

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
канд. техн. наук, доц.
_____ Попов О.В.
«__»_____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
«МАГІСТР»

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І АВІАДВИГУНІВ»

Тема: «Електромагнітно-акустичний метод неруйнівного контролю силових елементів конструкції планера ПС»

Виконав: _____ **Плювака І.О.**

Керівник: канд. техн. наук, доц. _____ **Туз М.Д.**

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: ст. викладач _____ **Козлітін О.О.**

охорона навколишнього середовища:
канд. біолог. наук, доц. _____ **Падун А.О.**

Нормоконтролер _____

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

_____ Попов О.В.

«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

**на виконання кваліфікаційної роботи
ПЛЮВАКИ ІННИ ОЛЕКСАНДРІВНИ**

1. Тема роботи: «Електромагнітно-акустичний метод неруйнівного контролю силових елементів конструкції планера ПС»

Затверджена наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1785/ап.

2. Терміни виконання роботи: з 26.09.2022 р. по 30.11.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: аналіз неруйнівних методів контролю силових елементів конструкції ПС, статистичні дані характерних пошкоджень елементів конструкції ПС, аналіз систем контролю стану силових елементів, вплив геометрії силових елементів конструкції на міцність планера, визначення оптимальних режимів неруйнівного контролю силових елементів планера ПС.

4. Зміст пояснювальної записки: можливі несправності при експлуатації планера ПС, типи дефектів планера ПС, електромагнітно-акустичний неруйнівного контролю, методи та засоби реалізації запропонованого методу, розробка питань з охорони праці та охорони навколишнього середовища.

5. Графічний (ілюстративний) матеріал виконано з використанням Microsoft Office Excel, Power Point і представлено у вигляді презентацій.

6. Календарний план-графік

Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
Аналіз досвіду використання неруйнівних методів контролю	26.09.22 – 05.10.22	
Робота над матеріалами розділу 1	06.10.22 – 14.10.22	
Робота над матеріалами розділу 2	15.10.22 – 05.11.22	
Виконання окремих розділів роботи: охорона праці, охорона навколишнього середовища	06.11.22 – 14.11.22	
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	15.11.22 – 25.11.22	
Попередній захист магістерської роботи	26.11.22 – 30.11.22	

7. Консультанти по окремих розділах

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Ст. викладач Козлітін О.О.		
Охорона навколишнього середовища	Канд. біолог. наук, доцент Падун А.О.		

8. Дата видачі завдання: « ___ » _____ 2022 року.

Керівник дипломної роботи _____ Туз М.Д.

Завдання до виконання прийняв _____ Плювака І.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Електромагнітно-акустичний метод неруйнівного контролю силових елементів конструкції планера ПС»:

с., рис., табл., джерел

Об'єкт дослідження – силові елементи конструкції ПС.

Предмет дослідження – пошкодження силових елементів конструкції ПС в процесі експлуатації.

Мета дипломної роботи – дослідження впливу пошкоджуємості силових елементів конструкції на технічний стан ПС та електромагнітно-акустичного методу діагностування стану силових елементів конструкції планера ПС.

Методи дослідження.

Для вирішення поставлених задач використовувались методи моделювання перетворення високочастотної електромагнітної хвилі провідника (індуктора) з електричним током, що по ньому протікає, в пружні деформації (ультразвук) на поверхні об'єкта що досліджується, з частотою рівної або кратної частоті електромагнітної хвилі. Використовувались експериментальні методи дослідження використання електромагнітно-акустичного методу діагностування з метою визначення стану силових елементів конструкції планера ПС.

Практичне значення дипломної роботи – впровадження перспективних методів діагностування конструкції силових елементів ПС за рахунок використання електромагнітно-акустичний метод неруйнівного контролю.

Розроблені в кваліфікаційній роботі рекомендації можуть бути запропоновані для розробки перспективних методів діагностування ГТД.

**ПОВІТРЯНЕ СУДНО, ЕМА-МЕТОД, СИЛОВІ ЕЛЕМЕНТИ, ДІАГНОСТУВАННЯ,
НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ЕМА-ПЕРЕТВОРЮВАЧ**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....

ВСТУП.....

РОЗДІЛ 1 АКУСТИЧНІ МЕТОДИ НЕРУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ
ДІАГНОСТИКИ.....

1.1 Ультразвукові методи контролю.....

1.2 Основні методи акустичного контролю.....

1.3 Тіньовий метод.....

1.4 Резонансний метод.....

1.5 Метод вільних коливань.....

1.6 Електромагнітно-акустичний метод.....

Висновки до розділу 1.....

РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ СИЛОВИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ПЛАНЕРА ПС.....

2.1 Фізичні принципи електромагнітно-акустичного методу контролю.....

2.2 Робота ультразвукового ЕМА-дефектоскопа, що випромінює і приймає хвилі
SH-поляризації.....

2.3 Прилади для ультразвукового контролю та вимірів з використанням ЕМА
способу порушення і прийому пружних хвиль.....

2.4 Нові методи ультразвукового контролю ЕМА способом на основі адаптації
радіолокаційних технологій.....

2.5 ЕМА – новий етап розвитку ТД і НК серед методів, оснований на реєстрації параметрів пружних хвиль, що взаємодіють з об’єктом контролю.....	
Висновки до розділу 2.....	
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
3.1 Загальні положення.....	
3.2 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що діють при технічному обслуговуванні повітряних суден (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98, ГОСТ 12.001 – 74 ССБТ).....	
3.3 Технічні і організаційні заходи щодо зменшення рівня впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98).....	
3.4 Розрахунок контурного заземлення на стоянці при технічному обслуговуванні повітряного судна.....	
3.5 Забезпечення пожежної і вибухової безпеки при технічному обслуговуванні повітряного судна (НПАОП 5.1.30 – 1.06 – 98).....	
3.6 Інструкція з техніки безпеки при технічному обслуговуванні паливної системи.....	
Висновки до розділу 3.....	
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	
4.1 Вплив повітряного транспорту на оточуюче середовище.....	
4.2 Розрахунок контрольного параметру емісії.....	
Висновки до розділу 4.....	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АТ –	авіаційна техніка
БП –	безпека польотів
ГТД –	газотурбінний двигун
ЕМА –	електромагнітно-акустичний метод
ЕМАП –	електромагнітно-акустичний перетворювач
ЕПТ –	електронно-промінева трубка
ККД –	коефіцієнт корисної дії
НК –	неруйнуючий контроль
ПБ –	пожежна безпека
ПС -	повітряне судно
ТД –	технічна діагностика
ТО –	технічне обслуговування
ТС –	технічний стан
УЗК –	ультразвуковий контроль
ЦА –	цивільна авіація

ВСТУП

Сучасний етап розвитку авіаційної техніки (АТ) характеризується тим, що поряд з вимогами до поліпшення їх окремих характеристик продовжують зростати вимоги до безпеки, безвідмовності і довговічності їх роботи. В даний час в практику експлуатації повітряних суден (ПС) впроваджується нова система прийняття рішення про доцільність їх подальшого використання за фактичним технічним станом. Така система дозволяє ефективніше оцінювати індивідуальні технічні можливості кожного конкретного виробу і часу їх безвідмовної експлуатації. Для її успішного впровадження необхідні методи і засоби контролю, які дозволяють виявляти несправності на ранній стадії їх розвитку. Це знижує економічні та екологічні витрати на експлуатацію та ремонт, повніше виробляються ресурсні можливості ПС.

Основною задачею забезпечення надійності систем та агрегатів АТ є попередження виникнення відмов в польоті і перш за все таких виробів, порушення функціонування яких створює аварійні або катастрофічні ситуації. Одним з основних напрямків забезпечення надійності АТ на етапі експлуатації є впровадження ефективних засобів та методів діагностування стану вузлів та агрегатів ПС.

Основна частка дефектів силових елементів конструкції планера ПС – це прогари, обриви, тріщини, механічні пошкодження, ерозійний знос, корозія тощо, які можуть бути виявлені за допомогою візуального контролю або акустичного контролю при чергових періодичних оглядах. Але найбільш небезпечними є втомні руйнування, початок розвитку яких формується всередині на рівні кристалічних ґраток. Однак розвиток дефекту від зародження до повного

зруйнування конструкції може тривати достатньо довго і такі дефекти конструкції майже неможливо виявити під час планових оглядів.

Найбільш резонансні катастрофи, пов'язані із зруйнуванням конструкції відбулись у 1954 та 1972 роках. У 1954 році через кілька хвилин після злету зазнав катастрофи перший в світі реактивний пасажирський літак De Havilland DH-106 Comet 1. Літак був випущений у 1951 році і на день катастрофи налітав 3681 годину, включаючи 40 годин з моменту останньої перевірки. За даними цієї перевірки по літаку небуло ніяких суттєвих зауважень. За версією розслідування літак розбився в результаті зруйнування фюзеляжу взривною декомпресією, викликаною втомою металу.

Інша катастрофа відбулась 18 травня 1972 року. Літак Ан-10А при заході на посадку в аеропорту Харкова зруйнувався на частини і впав в 24 кілометрах від аеропорту. Загинуло 122 чоловіка. Літак було випущено у 1961 році і на день катастрофи він здійснив 11105 циклів «зліт-посадка» і налітав 15483 години. Урядовою комісією було встановлено що причиною стало зруйнування крила в повітрі ізза розриву нижньої панелі центроплана, викликаної втомними тріщинами стрінгерів та обшивки. Тріщина, що почалась у втомній зоні між 6-м та 7-м стрінгерами нижньої панелі центроплану просунулась в обидва боки і стала переходити на лонжерони. В цей момент зруйнувалась нульова нервюра, яка поєднала приклепані до панелі стрінгери. В результаті консолі крила літака склались догори.

Ці та деякі інші подібні катастрофи поставили задачу виявлення початку втомних руйнувань конструкції. Ще у 1928 році був запропонований ультразвуковий метод контролю. На сьогоднішній день він є одним з основних методів неруйнівного контролю. Методи ультразвукової дефектоскопії дозволяють проводити контроль конструктивних елементів планера, зварних з'єднань, трубопроводів, корпусів агрегатів тощо. Ультразвуковий контроль є обов'язковою процедурою при приготуванні та експлуатації багатьох відповідальних виробів.

В порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю ультразвуковий метод має важливі переваги:

- висока чутливість до найбільш небезпечним дефектам типу тріщин та непроварів;
- низька вартість;
- безпечність для людини (на відміну від рентгенівської дефектоскопії);
- можливість вести контроль безпосередньо на робочих місцях без порушення технологічного процесу;
- при проведенні ультразвукового контролю об'єкт не руйнується;
- можливість проводити контроль виробів з різноманітних матеріалів, як металів так і неметалів.

До недоліків ультразвукового методу контролю можна віднести неможливість оцінки реального розміру і характеру дефекту, складнощі при контролі металів з крупнозернистою структурою із-за великого розсіювання та сильного затухання ультразвуку, а також підвищені вимоги до стану поверхні за шереховатістю та хвилястістю.

Акустичні методи контролю поділяються на дві великі групи: ті що використовують випромінення та прийом акустичних коливань та хвиль (активні методи) та ті що засновані тільки на прийомі коливань та хвиль (пасивні методи).

Методи проходження – виявляють глибинні дефекти типу порушення згуртованості, розшарування.

Методи відображення – виявляють дефекти типу порушення згуртованості, визначають їх координати, розміри, орієнтацію шляхом прзвучування виробу і прийому відображеного від дефекту ехо-сигналу.

Імпедансний метод – призначений для контролю клеєних, зварних та паяних з'єднань, що мають тонку обшивку, приклеєну або припаяну до елементів жорсткості.

Методи вільних коливань – використовуються для виявлення глибинних дефектів.

Методи вимушених коливань (резонансні) – використовуються в основному для вимірювання товщини виробу і для виявлення зони корозійного ураження, розшарування в тонких місцях з металів.

Акустико-емісійний метод – визначає і реєструє тільки тріщини, що розвиваються або здатні до розвитку під дією механічного навантаження (кваліфікує дефекти за ступенем їх небезпеки в процесі експлуатації).

Найбільш широке розповсюдження в практиці ультразвукової дефектоскопії знайшли методи проходження і відображення (імпульсні методи), менше використовують інші методи: резонансний, імпедансний та метод акустичної емісії.

Для забезпечення гарного контакту між ультразвуковим перетворювачем і поверхнею що контролюється, а також для запобігання утворення повітряного проміжку, який створює перешкоди звуковому імпульсу, необхідно використовувати різні контактні рідини або гелі. Контактна рідина є одним зі слабких місць традиційних методів ультразвукового контролю та більшості систем, що їх реалізують.

Одним з перспективних методів ультразвукового контролю є електромагнітно-акустичний (ЕМА) метод. ЕМА спосіб збудження ультразвуку – це спосіб перетворення високочастотно електромагнітної хвилі проводника (індуктора) з протікаючим по ньому електричним током в пружні деформації (ультразвук) на поверхні об'єкта що досліджується, з частотою рівної або кратної частоті електромагнітної хвилі.

ЕМА-технологія збудження та прийому ультразвуку має низку недосяжних для інших, в тому числі і п'єзотехнологій, переваг:

- відсутність безпосереднього контакту ЕМА-перетворювачів (ЕМАП) з поверхнею контролю суттєво знижує вимоги до її підготовки і не вимагає використання контактної рідини;

- забезпечення надійного і достовірного контролю об'єктів із забрудненою поверхнею;

-ультразвукові коливання, що збуджуються електромагнітним полем не чутливі до перекосів при установці ЕМАП на вироби;

-ЕМАП може збуджувати поперечні хвилі в широкому діапазоні частот, що дозволяє збільшити діапазон вимірювань і збільшити точність вимірювань;

-робоча поверхня може мати широкий температурний діапазон без ризику пошкодження дачика;

-на контроль не впливає кут введення імпульсу, тому перетворювачі не поділяються на нахиліві і прямі;

-безконтактний перетворювач не схильний до тертя і як наслідок не зношується;

-прилади, що використовують ЕМАП можуть працювати на об'єктах складної форми.

В кваліфікаційній роботі розглянуті питання використання ЕМА-методу для діагностування силових елементів конструкції повітряних суден.

РОЗДІЛ 1

АКУСТИЧНІ МЕТОДИ НЕРУЙНЮЮЧОГО КОНТРОЛЮ

Акустичні методи неруйнівного контролю ґрунтуються на реєстрації параметрів пружних коливань при їх взаємодії з об'єктом контролю. Пружні коливання є періодичною зміною стану пружного середовища. Збурення, що розповсюджуються в пружному середовищі, називають хвилею. Акустичні коливання в залежності від частоти поділяють на інфразвукові з частотою до 16 Гц, звукові – від 16 до $2 \cdot 10^4$ Гц, ультразвукові – від $2 \cdot 10^4$ до 10^9 Гц та гіперзвукові – понад 10^9 Гц. Акустичні хвилі викликають у пружному середовищі коливання її частинок щодо своїх положень рівноваги. Пружні коливання поширюються від частки до частки з певною швидкістю, яка залежить від властивостей матеріалу.

Акустичний контроль застосовують для виявлення дефектів деталей з будь-яких матеріалів. Метод дозволяє виявляти тріщини, пори, раковини, розшарування, що виходять на поверхню, так і в товщі матеріалу, а також застосовується для структурного аналізу (визначення розміру зерен, наявності домішок, неоднорідностей), вимірювань товщин при односторонньому доступі до деталі,

визначення рівня рідини у судинах, контролю якості клейових сполук та вирішення багатьох інших дефектоскопічних завдань.

1.1 Ультразвукові методи контролю

Найчастіше для контролю вузлів і деталей літального апарату використовують ультразвуковий, рідше — звуковий діапазони. Природа звуку та ультразвуку одна і та ж, проте довжина ультразвукових хвиль значно менша. Мала довжина хвилі дозволяє посилати ультразвук у бажаному напрямку спрямованим пучком, подібно до променя світла. Ультразвукові хвилі проходять через матеріал великої товщини, мало втрачаючи своєї інтенсивності. Але вони зазнають відображення або заломлення на межі розділу двох середовищ, що різко відрізняються величиною хвильового опору. Так, ультразвукові коливання (УЗК) майже повністю відбиваються від місця розташування дефекту: тріщини, газового міхура тощо.

Діапазон використовуваних у практиці контролю ультразвукових коливань 1,25-10 МГц із довжиною хвилі близько 1 мк. Залежно від напрямку коливань частинок у контрольованому матеріалі стосовно поширення хвилі розрізняють поздовжні, зсувні (поперечні) і поверхневі хвилі (хвилі Релея) (рисунок 1.1). Якщо напрям коливань частинок збігається з напрямом поширення хвилі, вона називається поздовжньою. Такі хвилі порушуються у твердих, рідких та газоподібних тілах.

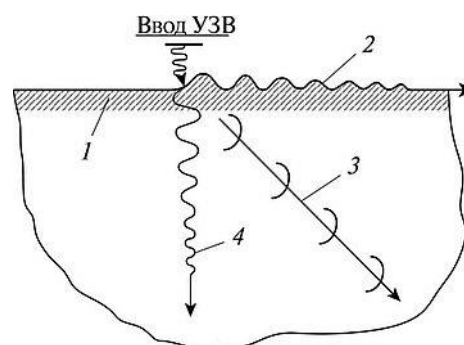


Рисунок 1.1 – Види ультразвукових хвиль (УЗХ):

1 - матеріал, що контролюється; 2 - поверхневі (Релея); 3 - поперечні (зсувні); 4 – повздовжні

Якщо напрям коливань перпендикулярно поширенню хвилі, вона називається зсувною. Зсувна хвиля може бути збуджена лише у твердому пружному тілі. На вільній поверхні твердого тіла можна порушити поверхневі хвилі Релея, які локалізуються в поверхневому шарі товщиною, порівнянною з довжиною хвилі. При поширенні ультразвукових коливань у тонкому листі, тонкостінній оболонці (трубі, циліндрі) можуть виникнути нормальні хвилі (хвилі Лемба). Швидкості поширення пружних хвиль у твердих тілах залежать від їх виду та пружних постійних (щільності) матеріалу (таблиця 1.1). Схеми отримання деяких типів ультразвукових хвиль представлені на рисунку 1.2.

Для збудження пружних коливань у різних матеріалах використовують магнітострикційні, п'єзоелектричні, електромагнітно-акустичні та інші типи перетворювачів. Найбільшого поширення набули п'єзоелектричні перетворювачі, їх виготовляють з монокристалу кварцу та п'єзокерамічних матеріалів: титанату барію, цирконату-титанату свинцю тощо.

