здійснюється вимірювальним блоком за допомогою мікрофону, в якому відбувається перетворення акустичних коливань у електричний сигнал. Сигнал, що надходить з мікрофону характеризується незначною амплітудою. Тому для подальшої обробки його необхідно підсилити. Це підсилення виконується спеціальним мікрофонним підсилювачем, який має низький рівень власних шумів (Блок №7).

Блок №8. Підсилений сигнал подається на випростовувач, в якому відбувається інвертування від'ємної напівхвилі сигналу відносно нульового рівня напруги. При цьому від'ємна напівхвиля залишаючись незмінною за j модулем змінює свій знак на протилежний. Додатна напівхвиля проходить через випростовувач не зазнаючи змін. Тобто відбувається перетворення загасаючих коливань у загасаючі імпульси напруги однієї полярності.

Блок №9. Після випростовування відбувається формування огинаючої I сигналу та на підставі неї встановлення рівнів спрацювання компараторів.

Перший рівень спрацювання компараторів можна встановити за максимальним значенням сигналу, а другий за значенням, яке в ϵ разів менше за попереднє. Час між спрацюваннями компараторів відповідає часу загасання сигналу.

Блок №10. Далі відбувається перетворення аналогового сигналу, що відповідає часу загасання імпульсу в цифровий вигляд за допомогою число-імпульсного методу, суть якого полягає в наступному. На протязі часу загасання імпульсу, тобто на протязі часу між спрацюваннями компараторів формується сигнал дозволу на допоміжний прецизійний генератор, коротких

прямокутних імпульсів, які подаються на лічильник. Кількість імпульсів, що надійшла на лічильник є пропорційною до часу існування імпульсу. При виборі частоти та тривалості імпульсів допоміжного генератора треба враховувати форму та приблизне значення тривалості вимірювального сигналу для забезпечення мінімально можливої похибки аналого-дискретного перетворення.

Блок №11. В блоці №11 відбувається рахування кількості імпульсів, які надійшли від допоміжного генератора за час загасання акустичного сигналу. Цей процес відбувається за допомогою інтегральних мікросхем-лічильників. На початку рахування здійснюється загальне скидання лічильників у нульовий стан. По закінченні рахування подається сигнал заборони подальшого рахування. Таким чином на лічильниках буде зберігатись цифровий код ,який відповідає кількості імпульсів, тобто часу загасання акустичного відгуку. Після цього цифровий код надходить на дешифратор, який зібрано на цифрових мікросхемах - перетворювачах коду. У дешифраторі відбувається перетворення цифрового коду з лічильників у вигляд, який вимагається для подання на пристрій індикації.

Блок № 12.Цифровий код з лічильників подається на пристрій індикації де відбувається відображення результатів випробування.

2.4 Проектування та розрахунок основних блоків

2.4.1 Проектування пристрою акустичного контролю газових балонів

Згідно структурної схеми приладу проведемо розробку принципової схеми блоку збудження акустичних коливань. Акустичні коливання в балоні збуджуються за допомогою зовнішньої механічної дії.

Основними структурними частинами даного блоку є:

- блок живлення;
- блок усунення дребезгу кнопки;
- блок формування імпульсів;
- електромагніт.

Розглянемо більш детально кожен з блоків.

Живлення схеми здійснюється від мережі змінного струму 220В. Ця напруга подається на понижуючий трансформатор, який складається з двох обмоток. На базі першої обмотки реалізований блок живлення постійної напруги амплітудою 30В, якою здійснюється живлення електромагніту. Друга обмотка трансформатора здійснює живлення схеми комутації.

На першій обмотці трансформатора середньою точкою індукується напруга величиною 30В, яка подається на двохнапівперіодний діодний випрямляч, який реалізований на напівпровідникових діодах VD4, VD5 з яких напруга подається на схему стабілізації. До цієї лінії підключено згладжуючий конденсатор С8. На основі транзистора VT3 зроблено вхідну ланку стабілізації напруги. Величину напруги емітерного зміщення задається резистором R5.

На транзисторах VT3 і VT4 реалізований диференційний підсилювач, причому зміщення бази транзистора VT3 завдяки стабілітрону VD2 залишається постійним і рівним 15В [7,8].

Ланку запуску стабілізатора здійснюють на основі елементів C1 та VD3, де VD3 служить для запобігання появі додатного півперіоду напруги на навантаження.

Резистори R7, R8 реалізують подільник напруги, яка подається на базу транзистора VT4, тобто на друге плече диференційного підсилювача. Резистор R4 задає величину напруги базового зміщення вхідного транзистора VT2 підсилювача потужності.

Підсилювач потужності являє собою двохтактний підсилювач, який складається з транзисторів VT1, VT2 і R1, R2, R3 та стабілітрона VD1, на основі яких здійснено схему запуску підсилювального каскаду. Для нормальної роботи підсилювального каскаду спад напруг на резисторі R1 та базах транзисторів VT1 і VT2 повинен бути меншим ніж на стабілітроні VD1. Таким чином підсилювальний каскад захищений від перевантаження по струму.

У вихідній ланці стабілізатора встановлено транзисторний ключ на базі транзистора VT5 та резистора R9. Цей транзисторний ключ здійснює комутацію силової напруги за допомозі керуючого імпульсу. Паралельно навантаженню встановлюється конденсатор C2, який призначений для гасіння змінної складової вихідної напруги стабілізатора в момент комутації.

Вихід другої обмотки трансформатора підключається до мостової діодної схеми, до вихода якої під'єнується конденсатори C9, C12, за допомогою яких здійснюється первинне згладжування пульсацій випрямленої напруги. Далі в схему включено стабілізатор напруги на основі мікросборки K140ЕН6А, принцип роботи якої полягає в наступному [7].

Зворотній зв'язок з вихода кожного плеча стабілізатора будується так, щоб звести до мінімуму різницю між вихідною напругою і напругою стабілізації стабілітрона VD2. В петлю зворотнього зв'язку включено також падіння напруги на емітерному переході транзистора VT2.

Температурний коефіцієнт вихідної напруги складається із ТКН стабілітрона і ТКН емітерного переходу транзистора (-2 ... 3 мВ/К).

Стабілізатор має "тригерний ефект", що забезпечує захист від перевантаження і короткого замикання як навантаження, так і сам стабілізатор. В стабілізаторі передбачена пускове коло R1, VS1, VD2, яка надійно виводить його на режим стабілізації після включення. При відсутності пускового кола при включенні стабілізатора транзистори VT1, VT3 залишились би закритими і через навантаження проходив тільки б струм витікання їх колекторного переходу. Якщо опір навантаження такий, що падіння напруги на ній в тих умовах менше 0.5..0.7В (точка перегину вольт-амперної характеристики емітерного переходу кремнієвих транзисторів), транзистори VT2, VT4 не відкриваються і стабілізатор не запускається. В тому ж випадку, коли напруга на виході хоч би одного плеча стабілізатора перебільшить це критичне значення, відкриваються транзистори другого плеча, після чого обидва плеча стабілізатора вийдуть на режим стабілізації.

При пониженні напруги на виході одного із плеч, наприклад, плюсового, нижче критичного значення припиниться струм через регулюючий транзистор цього плеча, а як слід, і емітерний струм транзистора VT4, що приведе і до відключення мінусового плеча. Якщо не прийняти міри для примусового пуску стабілізатора, він може знаходитись в цьому стані як завгодно довго. Запустити його можна, наприклад, відключивши навантаження хоча б одного плеча, при цьому він може включитися струмом витікання регулюючого транзистора. Але цей спосіб є незручним і не завжди приводить до бажаного результату, так як струм витікання переходів сучасних транзисторів дуже малий. Тому в стабілізатор введене коло запуску R1, VS1, VD2.

При включенні стабілізатора струм, який протікає через елементи R1 і VD1, запускає стабілізатор, а при появі напруги на його виході відкривається транзистор VS1 і напруга в загальній точці елементів запускаючого кола зменшується до 0.7... 1 В, після чого це коло вже не впливає на роботу приладу. При перевантаженні по струму відключення стабілізатора відбувається при перевищенні струму через регулюючий транзистор одного з плеч.

Для відновлення нормальної роботи після зняття перевантаження блок необхідно виключити і включити знов.

До виходів 1 і 11 стабілізатора під'єднано конденсатори для зняття змінної складової напруги. На вході стабілізатора (виводи 13 та 4) теж включені конденсатори для зняття змінної складової напруги стабілізатора при перехідних режимах. Таким чином вище описана схема дає змогу реалізувати двохполярний блок живлення постійної напруги амплітудою 30В.

В додатному плечі вихідної ланки стабілізатора реалізовано однополярний блок живлення постійної напруги амплітудою 9В. Він складається з наступних елементів: резистора R22 та двохстороннього стабілітрона VD7, з допомогою яких здійснюється пониження вихідної напруги первинного стабілізатора до величини 9 В та її стабілізації.

Паралельно і навантаженню включені конденсатори С17, С18, які використовують в якості фільтра.

В цифрових пристроях на мікросхемах велику роль грають різні формувачі імпульсів від кнопок і перемикачів з пологими фронтами, диференціюючі ланки, а також мультівібратори [9].

Як відомо безпосередня подача сигналу від механічних контактів на вхід інтегральних мікросхем не завжди допустима через так званий дребезг-багато-кратного неконтрольованого замикання і розмикання контактів в момент їх перемикавання. Подача сигналів на лічильні входи потребує спеціальних мір по усуненню дребезга, без них можливе багатократне спрацювання тригерів та лічильників.

Для усунення дребезга кнопки з однією парою контактів можна використати наступну схему(рис.2.2).

При замиканні кнопки S1 на лівій обкладці конденсатора С1 напруга починає знижуватись і, якщо постійна часу R2C1 вибрана достатньо великою, напруга досягає порогу переключення елемента DD1.1 після усунення дребезгу.