Таблиця 1.1 – Швидкість розповсюдження різних видів ультразвукових хвиль в матеріалах

Матеріал	Повздовжня хвиля, м/с	Зсувна хвиля, м/с	Хвиля Релея, м/с
Алюміній	6270	3100	2800
Латунь	4700	2140	1930
Мідь	4630	2130	1910
Свинець	1950	640	580
Сталь	5750	3090	2790

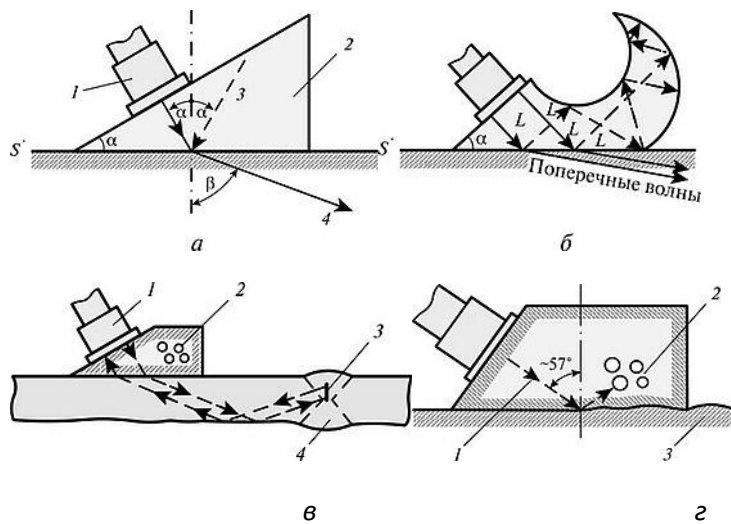


Рисунок 1.2 – Схеми отримання різних типів ультразвукових хвиль:

a - клин для перетворення поздовжніх хвиль у поперечні: 1 - перетворювач; 2 - пластмасовий клин; 3 - відбита поздовжня хвиля; 4 - заломлена поперечна хвиля;

б - особлива форма клину для поглинання коливань небажаного вигляду;

в - клин для отримання поперечних хвиль, що застосовуються під час випробування зварних швів. Коливання небажаного виду поглинаються штучною пористістю, введеною в тіло клину: 1 - перетворювач; 2 - отвори, заповнені поглинаючим ультразвуком матеріалом; 3 - дефект; 4 - зварний шов;

г - схема отримання поверхневих хвиль за рахунок заломлення хвиль у напрямку межі розділу: 1 - поздовжня хвиля; 2 - отвори, заповнені поглинаючим ультразвуком матеріалом; 3 - поверхнева хвиля

П'єзоелектричний перетворювач є пластиною з нанесеними на поверхню тонкими шарами срібла, які служать електродами. При додатку до такої пластини змінного електричного струму виникають вимушені механічні коливання, частота яких відповідає частоті змінного струму. Такий ефект називається зворотним п'єзоефектом (рисунок 1.3).

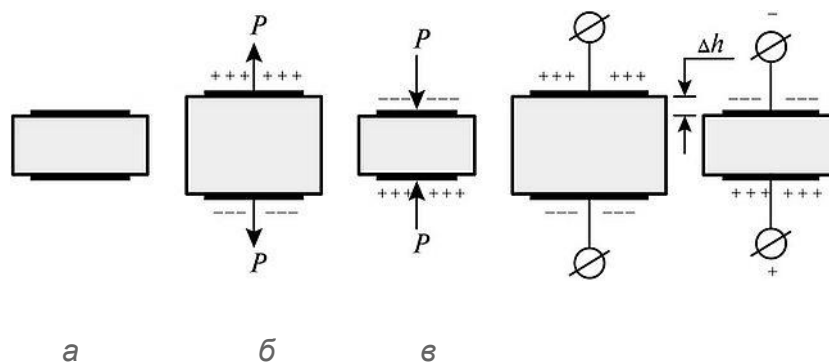


Рисунок 1.3 – Схема утворення п'єзоелектричного ефекту

а – п'єзоелектрична пластина; б - прямий п'єзоелектричний ефект; Р - сила, що деформує пластину; в - зворотний п'єзоелектричний ефект (зміна товщини пластини при поміщенні її в електричне поле); Δh - величина деформації пластини

Якщо п'єзопластину прикласти до поверхні контрольованої деталі, то в ній порушуватимуться і поширюватимуться пружні хвилі з амплітудою менше 10-8 мм. Після припинення дії змінного струму п'єзопластина продовжуватиме здійснювати загасаючі механічні коливання. Прискорення згасання домагаються, використовуючи демпфуючі матеріали: гуму, азбест, епоксидну смолу з наповнювачем та ін. Для введення пружних коливань в контрольовану деталь, прийому відбитих сигналів п'єзопластину поміщають у спеціальний пристрій, що називається шукальною голівкою. Ця голівка складається з перетворювача, змонтованого на звукопоглинаючій підкладці, та допоміжних деталей – корпусу, електропровідних елементів (рисунок 1.4, 1.5).

Найбільш поширені (рисунок 1.6) прямі, похилі та окремо поєднані перетворювачі.

У прямому перетворювачі (рисунок 1.6а) п'єзопластину зазвичай виготовляють з п'єзокераміки або метаніобату свинцю.

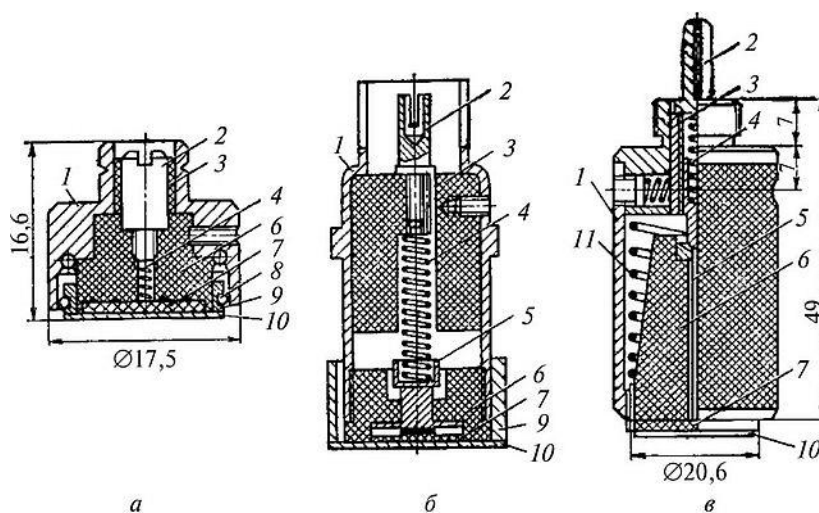


Рисунок 1.4 – Прямі шукальні голівки

a - ЦНДІТМАШ; *б* - ЛЕТИ; *в* - ВІАМ;

1 - корпус; 2 - контактний гвинт; 3 - ізоляційні втулки; 4 - контактна пружина; 5 - контактний стрижень; 6 - демпфер; 7 – п'єзопластина; 8 - притискне кільце; 9 - кільце; 10 - захисний металевий ковпачок; 11 - пружина, що притискає.



Рисунок 1.5 – П'єзоелектричні перетворювачі для ультразвукових дефектоскопів

Товщина пластини дефектоскопів дорівнює половині довжини хвилі, наприклад, для частоти 1-10 МГц вона становить 0,16-1,6 мм. Перетворювач включає: систему провідників 5; кабель 7; котушку індуктивності 4 перетворювач 6, демпфер 2, що підвищує механічну міцність п'єзопластини; протектор 3, що захищає п'єзопластину від стирання та інших ушкоджень.

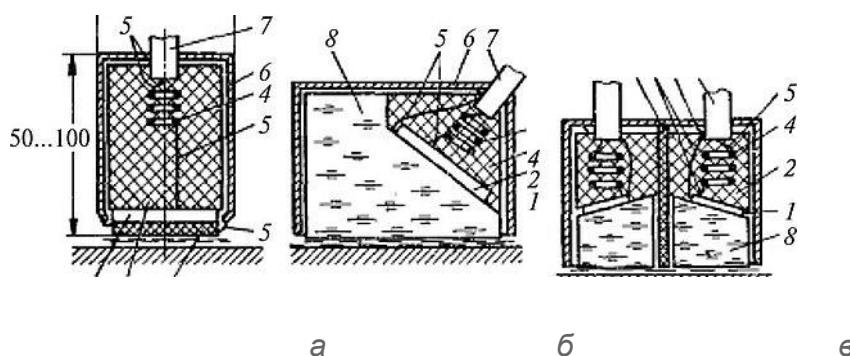


Рисунок 1.6 – Основні типи перетворювачів: *a* - прямий; *б* - похилий; *в* - окремо поєднаний.

П'єзопластину зазвичай роблять круглою. Її розміри вибирають з урахуванням поля випромінювання-прийому. Збільшення діаметра звужує діаграму

спрямованості, що покращує виявлення дефектів у дальній зоні, але погіршує — у ближній зоні.

Похилий перетворювач (рисунок 1.6б) відрізняється від прямого наявністю призми 8 з органічного скла. Викликані п'єзоелементом хвилі на кордоні призми та об'єкта контролю заломлюються та частково відбиваються (гасяться у пастці).

П'єзопластині часто надають не круглої, а прямокутної або квадратної форми; зазвичай п'єзопластину приклеюють до призми. Кут нахилу призми вибирають з урахуванням необхідного кута введення в об'єкт контролю акустичних хвиль.

Окремо суміщений перетворювач (рисунок 1.6в) має випромінювальний та приймальний п'єзоелементи, які розділені акустичним та електричним екраном 9, але об'єднані конструктивно в одному корпусі. П'єзоелементи зазвичай мають прямокутну або напівкруглу форму. Їх розташовують на призмах із оргскла 8 з невеликими кутами нахилу (0-10 °).

Надзвичайно важливим при акустичному контролі є введення УЗК у контрольований виріб з мінімальними втратами енергії коливань на місці контакту перетворювача з деталлю. Це досягається введенням УЗК через тонкий шар рідини, наприклад олії, та застосуванням спеціальних головок. Рідина для забезпечення акустичного контакту повинна бути не надто густою та не текучою. При малій в'язкості масла не буде акустичного контакту, а при підвищеній - енергія акустичних коливань буде значно знижена в середовищі. Залежно від температури повітря, при якій здійснюється контроль контактним способом, зазвичай застосовують такі мінеральні масла: МС-20 при температурі +20°C і вище, суміш олій 50% МС-20 та 50% МК-8 (або трансформаторне) при температурі нижче +10°C. Найчастіше наносять рідину тільки на контактну площу шукальної головки. Якщо масло буде нанесено на всю кромку контрольованої деталі, то дрібні тріщини можуть бути пропущені, оскільки масло заповнить їх, і ультразвук зможе безперешкодно пройти вздовж поверхні, і дефект не виявиться.

Існує також струминний спосіб подачі рідини між шукальною головкою та деталлю. При імерсійному способі акустичний зв'язок здійснюється зануренням у ванну з водою. Спеціальні шукальні головки призначені для контролю деталей складної конфігурації або в важкодоступних місцях. У таких головках зазвичай використовують серійні п'єзоперетворювачі, які разом зі змінними пакетами легко монтуються на виготовлену (частіше з оргскла) головку спеціального призначення. При контролі деталей літального апарату застосовують низку методів акустичного контролю (рисунок 1.7):

1) активні, що використовують випромінювання та прийом акустичних коливань;

2) пасивні, засновані лише на прийомі акустичних хвиль.

Активні методи застосовують хвилі, що біжать. На практиці використовують методи проходження, методи відображення та комбіновані методи.

До методів проходження відносять:

- тіньовий (заснований на реєстрації зменшення амплітуди прошедшої хвилі через наявність дефекту);

- тимчасовий (вимірювання запізнення імпульсів, спричиненого обгинанням дефектів).

Методи відображення:

-луна-метод (заснований на реєстрації луна-сигналів від дефектів);

- ревербераційний (заснований на аналізі часу об'ємної реверберації – процесу поступового згасання звуку в контрольованій деталі).

У комбінованих методах застосовують як відбиток, так і проходження акустичних хвиль. До комбінованих методів відносять:

- дзеркально-тіньовий (вимірюють послаблення сигналу, що двічі пройшов крізь зону об'єкта);

- луна-тіньовий (аналізують результати проходження минулої та відбитої від дефекту хвиль);

- імпедансний (заснований на аналізі зміни механічного імпедансу (розгойдування) ділянки поверхні).



Рисунок 1.8 Класифікація ультразвукових методів неруйнівного контролю

Пасивні методи:

- акустико-емісійний (заснований на аналізі випромінювань пружних хвиль, що виникають при динамічній перебудові структури напруженої деталі);
- вібраційно-діагностичний (резонансний) (заснований на аналізі параметрів вібрацій деталі);
- шумодіагностичний (заснований на аналізі спектру шумів працюючого механізму).

По частотам усі акустичні методи поділяють на низькочастотні (звукові) – до 100 кГц; ультразвукові – від сотень кілогерц до 50 МГц.

При неруйнівному контролі авіаційних конструкцій з усіх розглянутих методів найбільш поширені (до 90% від усіх акустичних

дефектоскопів) ультразвуковий луна-метод та імпедансний. Розглянемо докладніше основні способи акустичного контролю.

1.2 Основні методи акустичного контролю

Різноманітність завдань, що виникають за необхідності проведення неруйнівного контролю різних виробів, призвело до розробки та використання різних акустичних методів контролю. Акустичні методи контролю діляться на 2 великі групи: що використовують випромінювання та прийом акустичних коливань та хвиль (активні методи) і засновані тільки на прийомі коливань та хвиль (пасивні методи).

Найбільш широке поширення в практиці ультразвукової дефектоскопії знайшли методи проходження та відображення (імпульсні методи), рідше застосовують інші методи: резонансний, імпедансний та метод акустичної емісії.

Серед численних методів проходження та відображення на сьогоднішній день найбільше застосування в дефектоскопії знайшли: тіньовий, дзеркально-тіньовий, та луна-метод.

1.3 Тіньовий метод

При тіньовому методі (рисунок 1.9, а) ультразвукові коливання, як правило, вводяться з одного боку деталі 3 датчиком 1, а приймаються з іншого боку приймачем 2. Після одноразового проходження через деталь сигнал приймається, перетворюється в електричний сигнал, посилюється і реєструється індикатором. Якщо на шляху УЗК не зустрінуться неоднорідності, що викликають їхнє відображення, то приймач зареєструє певну інтенсивність УЗК, що пройшли через деталь. В цьому випадку на екрані осцилографа можна буде побачити два імпульси (початковий та донний сигнали) (рисунок 1.9, б). Якщо на шляху УЗК зустрінуться неоднорідності (дефекти) 4, то залежно від їхньої площі інтенсивність УЗК, що падають на приймач, різко слабшає, тому що частина хвиль ультразвукового пучка відбивається, другий імпульс на осцилографі буде ослаблений. При великих розмірах дефекту інтенсивність деталі УЗК, що приймаються зі зворотного боку, стає рівною нулю, другий імпульс зникає (рисунок 1.9, в), і з'являється ефект

акустичної тіні. У такому методі використовуються поздовжні та зсувні хвилі. Різновидом тіньового методу є дзеркально-тіньовий. При контролі випромінювальну та приймальну головки встановлюють з одного боку виробу. Реєстрація зміни інтенсивності пружних коливань здійснюється після їхнього відображення від протилежної поверхні деталі (рисунок 1.10).

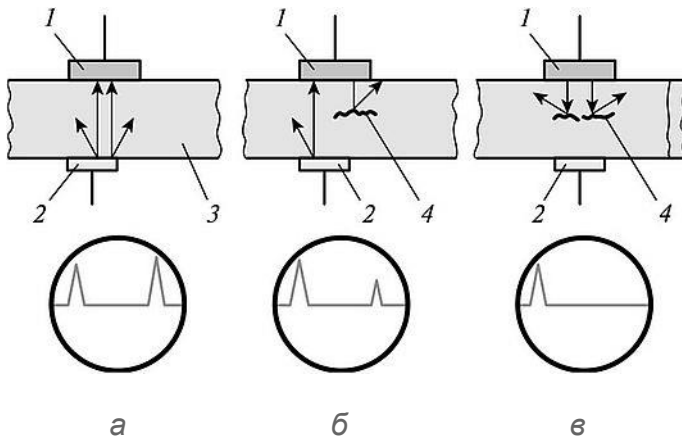


Рисунок 1.9 Схема тіньового методу

Рисунок 1.10 Схема дзеркально-тіньового методу

1 - випромінювач; 2 - приймач; 3 - дефект; 4 – об'єкт контролю

1.4 Луна-імпульсний метод

Сутність контролю луна-імпульсним методом (рисунок 1.11) полягає в тому, що деталь посилають короткі імпульси (тривалістю 1-3 мкс) ультразвукових коливань з інтервалом 1-5 мс.

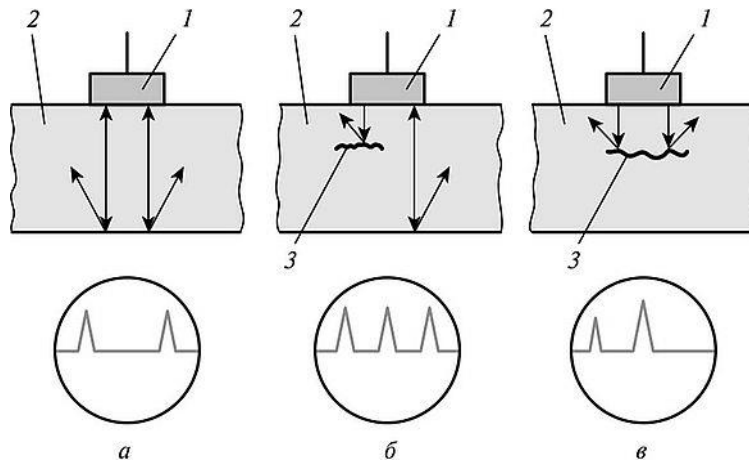


Рисунок 1.11 – Схема луна-імпульсного методу

Випромінюючий перетворювач можна одночасно використовувати як приймач. У момент послілки імпульсу на екрані пристрою виникає сплеск. Ультразвуковий імпульс проходить через деталь 2 і, відбиваючись від протилежної сторони, повертається до випромінювача. Прихід відбитого сигналу також реєструється приладом (рисунок 1.11, а). Якщо на шляху ультразвуку в деталі є дефект 3, то на екрані приладу з'явиться новий додатковий сигнал (рисунок 1.11, б). Якщо дефект повністю перекриває ультразвуковий пучок, то на екрані приладу сплеск від відбитого імпульсу відсутній (рисунок 1.11, в). Величина цього сигналу дає уявлення розміру дефекту, а інтервал між введенням у виріб початкового імпульсу і прийомом відбитого сигналу дозволяє визначити глибину його залягання. Реєстрація луна-сигналів здійснюється шляхом перетворення в електричні імпульси відбитих хвиль, посилення та реєстрації на екрані електронно-променевої трубки дефектоскопа. Причому посилення сигналу нелінійно, тобто. більш потужний сигнал посилюється меншою мірою, ніж слабкіший. Також у підсилювачах передбачена поправка на глибину залягання дефекту: чим довше запізнення луна-сигналу, тим більше він посилюється.

Нині цей метод набув найбільшого поширення. З його допомогою перевіряються лопатки роторів турбін та компресорів авіаційних двигунів, контролюються цапфи осьових шарнірів втулок гелікоптерів, циліндри двигунів

внутрішнього згоряння, барабани коліс, відповідальні кріпильні деталі. Метод також застосовується для визначення товщини стінок деталей, структури матеріалу при односторонньому доступі до виробу, що перевіряється. Для отримання надійних результатів контролю дефектоскоп налаштовують на еталонну деталь з відомим дефектом.

На рисунку 1.12 наведено принципову схему імпульсного ультразвукового дефектоскопа. Генератор радіоімпульсів 3 збуджує п'єзопластину передаючої шукальної головки 1. Ультразвукові коливання поширюються в контрольованій деталі, відбиваються від її протилежної стінки (донний сигнал) і потрапляють на п'єзопластину приймальної голівки 2. При цьому на гранях п'єзопластини виникає змінна напруга, яка детектується і посилюється в підсилювачі 4, а потім надходить на вертикальні пластини, що відхиляють електронно-променевої трубки (ЕПТ) 5 осцилографа. Одночасно генератор горизонтальної розгортки 6 подає пилкоподібну напругу на горизонтальні відхиляючі пластини ЕПТ 5.

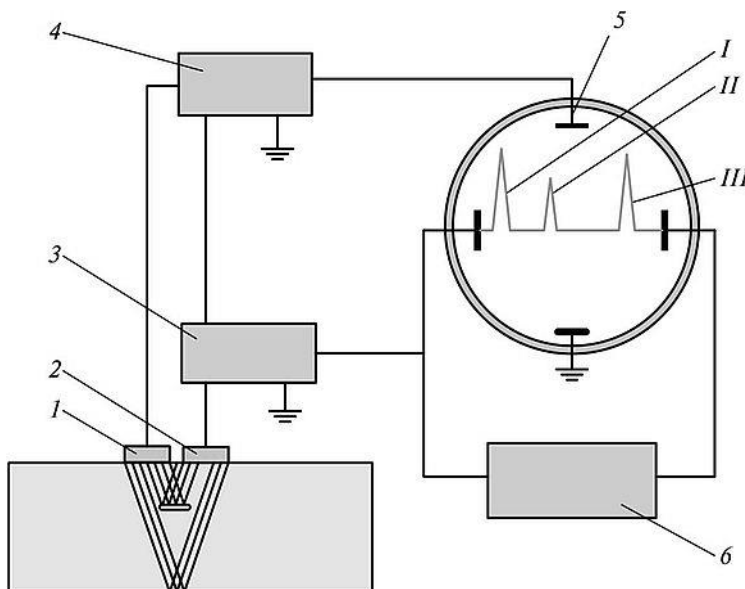


Рисунок 1.12 Блок-схема імпульсного ультразвукового дефектоскопу

Одночасно генератор горизонтальної розгортки 6 подає пилкоподібну напругу на горизонтальні відхиляючі пластини ЕПТ 5.

Генератор радіоімпульсів 3 збуджує п'єзопластину передавальної шукальної головки / короткими імпульсами, між якими виходять тривалі паузи. Це дозволяє чітко розрізняти на екрані ЕПТ 5 сигнал початкового (зондуючого) імпульсу I, сигнал від дефекту III і донний сигнал II.

За відсутності дефекту в контрольованій ділянці деталі на екрані осцилографа імпульс III не буде. Переміщуючи передавальну і приймальну голки, що шукають, по поверхні контрольованої деталі, виявляють дефекти і визначають їх місцезнаходження.

Одна з особливостей даного методу полягає в тому, що певна ділянка деталі не контролюється. Наприклад, при контролі лопаток турбін шукальна головка прикладається до кінця кромки лопатки так, щоб УЗК були спрямовані до іншого кінця лопатки (рисунок 1.13). УЗК через контактну головку і шар оливи входять у край лопатки, у результаті на екрані буде зафіксований початковий імпульс *a*. При відсутності дефекту ультразвукові хвилі доходять до кінця лопатки і повертаються до голки, що шукає — на екрані буде зафіксовано імпульс *б*.

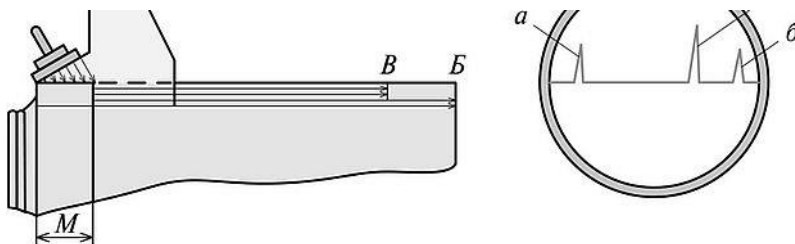


Рисунок 1.13 – Схема перевірки кромки лопатки ультразвуковим дефектоскопом

Якщо крайка має дефект *B* - частина ультразвукових коливань відобразиться в цьому місці і, повернувшись, зафіксується у вигляді імпульсу, розташованого на екрані між початковим і кінцевим імпульсами. Ділянка лопатки довжиною *M* при цьому контролю не піддається. Щоб перевірити цю ділянку лопатки, необхідно встановити повторно з кінця *B* лопатки.

Інша особливість полягає в тому, що при великому дефекті всі ультразвукові коливання відіб'ються в місці його розташування, і на екрані будуть лише два імпульси - початковий і відбитий від дефекту. Кінцевого імпульсу нічого очікувати. Це може дезорієнтувати контролера у разі, якщо великий дефект розташований поблизу кінця лопатки. Тоді імпульс від дефекту може бути сприйнятий як кінцевий, і дефект може бути пропущений. Щоб уникнути помилок, відбитий сигнал стробують, тобто. виділяють його на ЕПТ за допомогою електронних маркерів, що автоматично налаштовують вимірювальну систему дефектоскопа на даний сигнал (рисунок 1.14).

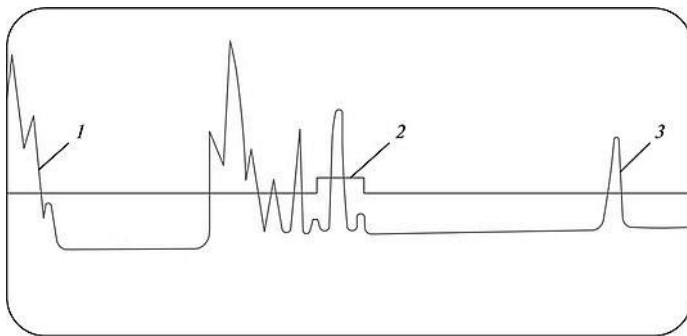


Рисунок 1.14 – Стробування при УЗ-контролі

1 - зондуєчий імпульс; 2 - область стробування; 3 - донний імпульс

Вплив форми імпульсу та її частоти розподіл відбитої чи розсіяної від дефекту енергії носить складний характер. Однак для отримання достатнього по амплітуді відбиття від дефекту коливання повинні мати довжину хвилі, принаймні одного порядку з розмірами дефекту. Отже, виявлення невеликих дефектів частоту УЗК слід збільшувати. Глибину та орієнтацію дефектів визначають за допомогою похилих перетворювачів (кут введення УЗК 30-60 °). Координати h (глибина) і L (довжина) обчислюють за відомими значеннями часу t та поширення УЗ-хвилі до дефекту і назад, а також кута введення a : $h = 0,5 C \cdot t \cdot \cos a$; $L = 0,5 C \cdot t \cdot \sin a$, де C - швидкість зсувної хвилі.

Зазначені параметри автоматично розраховуються в електронній частині дефектоскопа та видаються на блок цифрового відліку. Щоб показання були достовірними, його попередньо налаштовують на стандартних зразках.

При реалізації луна-методів використовуються імпульсні дефектоскопи. Схема типового імпульсного дефектоскопа представлена на рисунку 1.15 і включає: генератор зондувальних імпульсів; електроакустичний перетворювач; підсилювач; систему тимчасового регулювання чутливості, пов'язану з підсилювачем; індикатор; автоматичний реєстратор дефектів. Синхронізатор забезпечує потрібну тимчасову послідовність роботи всіх вузлів дефектоскопа.

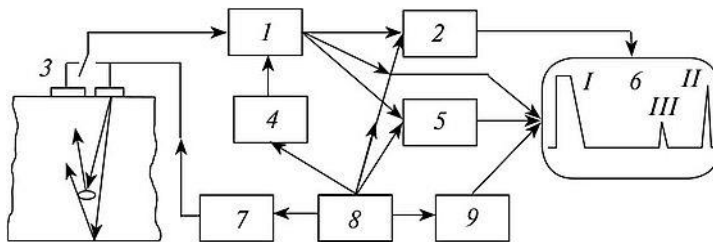


Рисунок 1.15 – Структура імпульсного ультразвукового дефектоскопа (показані випромінювальний та приймальний тракти)

1 - підсилювач; 2 - реєстратор дефектів; 3 - перетворювач-приймач; 4 - тимчасовий регулятор частоти; 5 - вимірювач амплітуди відбитого сигналу; 6 - індикатор; 7 - генератор; 8 - синхронізатор; 9 - пристрій сполучення; I - зондуючий імпульс; II - донний сигнал; III - луна-сигнал від дефекту

Типовий вид сигналограми таких дефектоскопів представлений на рисунку 1.16.

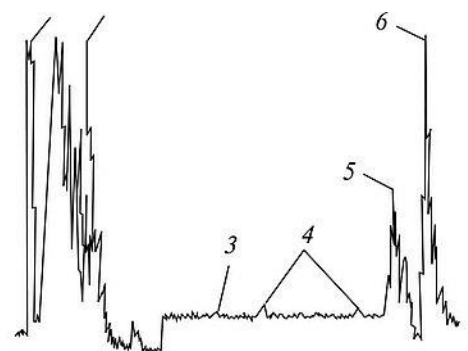


Рисунок 1.16 – Типове зображення сигналів на індикаторі дефектоскопа

1 - зондуючий імпульс; 2 - перешкоди перетворювача; 3 — стробуючі імпульси; 4 - структурні перешкоди конструкційного матеріалу; 5 - луна-сигнал від дефекту; 6 - донний сигнал

У цивільній авіації використовують також ультразвукові товщиноміри, побудовані на принципі луна-методу. Товщиноміри застосовують для оцінки ступеня ураження корозією внутрішньої сторони обшивки, що недоступна для прямого спостереження. Товщина вимірюваного матеріалу визначається за часом затримки луна-сигналу і відомої швидкості проходження ультразвукових хвиль. Вітчизняні товщиноміри відрізняються невеликими розмірами, мають автономне живлення, забезпечують широкий діапазон виміру товщин з точністю до 0,1 мм.

Ультразвукові методи контролю в даний час є затребуваними. В даний час створено ультразвукові дефектоскопи з можливістю вимірювання в області малих товщин (від 0,4 мм), а також з можливістю визначення товщин матеріалу конструктивних елементів повітряних суден без видалення лакофарбового покриття. Ультразвуковий дефектоскоп УД2В-П45 із функціями товщинометрії забезпечує цифрову обробку сигналу, має висококонтрастний рідкокристалічний дисплей, простий та зручний (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Ультразвуковий дефектоскоп УД2В-П45

Ультразвукові прилади, наприклад, багатоканальний ультразвуковий дефектоскоп Пеленг-415 (УД-415) (рисунок 1.18) призначені для контролю виробів на наявність дефектів типу порушення суцільності та однорідності матеріалів, а також для вимірювання глибини та координат залягання дефектів.



Рисунок 1.18 – Багатоканальний ультразвуковий дефектоскоп «Пеленг-415»

Для вимірювання товщини різних виробів з металів та неметалів, включаючи вироби, доступ до яких можливий лише з одного боку, використовуються сучасні ультразвукові товщиноміри УТ-111 (рисунок 1.9), ТУЗ-2. З їх допомогою можна встановити ступінь корозійного пошкодження та ерозійного зношування по залишковій товщині, що дуже важливо при визначенні технічного стану силових елементів повітряних суден, наприклад, у процесі виконання робіт з продовження ресурсу.



Рисунок 1.19 – Ультразвуковий товщиномір УТ-111

1.4 Резонансний метод

Резонансний метод заснований на вимірюванні частот і амплітуд ультразвукових коливань, які збуджують резонансні явища в об'єкті, що контролюється, за його товщиною. Резонансні коливання виникають в обмеженій системі при збігу частоти зовнішньої сили, що збуджує, з частотою власних коливань

виробу. При визначенні резонансної частоти метод дозволяє виміряти товщину виробів (наприклад стінок резервуарів) в контрольованій зоні, виявити деякі дефекти в цій зоні (наприклад, розшарування), визначити рівень рідини в закритих резервуарах.

При контролі за резонансним методом для збудження перетворювача використовують генератор змінної частоти, що настроюється. На певній частоті контрольованої деталі виникають стоячі хвилі, тобто, настає явище резонансу (виріб вібруватиме в резонанс з генератором). Це призводить до зростання амплітуди УЗК у деталі, збільшення внаслідок цього споживаної енергії та зменшення вхідного опору навантаження генератора (п'єзоелемента випромінювача). З цієї причини анодний струм генератора різко зростає, що реєструється індикатором. Резонанс при подібних випробуваннях настає у тому випадку, якщо товщина виробу дорівнює цілому числу напівхвиль пружної акустичної хвилі. При цьому між товщиною виробу l та довжиною хвилі X дотримується співвідношення

$$l = n X / 2 = nc / 2I,$$

де n - ціле число, що визначає порядок гармоніки коливання (при резонансі на основній частоті $n=1$); c - швидкість поширення УЗК у матеріалі виробу; I - частота УЗК.

Визначивши частоту коливань, при якій настає явище резонансу, і знаючи швидкість поширення УЗК у матеріалі деталі, з наведеного співвідношення обчислюють товщину деталі. В даний час розроблені системи прямого відліку товщин, що дозволяють обійтися без обчислень, прискорити вимірювання, підвищити їхню точність, наприклад, прилади типу ТУК-4В. Проводяться дослідження з розробки резонансних товщиномірів, що дозволяють автоматизувати процес вимірювання товщини виробів із записом результатів вимірювань.

Метод застосовується для контролю з'єднань, що мають кілька шарів: виявлення несплошності клейових та паяних з'єднань, контролю якості посадки шпильок, штифтів, осей та інших деталей, встановлених з натягом. Найбільшого поширення набув контроль клейового з'єднання обшивки зі стільниковим заповнювачем. Імпедансні дефектоскопи типів ІАД-2 та ІАД-3 забезпечують надійний контроль двох- та тришарових конструкцій. При цьому контролі не потрібно двостороннього доступу до виробу та нанесення контактної рідини на його поверхню. Датчиком у цих дефектоскопах є стрижень, що здійснює поздовжні коливання. Якщо випромінювач знаходиться над ділянкою обшивки з цільною клейовою сполукою, то конструкція коливається як єдине ціле і сила реакції виробу на стрижень випромінювача досягає великої величини (механічний імпеданс має максимальне значення, оскільки визначається жорсткістю всієї конструкції) (рисунок 1.20). При знаходженні випромінювача над непроклеєною зоною ділянка обшивки коливається незалежно від внутрішнього листа-підкладки, і сила реакції різко зменшується, оскільки жорсткість обшивки на цій ділянці буде значно меншою. Зміна сили реакції фіксується за допомогою п'єзоелемента, розміщеного на кінці датчика (рисунок 1.21).

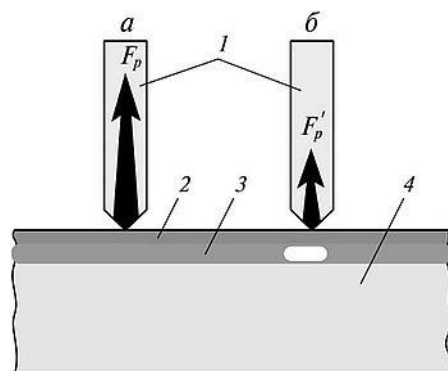


Рисунок 1.20 – Контроль якості склеювання імпедансним методом

a - на ділянках з гарною склейкою; *б* - у зоні непроклею; 1 - датчики; 2 - зовнішній лист (обшивка); 3 - шар клею; 4 - внутрішній лист (підкладка); F_p – сила реакції

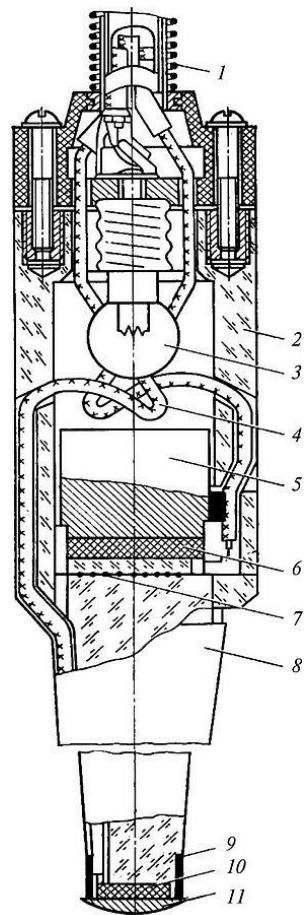


Рисунок 1.21 – Схема датчика імпедансного дефектоскопу

1 - пружина; 2 - корпус; 3 - сигнальна лампочка; 4 - екранований провід; 5 - сталевий циліндр; 6 - випромінюючий п'єзоелемент; 7 - екран; 8 - звукопровідний стрижень; 9 - кільце, що екранує; 10 - вимірювальний п'єзоелемент; 11 — контактний наконечник.

Зміна механічного імпедансу контрольованого виробу може бути виявлено зі зміни фази сили реакції (прилад ІАД-3), що надається на випромінювач пружними коливаннями, що збуджуються у виробі, або по зміні її амплітуди.

Техніка контролю за імпедансним акустичним приладом відносно проста і полягає в тому, що попередньо налаштований датчик переміщається по контрольованій поверхні. У процесі контролю необхідно стежити, щоб вісь датчика

не відхилялася перпендикулярного положення більш ніж на 10° . Зміна сили реакції фіксується загорянням лампочки або стрілочним індикатором.

Режим роботи вибирають залежно від властивостей контрольованих матеріалів та особливостей конструкції. Чутливість імпедансного методу залежить від умов його застосування. Для успішного застосування методу необхідно, щоб відношення імпедансу всієї конструкції до імпедансу обшивки було досить велике. При склеюванні двох шарів з однакового матеріалу контроль можливий тільки в тому випадку, якщо ці шари мають різну товщину і перевірка виконується більш тонким шаром. Контроль сполук однорідних верств однакової товщини імпедансним методом зазвичай неможливий. Для вибору оптимальних режимів контролю та визначення чутливості методу необхідні контрольні зразки зі штучними дефектами різних розмірів. Ці зразки повинні мати самі основні параметри (товщину і матеріал обшивки і з'єднаних з нею елементів, розмір стільникового осередку і т.д.), що і контрольований виріб. Довжина та ширина зразків можуть бути меншими, ніж відповідні розміри виробів.

Імпедансний метод може бути використаний у тих випадках, коли модуль пружності матеріалу того шару, з боку якого здійснюється контроль, досить великий (метали, текстоліт). Контроль з боку матеріалів із низьким модулем пружності (м'яка гума, пінопласт) практично неможливий. Зі зменшенням модуля пружності чутливість методу падає. Найбільша чутливість досягається на гладких поверхнях контрольованого виробу, шорстка поверхня знижує чутливість методу. Сучасний імпедансний дефектоскоп ДАМІ-С (рисунок 1.22) реалізує імпедансний, вихрострумний і резонансні методи контролю, а також має функцію побудови стереоскопічного зображення знайдених дефектів. Розміри, площа та конфігурація проекції дефекту відповідають реальним параметрам. Прилад ДАМІ-С можна налаштувати як у ручному, так і в автоматизованому режимі. Отримані параметри та результати контролю можуть бути збережені в архіві приладу. Спеціалізоване

програмне забезпечення «АРМ Дефектоскопіста» здійснює перенесення накопичених даних у комп'ютер для подальшого аналізу, зберігання та формування протоколу контролю. Висока чутливість дефектоскопу ДАМІ-С дозволяє виявляти малі та складні дефекти.