Елементи DD1.1 і DDI.2 перемикаються, на виході з'являється логічний 0: Додатній зворотній зв'язок забезпечує круті фронти вихідного сигналу.

Якщо необхідно отримати фронти вихідного сигналу точно в моменти розмикання або замикання кнопки (рис.2.3), то використовуємо наступну схему.

При розмиканні кнопки логічна 1 на нижній по схемі вхід елемента DD1.1, два елемента DD1.1 і DDI.2 перемикаються, логічна одиниця з вихода і елемента DDI.2 через конденсатор С1 поступає на вхід елемента DD1.1 і утримує його у включеному стані на час дребезга контактів кнопки S1.

Тепер розглянемо блок формування імпульсів на електромагніт.

Даний блок будується на базі одноканального таймера 1006ВІ1 [7].Цей таймер складається з трьох функціональних вузлів: двох компараторів напруги на вході, RS -тригера та інвертуючого підсилювача потужності на

вході фис.2.4). Внутрішній резисторний подільник задає порогові напруги, які рівні $2U_n/3$ для компаратора А1 та $U_n/3$ для компаратора А2. Тривалість вихідних імпульсів, що генеруються, встановлюється зовнішнім колом $RtCt$, що задає час. Напруга живлення U_n , яке підключається до виводу 8 і вимірюється відносно виводу 1, повинна знаходитись в межах 5-16,5 В. Приріст власного споживаного таймером струму на 1 В зміни U_n дорівнює приблизно 0.7 мА. Вихід таймера забезпечує вхідні та вихідні струми до 200 мА, що дозволяє керувати безпосередньо електромагнітом.

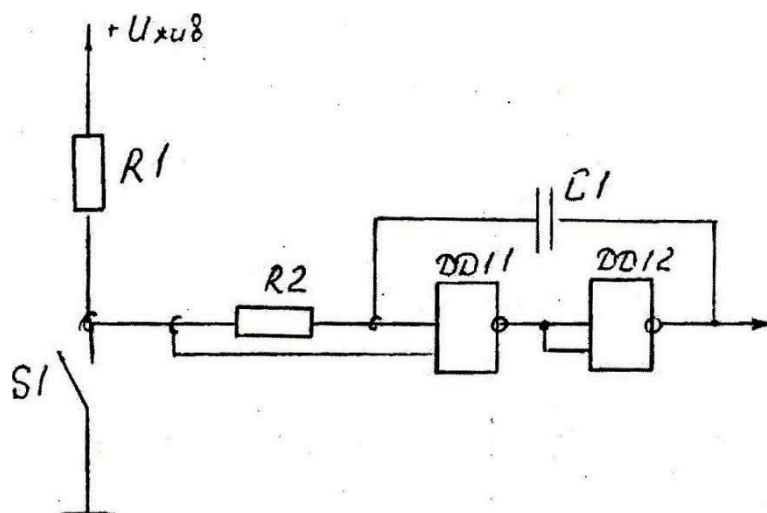


Рисунок 2.2 - Схема блоку усунення ефекту деренчання

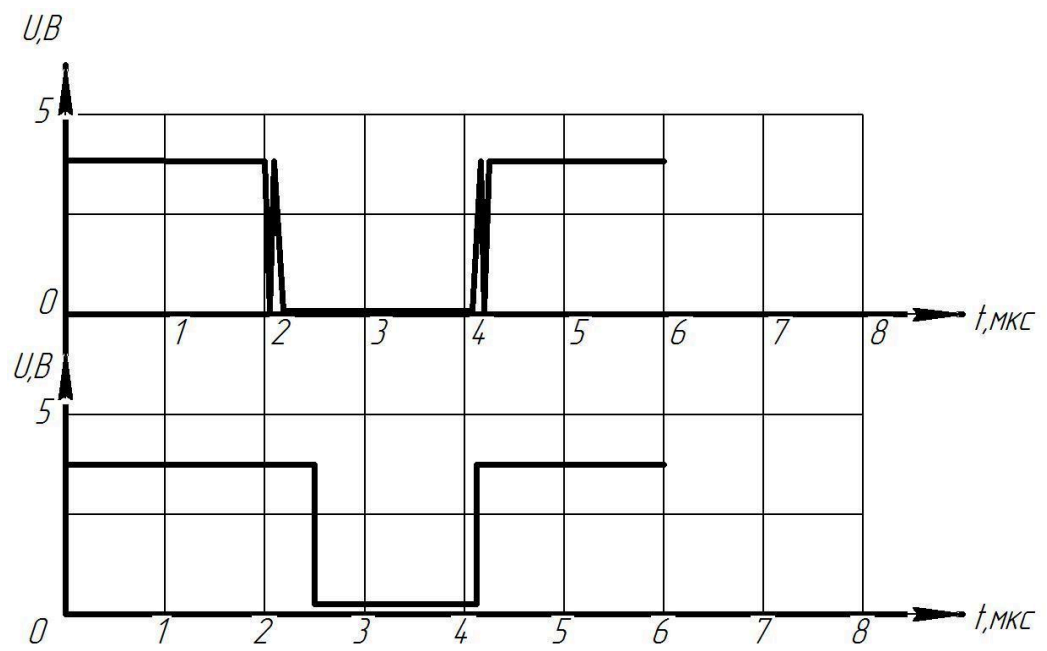


Рисунок 2.3 - Часові діаграми блоку усунення деренчання

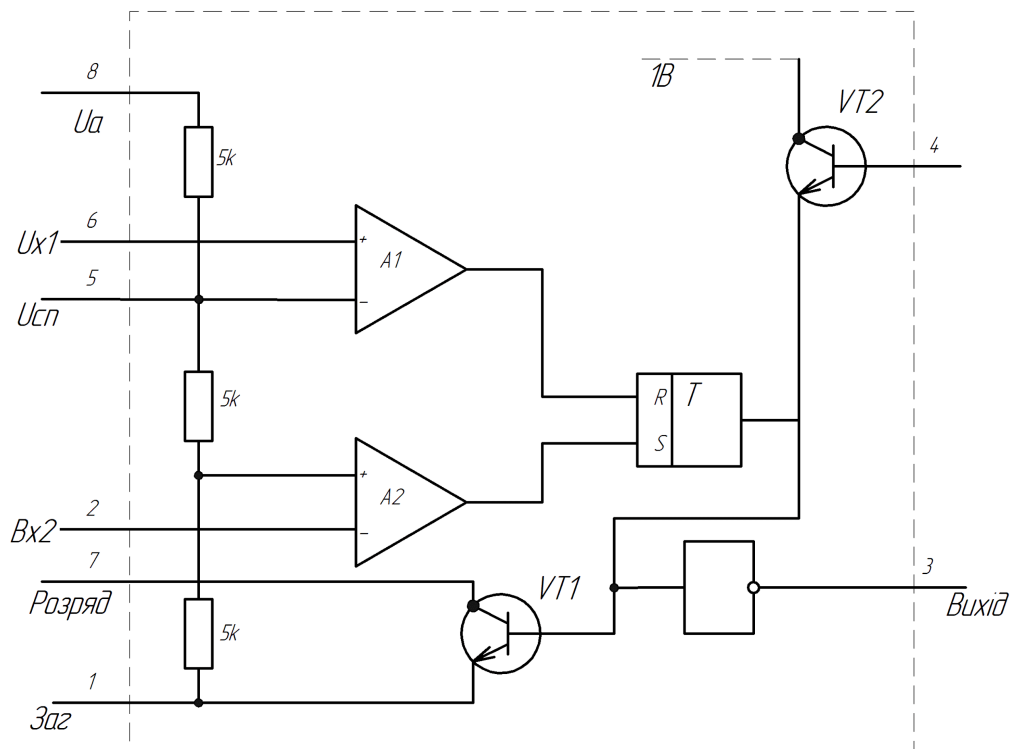


Рисунок 2.4 - Структура таймера 1006 ВІ1

Вихідний опір приблизно 10 Ом, як для низького($U_{\text{вих}} = 0.1 \text{ В}$), так і для високого($U_{\text{вих}} = U_n - 0.5 \text{ В}$) рівнів вихідної напруги. Запуск таймера здійснюється подачею на вивід 2 напруги менше $U_n/3$ (це коло називають тригерним входом). По відношенню до виводу 3 цей вхід являється інвертуючим. При високій напрузі на виводі 2 станом виходу таймера можна керувати за допомогою компаратора А1 по виводу 6, який називають пороговим входом. Відносно зміни вихідної напруги цей вивід є неінвертуючим входом таймера. Вхідний струм, вхідний для компаратора А1 (вивід 6) та вихідний для компаратора А2(вивід 2), не перевищує 0,5 мкА. Для скидання таймера, тобто встановлення низького рівня напруги на його виході, незалежно від напруги на виводах 2 і 6 використовується вивід 4. Якщо напруга на цьому виводі менше 0.4 В, напруга на виводі 3 дорівнює 0.1 В. При напрузі більшій за 1 В на виводі 4 коло скидання відключена і не впливає на роботу таймера. Крім низькоомного виходу таймер має допоміжний високоомний вихід(вивід 7), який представляє собою відкритий колектор транзистора УТ1. Цей вивід звичайно використовується для організації зворотнього зв'язку з вихода на вхід таймера. Допустима зміна напруги на виводах 2,4,6 та 7 знаходиться в межах 0- 16,5 В. В таймері є доступ через вивід 5 і до двох інших входів внутрішніх компараторів, на які подані порогові напруги. Цей вивід від резисторного подільника дозволяє додатково керувати роботою таймера, змінюючи порогову напругу компаратора при постійній напрузі живлення. Рекомендується шунтувати вивід конденсатором ємністю 0.01 мкФ, для запобігання впливу зовнішніх перешкод і пульсацій напруги живлення на точність роботи таймера.