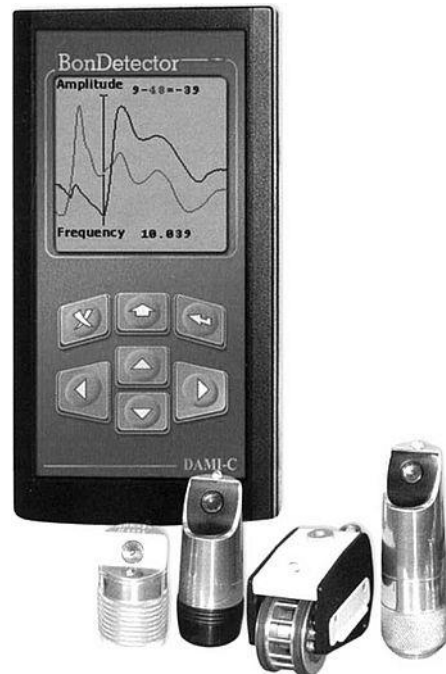


Рисунок 1.22 – Дефектоскоп ДАМІ-С

1.5 Метод вільних коливань

Метод вільних коливань ґрунтується на використанні пружних властивостей коливальних систем, що здійснюють вільні коливання. Контроль полягає у збудженні пружних коливань у контрольованому об'єкті та аналізі характеристик власних коливань об'єкта. Метод застосовується виявлення внутрішніх дефектів, залягають на глибині кількох сантиметрів у масивних деталях, виготовлених із матеріалів із високим коефіцієнтом згасання пружних коливань. Метод вільних коливань є одним із найдавніших акустичних методів.

Як відомо, тільки початкова амплітуда цих коливань визначається обурюючою силою, решта характеристик - період і частота коливань, коефіцієнт загасання - повністю залежать від параметрів самої системи: маси, гнучкості, механічного опору. Виріб, який не має дефектів у вигляді тріщин, може розглядатися як коливальна система з певними параметрами (частотою, коефіцієнт

загасання). Ці параметри змінюються, якщо у виробі є неоднорідності (тріщини, розшарування, раковини). Здавна оглядачі вагонів, стукаючи молотком осі коліс, по дзвону металу визначали наявність у ньому тріщин.

Об'єктивніший контроль здійснюється за допомогою ударника електромагнітного вібратора, що збуджує вільні коливання. Весь спектр частот цих коливань реєструється п'єзоелементом приймача, перетворюється на електричний сигнал і після посилення подається на фільтр, що пропускає лише спектр коливань дефектної ділянки. Потім ці коливання посилюються та подаються на індикатор. Прилад, що працює на такому принципі, успішно застосовується для перевірки якості склеювання між собою та з металевою обшивкою матеріалів з високими значеннями коефіцієнта згасання пружних коливань (текстоліт, фанера тощо).

Високочастотна ультразвукова томографія є порівняно новим напрямом у вирішенні завдань традиційного дефектоскопічного контролю авіаційної техніки, а також у дослідженні мікроструктури та фізико-механічних властивостей матеріалів. Такі системи в даний час широко застосовуються в практичному матеріалознавстві. Сутність візуалізації дефектів матеріалу полягає в скануванні досліджуваної області об'єкта ультразвуковим фокусованим пучком, реєстрації амплітуд відбитих хвиль і, в кінцевому рахунку, перетворення їх в акустичне зображення на екрані. Високі технічні можливості високочастотного ультразвукового томографа з виявлення та візуалізації різних дефектів дозволяють вважати цей метод вельми перспективним методом контролю об'єктів авіаційної техніки.

Останнім часом набуває поширення метод акустичної емісії. Акустична емісія - це явище поширення у твердому тілі хвиль пружної деформації внаслідок звільнення енергії при пластичній деформації або руйнуванні (злам) локального об'єму. Акустична емісія в металі є хвилями пружної деформації невеликої амплітуди, створювані дискретними (розривними, переривчастими) рухами, які супроводжують непружну деформацію та розвиток тріщини. Хвилі пружної деформації, що є результатом деформації або розвитку джерел руйнування, виявляються як невеликі усунення поверхні контрольованого об'єкта. Виявлення

хвиль акустичної емісії здійснюється безпосередньо шляхом приєднання пасивних п'єзоелектричних датчиків до поверхні, перетворення та зчитування швидких електричних імпульсів, викликаних усуненням чутливого елемента датчика у вигляді ряду одиночних імпульсів або кількості енергії. Прийняті імпульси або сигнали мають порівняно високу частоту - 100 кГц - 1 МГц і більше.

Інтерес до явищ акустичної емісії в авіації обумовлений тим, що при належному розвитку ці методи дозволяють визначити наявність, величину і місце розташування мікротріщин, що розвиваються, причому дистанційно зі значною швидкістю. Стосовно практики технічного обслуговування та ремонту літальних апаратів використання методу акустичної емісії може стати одним із інтегральних способів оцінки технічного стану планера та основних силових вузлів у зв'язку з розвитком втомного ушкодження конструкції при тривалій експлуатації.

Незважаючи на простоту, контроль деталей (особливо складної форми) ультразвуковими і звуковими методами має ряд особливостей і труднощів. Тому методи застосовують лише для тих деталей, котрим розроблені відповідні методики чи технології, визначальні цілі, зони і чутливість контролю; місця введення УЗК у деталь; тип дефектоскопа, що використовується; оптимальний кут введення УЗК у деталь; тип шукальної голівки; контрольний зразок (еталон); способи забезпечення акустичного контакту; рідина для забезпечення акустичного контакту; налаштування дефектоскопа перед контролем; технологію проведення контролю; розшифрування результатів контролю; норми на відбраковування деталей; запобіжні заходи.

Мета, зони та чутливість контролю визначають на основі статистичних даних про місця поширення дефектів матеріалу, їх характеру та орієнтації та технічних умов на деталь. Введення УЗК здійснюють з доступних поверхонь так, щоб забезпечувалися оптимальні умови виявлення дефектів в місцях їх найбільш ймовірного виникнення. При цьому використовують різні типи фіксаторів, що дозволяють усувати перешкоди через відображення УЗК конструктивних нерівностей деталі. Технологія проведення контролю складається з наступних

операцій: - підготовка деталі до контролю; розміщення необхідної апаратури та приладдя; розбиття деталі на зони контролю; нанесення контактної рідини у місцях введення УЗК; встановлення та сканування шукача при контролі в кожній зоні введення УЗК; спостереження за індикатором та визначення дефектів за його показаннями.

Розшифровування сигналів, що виникають, і їх відмінність від сигналів-перешкод потребує спеціальних навичок і може бути здійснено тільки спеціально підготовленим персоналом. Наявність мертвих зон, тобто. неконтрольованих ділянок на деталях, та необхідність складного налаштування дефектоскопа є недоліками акустичних методів неруйнівного контролю. Проте акустичні методи постійно розвиваються, з'являються нові високопродуктивні прилади. Цей вид контролю все ширше застосовується при експлуатації та ремонті літальних апаратів.

1.6 Електромагнітно-акустичний метод

Електромагнітно-акустичні перетворювачі (ЕМАП) – це новий напрямок в УЗ контролі. Основна відмінність цієї технології полягає в тому, що ультразвукова хвиля генерується безпосередньо в об'єкті, що досліджується.

ЕМАП генерує ультразвукову хвилю в контрольованому об'єкті завдяки двом електромагнітним полям, які взаємодіють між собою. Сила Лоренца виникає при взаємодії високочастотного поля, утвореного електричними котушками та статичним або низькочастотним полем, що генерується магнітами.

Електромагнітно-акустичний спосіб збудження ультразвуку - це спосіб перетворення високочастотної електромагнітної хвилі провідника (індуктора) з електричним струмом, що протікає по ньому, в пружні деформації (ультразвук) на поверхні об'єкта що досліджується, з частотою рівною або кратною частоті електромагнітної хвилі.

Контактна рідина є одним із слабких місць традиційних методів УЗК та більшості систем Що їх реалізують. Необхідність застосування рідини дедалі частіше входить у конфлікт із сучасними технологіями. Все важче забезпечувати необхідні вимоги щодо швидкості переміщення, температури та стану поверхні

об'єктів контролю. Використання води, навіть із додаванням присадок, часто призводить до корозії і як наслідок погіршення товарного вигляду продукції. ЕМА-технологія збудження та прийому ультразвуку має ряд недосяжних для інших, у тому числі і п'єзотехнології, переваг.

Безконтактні методи збудження акустичних хвиль за засобами ЕМАП суттєво розширюють можливості ультразвукового контролю при високих та низьких температурах, шорсткої та забрудненої поверхні об'єктів, а також у випадках, коли за застосовуваною технологією контактні рідини застосовувати неприпустимо.

Основні переваги технології контролю із застосуванням ЕМАП у порівнянні з традиційним ультразвуковим контролем:

- ЕМАП може збуджувати поперечні хвилі в широкому діапазоні частот, що дозволяє збільшити вимірюваний діапазон та збільшити точність вимірювань порівняно зі стандартним ПЕП.

- Відсутність безпосереднього контакту ЕМАП з металом суттєво знижує вимоги до підготовки поверхні та не вимагає використання контактної рідини.

- Ультразвукові коливання, що збуджуються електромагнітним полем, не чутливі до перекосів при встановленні ЕМАП на виріб, усуваючи помилки вимірювання, спричинені заломленням звуку на межі «перетворювач – об'єкт контролю».

- Робоча поверхня може мати широкий температурний діапазон без ризику пошкодження датчика.

- На контроль не впливає кут введення імпульсу, тому перетворювачі не поділяються на похилі та прямі.

- Безконтактний перетворювач не схильний до тертя і як наслідок не зношується.

- Прилади, що використовують електромагнітно-акустичні перетворювачі, можуть працювати на об'єктах складної форми та трубах малого діаметру.

До недоліків ЕМАП відносять їх порівняно низьку чутливість та перешкодозахищеність. Одним з можливих методів підвищення чутливості є застосування когерентної обробки сигналів, що приймаються.

РОЗДІЛ 1

АКУСТИЧНІ МЕТОДИ НЕРУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ

Акустичні методи неруйнівного контролю ґрунтуються на реєстрації параметрів пружних коливань при їх взаємодії з об'єктом контролю. Пружні коливання є періодичною зміною стану пружного середовища. Збурення, що розповсюджуються в пружному середовищі, називають хвилею. Акустичні коливання в залежності від частоти поділяють на інфразвукові з частотою до 16 Гц, звукові – від 16 до $2 \cdot 10^4$ Гц, ультразвукові – від $2 \cdot 10^4$ до 10^9 Гц та гіперзвукові – понад 10^9 Гц. Акустичні хвилі викликають у пружному середовищі коливання її частинок щодо своїх положень рівноваги. Пружні коливання поширюються від частки до частки з певною швидкістю, яка залежить від властивостей матеріалу.

Акустичний контроль застосовують для виявлення дефектів деталей з будь-яких матеріалів. Метод дозволяє виявляти тріщини, пори, раковини, розшарування, що виходять на поверхню, так і в товщі матеріалу, а також застосовується для структурного аналізу (визначення розміру зерен, наявності домішок, неоднорідностей), вимірювань товщин при односторонньому доступі до деталі, визначення рівня рідини у судинах, контролю якості клейових сполук та вирішення багатьох інших дефектоскопічних завдань.

1.1 Ультразвукові методи контролю

Найчастіше для контролю вузлів і деталей літального апарату використовують ультразвуковий, рідше — звуковий діапазони. Природа звуку та ультразвуку одна і та ж, проте довжина ультразвукових хвиль значно менша. Мала довжина хвилі дозволяє посилати ультразвук у бажаному напрямку спрямованим пучком, подібно до променя світла. Ультразвукові хвилі проходять через матеріал великої товщини, мало втрачаючи своєї інтенсивності. Але вони зазнають відображення або заломлення на межі розділу двох середовищ, що різко відрізняються величиною хвильового опору. Так, ультразвукові коливання (УЗК) майже повністю відбиваються від місця розташування дефекту: тріщини, газового міхура тощо.

Діапазон використовуваних у практиці контролю ультразвукових коливань 1,25-10 МГц із довжиною хвилі близько 1 мк. Залежно від напрямку коливань

частинок у контрольованому матеріалі стосовно поширення хвилі розрізняють поздовжні, зсувні (поперечні) і поверхневі хвилі (хвилі Релея) (рисунок 1.1). Якщо напрям коливань частинок збігається з напрямом поширення хвилі, вона називається поздовжньою. Такі хвилі порушуються у твердих, рідких та газоподібних тілах.

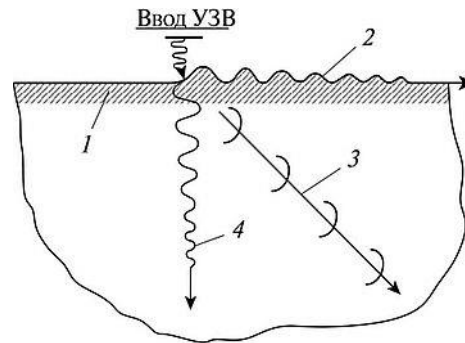


Рисунок 1.1 – Види ультразвукових хвиль (УЗХ):

1 - матеріал, що контролюється; 2 - поверхневі (Релея); 3 - поперечні (зсувні); 4 – поздовжні

Якщо напрям коливань перпендикулярно поширенню хвилі, вона називається зсувною. Зсувна хвиля може бути збуджена лише у твердому пружному тілі. На вільній поверхні твердого тіла можна порушити поверхневі хвилі Релея, які локалізуються в поверхневому шарі товщиною, порівнянною з довжиною хвилі. При поширенні ультразвукових коливань у тонкому листі, тонкостінній оболонці (трубі, циліндрі) можуть виникнути нормальні хвилі (хвилі Лемба). Швидкості поширення пружних хвиль у твердих тілах залежать від їх виду та пружних постійних (щільності) матеріалу (таблиця 1.1). Схеми отримання деяких типів ультразвукових хвиль представлені на рисунку 1.2.

Для збудження пружних коливань у різних матеріалах використовують магнітострикційні, п'єзоелектричні, електромагнітно-акустичні та інші типи перетворювачів. Найбільшого поширення набули п'єзоелектричні перетворювачі, їх виготовляють з монокристалу кварцу та п'єзокерамічних матеріалів: титанату барію, цирконату-титанату свинцю тощо.

Таблиця 1.1 – Швидкість розповсюдження різних видів ультразвукових хвиль в матеріалах

Матеріал	Повздовжня хвиля, м/с	Зсувна хвиля, м/с	Хвиля Релея, м/с
Алюміній	6270	3100	2800
Латунь	4700	2140	1930
Мідь	4630	2130	1910
Свинець	1950	640	580
Сталь	5750	3090	2790

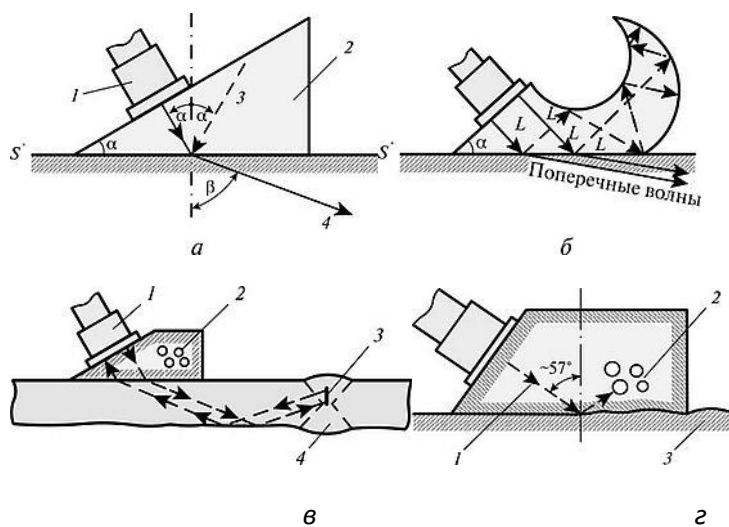


Рисунок 1.2 – Схеми отримання різних типів ультразвукових хвиль:

a - клин для перетворення поздовжніх хвиль у поперечні: 1 - перетворювач; 2 - пластмасовий клин; 3 - відбита поздовжня хвиля; 4 - заломлена поперечна хвиля;
б - особлива форма клину для поглинання коливань небажаного вигляду;
в - клин для отримання поперечних хвиль, що застосовуються під час випробування зварних швів. Коливання небажаного виду поглинаються штучною

пористістю, введеною в тіло клину: 1 - перетворювач; 2 - отвори, заповнені поглинаючим ультразвуком матеріалом; 3 - дефект; 4 - зварний шов;

г - схема отримання поверхневих хвиль за рахунок заломлення хвиль у напрямку межі розділу: 1 - поздовжня хвиля; 2 - отвори, заповнені поглинаючим ультразвуком матеріалом; 3 - поверхнева хвиля

П'єзоелектричний перетворювач є пластиною з нанесеними на поверхню тонкими шарами срібла, які служать електродами. При додатку до такої пластини змінного електричного струму виникають вимушені механічні коливання, частота яких відповідає частоті змінного струму. Такий ефект називається зворотним п'єзоелектром (рисунок 1.3).

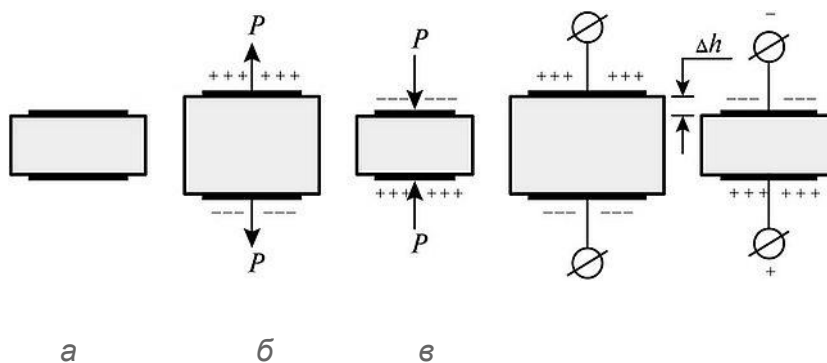


Рисунок 1.3 – Схема утворення п'єзоелектричного ефекту

а – п'єзоелектрична пластина; б - прямий п'єзоелектричний ефект; P - сила, що деформує пластину; в - зворотний п'єзоелектричний ефект (зміна товщини пластини при поміщенні її в електричне поле); Δh - величина деформації пластини

Якщо п'єзопластину прикласти до поверхні контрольованої деталі, то в ній порушуватимуться і поширюватимуться пружні хвилі з амплітудою менше 10-8 мм. Після припинення дії змінного струму п'єзопластина продовжуватиме здійснювати загасаючі механічні коливання. Прискорення згасання домагаються, використовуючи демпфуючі матеріали: гуму, азбест, епоксидну смолу з наповнювачем та ін. Для введення пружних коливань в контрольовану деталь, прийому відбитих сигналів п'єзопластину поміщають у спеціальний пристрій, що називається шукальною голівкою. Ця голівка складається з перетворювача, змонтованого на звукопоглинаючій підкладці, та допоміжних деталей – корпусу, електропровідних елементів (рисунок 1.4, 1.5).