В режимі прямої трансляції сигналу з входу на вихід таймер може працювати в діапазоні частоти до 10МГц. Але значення похибки формування часового інтервалу, яке приводиться в довідниках і дорівнює 0.5% .вимірюються в основному при формуванні імпульсу тривалістю 10 мкс. Час зростання вихідної напруги таймера не перевищує 100 нс.

Часові параметри цього таймера слабо залежать від зміни напруги U_n і температури і повністю визначається схемами внутрішніх компараторів і якістю біполярної технології їх виготовлення. В таймерах виготовлених по КМОП-технології, яка відрізняється гіршим узгодженням параметрів парних транзисторів, залежність від $I_{п}$ і температури вище, ніж у таймерів, які виготовлені по біполярній технології.

Особливості використання таймера цього типу пов'язані з неідеальністю параметрів його вузлів. Щоб параметри $R_t C_t$ -кола, що задає час, не впливали на точність формування часових інтервалів, необхідно обмежити діапазон зміни опору R_t і ємності C_t . Максимальний опір R_t визначається вхідним опором $I_{вх}$ компараторів, які проходять по колах виводів 2 і 6. Для формування стійких часових інтервалів достатньо вибрати максимальний опір R_t із умови $R_{max} < U_n / I_{вх}$, де $R_{max} = 20 \text{ МОм}$ при $U_n = 10 \text{ В}$ і $I_{вх} = 0.5 \text{ МКА}$.

Мінімальний опір резистора R_t визначається максимально допустимим струмом, який проходить через внутрішній транзистор $VT1$ таймера, при його насиченні. Хоча допустимий вихідний струм по виводу 7 встановлюють звичайно рівним 100 мА , недоцільно використовувати малі опори R_t в сполученні з великими ємностями C_t . Пояснюється це тим, що при розряді конденсатора C_t великої ємності транзистор $VT1$ не миттєво переходить в режим насичення, а тільки через деякий кінцевий час t_n . На протязі цього часу транзистор працює в активному режимі з середнім значенням напруги колектор-емітер біля $U_n/2$. Якщо R_{tmin} вибрано із умови $R_{tmin} > U_n / 100 \text{ мА}$, то транзистор $VT1$ може вийти з ладу через надмірну потужність, яка в ньому розсіюється.

Мінімальна ємність конденсатора C_t , який задає час, повинна бути значно більше зміни власної вхідної ємності таймера в залежності від напруги на виводах 2,6 і 7. Оскільки зміна вхідної ємності при перезаряді C_t не перевищує декілька пікофарад, не рекомендується використовувати ємність більше 100 пФ при формуванні точних часових інтервалів. Можна використовувати конденсатори великої ємності, якщо їх струм витікання дуже

малий. Для нормальної роботи таймера необхідно щоб струм витікання C_t був менше зарядного струму через R_t . Для формування точних часових інтервалів струм витікання через конденсатор повинен бути на два порядку менше його зарядного струму.

Основна схема включення одноконтурного таймера для роботи в режимі одновібратора приведена на рис.2.5. Працює такий одновібратор наступним чином. При додатній входній напрузі, яка більше $U_n/3$, RS - тригер таймера утримує внутрішній транзистор VT1 насиченим і напруга на часоформуєчому конденсаторі C_t близький до нуля. Тому і вихідна напруга близька до нуля ($U_3=0.1V$). При поданні на тригерний вхід напруги, яка менша $U_n/3$, компаратор A1 в таймері переключає RS-тригер, транзистор VT1 закривається, напруга C_t зростає по експоненті, прямує до свого максимального значення, яке рівне U_n (рис.2.6), і на виході встановлюється напруга $U_3 = U_n$. Швидкість зростання напруги U_c на часоформуєчому конденсаторі C_t визначається постійною часу кола $R_t C_t$. Значення $U_3 = U_n$ зберігається на протязі часу збільшення U_c до $2U_n/3$. В момент, коли виконується рівність $U_c(t) = 2U_n/3$ в таймері перемикається у вихідний стан RS-тригер, транзистор VT1 насичується, розряджаючи конденсатор C_t і, як у вихідному стані, $U_c = 0.1 V$. Низький рівень вихідної напруги таймера зберігається до тих пір поки на тригерний вхід знов не поступить імпульс, який змінює напругу на виводі 2 від U_n до $U_n/3$. На додатній перепад входньої напруги від нуля до U_n одновібратор не реагує. Але якщо від'ємний перепад напруги від U_n до нуля поступить на тригерний вхід таймера в період збільшення U_c від нуля до $2U_n/3$, то таймер також не сприйме.

В той же час конденсатор C_t буде миттєво (за час менший 50 не) розряджений не залежно від величини I_c , якщо в коло скидання таймера (вивід 4) подати напругу, яка менше 0.4 В. Якщо коло скидання не використовується для керування роботи одновібратора, то вивід 4 слід підключити до шини живлення для зменшення впливу зовнішніх перешкод.

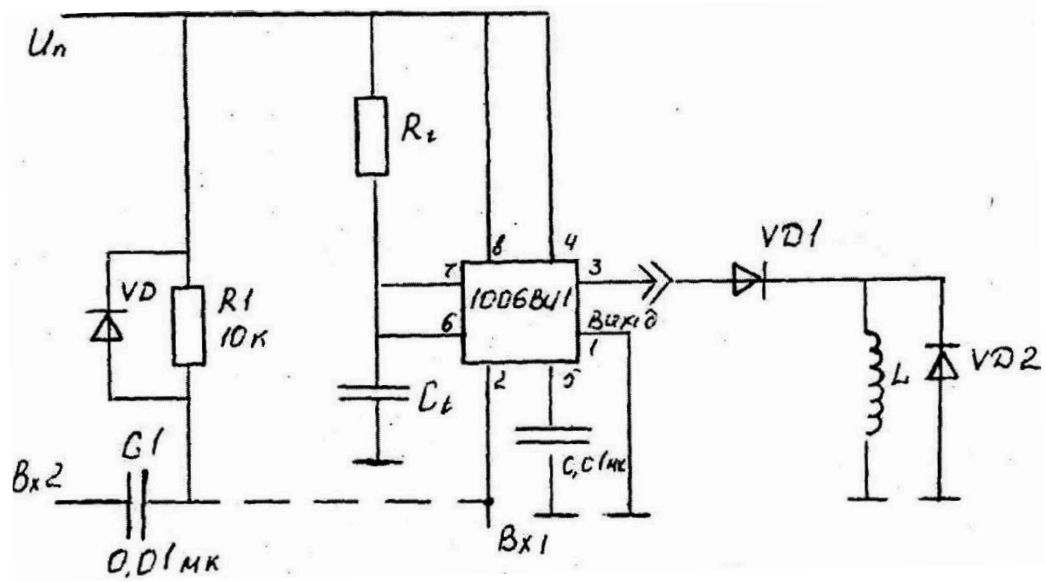


Рисунок 2.5 - Одновібратор на таймері 1006ВУ1

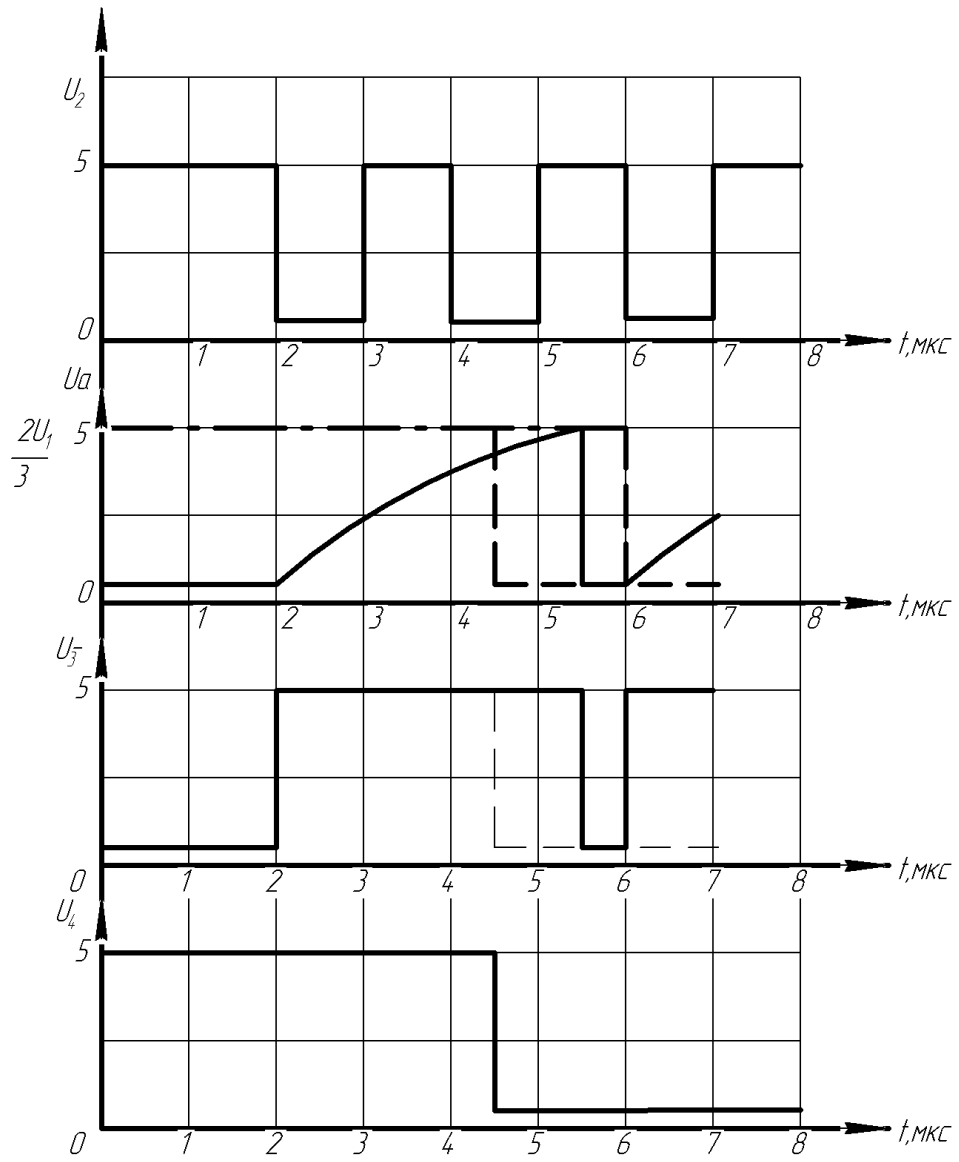


Рисунок 2.6 - Часові діаграми роботи одновібратора

Час затримки t_3 , протягом якого на виході таймера зберігається високий рівень напруги (біля U_n), можна розрахувати з рівняння:

$$U_c(t) = U_n [1 - \exp(-t/RtCt)] = 2U_n/3 \quad (2.19)$$

де $U_c = 0$ при насиченому транзисторі VT1. В цей час $t_3 = 1.1RtCt$. Залежності, які дозволяють для величини t_3 , яка вимагається, визначити можливе співвідношення опору Rt і ємності Ct приведені на рис.2.7. Час t_3 практично не залежить від U_n при його зміні в діапазоні 5-15 В, оскільки порогове значення внутрішніх компараторів таймера пропорційне значенню U_n . При розрахунку $RtCt$ - кола одновібратора слід враховувати, що низький рівень напруги запуску на виводі 2 не повинен зберігатись довше часу $1.1RtCt$. Порушення цієї умови приводить до того, що через час t_3 таймер починає генерувати імпульси довільної форми. Це пояснюється тим, що внутрішні компаратори таймера нерівнозначні по своєму впливу на RS-тригер. Компаратор А1, який керується по виводу 2 має пріоритет при встановленому стані тригера. Компаратор А2 може керувати тригером тільки тоді, коли на вивід подана висока напруга. Якщо необхідно керувати одновібратором з допомогою імпульсів тривалістю більше $1.1RtCt$, то ці імпульси слід подавати через диференціююче коло $RtCt$, як зображене на рис.2.4 (Вх2). Діод VD обмежує амплітуду напруги на виводі 2 на рівні $U_n + U_d$.

Для формування тривалих часових інтервалів при роботі одновібратора в апаратурі з високим рівнем перешкод необхідно шунтувати вивід 5 конденсатором (якщо цей вивід не використовується для керування роботою таймеру).

Ємність шунтуючого конденсатора повинна дорівнювати 0.01 мкФ. Недоцільно встановлювати шунтуючі конденсатори ємністю більше 0.1 мкФ, оскільки це збільшує чутливість порогових напруг компараторів таймера до низькочастотним нестабільностям напруги U_n . Одновібратор може перемикатись і від впливу на тригерний вхід зовнішніх перешкод більшої потужності. Запобігти хибному спрацюванню одновібратора в таких випадках перехід до керування таймером по $RtCt$ -колу, яка показана на рис.2.4. Резистор

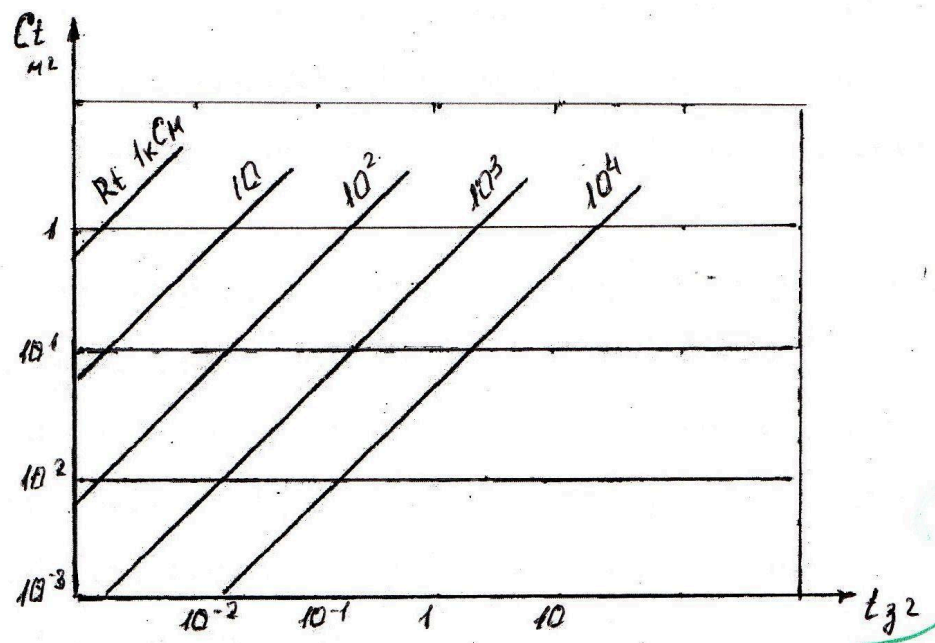


Рисунок 2.7 - Вибір R_t і C_t одновібратора в залежності від необхідного t_3

R_1 зменшує значення вхідного опору (біля 200 кОм) компаратора A_2 в таймері, збільшуючи тим самим необхідну для переключення одновібратора потужність перешкоди.

Конденсатор C диференціює імпульси, які надходять з блоку усунення дребезгу.

Оптрон у вхідній ланці схеми керування призначено для гальванічної розв'язки ланки комутації та схеми керування. Оптрон умовно складається з двох елементів в одному корпусі. Першим елементом є світлодіод, світловий потік якого служить керуючим сигналом для другого елемента, яким є фоторезистор.

Використання оптрону зумовлено необхідністю гальванічної розв'язки між схемою керування та комп'ютером. Як вже було вище вказано, акустичні коливання збуджуються за допомогою зовнішньої механічної дії, тобто удару по стінці балону, який здійснюється осердям електромагніту при поданні на нього каліброваного сигналу з блоку формування імпульсів.

2.4.2 Розрахунок електронного ключа та електромагніту.

На рис.2.8 зображено схему транзисторного ключа, ввімкненого за схемою з загальним емітером.

Вихідними даними для розрахунку є:

тип біполярного транзистора КТ829А;

напруга живлення $E_k = 27 \text{ В}$;

частота слідування імпульсів $f=1 \text{ Гц}$;

амплітуда вхідного сигналу $U_{BX}=8\text{В}$;

амплітуда вихідного сигналу $U_{ВХ}=7\text{В}$;

опір навантаження $R_n = 4 \text{ Ом}$;

ступінь насичення транзистора $St = 2$;

мінімальне значення коефіцієнта передачі струму $h_{21\epsilon}=750$.

Напруга зміщення в схемі на рис.2.8 використовується для надійного закривання транзистора VT1 при відсутності вихідного сигналу.

У відповідності з цим, значення напруги на базі транзистора визначається з виразу:

$$E_{\text{б.зм}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_k - I_{\text{кбз}} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \leq \quad (2.21)$$

де $I_{\text{кбз}}$ - значення зворотнього струму транзистора.

Користуючись довідником, знаходимо $I_{\text{кбз}} = 1.5 \text{ мА}$

З виразу (2.21) видно, що

$$\frac{|E_{\text{зм}}|}{R_2} \geq I_{\text{кбз}}. \quad (2.22)$$

Значення напруги зміщення вибирається з умови: $E_{\text{зм}} = (0.1..0.3)E_k$

$$E_{\text{зм}} = 0,2 * 27 = 5,4 \quad (2.23)$$

У відповідності до цього з виразу(2.22) визначимо з пір резистора R_2 :

$$R_2 = \frac{|E_{\text{зм}}|}{I_{\text{кбз}}},$$
$$R_2 = \frac{5.54}{1.5 \cdot 10^{-3}} = 3.6 \cdot 10^{-3}, \quad (2.24)$$

Для забезпечення заданого ступеня насичення транзистора знаходимо струм бази VT1:

$$I_{\text{б1}} = \frac{S_T E_E}{h_{21e} R_k},$$

$$I_{\text{б1}} = \frac{2 \cdot 27}{750 \cdot 4} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ (A)},$$
(2.25)

З іншого боку, якщо вважати, що напруга на переході база-емітер відкритого транзистора $U_{\text{бе}} = 0.7 \text{ В}$, отримуємо вираз :

$$I_{\text{б1}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бе}}}{R_1} - \frac{E_{\text{зм}} - U_{\text{бе}}}{R_2} I_{\text{б1}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бе}}}{R_1} - \frac{E_{\text{зм}} - U_{\text{бе}}}{R_2}$$
(2.26)

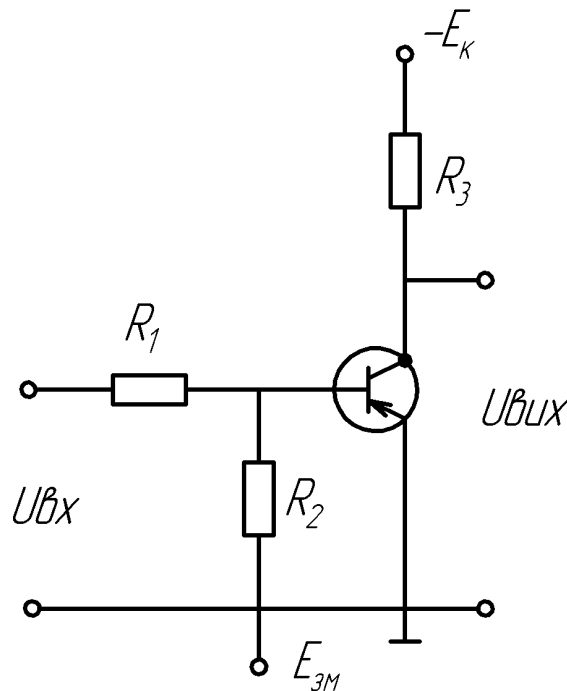


Рисунок 2.8 - Схема електронного ключа

Підклавши значення $I_{\phi 1}$ з (2.25) і (2.26) і вирішивши рівняння (2.4.6) відносно R_1 , отримаємо:

$$R_1 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бс}}}{S_T \cdot E_K / (h_{21e} \cdot R_k) + (E_{3M} - U_{3M}) / R_2} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бс}}}{I_{\phi 1} + (E_{3M} - U_{3M}) / R_2}$$

$$R_1 = \frac{8 - 0.7}{18 \cdot 10^{-3} + (5.4 - 0.7) / 3.6 \cdot 10^3} = 378(\text{Ом})$$

Визначимо час формування фронту вихідного імпульса:

$$\tau_{\text{фор}} \in \Phi \left(\frac{I_{\phi 1}}{I_{\phi 1} + (0.9 \cdot I_{\text{к.мас}} / h_{21e})} \right) \quad (2.27)$$

де T_{ϕ} - постійна часу формування.