Найбільш поширені (рисунок 1.6) прямі, похилі та окремо поєднані перетворювачі.

У прямому перетворювачі (рисунок 1.6а) п'єзопластину зазвичай виготовляють з п'єзокераміки або метаніобату свинцю.

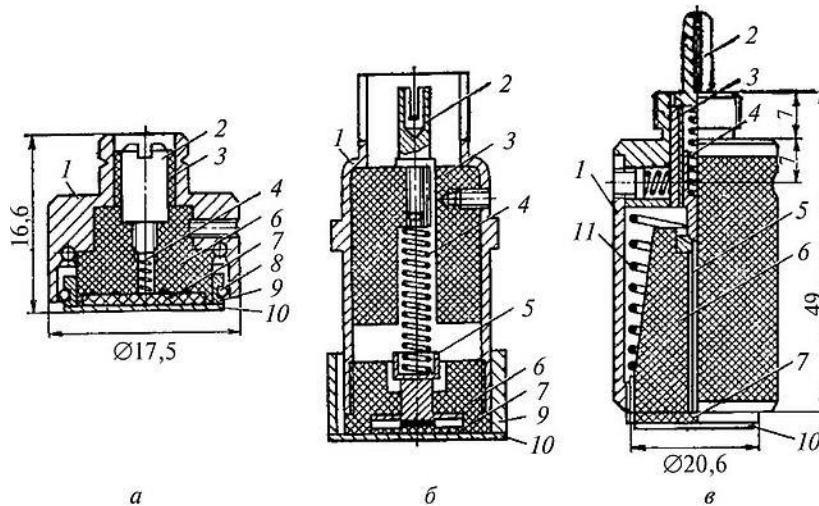


Рисунок 1.4 – Прямі шукальні голівки

а - ЦНДІТМАШ; *б* - ЛЕТИ; *в* - ВІАМ;

1 - корпус; 2 - контактний гвинт; 3 - ізоляційні втулки; 4 - контактна пружина; 5 - контактний стрижень; 6 - демпфер; 7 – п'єзопластина; 8 - притискне кільце; 9 - кільце; 10 - захисний металевий ковпачок; 11 - пружина, що притискає.



Рисунок 1.5 – П'єзоелектричні перетворювачі для ультразвукових дефектоскопів

Товщина пластини дефектоскопів дорівнює половині довжини хвилі, наприклад, для частоти 1-10 МГц вона становить 0,16-1,6 мм. Перетворювач включає: систему провідників 5; кабель 7; котушку індуктивності 4 перетворювач 6, демпфер 2, що підвищує механічну міцність п'єзопластини; протектор 3, що захищає п'єзопластину від стирання та інших ушкоджень.

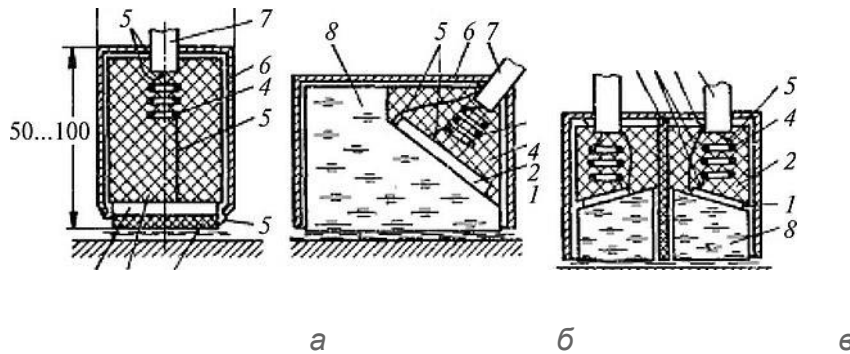


Рисунок 1.6 – Основні типи перетворювачів: а - прямий; б - похилий; в - окремо поєднаний.

П'єзопластину зазвичай роблять круглою. Її розміри вибирають з урахуванням поля випромінювання-прийому. Збільшення діаметра звужує діаграму спрямованості, що покращує виявлення дефектів у дальній зоні, але погіршує — у ближній зоні.

Похилий перетворювач (рисунок 1.6б) відрізняється від прямого наявністю призми 8 з органічного скла. Викликані п'єзоелементом хвилі на кордоні призми та об'єкта контролю заломлюються та частково відбиваються (гасяться у пастці).

П'єзопластині часто надають не круглої, а прямокутної або квадратної форми; зазвичай п'єзопластину приклеюють до призми. Кут нахилу призми вибирають з урахуванням необхідного кута введення в об'єкт контролю акустичних хвиль.

Окремо суміщений перетворювач (рисунок 1.6в) має випромінювальний та приймальний п'єзоелементи, які розділені акустичним та електричним екраном 9, але об'єднані конструктивно в одному корпусі. П'єзоелементи зазвичай мають прямокутну або напівкруглу форму. Їх розташовують на призмах із оргскла 8 з невеликими кутами нахилу (0-10 °).

Надзвичайно важливим при акустичному контролі є введення УЗК у контрольований виріб з мінімальними втратами енергії коливань на місці контакту перетворювача з деталлю. Це досягається введенням УЗК через тонкий шар рідини, наприклад олії, та застосуванням спеціальних головок. Рідина для забезпечення акустичного контакту повинна бути не надто густою та не текучою. При малій в'язкості масла не буде акустичного контакту, а при підвищеній - енергія акустичних коливань буде значно знижена в середовищі. Залежно від температури повітря, при якій здійснюється контроль контактним способом, зазвичай застосовують такі мінеральні масла: МС-20 при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ і вище, суміш олій 50% МС-20 та 50% МК-8 (або трансформаторне) при температурі нижче $+10^{\circ}\text{C}$. Найчастіше наносять рідину тільки на контактну площу шукальної головки. Якщо масло буде нанесено на всю кромку контрольованої деталі, то дрібні тріщини можуть бути пропущені, оскільки масло заповнить їх, і ультразвук зможе безперешкодно пройти вздовж поверхні, і дефект не виявиться.

Існує також струминний спосіб подачі рідини між шукальною головкою та деталлю. При імерсійному способі акустичний зв'язок здійснюється зануренням у ванну з водою. Спеціальні шукальні головки призначені для контролю деталей складної конфігурації або в важкодоступних місцях. У таких головках зазвичай використовують серійні п'єзоперетворювачі, які разом зі змінними пакетами легко монтуються на виготовлену (частіше з оргскла) головку спеціального призначення. При контролі деталей літального апарату застосовують низку методів акустичного контролю (рисунок 1.7):

1) активні, що використовують випромінювання та прийом акустичних коливань;

2) пасивні, засновані лише на прийомі акустичних хвиль.

Активні методи застосовують хвилі, що біжать. На практиці використовують методи проходження, методи відображення та комбіновані методи.

До методів проходження відносять:

- тіньовий (заснований на реєстрації зменшення амплітуди прошедшої хвилі через наявність дефекту);

- тимчасовий (вимірювання запізнення імпульсів, спричиненого обгинанням дефектів).

Методи відображення:

-луна-метод (заснований на реєстрації луна-сигналів від дефектів);

- ревербераційний (заснований на аналізі часу об'ємної реверберації – процесу поступового згасання звуку в контрольованій деталі).

У комбінованих методах застосовують як відбиток, так і проходження акустичних хвиль. До комбінованих методів відносять:

- дзеркально-тіньовий (вимірюють послаблення сигналу, що двічі пройшов крізь зону об'єкта);

- луна-тіньовий (аналізують результати проходження минулої та відбитої від дефекту хвиль);

- імпедансний (заснований на аналізі зміни механічного імпедансу (розгойдування) ділянки поверхні).



Рисунок 1.8 Класифікація ультразвукових методів неруйнівного контролю

Пасивні методи:

- акустико-емісійний (заснований на аналізі випромінювань пружних хвиль, що виникають при динамічній перебудові структури напруженої деталі);
- вібраційно-діагностичний (резонансний) (заснований на аналізі параметрів вібрацій деталі);
- шумодіагностичний (заснований на аналізі спектру шумів працюючого механізму).

По частотам усі акустичні методи поділяють на низькочастотні (звукові) – до 100 кГц; ультразвукові – від сотень кілогерц до 50 МГц.

При неруйнівному контролі авіаційних конструкцій з усіх розглянутих методів найбільш поширені (до 90% від усіх акустичних дефектоскопів) ультразвуковий луна-метод та імпедансний. Розглянемо докладніше основні способи акустичного контролю.

1.2 Основні методи акустичного контролю

Різноманітність завдань, що виникають за необхідності проведення неруйнівного контролю різних виробів, призвело до розробки та використання різних акустичних методів контролю. Акустичні методи контролю діляться на 2 великі групи: що використовують випромінювання та прийом акустичних коливань та хвиль (активні методи) і засновані тільки на прийомі коливань та хвиль (пасивні методи).

Найбільш широке поширення в практиці ультразвукової дефектоскопії знайшли методи проходження та відображення (імпульсні методи), рідше застосовують інші методи: резонансний, імпедансний та метод акустичної емісії.

Серед численних методів проходження та відображення на сьогоднішній день найбільше застосування в дефектоскопії знайшли: тіньовий, дзеркально-тіньовий, та луна-метод.

1.3 Тіньовий метод

При тіньовому методі (рисунок 1.9, а) ультразвукові коливання, як правило, вводяться з одного боку деталі 3 датчиком 1, а приймаються з іншого боку приймачем 2. Після одноразового проходження через деталь сигнал приймається, перетворюється в електричний сигнал, посилюється і реєструється індикатором. Якщо на шляху УЗК не зустрінуться неоднорідності, що викликають їхнє відображення, то приймач зареєструє певну інтенсивність УЗК, що пройшли через деталь. В цьому випадку на екрані осцилографа можна буде побачити два імпульси (початковий та донний сигнали) (рисунок 1.9, б). Якщо на шляху УЗК зустрінуться неоднорідності (дефекти) 4, то залежно від їхньої площі інтенсивність УЗК, що падають на приймач, різко слабшає, тому що частина хвиль ультразвукового пучка відбивається, другий імпульс на осцилографі буде ослаблений. При великих розмірах дефекту інтенсивність деталі УЗК, що приймаються зі зворотного боку, стає рівною нулю, другий імпульс зникає (рисунок 1.9, в), і з'являється ефект акустичної тіні. У такому методі використовуються поздовжні та зсувні хвилі. Різновидом тіньового методу є дзеркально-тіньовий. При контролі випромінювальну та приймальну головки встановлюють з одного боку виробу. Реєстрація зміни інтенсивності пружних коливань здійснюється після їхнього відображення від протилежної поверхні деталі (рисунок 1.10).

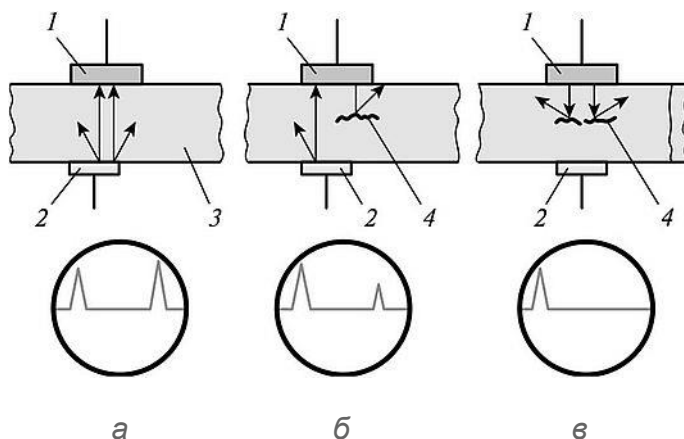


Рисунок 1.9 Схема тіньового методу

Рисунок 1.10 Схема дзеркально-тіньового методу

1 - випромінювач; 2 - приймач; 3 - дефект; 4 – об'єкт контролю

1.4 Луна-імпульсний метод

Сутність контролю луна-імпульсним методом (рисунок 1.11) полягає в тому, що деталь посилають короткі імпульси (тривалістю 1-3 мкс) ультразвукових коливань з інтервалом 1-5 мс.

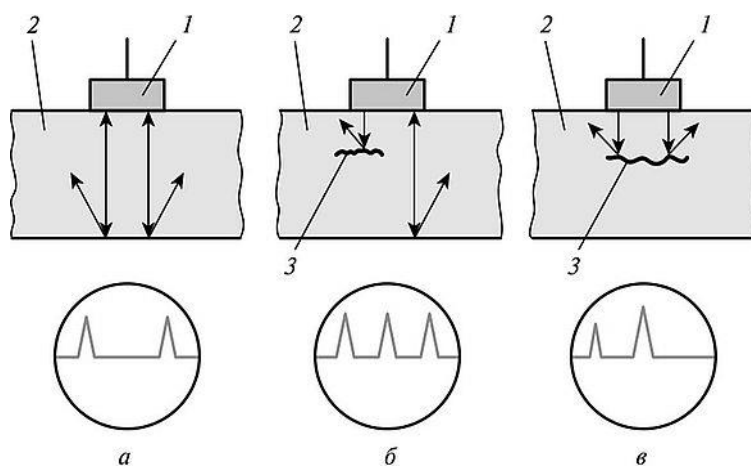


Рисунок 1.11 – Схема луна-імпульсного методу

Випромінюючий перетворювач можна одночасно використовувати як приймач. У момент послілки імпульсу на екрані пристрою виникає сплеск. Ультразвуковий імпульс проходить через деталь 2 і, відбиваючись від протилежної сторони, повертається до випромінювача. Прихід відбитого сигналу також реєструється приладом (рисунок 1.11, а). Якщо на шляху ультразвуку в деталі є

дефект3, то на екрані приладу з'явиться новий додатковий сигнал (рисунок 1.11, б). Якщо дефект повністю перекриває ультразвуковий пучок, то на екрані приладу сплеск від відбитого імпульсу відсутній (рисунок 1.11, в). Величина цього сигналу дає уявлення розміру дефекту, а інтервал між введенням у виріб початкового імпульсу і прийомом відбитого сигналу дозволяє визначити глибину його залягання. Реєстрація луна-сигналів здійснюється шляхом перетворення в електричні імпульси відбитих хвиль, посилення та реєстрації на екрані електронно-променевої трубки дефектоскопа. Причому посилення сигналу нелінійно, тобто. більш потужний сигнал посилюється меншою мірою, ніж слабкіший. Також у підсилювачах передбачена поправка на глибину залягання дефекту: чим довше запізнення луна-сигналу, тим більше він посилюється.

Нині цей метод набув найбільшого поширення. З його допомогою перевіряються лопатки роторів турбін та компресорів авіаційних двигунів, контролюються цапфи осьових шарнірів втулок гелікоптерів, циліндри двигунів внутрішнього згоряння, барабани коліс, відповідальні кріпильні деталі. Метод також застосовується для визначення товщини стінок деталей, структури матеріалу при односторонньому доступі до виробу, що перевіряється. Для отримання надійних результатів контролю дефектоскоп налаштовують на еталонну деталь з відомим дефектом.

На рисунку 1.12 наведено принципову схему імпульсного ультразвукового дефектоскопа. Генератор радіоімпульсів 3 збуджує п'єзопластину передаючої шукальної головки 1. Ультразвукові коливання поширюються в контрольованій деталі, відбиваються від її протилежної стінки (донний сигнал) і потрапляють на п'єзопластину приймальної голівки 2. При цьому на гранях п'єзопластини виникає змінна напруга, яка детектується і посилюється в підсилювачі 4, а потім надходить на вертикальні пластини, що відхиляють електронно-променевої трубки (ЕПТ) 5 осцилографа.

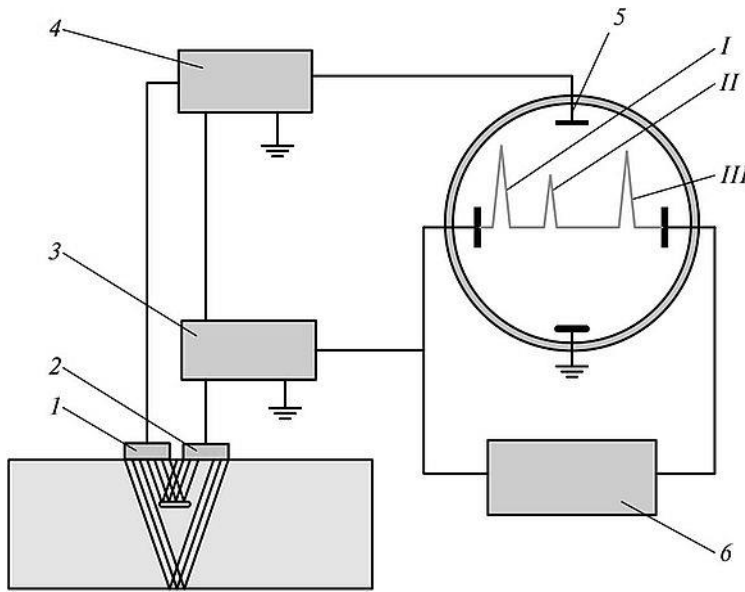


Рисунок 1.12 Блок-схема імпульсного ультразвукового дефектоскопу

Одночасно генератор горизонтальної розгортки 6 подає пилкоподібну напругу на горизонтальні відхиляючі пластини ЕПТ 5.

Генератор радіоімпульсів 3 збуджує п'єзопластину передавальної шукальної головки / короткими імпульсами, між якими виходять тривалі паузи. Це дозволяє чітко розрізнити на екрані ЕПТ 5 сигнал початкового (зондуючого) імпульсу I, сигнал від дефекту III і донний сигнал II.

За відсутності дефекту в контрольованій ділянці деталі на екрані осцилографа імпульс III не буде. Переміщуючи передавальну і приймальну голки, що шукають, по поверхні контрольованої деталі, виявляють дефекти і визначають їх місцезнаходження.

Одна з особливостей даного методу полягає в тому, що певна ділянка деталі не контролюється. Наприклад, при контролі лопаток турбін шукальна головка прикладається до кінця кромки лопатки так, щоб УЗК були спрямовані до іншого кінця лопатки (рисунок 1.13). УЗК через контактну головку і шар оливи входять у край лопатки, у результаті на екрані буде зафіксований початковий імпульс *a*. При відсутності дефекту ультразвукові хвилі доходять до кінця лопатки і повертаються до голки, що шукає — на екрані буде зафіксовано імпульс *б*.

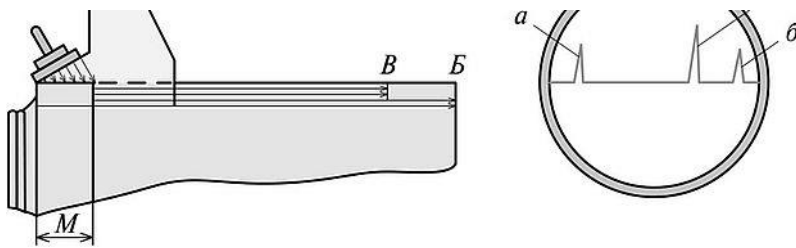


Рисунок 1.13 – Схема перевірки кромки лопатки ультразвуковим дефектоскопом

Якщо крайка має дефект *B* - частина ультразвукових коливань відобразиться в цьому місці і, повернувшись, зафіксується у вигляді імпульсу, розташованого на екрані між початковим і кінцевим імпульсами. Ділянка лопатки довжиною *M* при цьому контролю не піддається. Щоб перевірити цю ділянку лопатки, необхідно встановити повторно з кінця *B* лопатки.