Значення T_{ϕ} і $I_{\text{к.мас}}$ розраховуються за наступними залежностями:

$$\tau_{\phi} = h_{21} / 2\pi f \quad (2.28)$$

$$I_{\text{к.мас}} = E_K / R_K \quad (2.29)$$

$$I_{\text{к.мас}} = 27 / 4 = 6.75(\text{А})$$

Значення h_{21} знаходиться з наступних залежностей:

$$h_{21} = I_e / I_K \quad (2.30)$$

$$I_e = \frac{1}{750} I_K \quad (2.31)$$

$$I_e = I_{\text{к.мас}} + I_{\phi} \quad (2.32)$$

Виходячи з даних залежностей запишемо вираз для h_{21} :

$$h_{21} = \frac{I_{\text{к.мас}} + I_{\phi}}{I_K} \quad (2.33)$$

$$h_{21} = \frac{6.75 + 1 / 750 \cdot 6.75}{6.75} = 1.0013$$

Знайдемо за формулою (2.28) величину τ_{ϕ} :

$$\delta\Phi=1.0013/2*3.14*1=0.159 \text{ (с)}$$

Знаходимо час фронту вихідного імпульса:

$$t_{\text{фор}} = 0.159 * \ln \left(\frac{18 * 10^{-3}}{18 * 10^{-3} - (0.9 * \frac{6.75}{750})} \right) = 5.5 * 10^{-4} \text{ (с)}$$

Тепер розрахуємо час спаду імпульса:

$$t_{\text{сп}}=2.3\delta\phi \quad (2.34)$$

$$t_{\text{сп}}=2.3*0.159=0.3657 \text{ (с)}$$

Проведемо розрахунок електромагніт)'. Для цього задаємося наступними значеннями:

довжина осердя електромагніту 0.1 м, радіус осердя електромагніту 6 мм
матеріал обмотки електромагніту мідь.

Потужність, яка подається на електромагніт визначається за формулою:

$$P_{\text{вих}}=U^2_{\text{вих}}/R_{\text{н}} \quad (2.35)$$

$$P_{\text{вих}}=72/4=12.2 \text{ (Вт)}$$

Струм, який подається на електромагніт, дорівнює:

$$I=U_{\text{вих}}/R_{\text{н}} \quad (2.36)$$

$$I=7/4=1.75 \text{ (А)}$$

Виходячи з даного значення потужності, яка роз сіюється на електромагніті, користуючись довідничко- вими даними, вибираємо діаметр дроту обмотки. Він дорівнює $d=0.5\text{мм}$.

Знайдемо довжину одного витка обмотки:

$$L=2\pi R \quad (2.37)$$

$$L=2*3.14*6=37.68 \text{ (мм)}$$

Довжину всього дроту обмотки можна знайти з наступної залежності

$$R=\rho'*l \quad (2.38)$$

де ρ' - електричний опір одного метру дроту. Для мідного дроту діаметром $d=0.5 \text{ мм}$ ця величина дорівнює [9] $\rho' =0.087848 \text{ Ом}$.

Звідси

$$l=R/\rho' \quad (2.39)$$

$$l=4/0.087848=45.5 \text{ (м)},$$

Знайдемо кількість витків обмотки:

$$W=l/L, \quad (2.40)$$

$$W=45.4*1000/37.68=1204.8=1205,$$

Тепер знайдемо напруженість магнітного поля, яке виникає в осерді електромагніту при проходженні електричного струму через обмотку:

$$H = \frac{I * W}{l'}, \quad (2.41)$$

де L - довжина середньої лінії осердя; I - струм обмотки.

$$H = \frac{6.75 * 1205}{100} = 81.3,$$

Напруженість магнітного поля зв'язана з величиною магнітної індукції наступним чином:

$$B=\mu_a * H, \quad (2.42)$$

де μ_a - абсолютна магнітна проникність, яка дорівнює:

$$\mu_a=\mu*\mu_0 \quad (2.43)$$

де μ_0 -магнітна постійна: $\mu_0=4\pi*10^{-7}$ (Ом*с/м)

μ - магнітна проникність матеріалу: $\mu =150$ (для сталі).

$$B = 4*3.14*10^{-7}*150*81.3 = 15.3*10^{-3} \text{ (Тл)}$$

Сила притягання кожного полюса електромагніта визначається за формулою:

$$F = \frac{B^2 S}{8} 10^7, \quad (2.44)$$

$$F=(15,*10^{-3})^2*36*10^{-6}*10^7/8*3,14=1053,04*10^{-5} \text{ (Н)},$$

$$F= 10,53* 10^{-3} \text{ Н.}$$

2.4.3 Розробка друкованої плати

Розробку плати проводимо користуючись наступними правилами.

Основний крок координатної сітки повинен бути 2,5мм. Розмір друкованої плати повинен бути кратним 2.5. Максимальний розмір будь-якої сторони повинен бути не більшим за 470 мм. Співвідношення лінійних розмірів сторін друкованої плати повинно бути не більше 3:1. Допуски на лінійні розміри сторін вибирають згідно ГОСТ 25346-82 "ЕСКД. Загальні положення, ряди допусків і основних відхилень" та ГОСТ25347-82 "ЕСКД. Поля допусків та рекомендовані посадки" [12].

Крок координатної сітки в полярній системі координат задають по куту і діаметру і визначають в залежності від розподілу елементів друкованої плати. За нуль в прямокутній системі координат на головному виді друкованої плати приймають лівий нижній кут.

Центри всіх отворів на друкованій платі, включаючи кріпильні, повинні знаходитись у вузлах координатної сітки. Центри отворів, які призначені для виводів, багатовивідних навісних елементів розташовуються згідно з розмірами, які вказані у нормативній документації на ці елементів. Центр отвору, який приймається за основний, повинен розташовуватися в куті сітки; інші отвори для цього елемента слід по можливості розташовувати на вертикальних та горизонтальних лініях координатної сітки. Розміри та конфігурацію кріпильних, конструктивних технологічних отворів слід вибирати по ГОСТ 11284-75 "Отвори наскрізні під кріпильні деталі".

Допускається по ГОСТ 10 317-79 «Плати друковані. Основні розміри» використання діаметрів монтажних перехідних і не металізованих отворів з ряду: 0,4 ; 0,5; 0,6. 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6, 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм.

Згідно ГОСТ 2.789-74 "ЕСКД. Позначення умовні графічні. Апарати теплообмінні" шерохватість поверхонь монтажних неметалізованих отворів і торців друкованої плати повинна бути $Rz < 80$, а для металізованих поверхонь - $Rz < 40$.

Металізовані отвори виконуються без зенкерування . Контактні площадки виконуються прямокутної або круглої форми або близької до них.

Для позначення першого виводу багатовивідного навісного елемента контактну площадку виконують по формі, яка відрізняється від інших.

Провідники на кресленні повинні зображуватись одною лінією з вказанням на кресленні ширини провідника. Ширина друкованих провідників не менше 1мм.

Відстань між друкованими провідниками чи провідником і контактною площадкою не менше 0.5 мм. Покриття поверхні провідного рисунку - сплав Розе ТУ-6-09-4065-75. Маркувати фарбою ЧМ, чорний ТУ029-02-859-78. Позначення елементів проводиться фарбою БМ, білий ТУ 029-02-859-78, шрифтом 2.5 за НО 010.007. Виготовляється плата з склотекстоліту СФІ-50-1 по ГОСТ 1 316-78.

Плата повинна відповідати ГОСТ 4.077.000, група жорсткості 3. Клас точності 1 по ГОСТ 4.010.019-81.

Висновки до розділу 2

Акустичний метод контролю якості, заснований на методі вільних коливань, є ефективним інструментом для оцінки якісного стану об'єктів контролю. Суть методу полягає у реєстрації вільних коливань об'єкта, визначенні часу їх загасання та аналізі параметрів коливної системи, таких як добротність, час релаксації, декремент загасання та власна частота.

На основі математичного опису коливальних процесів встановлено, що наявність дефектів у контрольованих об'єктах значно знижує добротність системи, а отже, і час релаксації. Порівняння часу релаксації зразкового та контрольованого об'єктів дозволяє робити висновки про їхній технічний стан. Власна частота об'єкта розраховується із застосуванням теорії чотирьохполюсників та методу електромеханічних аналогій, що дозволяє ефективно аналізувати поведінку коливної системи, зокрема, резонатора Гельмгольца.

Переваги методу включають високу продуктивність, простоту реалізації, можливість автоматизації процесу та відносну дешевизну. Водночас недоліком є неможливість точного визначення розмірів та місця розташування дефектів. Однак у випадках, коли важливим є саме якісний контроль стану об'єкта, метод вільних коливань залишається цінним і зручним інструментом.

У даному розділі теоретично обґрунтовано умови дослідження газових балонів акустичним методом. Проведено розрахунок об'єму балону ємністю 5 л із урахуванням геометричних параметрів його складових частин. Власна частота резонатора була визначена з використанням відповідної математичної моделі, що дозволило знайти період загасаючих коливань.