Інша особливість полягає в тому, що при великому дефекті всі ультразвукові коливання відіб'ються в місці його розташування, і на екрані будуть лише два імпульси - початковий і відбитий від дефекту. Кінцевого імпульсу нічого очікувати. Це може дезорієнтувати контролера у разі, якщо великий дефект розташований поблизу кінця лопатки. Тоді імпульс від дефекту може бути сприйнятий як кінцевий, і дефект може бути пропущений. Щоб уникнути помилок, відбитий сигнал стробируют, тобто. виділяють його на ЕПТ за допомогою електронних маркерів, що автоматично налаштовують вимірювальну систему дефектоскопа на даний сигнал (рисунок 1.14).

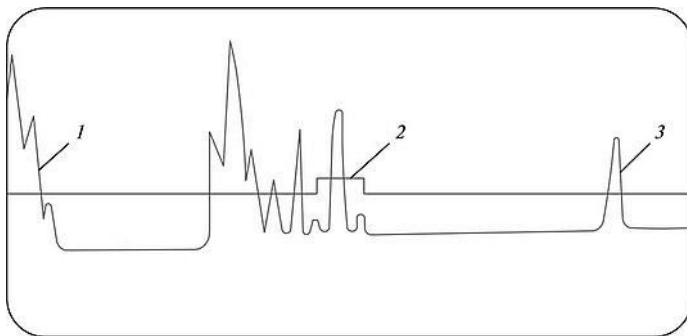


Рисунок 1.14 – Стробування при УЗ-контролі

1 - зондуєчий імпульс; 2 - область стробування; 3 - донний імпульс

Вплив форми імпульсу та її частоти розподіл відбитої чи розсіяної від дефекту енергії носить складний характер. Однак для отримання достатнього по амплітуді відбиття від дефекту коливання повинні мати довжину хвилі, принаймні одного порядку з розмірами дефекту. Отже, виявлення невеликих дефектів частоту УЗК слід збільшувати. Глибину та орієнтацію дефектів визначають за допомогою похилих перетворювачів (кут введення УЗК 30-60 °). Координати h (глибина) і L (довжина) обчислюють за відомими значеннями часу t та поширення УЗ-хвилі до дефекту і назад, а також кута введення a : $h = 0,5 C \cdot t \cdot \cos a$; $L = 0,5 C \cdot t \cdot \sin a$, де C - швидкість зсувної хвилі.

Зазначені параметри автоматично розраховуються в електронній частині дефектоскопа та видаються на блок цифрового відліку. Щоб показання були достовірними, його попередньо налаштовують на стандартних зразках.

При реалізації луна-методів використовуються імпульсні дефектоскопи. Схема типового імпульсного дефектоскопа представлена на рисунку 1.15 і включає: генератор зондувальних імпульсів; електроакустичний перетворювач; підсилювач; систему тимчасового регулювання чутливості, пов'язану з підсилювачем; індикатор; автоматичний реєстратор дефектів. Синхронізатор забезпечує потрібну тимчасову послідовність роботи всіх вузлів дефектоскопа.

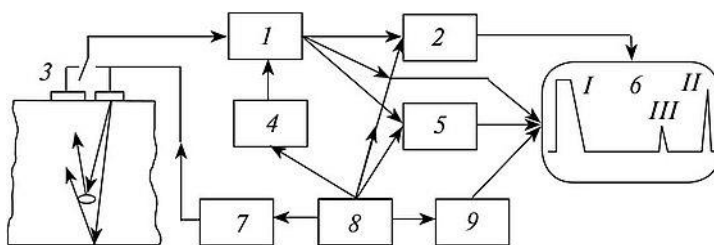


Рисунок 1.15 – Структура імпульсного ультразвукового дефектоскопа (показані випромінювальний та приймальний тракти)

1 - підсилювач; 2 - реєстратор дефектів; 3 - перетворювач-приймач; 4 - тимчасовий регулятор частоти; 5 - вимірювач амплітуди відбитого сигналу; 6 - індикатор; 7 - генератор; 8 - синхронізатор; 9 - пристрій сполучення; I - зондуєчий імпульс; II - донний сигнал; III - луна-сигнал від дефекту
Типовий вид сигналограми таких дефектоскопів представлений на рисунку 1.16.

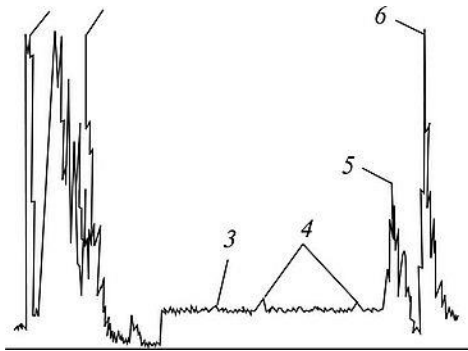


Рисунок 1.16 – Типове зображення сигналів на індикаторі дефектоскопа

1 - зондуєчий імпульс; 2 - перешкоди перетворювача; 3 — стробуючі імпульси; 4 - структурні перешкоди конструкційного матеріалу; 5 - луна-сигнал від дефекту; 6 - донний сигнал

У цивільній авіації використовують також ультразвукові товщиноміри, побудовані на принципі луна-методу. Товщиноміри застосовують для оцінки ступеня ураження корозією внутрішньої сторони обшивки, що недоступна для прямого спостереження. Товщина вимірюваного матеріалу визначається за часом затримки луна-сигналу і відомої швидкості проходження ультразвукових хвиль. Вітчизняні товщиноміри відрізняються невеликими розмірами, мають автономне живлення, забезпечують широкий діапазон виміру товщин з точністю до 0,1 мм.

Ультразвукові методи контролю в даний час є затребуваними. В даний час створено ультразвукові дефектоскопи з можливістю вимірювання в області малих товщин (від 0,4 мм), а також з можливістю визначення товщин матеріалу конструктивних елементів повітряних суден без видалення лакофарбового покриття. Ультразвуковий дефектоскоп УД2В-П45 із функціями товщинометрії

забезпечує цифрову обробку сигналу, має висококонтрастний рідкокристалічний дисплей, простий та зручний (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Ультразвуковий дефектоскоп УД2В-П45

Ультразвукові прилади, наприклад, багатоканальний ультразвуковий дефектоскоп Пеленг-415 (УД-415) (рисунок 1.18) призначені для контролю виробів на наявність дефектів типу порушення суцільності та однорідності матеріалів, а також для вимірювання глибини та координат залягання дефектів.



Рисунок 1.18 – Багатоканальний ультразвуковий дефектоскоп «Пеленг-415»

Для вимірювання товщини різних виробів з металів та неметалів, включаючи вироби, доступ до яких можливий лише з одного боку, використовуються сучасні ультразвукові товщиноміри УТ-111 (рисунок 1.9), ТУЗ-2. З їх допомогою можна встановити ступінь корозійного пошкодження та ерозійного зношування по залишковій товщині, що дуже важливо при визначенні технічного стану силових елементів повітряних суден, наприклад, у процесі виконання робіт з продовження ресурсу.



Рисунок 1.19 – Ультразвуковий товщиномір УТ-111

1.4 Резонансний метод

Резонансний метод заснований на вимірюванні частот і амплітуд ультразвукових коливань, які збуджують резонансні явища в об'єкті, що контролюється, за його товщиною. Резонансні коливання виникають в обмеженій системі при збігу частоти зовнішньої сили, що збуджує, з частотою власних коливань виробу. При визначенні резонансної частоти метод дозволяє виміряти товщину виробів (наприклад стінок резервуарів) в контрольованій зоні, виявити деякі дефекти в цій зоні (наприклад, розшарування), визначити рівень рідини в закритих резервуарах.

При контролі за резонансним методом для збудження перетворювача використовують генератор змінної частоти, що настроюється. На певній частоті контрольованої деталі виникають стоячі хвилі, тобто, настає явище резонансу (виріб вібруватиме в резонанс з генератором). Це призводить до зростання амплітуди УЗК у деталі, збільшення внаслідок цього споживаної енергії та зменшення вхідного опору навантаження генератора (п'єзоелемента випромінювача). З цієї причини анодний струм генератора різко зростає, що реєструється індикатором. Резонанс при подібних випробуваннях настає у тому випадку, якщо товщина виробу дорівнює цілому числу напівхвиль пружної акустичної хвилі. При цьому між товщиною виробу / та довжиною хвилі X дотримується співвідношення

$$l = n X / 2 = nc / 2I,$$

де n - ціле число, що визначає порядок гармоніки коливання (при резонансі на основній частоті n^{-1}); c - швидкість поширення УЗК у матеріалі виробу; I - частота УЗК.

Визначивши частоту коливань, при якій настає явище резонансу, і знаючи швидкість поширення УЗК у матеріалі деталі, з наведеного співвідношення обчислюють товщину деталі. В даний час розроблені системи прямого відліку товщин, що дозволяють обійтися без обчислень, прискорити вимірювання, підвищити їхню точність, наприклад, прилади типу ТУК-4В. Проводяться дослідження з розробки резонансних товщиномірів, що дозволяють автоматизувати процес вимірювання товщини виробів із записом результатів вимірювань.

Метод застосовується для контролю з'єднань, що мають кілька шарів: виявлення несплошності клейових та паяних з'єднань, контролю якості посадки шпильок, штифтів, осей та інших деталей, встановлених з натягом. Найбільшого поширення набув контроль клейового з'єднання обшивки зі стільниковим заповнювачем. Імпедансні дефектоскопи типів ІАД-2 та ІАД-3 забезпечують надійний контроль двох- та тришарових конструкцій. При цьому контролі не потрібно двостороннього доступу до виробу та нанесення контактної рідини на його поверхню. Датчиком у цих дефектоскопах є стрижень, що здійснює поздовжні коливання. Якщо випромінювач знаходиться над ділянкою обшивки з цільною клейовою сполукою, то конструкція коливається як єдине ціле і сила реакції виробу на стрижень випромінювача досягає великої величини (механічний імпеданс має максимальне значення, оскільки визначається жорсткістю всієї конструкції) (рисунок 1.20). При знаходженні випромінювача над непроклеєною зоною ділянка обшивки коливається незалежно від внутрішнього листа-підкладки, і сила реакції різко зменшується, оскільки жорсткість обшивки на цій ділянці буде значно меншою.

Зміна сили реакції фіксується за допомогою п'єзоелемента, розміщеного на кінці датчика (рисунок 1.21).

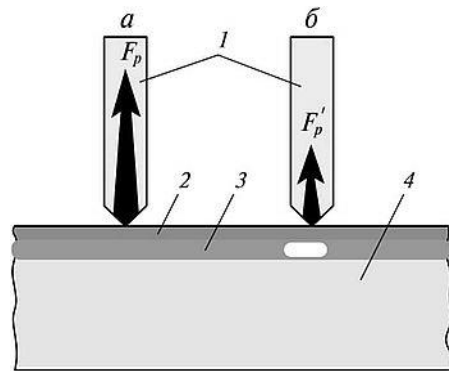


Рисунок 1.20 – Контроль якості склеювання імпедансним методом

a - на ділянках з гарною склейкою; *б* - у зоні непроклею; 1 - датчики; 2 - зовнішній лист (обшивка); 3 - шар клею; 4 - внутрішній лист (підкладка); F_p – сила реакції

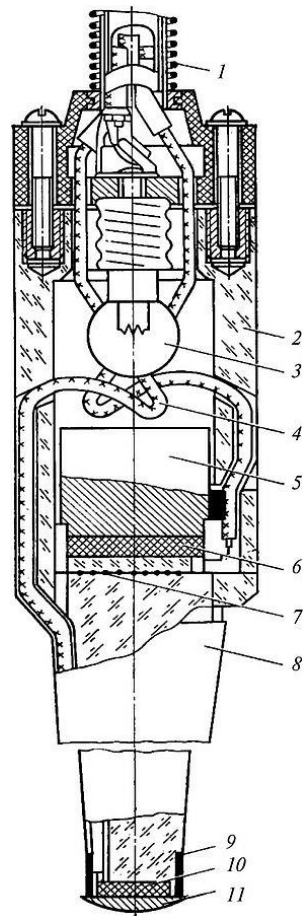


Рисунок 1.21 – Схема датчика імпедансного дефектоскопу

1 - пружина; 2 - корпус; 3 - сигнальна лампочка; 4 - екранований провід; 5 - сталевий циліндр; 6 - випромінюючий п'єзоелемент; 7 - екран; 8 - звукопровідний стрижень; 9 - кільце, що екранує; 10 - вимірювальний п'єзоелемент; 11 — контактний наконечник.

Зміна механічного імпедансу контрольованого виробу може бути виявлено зі зміни фази сили реакції (прилад ІАД-3), що надається на випромінювач пружними коливаннями, що збуджуються у виробі, або по зміні її амплітуди.

Техніка контролю за імпедансним акустичним приладом відносно проста і полягає в тому, що попередньо налаштований датчик переміщається по контрольованій поверхні. У процесі контролю необхідно стежити, щоб вісь датчика не відхилялася перпендикулярного положення більш ніж на 10° . Зміна сили реакції фіксується загорянням лампочки або стрілочним індикатором.

Режим роботи вибирають залежно від властивостей контрольованих матеріалів та особливостей конструкції. Чутливість імпедансного методу залежить від умов його застосування. Для успішного застосування методу необхідно, щоб відношення імпедансу всієї конструкції до імпедансу обшивки було досить велике. При склеюванні двох шарів з однакового матеріалу контроль можливий тільки в тому випадку, якщо ці шари мають різну товщину і перевірка виконується більш тонким шаром. Контроль сполук однорідних верств однакової товщини імпедансним методом зазвичай неможливий. Для вибору оптимальних режимів контролю та визначення чутливості методу необхідні контрольні зразки зі штучними дефектами різних розмірів. Ці зразки повинні мати самі основні параметри (товщину і матеріал обшивки і з'єднаних з нею елементів, розмір стільникового осередку і т.д.), що і контрольований виріб. Довжина та ширина зразків можуть бути меншими, ніж відповідні розміри виробів.

Імпедансний метод може бути використаний у тих випадках, коли модуль пружності матеріалу того шару, з боку якого здійснюється контроль, досить великий (метали, текстоліт). Контроль з боку матеріалів із низьким модулем пружності (м'яка гума, пінопласт) практично неможливий. Зі зменшенням модуля пружності чутливість методу падає. Найбільша чутливість досягається на гладких поверхнях контрольованого виробу, шорстка поверхня знижує чутливість методу. Сучасний імпедансний дефектоскоп ДАМІ-С (рисунок 1.22) реалізує імпедансний, вихрострумний і резонансні методи контролю, а також має функцію побудови стереоскопічного зображення знайдених дефектів. Розміри, площа та конфігурація проекції дефекту відповідають реальним параметрам. Прилад ДАМІ-С можна налаштувати як у ручному, так і в автоматизованому режимі. Отримані параметри та результати контролю можуть бути збережені в архіві приладу. Спеціалізоване програмне забезпечення «АРМ Дефектоскопіста» здійснює перенесення накопичених даних у комп'ютер для подальшого аналізу, зберігання та формування протоколу контролю. Висока чутливість дефектоскопу ДАМІ-С дозволяє виявляти малі та складні дефекти.

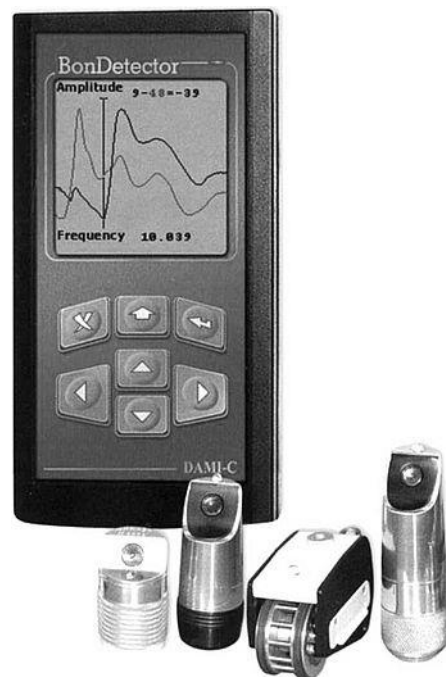


Рисунок 1.22 – Дефектоскоп ДАМІ-С

1.5 Метод вільних коливань

Метод вільних коливань ґрунтується на використанні пружних властивостей коливальних систем, що здійснюють вільні коливання. Контроль полягає у збудженні пружних коливань у контрольованому об'єкті та аналізі характеристик власних коливань об'єкта. Метод застосовується виявлення внутрішніх дефектів, залягають на глибині кількох сантиметрів у масивних деталях, виготовлених із матеріалів із високим коефіцієнтом згасання пружних коливань. Метод вільних коливань є одним із найдавніших акустичних методів.

Як відомо, тільки початкова амплітуда цих коливань визначається обурюючою силою, решта характеристик - період і частота коливань, коефіцієнт загасання - повністю залежать від параметрів самої системи: маси, гнучкості, механічного опору. Виріб, який не має дефектів у вигляді тріщин, може розглядатися як коливальна система з певними параметрами (частотою, коефіцієнт загасання). Ці параметри змінюються, якщо у виробі є неоднорідності (тріщини, розшарування, раковини). Здавна оглядачі вагонів, стукаючи молотком осі коліс, по дзвону металу визначали наявність у ньому тріщин.

Об'єктивніший контроль здійснюється за допомогою ударника електромагнітного вібратора, що збуджує вільні коливання. Весь спектр частот цих коливань реєструється п'єзоелементом приймача, перетворюється на електричний сигнал і після посилення подається на фільтр, що пропускає лише спектр коливань дефектної ділянки. Потім ці коливання посилюються та подаються на індикатор. Прилад, що працює на такому принципі, успішно застосовується для перевірки якості склеювання між собою та з металевою обшивкою матеріалів з високими значеннями коефіцієнта згасання пружних коливань (текстоліт, фанера тощо).

Високочастотна ультразвукова томографія є порівняно новим напрямом у вирішенні завдань традиційного дефектоскопічного контролю авіаційної техніки, а також у дослідженні мікроструктури та фізико-механічних властивостей матеріалів. Такі системи в даний час широко застосовуються в практичному матеріалознавстві. Сутність візуалізації дефектів матеріалу полягає в скануванні досліджуваної області об'єкта ультразвуковим фокусованим пучком, реєстрації амплітуд відбитих хвиль і,

в кінцевому рахунку, перетворення їх в акустичне зображення на екрані. Високі технічні можливості високочастотного ультразвукового томографа з виявлення та візуалізації різних дефектів дозволяють вважати цей метод вельми перспективним методом контролю об'єктів авіаційної техніки.