Дослідження показали, що акустичний відгук балону суттєво змінюється залежно від типу дефекту:

Балон із діркою: Період імпульсів збільшився, а амплітуда зменшилась через акустичний витік, інтерференцію хвиль і додаткові затухання у дефектній області.

Балон із тріщиною: Період імпульсів залишився майже незмінним, але амплітуда зменшилась через паразитні резонанси, які гасять основну хвилю.

Балон із корозією: Загасання імпульсів відбувається переважно в області високих частот, що пояснюється акустичним поглинанням і зміною резонансних частот через вторинну оболонку корозії.

Аналіз залежностей показав, що акустичний метод дозволяє визначати тип дефекту. Проте, у разі наявності декількох дефектів, кожен із них вносить свою складову в загальну картину загасання, що ускладнює ідентифікацію окремих дефектів.

Метод доцільно застосовувати для первинного контролю газових балонів із метою відбракування пошкоджених. Надалі пошкоджені балони можуть проходити більш детальний контроль із використанням ультразвукових або інших методів.

Розроблено структурну схему методу. А також проведено проектування та розрахунок основних блоків.

3 РЕГЛАМЕНТУВАННЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БАЛОНІВ ДЛЯ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ

І МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВУЗЛІВ ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ БАЛОНІВ

3.1 Основи і порядок контролю технічного стану балонів

Балони для скрапленого газу, що знаходяться в експлуатації, повинні проходити періодичний технічний контроль не рідше чим через 5 років. Технічний контроль балонів проводиться при плюсових температурах повітря в окремих спеціально обладнаних приміщеннях.

Балони , що підлягають ремонту і технічному контролю перед відкручуванням запірною пристрою випорожнюють від газу і залишків, що не вивітрились. Допускається залишковий тиск газу в балоні не більше $1/3$ від нижньої межі займання газу.

Зняття і встановлення запірних пристроїв балонів слід проводити за допомогою механічного ключа для вкручування і викручування балонних вентилів чи інших механічних засобів. У випадку відсутності цих засобів допускається проводити вручну. При цьому викручування запірною пристрою повинно проводитись динамометричним ключом з моментом затягування не більше 480 Нм (480 кгс.м) - для сталевих вентилів та 250 Нм (25 кгс.м) для латунних.

З балонів з несправними запірними пристроями, з яких неможливе злити газ, вентиля повинні викручуватись на спеціально обладнаних постах за інструкцією, що затверджена керівництвом підприємства.

Балони, що поступили для заміни вентиля чи клапана, не дегазуються і не промиваються при умові їх заміни на протязі не більше 5 хвилин. При перевищенні вказаного терміну часу горловину балона необхідно герметично закрити пробкою з метою запобігання проникнення в нього повітря.

Викручування вентиля чи клапана потрібно проводити у вибухобезпечних приміщеннях, що обладнані відповідною приточно - витяжною вентиляцією і автоматикою контролю загазованості. (Приміщення класу В - 1А).

Після викручування запірною пристрою балони, що поступили для ремонту і технічного контролю, повинні бути пропарені паром тиском не нижче 0,04 Мпа (0,4 кгс/см.кв) або промити гарячою водою з температурою не нижче 70 град.С.

Після пропарювання необхідно провести перевірку балона на відсутність в ньому горючих газів за допомогою іскровибухобезпечного газоаналізатора. Результати цієї перевірки заносять в спеціальний журнал, в якому вказують : дату перевірки, номер балону, номер газоаналізатора, відмітка про придатність балону до зварювальних робіт, підпис відповідальний за перевірку.

Після пропарювання на балоні наносять пізнавальний знак „ Д ”.

Технічний контроль балонів повинен включати в себе :

- огляд внутрішньої і зовнішньої поверхні балону ;
- перевірку різьби горловини і вентиля чи клапана відповідно вимогам ГОСТ 9902 - 70 ;
- гідравлічне випробування ;
- пневматичне випробування.

Виявлені при зовнішньому огляді видимі дефекти, а також дефекти виявлені в процесі технічного контролю балонів, необхідно розчистити абразивним інструментом чи зібрати фрезою всю дефектну ділянку, а потім заварити ручним електродуговим зварюванням.

Підрізи в місцях переходу від шва до основного металу повинні бути зачищені і заварені тонкими валиковими швами.

Перед заварюванням тріщини зварного шва необхідно засверлити по кінцям її отвори діам. 3 мм, зробити фаски на всю глибину тріщини, після чого провести зварювання. При підварці зварювальний шов повинен перекривати дефектний шов в обидва боки на 25 - 30 мм.

Підварювання необхідно проводити при горизонтальному розміщенні шва.

При ручному електродуговому зварюванні повинні використовуватись електроди діаметром 3 і 4 мм. Режими зварювання - відповідно паспортним даним електродів.

При напівавтоматичному зварюванні в середовищі вуглекислого газу необхідно використовувати відповідний зварювальний дріт [1]. Проварювання швів балонів необхідно проводити в суворій відповідності з інструкцією із експлуатації зварювального напівавтомата.

Виправленні дефектні ділянки швів балонів повинні бути очищені від шлаку та бризг. Габаритні розміри швів при цьому повинні бути в межах : поздовжній шов - ширина 12 ± 2 мм, висота $1,5 \pm 1$ мм ; кільцевий шов - ширина 14 ± 3 мм, висота $1,5 \pm 1$ мм.

Зварні шви рахуються незадовільними, якщо в результаті контролю будуть виявлені наступні внутрішні дефекти :

- тріщини всіх видів та напрямків, розміщених в металі шва, по лінії оплавлення і навколошовній зоні основного металу ;
- непровари (несплавлення), що розміщені в січені зварного з'єднання (між окремими валиками та шарами шва і між основним металом і металом шва);
- свищі;
- пори у вигляді суцільної сітки ;
- одиничні шлакові та газові включення глибиною більше 0,7 мм і довжиною більше 1,5 мм ;
- скупчення газових пор та шлакових включень в окремих ділянках шва більше 5 шт на 1 см кв площі шва.

Максимальний лінійний розмір окремого дефекту по найбільшій протяжності не повинен перевищувати 1,5 мм, а сума їх лінійних розмірів не повина бути більшою 3 мм.

При ремонті башмака зруйновані ділянки зварювального шва необхідно зачистити абразивним інструментом, підігнати відірвану ділянку башмака до днища балону, зачистити місця під зварювання і приварити, відступивши не менше, чим на 30 мм від старого місця зварювання.

При заміні башмака, що прийшов в негідність, зварювальний шов необхідно зрубати або зрізати, зачистити місця під зварювання до металічного блиску на ширину не менше 10 мм і приварити новий башмак виготовлений у відповідності з ГОСТ 380-71 перервчастим швом.

Розміри балонів після заміни чи ремонту повинні відповідати ГОСТ 15860-70.

Зношену різьбу під вентиль в горловині балону необхідно розсвердлити під втулку діаметром 32,5 мм, втулку з конічною різьбою К 29 ГАЗ по ГОСТ 9909 - 81 (без нарізання зовнішньої різьби на втулці і внутрішньої різьби в горловині балона) вставити в розсвердлений отвір горловини і приварити суцільним швом.

При заміні горловини необхідно зрізати кільце горловини, виключивши можливість його падіння в балон, зняти паспорт та зрізати горловину до основного металу верхнього днища фрезою діаметром 45 мм. В готовий отвір у верхньому днищі вставити нову горловину, в 3 - 4 місцях прихватити електродуговим зварюванням, а потім приварити до днища швом в напуск. Після перевірки якості зварного шва візуально, надіти пластинку з паспортом, притиснувши її кільцем. Кільце приварити переривчастим швом.

Для виготовлення горловини і різьбових втулок повинні використовуватись марки сталі вказані в ГОСТ 15860 - 70 та ГОСТ 380 - 71.

При закріпленні кільця на горловині необхідно зняти сліди зруйнованої зварки на циліндричній частині горловини та кільця абразивним чи іншим інструментом, надіти на горловину балону пластинку з паспортом, прижати її кільцем і приварити електродуговим зварюванням переривчастим швом по колу до горловини.

Перевірку щільності різьбового з'єднання балону з вентилям чи клапаном слід проводити скрапленням вуглеводним або інертним газом під тиском не менше 1,6 Мпа (16 кгс/см кв).

Зовнішні поверхні балонів, що пройшли перевірку після ремонту чи технічного контролю повинні зафарбовуватись, окрім паспортної таблички в два шари атмосферостійкою емаллю червоного кольору.

За діючими технічними умовами всередині циліндричної частини балону по колу наноситься емалю білого кольору напис „ПРОПАН" у відповідності з вимогами. На верхньому днищі або на пластинці паспорта наносяться висотою букв 40 мм заводський номер, фактична маса балона із запірним пристроєм і черговий термін його перевірки. Окрім цього наносять клеймо підприємства, що проводив ремонт і перевірку балону та дата (місяць та рік) проведеного ремонту.

3.2 Аналіз джерел невизначеностей розробленої установки

В даному розділі зупинимося на проведенні розрахунку по визначенню похибки, яку може внести блок збудження акустичних коливань в результати вимірювання, так як його похибка безпосереднім чином впливає на якість проведення акустичного неруйнівного контролю. Аналіз похибки можна здійснити трьома наступними методами: диференціальним методом, метод аналізу структурної схеми і метод оцінки результуючої похибки за відомими оцінками і її складових.

Проаналізуємо кожен з цих методів.

Якщо відома аналітична залежність між вихідною і вхідною величинами даного блоку (залежність може бути лінійною і нелінійною), тоді абсолютне значення статичної похибки Δu блоку знаходять диференціальним методом таким чином:

$$\Delta y \cong \sum_{i=1}^n \frac{dy}{da_i} * \Delta a_i \quad (3.1)$$

де $y = f(x, a_1, a_2, \dots, a_n)$ -залежність між вихідною і вхідною величинами блоку;
 a_1, a_2, \dots, a_n - параметри блоку, які впливають на вихідну величину y ;

Δa_i - абсолютна похибка кожного із вищевказаних параметрів.

Відносно значення статичної похибки даного блоку диференціальним методом знаходять за допомогою такої залежності:

$$\delta_y = \sum_{i=1}^n C_i * \delta_{a_i} \quad (3.2)$$

де $C_i = \frac{dy}{da_i} * \left(\frac{a_i}{y}\right)$ постійні коефіцієнти, для розрахунку конкретних значень яких в отримані вирази підставляють нормовані значення параметрів a_i і відповідне значення вхідної величини x , $\delta_{a_i} = \Delta a_i / a_i$ відносні похибки кожного із параметрів a в тому числі і вхідної величини x .

Даний метод є універсальним. Але для визначення похибки блоку збудження акустичних коливань даний метод не підходить оскільки нам не відома ні аналітична залежність між вхідними і вихідними величинами, ні його статична характеристика.

Метод аналізу структурної схеми використовується якщо відома структурна схема даного блоку, а також значення коефіцієнтів передач всіх обов'язково лінійних елементів цієї схеми і їх приростів. Оскільки ці значення нам не відомі, то даний метод теж не підходить для розрахунку похибки даного блоку.

Таким чином для визначення похибки блоку збудження акустичних коливань розробленого приладу використовуємо метод сумування відомих його складових, які визначаються з допомогою довідникового матеріалу.

3.3 Опис вибраного методу метрологічного аналізу блоку збудження акустичних коливань

Отже в даному випадку ми вибираємо метод оцінки результуючої похибки за відомими оцінками її складових. Складність проведення такого сумування полягає в тому, що всі складові похибки повинні розглядатись, як випадкові величини, які приймають в кожній окремій реалізації різні значення. Згідно закон у ймовірності вони можуть бути описані своїми законами розподілу, а їх дія відповідним багато мірним законом розподілу. Але операції з багатомірними законами розподілу досить складні і розв'язок такої задачі стає практично неможливим. Тому більш простіший шлях вирішення даної проблеми, тобто задачі сумування, полягає в підборі для характеристики складових таких числових оцінок (СКВ, ентропічний коефіцієнт і т.д.), оперуючи якими можна було б визначити відповідні числові оцінки результуючої похибки.

При цьому слід врахувати, що:

- при сумуванні випадкових величин закони їх розподілу можуть деформуватися;
- числові характеристики законів розподілу складових (σ_1, k_1, t_1) не залишаться постійними в функції від значення вимірювальної величини;
- окремі складові похибки можуть бути корельовані між собою.

Правила сумування похибок базуються на тому припущенні, що похибка за абсолютною величиною завжди набагато менша самої вимірювальної величини.

Для усунення впливу деформації форми законів розподілу при сумуванні похибок всі складові, які сумуються попередньо представляються своїми СКВ і всі операції сумування поводяться тільки з цими даними.

Врахування взаємкореляційних зв'язків між складовими, які сумуються, здійснюється шляхом використання різних правил сумування для жорстко і слабо корельованих складових.

Часто результуючу похибку бажано виразити у вигляді не СКВ, а деякого ентропійного чи довірчого інтервалу невизначеності. Цей перехід, з теоретичної точки зору, є складною операцією сумування похибок оскільки коефіцієнт довіри чи ентропійний коефіцієнт залежать від форми закону розподілу результуючої похибки [14].

Тепер розглянемо конкретні залежності, які нам будуть необхідні при визначення сумарної похибки.

Спочатку знайдемо СКВ кожної складової сумарної похибки за наступною формулою:

$$\sigma_1 = \Delta_1 / Z, \quad (3.3)$$

де Δ_1 - абсолютна похибка кожного елемента блоку збудження акустичних коливань. Вона визначається за наступною формулою:

$$\delta_1 = \Delta_1 * A_{н1} / 100\%, \quad (3.4)$$

де δ_1 - відносна похибка, $A_{н1}$ - номінальне значення вихідного сигналу. Згідно центральної граничної теореми, якщо сумарна похибка складається з більше ніж трьох компонентів, то закон розподілу цієї похибки незалежно від законів розподілу окремих її компонентів наближається до нормального закону розподілу. За таблицями інтеграла Лапласа задавшись ймовірністю попадання випадкової величини в певний інтервал $P=0,95$ для нормального закону розподілу знаходимо, що коефіцієнт довіри (коефіцієнт Ст'юдента) $Z=1,96$ [16].

Тепер знайдемо сумарне середньоквадратичне відхилення блоку шляхом геометричного сумування середньоквадратичних відхилень кожної із його складових

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum \sigma_i^2}, \quad (3.5)$$

Величину сумарної похибки результату вимірювання можна виразити або через інтервал довіри, або через ентропійний інтервал Перевагою ентропійного інтервалу порівняно з інтервалом довіри полягає в тому, що величина першого може бути строго математично визначена для будь-якого

закону розподілу на відміну від необхідності довільно приймати значення ймовірності попадання результатів в заданий інтервал довіри.

Значення зведеної сумарної похибки може бути однозначно знайдено через розраховане сумарне СКВ при визначенні закону розподілу сумарної похибки:

$$\Delta_{\Sigma} = R_e \sigma_{\Sigma}, \quad (3.5)$$

для нормального закону розподілу ентропичний коефіцієнт згідно [16] $R_g = 2,066$.

3. 4 Метрологічний аналіз складових похибок вимірювального блоку

Використовуючи довідниковий матеріал проаналізуємо; які похибки вносять елементи електричної схеми блоку збудження акустичних хвиль у результати контролю.

Розглянемо можливі ділянки електричної схеми блоку збудження акустичних коливань, які вносять похибки у процес контролю. Оптопара, яка передає керуючий сигнал на таймер вносить похибку 0.8%, яка обумовлена нелінійністю характеристик світодіода і приймача. Ця похибка є адитивною і випадковою.

Наступним елементом, що вносить похибку є таймер у складі якого є операційні підсилювачі. Ця похибка обумовлена зміщенням нуля операційного підсилювача в умовах температурної нестабільності. Вважаємо, що температура в приміщенні в якому працює даний прилад знаходиться у межах від 18 до 24 °C з середнім значенням 21 °C та рівномірним відхиленням ± 3 K. Температурний коефіцієнт зміщення нуля для даного операційного підсилювача складає 1%/10K. Відповідно похибка таймера буде складати 0.3%. Ця похибка є адитивною і випадковою.

Логічні елементи DD 2.1.1 та DD 2.1.2 вносять незначну сумарну похибку 0.2%, яка обумовлена нестабільністю переходів із стану логічного

нуля в стан логічної одиниці та навпаки. Дана похибка є адитивною та випадковою.

Похибка, що викликана нестабільністю джерела живлення є невеликою, оскільки у ньому використовується інтегральний стабілізатор високої якості. Температурний коефіцієнт напруги емітерного переходу транзистора у вихідному каскаді інтегрального стабілізатора складає близько 2.5мВ/К. При зміні температури в заданих межах від середнього значення до мінімально або максимального зміна напруги на виході інтегрального стабілізатора буде складати $\pm 7.5\text{мВ}$ або у процентному вираженні $\pm 0.05\%$. Ця похибка є адитивною та випадковою.

Похибка, яку вносить електромагніт обумовлена часом необхідним для протікання магнітних процесів у осерді електромагніта. Ця похибка є найбільшою з наведених та складає близько 2 %. Дана похибка є адитивною і систематичною.

3.5 Розрахунок сумарної похибки

На основі зробленого метрологічного аналізу блоку збудження акустичних коливань розрахуємо сумарну похибку, яку він вносить у результати контролю. Для цього згідно вибраного методу, використовуючи формули (3.3), (3.4) і (3.5) перейдемо до СКВ похибок, які вносять елементи принципової схеми даного блоку. Отже, в результаті розрахунків отримуємо:

$$\Delta_1=0.05 \cdot 27/100=0.0135;$$

$$\Delta_2=0.2 \cdot 9/100=0.018;$$

$$\Delta_3=0.8 \cdot 9/100=0.072;$$

$$\Delta_4=0.3 \cdot 15/100=0.045;$$

$$\Delta_5=2 \cdot 27/100=0.54.$$

Знайдемо СКВ кожної складової похибки блоку збудження акустичних коливань:

$$\sigma_1=0.0135/1.96=6.8 \cdot 10^{-3};$$

$$\sigma_3=0.018/1.96=9.2 \cdot 10^{-3};$$

$$\sigma_4=0.072/1.96=36.7 \cdot 10^{-3};$$

$$\sigma_5=0.045/1.96=23 \cdot 10^{-3};$$

$$\sigma_6=0.54/1.96=0.275.$$

Тепер знайдемо сумарне значення СКВ похибок блоку збудження наступним чином:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{(6.8 \cdot 10^{-3})^2 + (9.2 \cdot 10^{-3})^2 + (36.7 \cdot 10^{-3})^2 + (23 \cdot 10^{-3})^2 + 0.275^2}$$

$$\sigma_{\Sigma} = 278.6 \cdot 10^{-3}$$

Через розраховане сумарне СКВ розрахуємо значення зведеної сумарної похибки:

$$\Delta_{\Sigma}=2.066 \cdot 278.6 \cdot 10^{-3}=575.6 \cdot 10^{-3};$$

Отже, знайдемо відносну сумарну похибку:

$$\delta_{\Sigma}=575.6 \cdot 10^{-3} / 27 \cdot 100\%=2.1\%;$$

Таким чином, отримане значення похибки цілком задовольняє умовам розробленого акустичного приладу неруйнівного контролю.

Висновки до розділу 3

У розділі було детально розглянуто основні етапи, методи та вимоги до контролю технічного стану балонів для скрапленого газу, що перебувають в експлуатації. Особливу увагу приділено правилам безпеки, технічним аспектам підготовки та перевірки балонів, а також вимогам до процесів ремонту та технічного обслуговування.