Останнім часом набуває поширення метод акустичної емісії. Акустична емісія - це явище поширення у твердому тілі хвиль пружної деформації внаслідок звільнення енергії при пластичній деформації або руйнуванні (зламі) локального об'єму. Акустична емісія в металі є хвилями пружної деформації невеликої амплітуди, створювані дискретними (розривними, переривчастими) рухами, які супроводжують непружну деформацію та розвиток тріщини. Хвилі пружної деформації, що є результатом деформації або розвитку джерел руйнування, виявляються як невеликі усунення поверхні контрольованого об'єкта. Виявлення хвиль акустичної емісії здійснюється безпосередньо шляхом приєднання пасивних п'єзоелектричних датчиків до поверхні, перетворення та зчитування швидких електричних імпульсів, викликаних усуненням чутливого елемента датчика у вигляді ряду одиночних імпульсів або кількості енергії. Прийняті імпульси або сигнали мають порівняно високу частоту - 100 кГц - 1 МГц і більше.

Інтерес до явищ акустичної емісії в авіації обумовлений тим, що при належному розвитку ці методи дозволяють визначити наявність, величину і місце розташування мікротріщин, що розвиваються, причому дистанційно зі значною швидкістю. Стосовно практики технічного обслуговування та ремонту літальних апаратів використання методу акустичної емісії може стати одним із інтегральних способів оцінки технічного стану планера та основних силових вузлів у зв'язку з розвитком втомного ушкодження конструкції при тривалій експлуатації.

Незважаючи на простоту, контроль деталей (особливо складної форми) ультразвуковими і звуковими методами має ряд особливостей і труднощів. Тому методи застосовують лише для тих деталей, котрим розроблені відповідні методики чи технології, визначальні ціль, зони і чутливість контролю; місця введення УЗК у деталь; тип дефектоскопа, що використовується; оптимальний кут введення УЗК у

деталь; тип шукальної голівки; контрольний зразок (еталон); способи забезпечення акустичного контакту; рідина для забезпечення акустичного контакту; налаштування дефектоскопа перед контролем; технологію проведення контролю; розшифрування результатів контролю; норми на відбраковування деталей; запобіжні заходи.

Мета, зони та чутливість контролю визначають на основі статистичних даних про місця поширення дефектів матеріалу, їх характеру та орієнтації та технічних умов на деталь. Введення УЗК здійснюють з доступних поверхонь так, щоб забезпечувалися оптимальні умови виявлення дефектів в місцях їх найбільш ймовірного виникнення. При цьому використовують різні типи фіксаторів, що дозволяють усувати перешкоди через відображення УЗК конструктивних нерівностей деталі. Технологія проведення контролю складається з наступних операцій: - підготовка деталі до контролю; розміщення необхідної апаратури та приладдя; розбиття деталі на зони контролю; нанесення контактної рідини у місцях введення УЗК; встановлення та сканування шукача при контролі в кожній зоні введення УЗК; спостереження за індикатором та визначення дефектів за його показаннями.

Розшифрування сигналів, що виникають, і їх відмінність від сигналів-перешкод потребує спеціальних навичок і може бути здійснено тільки спеціально підготовленим персоналом. Наявність мертвих зон, тобто. неконтрольованих ділянок на деталях, та необхідність складного налаштування дефектоскопа є недоліками акустичних методів неруйнівного контролю. Проте акустичні методи постійно розвиваються, з'являються нові високопродуктивні прилади. Цей вид контролю все ширше застосовується при експлуатації та ремонті літальних апаратів.

1.6 Електромагнітно-акустичний метод

Електромагнітно-акустичні перетворювачі (ЕМАП) – це новий напрямок в УЗ контролі. Основна відмінність цієї технології полягає в тому, що ультразвукова хвиля генерується безпосередньо в об'єкті, що досліджується.

ЕМАП генерує ультразвукову хвилю в контрольованому об'єкті завдяки двом електромагнітним полям, які взаємодіють між собою. Сила Лоренца виникає при взаємодії високочастотного поля, утвореного електричними котушками та статичним або низькочастотним полем, що генерується магнітами.

Електромагнітно-акустичний спосіб збудження ультразвуку - це спосіб перетворення високочастотної електромагнітної хвилі провідника (індуктора) з електричним струмом, що протікає по ньому, в пружні деформації (ультразвук) на поверхні об'єкта що досліджується, з частотою рівною або кратною частоті електромагнітної хвилі.

Контактна рідина є одним із слабких місць традиційних методів УЗК та більшості систем Що їх реалізують. Необхідність застосування рідини дедалі частіше входить у конфлікт із сучасними технологіями. Все важче забезпечувати необхідні вимоги щодо швидкості переміщення, температури та стану поверхні об'єктів контролю. Використання води, навіть із додаванням присадок, часто призводить до корозії і як наслідок погіршення товарного вигляду продукції. ЕМА-технологія збудження та прийому ультразвуку має ряд недосяжних для інших, у тому числі і п'єзотехнології, переваг.

Безконтактні методи збудження акустичних хвиль за засобами ЕМАП суттєво розширюють можливості ультразвукового контролю при високих та низьких температурах, шорсткої та забрудненої поверхні об'єктів, а також у випадках, коли за застосовуваною технологією контактні рідини застосовувати неприпустимо.

Основні переваги технології контролю із застосуванням ЕМАП у порівнянні з традиційним ультразвуковим контролем:

- ЕМАП може збуджувати поперечні хвилі в широкому діапазоні частот, що дозволяє збільшити вимірюваний діапазон та збільшити точність вимірювань порівняно зі стандартним ПЕП.

- Відсутність безпосереднього контакту ЕМАП з металом суттєво знижує вимоги до підготовки поверхні та не вимагає використання контактної рідини.

- Ультразвукові коливання, що збуджуються електромагнітним полем, не чутливі до перекосів при встановленні ЕМАП на виріб, усуваючи помилки вимірювання, спричинені заломленням звуку на межі «перетворювач – об’єкт контролю».

- Робоча поверхня може мати широкий температурний діапазон без ризику пошкодження датчика.

- На контроль не впливає кут введення імпульсу, тому перетворювачі не поділяються на похилі та прямі.

- Безконтактний перетворювач не схильний до тертя і як наслідок не зношується.

- Прилади, що використовують електромагнітно-акустичні перетворювачі, можуть працювати на об’єктах складної форми та трубах малого діаметру.

До недоліків ЕМАП відносять їх порівняно низьку чутливість та перешкодозахищеність. Одним з можливих методів підвищення чутливості є застосування когерентної обробки сигналів, що приймаються.

Висновки до розділу 1

В першому розділі проаналізовано акустичні методи контролю станів силових елементів планеру повітряного судна, визначено основні методи акустичного контролю. Дана порівняльна характеристика методів.

Встановлено, що при неруйнівному контролі авіаційних конструкцій з усіх розглянутих методів найбільш поширені (до 90% від усіх акустичних дефектоскопів) ультразвуковий луна-метод та імпедансний. Також дана загальна характеристика електромагнітно-акустичному методу, що являє собою новий напрямок в УЗ контролі. Основна відмінність цієї технології полягає в тому, що ультразвукова хвиля генерується безпосередньо в об'єкті, що досліджується.

РОЗДІЛ 2

ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНЕРА ПС

Основною задачею забезпечення надійності систем та агрегатів АТ є попередження виникнення відмов в польоті і перш за все таких виробів, порушення функціонування яких створює аварійні або катастрофічні ситуації. Одним з основних напрямків забезпечення надійності АТ на етапі експлуатації є впровадження ефективних засобів та методів діагностування стану вузлів та агрегатів ПС.

Одним з перспективних методів неруйнівного контролю є електромагнітно-акустичний метод (ЕМА). Цей метод дозволяє контролювати стан силових елементів конструкції на стадії виникнення пошкоджень ще на рівні кристалічних ґраток, тобто, ще до того, як почнеться поверхневе руйнування.

2.1 Фізичні принципи електромагнітно-акустичного методу контролю.

Електромагнітно-акустичне порушення ультразвуку засноване на двох фізичних явищах: дії сили Лоренца в струмопровідних матеріалах і магнітострикції у феромагнітних матеріалах.

Розглянемо ЕМА перетворення, обумовлене силами Лоренца. Котушка, поміщена в поверхні об'єкта контролю, передасть високочастотний імпульсний електромагнітний сигнал. У приповерхньому шарі товщиною δ (рисунок 2.1) наводиться вихровий струм $j(z, t)$ і створюється електричне поле $E(z, t)$. Коли прикладається постійне магнітне поле, порушується рівновага, що приводить до виникнення сили, що діє на електрони. Це - сила Лоренца, що виражається наступної залежністю:

$$F(z) = (j(z) \times B_0) / n_0 \quad (2.1)$$

де n_0 - щільність електронів.

Для індукції B_0 , спрямованої по осі ОХ, повздовжня сила Лоренца приводить до варіації щільності заряду електронів уздовж напрямку ОZ. Внутрішнє електричне поле $E(z)$, орієнтоване уздовж осі ОZ, повинне існувати для підтримки нейтральності заряду. Його іони роблять коливання стиску-розтягання з амплітудою ξ_Z . Для індукції B_0 , що діє уздовж осі ОZ, струми $j(z, t)$ спрямовані уздовж ОУ, а сила Лоренца - по напрямку ОХ. Сили Лоренца збуджують сили зрушення уздовж осі ОХ, що приводить до появи поперечних коливань з амплітудою ξ_x . Таким чином, для цих двох поляризації хвильове рівняння має вид

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} - s^2 \frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{|j \times B_0|}{d} \quad (2.2)$$

де d - щільність металу; S - швидкість ультразвукової (УЗ) хвилі.

Відомо, що при $d \ll 1$ і на відстані $z \gg \delta$ хвильове рівняння має наступне рішення:

$$|\xi| = \frac{BB_0}{\mu_0 ds\omega(1 + \beta^2)^{1/2}} \quad (2.3)$$

де $\beta = q^2 \delta^2 / 2$ — хвильове число.

Коефіцієнт перетворення η електромагнітно-акустичного перетворювача (ЕМАП) - відношення порушеної акустичної потужності P до електромагнітної потужності Q , що прикладається до поверхні об'єкта контролю, - визначається вираженням

$$\eta = \frac{P}{Q} = \frac{2B_0^2}{\mu^2 (\partial s / \partial \delta)}. \quad (2.4)$$

На частоті 10 МГц для хвиль стиску в алюмінії при індукції $B_0 = 1$ Т коефіцієнт перетворення $\eta = 5.7 \times 10^{-5}$.

У неферомагнітних матеріалах сили Лоренца вносять основний вклад у генерування (збудження) ультразвуку. У феромагнітних матеріалах до цих сил додаються сили, обумовлені магнітострикційним ефектом. Згідно з цими принципами, ЕМАП повинні складатися з засобів створення постійного подмагнічувального поля чи електромагніта і спіралі проводів (котушки) з імпульсним змінним струмом, що протікає по ній, порушення, що створює змінне магнітне поле у виробі.

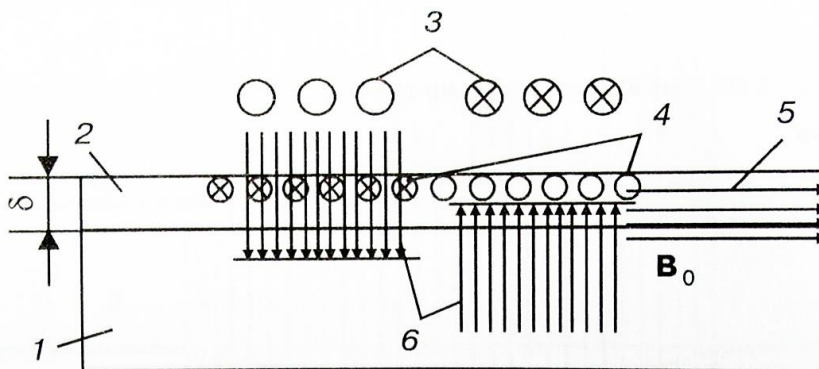


Рисунок 2.1 – Схема ЕМА випромінювання і прийому УЗ хвиль

1 – об'єкт контролю; 2 - приповерхневий шар; 3 - котушка, у якій протікає високочастотний імпульсний струм з частотою необхідною для УЗ коливань;

4 - вихрові струми (показаний напрямок їхнього поширення); 5 - індукція В постійного підмагнічування; 6 - напрямок випромінювання і прийому УЗ хвиль.

На рисунку 2.2 показаний поперечний переріз ЕМАП, що випромінює і приймає поперечні УЗ хвилі. ЕМАП складається з трьох основних елементів: постійного магніту (самарій-кобальтового диска), що передає і приймає спіральної котушки. При досягненні достатньої щільності кільцевих перемінних вихрових струмів у вертикальному магнітному полі виникають радіально коливні сили Лоренца в приповерхньому шарі товщиною порядку 0,1 мм. Ці сили діють як джерело ультразвуку усередині металу об'єкта контролю. Прийом сигналів здійснюється в зворотній послідовності.

Розглянемо схему приладу, у якій використовується ЕМА перетворення, обумовлене силами Лоренца. Він працює в такий спосіб (рисунок 2.3). Генератор зондувальних імпульсів 1, керований мікропроцесорним блоком 5, виробляє високовольтний імпульс, що подається на котушку ЕМАП, що збуджує і приймає поперечні хвилі. Постійне і високочастотні полюси створюються відповідно самарій-кобальтовим магнітом і високочастотною котушкою. Відбитий від протилежної поверхні сигнал, прийнятий котушкою перетворювача 2, подається на вхід вимірювального підсилювача 3. Коефіцієнт підсилювача 3 задається мікропроцесорним блоком 5 так, щоб його вихідний сигнал знаходився в заданих межах оптимальної роботи блоку АЦП 4. Оцифрований сигнал з виходу блоку АЦП 4 записується в спеціальну область блоку пам'яті 7. Мікропроцесорний блок 5 здійснює обробку даних у пам'яті відповідно до різних режимів роботи толщиномер, передачу інформації в блок індикації 6, запам'ятовування результатів виміру в блоці пам'яті 7 і передачу їхній у персональний комп'ютер

через стандартний інтерфейс RS 232. Вибір різних режимів роботи толщиномера проводиться оператором за допомогою блоку клавіатури 8.

Розглянемо пристрій і роботу дефектоскопа, у якому для порушення і прийому УЗ коливань використовуються магнітострикційний і магнітоупругий ефекти. Для реалізації умов порушення УЗ коливань у контрольованому виробі збуджуються два види поля - квазіпостійне і високочастотне. Перше необхідно для вибору ділянки з максимальною похідною магнітострикційної постійною по намагнічуючій напруженості поля. Тривалість квазіпостійного поля повинна бути така, щоб забезпечити порушення і прийом відбитих УЗ хвиль від дефектів, що знаходяться в робочій ділянці.

Квазіпостійне і високочастотне поля створюються відповідно електромагнітом і високочастотною котушкою, що знаходяться в перетворювачі. Дві обмотки електромагніта, виконані ідентично на U-образному стрічковому сердечнику, працюють по черзі через такт імпульсів синхронізації. Для того, щоб зменшити притягання перетворювача до виробу, поля, створювані обмотками електромагніта, спрямовані зустрічно. Високочастотна котушка намотана на діелектричному каркасі і розміщується між полюсами електромагніта. Її намотування виконане з кроком, рівним половині довжини порушуваної хвилі. У сусідніх витках напрямку протікаемого токи протилежні. При контролі високочастотна котушка перетворювача і полюса електромагніта розташовуються на поверхні виробу. Процес порушення і прийому УЗ коливань відбувається в такий спосіб: на одну з обмоток електромагніта подається імпульс струму трапеційдальної форми тривалістю порядку сотень мікросекунд. У момент, коли струм в обмотці електромагніта досягає максимального значення, на високочастотну котушку подається радіоімпульс тривалістю порядку декількох мікросекунд із частотою заповнення, рівній частоті порушення УЗ коливань. У результаті взаємодії квазіпостійного і високочастотного полів з контрольованим

виробом на поверхні останнього за рахунок ефекту магнітострикции виникають пружні магнітострикційні напруги, розподіл яких на поверхні аналогічно біжить хвилі. Ці напруги приводять до виникнення об'ємних волі, що за певних умов трансформуються в хвилі Лемба, що мають зсуви по всьому перетині листа, чи поперечні хвилі SH-поляризації.

Рисунок 2.2 – Схема порушення-прийому поперечних хвиль ЕМАП

1 - алюмінієвий зразок (об'єкт контролю); 2 - вихрові струми (показаний напрямок поширення); 3 - приймаюча котушка; 4 - передавальна котушка; 5 - самарій-кобальтовий магніт; 6 - магнітна індукція, створювана самарій-кобальтовим магнітом; 7 - індукція змінного магнітного поля, що наводиться струмом у котушці; 8 - сили Лоренца F_L ; 9 - поперечна хвиля (хвиля зрушення).

Відбиваючись від внутрішніх чи дефектів граней виробу, УЗ коливання знову попадають у зону дії перетворювача. Коливання часток середовища при поширенні УЗ коливань у квазіпостоянному полі, створюваним перетворювачем за рахунок магнітоупругого ефекту, приводять до появи на поверхні контрольованого

виробу ЕДС, що сприймається високочастотною котушкою і перетвориться в імпульс електричних коливань з частотою заповнення, рівній частоті УЗ коливань.

Дефектоскоп реалізує ехо-імпульсний метод контролю. В основу способу визначення їм відстаней покладений метод виміру тимчасового інтервалу між випромінюваним (зондувальним) і відбитим імпульсами. Прилад може працювати в двох режимах синхронізації в залежності від того, який електронний блок є що задає - БЕ-1 чи БЕ-2. Вимір відстані до дефекту можна проводити тільки в другому режимі.

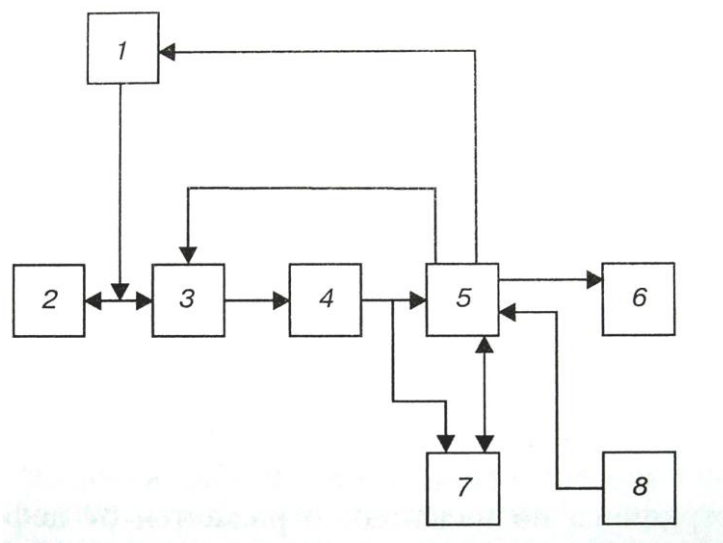


Рисунок 2.3 – Структурна схема приладу з використанням ЕМАП

У першому режимі дефектоскоп працює в такий спосіб. Синхроімпульс, що виробляється блоком предусилителя і синхронізатора, запускає один з тиристорів формуючої лінії блоку генератора імпульсів. Формуюча лінія розряджається на одну з обмоток електромагніта перетворювача, у якій формується імпульс струму трапецеидальної форми. У момент, коли струм в обмотці електромагніта досягає максимального значення, синхронізатор блоку предусилителя і синхронізатора виробляє імпульс, що запускає генератор радіоімпульсів і блок БЕ-2. Генератор радіоімпульсів виробляє радіоімпульс, що подається на високочастотну котушку перетворювача. У контрольованому виробі формується хвиля Лэмба, що,

поширюючи по виробі, відбивається від чи дефектів граней контрольованого виробу, сприймається ЕМАП і перетворюється в радіоімпульс. Останній подається на вхід предусилителя, де відбувається попереднє посилення сигналу. Крім того, предусилитель виконує ще двох функцій: узгодження імпедансів високочастотної котушки і входу основного підсилювача БЭ-2, а також зменшення амплітуди зондувального імпульсу на вході основного підсилювача з метою запобігання перевантаження основного підсилювача по входу.