Основні положення можна узагальнити таким чином:

1. Балони повинні проходити технічний контроль кожні п'ять років. Це дозволяє забезпечити їхню справність та уникнути аварійних ситуацій.
2. Перед виконанням ремонтних робіт або технічного контролю балони спорожнюють від залишків газу, а запірні пристрої знімаються за допомогою механічних або динамометричних ключів.
3. Роботи проводяться в спеціально обладнаних вибухобезпечних приміщеннях з приточно-витяжною вентиляцією та системами контролю загазованості.
4. Перед ремонтом балони очищаються від залишків газу шляхом пропарювання або промивання гарячою водою, а результати перевірки заносять у спеціальний журнал.
5. **Технічний контроль** включає:
Візуальний огляд внутрішньої та зовнішньої поверхні.
Перевірку різьбових з'єднань.
Проведення гідравлічних та пневматичних випробувань.
6. Дефекти зварних швів усуваються за допомогою ручного чи напівавтоматичного зварювання. Для цього використовуються конкретні технічні прийоми, що забезпечують високу якість зварних з'єднань відповідно до нормативних документів.
7. Після завершення перевірки та ремонту балони зафарбовують атмосферостійкою емаллю, наносять відповідну маркування та клейма.

Таким чином, порядок контролю технічного стану балонів включає широкий спектр технологічних та організаційних заходів, які гарантують їх безпечну експлуатацію. Дотримання описаних у розділі вимог сприяє запобіганню аварійним ситуаціям, забезпечує збереження технічних характеристик балонів та відповідає сучасним нормам і стандартам.

Також було проаналізовано джерела невизначеностей, що виникають при використанні блоку збудження акустичних коливань розробленої установки. Проведений аналіз показав, що оцінка похибок методом сумування відомих складових є найбільш доцільною, оскільки інші методи, такі як диференційний метод та метод аналізу структурної схеми, не можуть бути застосовані через відсутність необхідної інформації про аналітичні залежності, статичні характеристики та коефіцієнти передач.

Метод сумування відомих складових дозволив врахувати всі основні фактори, які впливають на результати вимірювань. У рамках даного підходу були враховані як адитивні, так і випадкові складові похибок, що виникають в елементах електричної схеми блоку, таких як оптопара, таймер, логічні елементи, джерело живлення та електромагніт.

Аналіз проведено з урахуванням законів розподілу випадкових величин, а також взаємкореляційних зв'язків між окремими складовими похибок. Таким чином, визначення сумарної похибки блоку збудження акустичних коливань базується на розрахунках середньоквадратичних відхилень (СКВ) кожної складової та їх геометричному сумуванні. Цей підхід забезпечує достатню точність для умов роботи розробленого приладу.

Отримані результати та методика аналізу стануть основою для подальших метрологічних розрахунків та підвищення точності роботи установки.

Висновки

Оцінювання технічного стану газових балонів потребує використання комплексу методів неруйнівного контролю, які забезпечують виявлення як зовнішніх, так і внутрішніх дефектів. Незважаючи на розвиток сучасних технологій, візуальний огляд залишається першим і обов'язковим етапом, оскільки дозволяє швидко ідентифікувати основні пошкодження. Для виявлення різних дефектів використовуються магнітопорошковий, капілярний, ультразвуковий і радіаційний методи, кожен із яких має свої переваги та обмеження. Дотримання стандартів і процедур уніфікує підходи до контролю і підвищує його надійність, забезпечуючи безпечну експлуатацію балонів.

Для підвищення ефективності неруйнівного контролю пропонується розробка нового методу та пристрою, що базуються на акустичному контролі. Акустичний метод, заснований на аналізі вільних коливань, є ефективним інструментом для визначення технічного стану об'єктів. Він дозволяє реєструвати вільні коливання, визначати час їх загасання і аналізувати параметри системи, такі як добротність, час релаксації, декремент загасання і власна частота. Математичні розрахунки показали, що дефекти значно знижують добротність системи, а порівняння часу релаксації контрольованих і зразкових об'єктів дозволяє оцінити їхній стан.

Метод вільних коливань має такі переваги, як висока продуктивність, простота реалізації, можливість автоматизації та економічність. Основний недолік – складність точного визначення розмірів і розташування дефектів. Проте для якісної оцінки стану балонів метод залишається корисним.

У ході дослідження виявлено, що акустичний відгук змінюється залежно від типу дефекту. Наприклад, балони з дірками демонструють збільшений період імпульсів і зменшену амплітуду через акустичні витоки, тріщини викликають паразитні резонанси, а корозія призводить до загасання високочастотних імпульсів. Метод доцільно використовувати для первинного

контролю з подальшою детальною перевіркою пошкоджених балонів за допомогою інших методів, таких як ультразвуковий.

Було розроблено структурну схему пристрою, проведено проектування основних блоків і виконано метрологічний аналіз методу. Результати дослідження враховують джерела похибок і дозволяють точно оцінювати стан об'єктів. Застосування цього підходу сприятиме безпечній експлуатації балонів і відповідатиме сучасним стандартам.

Отже, у магістерській роботі виконано всі поставлені завдання, а саме:

- здійснено аналіз існуючих методів контролю технічного стану балонів для скрапленого газу, їх переваг, недоліків і обмежень, зокрема акустичного методу, та визначити можливості для його вдосконалення;
- розроблено математичні моделі, які описують вільні коливання балонів з урахуванням різних видів дефектів (дірки, тріщини, корозія тощо), та проведено теоретичне моделювання змін характеристик акустичного відгуку залежно від типу і розміру дефекту
- здійснено серію теоретичних експериментів для вивчення акустичного відгуку балонів із різними видами дефектів і перевірено достовірність теоретичних розрахунків;
- розроблено структурну схему приладу для контролю технічного стану та розраховано його основні блоки;
- здійснено метрологічний аналіз вдосконаленого акустичного методу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДжЕРЕЛА

1. ДСТУ 3245-95. Балони сталеві зварні для скраплених вуглеводневих газів на тиск до 1,6 МПа. Загальні технічні умови.
2. ДСТУ 2865-94 Контроль неруйнівний. Терміни та визначення.
3. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. - 192 с.
4. Казакевич М. Л., Сухов В. В., Архипов О. Г. Механіка матеріалів і конструкцій. Лабораторний практикум (частина 2) : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 84 с.
5. ДСТУ ISO 6406:2019 Газові балони. Безшовні сталеві газові балони. Періодичні перевіряння та випробування (ISO 6406:2005, IDT).
6. ДСТУ EN ISO 18119 – перевірка балонів із композитних матеріалів. Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском (ПБЕП).
7. Електричний, магнітний та електромагнітний види неруйнівного контролю в нафтовій галузі: навчальний посібник /О.Є. Середюк, О.Б. Барна, О.С. Криницький - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017.-348с.
8. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
9. ДСТУ EN ISO 15549:2022 Неруйнівний контроль. Вихрострумний контроль. Загальні вимоги (EN ISO 15549:2019, IDT; ISO 15549:2019, IDT)
10. Бшокур І. П., Акустичний контроль/ І.П.Бшокур. - К.: Либщъ, 1999. - 244 с.
11. ДСТУ EN 444:2005. Неруйнівний контроль. Основні принципи радіографічного методу контролю металів рентгенівським і гамма-випромінюваннями

12. ДСТУ EN ISO 17640:2022 Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролювання та оцінювання (EN ISO 17640:2018, IDT; ISO 17640:2018, IDT)

13. ДСТУ EN ISO 17405:2022 Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Методика випробування покриттів, виготовлених зварюванням, прокаткою та вибухом (EN ISO 17405:2022, IDT; ISO 17405:2022, IDT)

14. ДСТУ EN ISO 10863:2022 Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Застосування дифракційно-часового методу (TOFD) (EN ISO 10863:2020, IDT; ISO 10863:2020, IDT)

15. ДСТУ EN ISO 13588:2022 Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Використання технології автоматизованої фазованої решітки (EN ISO 13588:2019, IDT; ISO 13588:2019, IDT)

16. «Графічне оформлення схем електричних принципів» методичні вказівки до практичних занять для студентів напрямів підготовки 0501 інформатика та обчислювальна техніка; 0502 автоматика та управління; 0507 електротехніка та електромеханіка; 0509 радіотехніка, радіоелектронні апарати та зв'язок; 0510 метрологія, вимірювальна техніка та інформаційно-вимірювальні технології та 1701 інформаційна безпека. / С.В. Балашов, Л.М. Благодарна, Г.С. Тен. – Дніпропетровськ.: НГУ, 2010.–30 с.

17. Методичні вказівки до виконання графічної роботи «Вивчення правил оформлення конструкторської документації з дисципліни «Інженерна та комп'ютерна графіка» для студентів – радіо і електро спеціальностей» / Уклад.: Н.М. Коломийчук К.: НТУУ (КПІ), 2016. - 29 с.

18. Умовні графічні позначення на електричних схемах: довідник / В. Ю. Кучерук, В. М. Севастьянов, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 113 с.

Бібліографічна довідка

Тема магістерської роботи "Удосконалення методики і пристрою контролю технічного стану балонів для скраплених вуглеводневих газів".

Об'єм пояснювальної записки складає 82 сторінки.

Графічна частина включає в себе наступні
креслення:

1. Зовнішній вигляд балону для скрапленого газу і технічні характеристики (МР.МТТм-21.00.00.001)
2. Алгоритм методу контролю і структурна схема блоку обробки акустичного контролю (МР.МТТм-21.00.00.002)
3. Метод електромеханічних аналогій при акустичному контролі балонів (МР.МТТм-21.00.00.003)
4. Конструктивні особливості балонів з дефектами (МР.МТТм-21.00.00.004)
5. Результати проведених досліджень (МР.МТТм-21.00.00.005)
6. Схема нагромадження похибок блоку збудження акустичних коливань (МР.МТТм-21.00.00.006)