Сигнал з виходу предусилителя надходить на вхід блоку БЭ-2, що використовується для посилення сигналу, тимчасової селекції сигналів від дефекту, порівняння амплітуд сигналів від дефекту з наперед заданим рівнем, а також індикації в аналоговій формі на екрані ЕПТ. Другий режим по синхронізації реалізується, що коли задає є блок БЭ-2, і застосовується в тому випадку, коли необхідно вимірювати відстань від перетворювача до дефекту. Робота дефектоскопа в другому режимі відрізняється й основному режимом роботи блоку БЭ-2. У цьому випадку блок БЭ-2 переводиться в режим внутрішньої синхронізації 100 Гц, а БЭ-1 - у режим зовнішнього запуску. Сигнал, відбитий від дефекту чи грані виробу, приймається ЕМАП, перетворюється їм в імпульс електричних коливань і подається на передпідсилювач. Посилені сигнали з виходу передпідсилювача подаються на вхід блоку БЭ-2, де відбувається додаткове посилення і детектування сигналу.

З виходу блоку підсилювача детектовані ехо-імпульси позитивної полярності надходять на відеопідсилювач, розташований у блоці БЭ-2, а потім на вертикально відхиляють пластини ЕПТ для візуалізації ехо-сигналів. Ехо-імпульси позитивної полярності з другого виходу блоку підсилювача надходять у блок обробки сигналів.

Для виділення імпульсу сигналу від дефекту в блоці обробки сигналів формується строб-імпульс автоматичної сигналізації. При ручному режимі

контролю при наявності дефекту на цифровому індикаторі висвечивається координата дефекту в міліметрах. В автоматичному режимі контролю виходи схеми відліку координати дефекту, що несуть інформацію про відстань від перетворювача до дефекту, підключаються до комп'ютера, при цьому цифровий індикатор глибиноміра відключається.

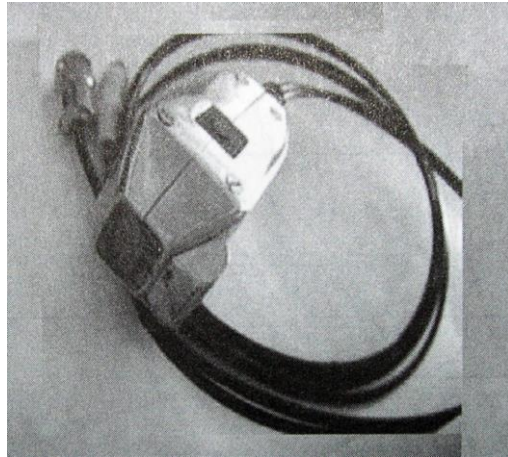


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд ЕМАП для порушення і прийому поперечних хвиль

Схема квантователя амплітуди сигналу дефекту видає інформацію про її амплітуду, що відповідає чотирьом рівням цього сигналу; світлова індикація рівнів здійснюється світлодіодами. Крім того, маються виходи інформації про амплітуду дефекту в двоїчно-десятковому коді для зв'язку з комп'ютером і вихід пікового детектора для запису на самопис.

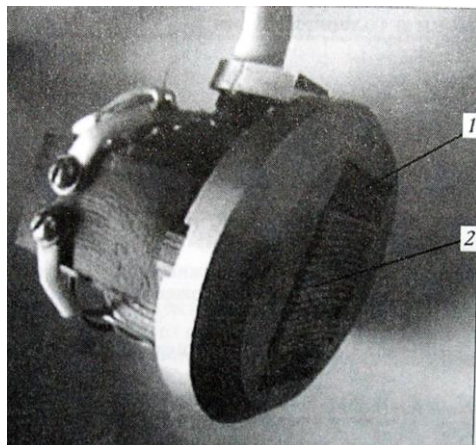


Рисунок 2.5 – Електро-магнітоакустичний перетворювач для випромінювання і прийому хвиль Лемба

- 1- магнітопровід для створення квазіпостійного магнітного поля;
- 2 - котушка для створення високочастотного магнітного поля

2.2 Робота ультразвукового ЕМА-дефектоскопа, що випромінює і приймає хвилі SH-поляризації.

До складу макета дефектоскопа входять наступні блоки: генератор підмагнічування, блок харчування і синхронізації, генератори що запускають і зондують імпульсів, блок попереднього підсилювача, УЗ дефектоскоп УД-10УА, ЕМАП. Останній перетворює електромагнітну енергію в акустичну і навпаки. Він є одночасно перетворювачем-випромінювачем і перетворювачем-приймачем, що забезпечує раздельно-совмещенный режим роботи. ЕМАП УЗ дефектоскопа здійснює прийом і випромінювання поперечних хвиль SH-поляризації для контролю якості сталевих металоконструкцій, зокрема, електрозварних труб, у ручному режимі.

Основним елементами ЕМАП є: трансформатор, що погодить, високочастотна котушка, котушка електромагніта і магнітопровід. Генератор синхронізації формує синхроімпульси для запуску генератора зондувальних імпульсів, генератора імпульсного підмагнічування й УЗ дефектоскопа УД-10УА. Сигнал від генератора пускових імпульсів, подається на генератор зондувальних імпульсів і ЕМАП. На обмотку останнього надходять електричні імпульси з генератора підмагнічування, при цьому під час випромінювання і прийому імпульсів УЗ коливання в зазорі магнітопровода перетворювача формується низькочастотне магнітне поле. Сигнал, прийнятий перетворювачем, надходить на вхід попереднього підсилювача і блоку УД-10УА, де відбувається посилення

електричних сигналів, їхній часовий і амплітудний аналіз і формування на екрані. У приладі УД-10УА відбувається посилення електричних сигналів, їхній часовий і амплітудний аналіз, формування на екрані для візуального спостереження сигналів і оцінки їхніх параметрів.

Експериментальні дослідження. Для відпрацювання методичних питань НК були використані різні типи і конструкції ЕМАП: при вимірах товщини - ЕМАП з постійним магнітом для порушення і прийому зсувних хвиль під кутом уведення 0° ; для НК зварних з'єднань і полук лонжеронів - ЕМАП із квазіпостійним імпульсним підмагнічуванням, збуджує і приймає хвилі Лемба (рисунок 2.5), а також SH-хвиль (рисунок 2.6).

Експерименти по виміру товщини проводилися на алюмінієвих і сталевих зразках товщиною від 1 до 200 мм (розмірами 250X250 мм). Погрішність виміру товщини в діапазоні 2,5...7,0 мм склала $\pm 0,25$ мм, у діапазоні 7... 200 мм - $\pm 0,1$ мм.

Вплив величини зазору між перетворювачем і поверхнею контрольованого зразка досліджували на зразках товщиною 10 мм із непровідним покриттям (на основі епоксидної смоли) товщиною 0,1...0,5 мм. Установлено, що величина зазору, обумовленого непровідним покриттям, у значній мірі впливає на амплітуду сигналу.

При товщині покриття 0,1...0,3 мм точність виміру товщини зразка була задовільною і склала $\pm 0,5$ мм. При товщині покриття 0,4...0,5 мм амплітуди луна-сигналів від протилежної стінки зразків були недостатні для надійного виміру товщини.

Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд ЕМАП для випромінювання і прийому поперечних хвиль SH-поляризації

Експерименти по виявленню дефектів в полках лонжеронів і зварних з'єднаннях з використанням хвиль Лэмба (моди S_0 і S_1) проводили на зразках зі сталі товщиною 4,5 і 8 мм. При контролі сталевих зразків розмірами 100X300 мм і товщиною 4...5 мм, а також зварених з'єднань використовувалися фокусирующие ЕМАП, що збуджують і приймають хвилі Лэмба. Були виявлені штучні дефекти (відбивачі), еквівалентні по відбивній здатності щілини довжиною 20 мм, шириною 0,5 мм і глибиною 0,4 мм. Слід зазначити, що досить надійно виявляли природний дефект площею 4 мм² і глибиною 0,3 мм при скануванні зразка з двох сторін. У зразку, виконаному у виді обичайки (діаметром 520 мм і товщиною 8 мм) зі звареним швом по окружності, надійно виявлялися непровари в корені шва на глибині 3...5 мм. Експерименти проводили на частоті 1,25 і 2,50 МГц.

Експерименти по виявленню дефектів у трубопроводах і зварних з'єднаннях з використанням поперечних хвиль SH-поляризації проводили на робочому зразку зі зварених труб діаметром 720 мм і товщиною 10 мм зі штучними і природними дефектами. Перелік виявлених дефектів робочого зразка представлений у таблиці. Таким чином, у результаті експериментів встановлено:

1) ЕМАП, що збуджують і приймають сдвигові хвилі під кутом 0° , ефективні для виміру товщини виробів з алюмінію і сталі; при цьому погрішність виміру товщини в діапазоні 2,5... 200,0 мм не перевищувала $\pm 0,25$ мм, а погрішність виміру товщини зразка з покриттям товщиною 0,1...0,3 мм складала $\pm 0,5$ мм;

2) ЕМАП, що збуджують і приймають хвилі Лэмба (моди S_0 і S_1) доцільно використовувати для виявлення дефектів у листових конструкціях і зварених з'єднаннях; з високою вірогідністю (0,99) виявлялися штучні дефекти (відбивачі), еквівалентні по відбивній здатності щілини довжиною 20 мм, шириною 0,5 мм і глибиною 0,4 мм, а також непровари в зварених з'єднаннях товщиною 8 мм на глибині 3...5 мм; експерименти проводили на частоті 1,25 і 2,50 МГц; показано, що в даному випадку в якості робочої доцільно використовувати частоту 1,25 МГц.

3) ЕМАП, що збуджують і приймають горизонтально-поляризовані і поперечні хвилі (SH) доцільно використовувати при контролі виробів (зокрема, труб і зварених з'єднань) із грубою поверхнею, а також при наявності залишків ізоляції, сторонніх нашарувань і елементів експлуатованих у космосі виробів, розташованих під обшиванням; надійно виявлялися природні дефекти округлої форми, протяжні і непротяжні дефекти різної орієнтації (див. таблицю) - вірогідність контролю складала 97 %; визначені оптимальні параметри контролю: частота 1 МГц, кут уведення 75° , фокусна відстань 230 мм.

Відзначимо, що основною перевагою ЕМАП для роботи є можливість контролю в широкому діапазоні температур (теоретичний діапазон $-150... +170^\circ$) без використання конкретних середовищ і порушення хвиль різних типів, зокрема, SH-поляризації (ця хвиля не може бути порушена звичайним УЗ датчиком). Основне достоїнство SH-хвиль полягає в тому, що вони можуть бути використані для контролю конструктивних елементів і зварних з'єднань, що знаходяться під обшивкою.

Таблиця 2.1 – .Приклади дефектів, виявлених у робочому зразку труб D=720мм і товщиною 10 мм

№ п/п	Вид дефекту	Координати дефекту		Параметри	Примітка
		X	Y		
1	Округлої форми	500	550	Діаметр D = 2 мм	Виявляється з усіх боків (отвір)
2	Протяжний	670	200	Довжина L = 200 мм, амплітуда луна-сигналу вище рівня настроювання	Виявляється з двох сторін
3	"	860	200	Довжина L = 210 мм, амплітуда луна-сигналу коливається від 1/2 до повного рівня настроювання	Виявляється з усіх боків (розташований на повздовжньому шві № 2)
4	"	330	590	Довжина L = 230 мм, амплітуда луна-сигналу вище рівня настроювання	Виявляється з двох сторін
5	Непротяжний	695	930	Амплітуда луна-сигналу вище рівня настроювання	

Слід зазначити, що за допомогою ЕМАП можна реалізувати, крім більшості можливостей струмовихревого контролю, що впливає:

- контроль товщини у великому діапазоні - від 1 до 50 мм;
- контроль листових зварних конструкцій з більшою продуктивністю, використовуючи волноводное поширення, тобто контролювати великі площі,

не скануючи поверхні перетворювачем, а зафіксувавши його в доступному місці;

- автоматизацію процесу контролю з відображенням інформації в трьох вимірах (одержати А-, В-, С-, D-скани);
- контроль силових елементів конструкцій під обшивкою, використовуючи SH-хвилі.

2.3 Прилади для ультразвукового контролю та вимірів з використанням ЕМА способу порушення і прийому пружних імпульсів

Значними перевагами перед іншими методами ультразвукового контролю (УЗ) у складних умовах експлуатації - при швидкісній дефектоскопії і толщинометрії, контролі забруднених і гарячих металів, виробів з неелектропровідними покриттями тощо, володіє ЕМА спосіб. Однак реалізувати ці переваги не дозволяє низька чутливість і істотна залежність результатів контролю від відстані між ЕМА перетворювачем і поверхнею виробу. На мою думку, головною перешкодою при практичній реалізації ЕМА способу є традиційний підхід до створення засобів неруйнівного контролю (НК) із застосуванням ЕМА способу. Має місце проблема, рішення якої дозволить створити новий клас приладів, що доповнюють існуючі контактні засоби УЗ НК. На підставі аналізу результатів багаторічних досліджень і практичного застосування ЕМА способу в промисловості поставлена проблема вирішена для контролю якості і вимірів характеристик виробів. Сформовано основні принципи побудови ЕМА дефектоскопів і товщиномірів різного призначення.

При УЗ контролі виробів з матеріалу з високим коефіцієнтом ЕМА перетворення (алюміній і його сплави, дрібнозерниста високоякісна феромагнітна сталь і т.д.), чи виробів з матеріалів з низьким ослабленням УЗ коливань, чи при реалізації технології контролю, не потребуючої високої продуктивності (ручний контроль), можливе застосування схеми побудови чи дефектоскопа товщиномера

(рисунок 2.7) із застосуванням ударного порушення. Однак, як впливає з роботи, характеристики корисних сигналів визначаються характеристиками вихідного зондувального сигналу. Тому при реалізації цієї схеми необхідно сформувати вихідний збудливий імпульс. Це можна здійснити двома шляхами - регулюванням тривалості й амплітуди імпульсу току, що збуджує ЕМА перетворювач. Тоді в міру зменшення глибини контрольованого обсягу виробу варто зменшувати тривалість зондувальних імпульсів. При цьому збільшується частина енергії імпульсу у високочастотній області спектра сигналу. Отже, збільшується здатність дефектоскопа, що дозволяє, чи товщиноміра. Додатковим регулюванням амплітуди імпульсу струму, що збуджує ЕМАП, можна оптимально формувати ділянку частотного спектра з максимальним розподілом енергії в діапазоні, у якому здійснюється прийом відбитих УЗ імпульсів. Крім того, у міру зменшення товщини виробу необхідно збільшувати і частоту проходження зондувальних імпульсів. Така вимога обумовлена додатковими втратами енергії УЗ імпульсів при багаторазових відображеннях на границях контрольованого не товстого виробу.

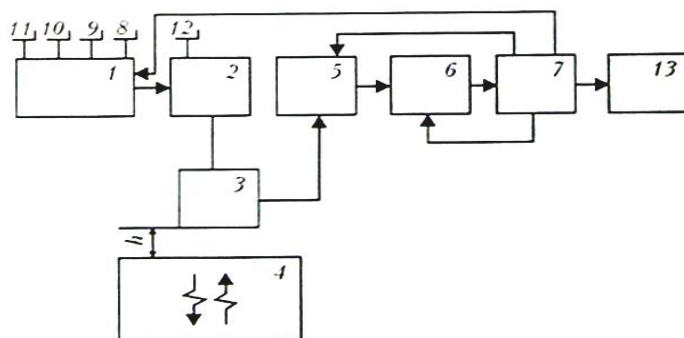


Рисунок 2.7 – Спрощена блок-схема УЗ приладу для контролю ЕМА способом з використанням ударного порушення перетворювача

Прилад НК, виконаний за запропонованою схемою (рисунок 2.7), працює в такий спосіб. Синхронізатор 1 виробляє імпульси, що погодять роботу всіх блоків і вузлів приладу. Під впливом синхроімпульсу генератор 2 вилучені порушення формує імпульс напруги, що прикладається до вхідних ланцюгів ЕМАП 3.

Тривалість імпульсу струму в ЕМАП 3 формується регулятором 8, його амплітуда - регулятором 9, а частота проходження регулятором 10 синхронізатора 1. Регулятори 8 і 9 повинні мати ділянки плавного переходу, тому що з їх допомогою можна здійснювати тонке узгодження вихідних ланцюгів генератора 2 із вхідними ланцюгами ЕМАП 3. Таким шляхом досягається додаткове зменшення "мертвої" зони, а також поліпшується форма зондувального УЗ імпульсу і за рахунок цього здатність, що дозволяє. Регулятор 10 може бути дискретним.

При надходженні імпульсу струму ЕМА перетворювач 3 збуджує в контрольованому виробі 4 УЗ імпульси, що мають параметри, ідентичні параметрам збудливого імпульсу струму. Обов'язковою умовою ідентичності характеристик імпульсу струму й УЗ імпульсу є широкополосність ЕМАП 3. У протилежному випадку порушуваний УЗ імпульс буде перекручений. Обмірювані характеристики виробу 4 не будуть повною мірою відповідати дійсним. Крім того, знизиться коефіцієнт перетворення електромагнітної енергії в акустичну. Буде прийнята тільки частина випроміненої енергії. Це приведе до зниження амплітуди сигналу і, відповідно, до зниження чутливості і точності контролю. Перешкодозахищеність контролю також буде недостатньою.

Прийняті ЕМАП 3 від виробу 4 відбиті імпульси підсилюються широкополосним підсилювачем 5. Широкополосність підсилювача 5 необхідна для прийому основної частини енергії з усього випроміненого і потім прийнятого спектра. У той же час, широкополосний підсилювач буде приймати перешкоди у всій робочій смузі частот, тобто І перешкодозахищеність може бути недостатньою і посилені сигнали надходять у блок 6 обробки інформації, а потім у пристрій 7 відображення інформації і сигналізації. У блоках 6 і 7 може бути застосована традиційна технологія роботи з інформаційними сигналами.

Толст виробу, виробу з істотним коефіцієнтом ослаблення пружних імпульсів і т.п. контролювати приладами, що використовують ударне порушення, недоцільно.

Як показано в роботах, підвищити ефективність приладу МК дозволяє застосування порушення ЕМАП пакетними імпульсами струму. Блок-схема такого приладу для безконтактного контролю, що неруйнує, показана на рис.2.8. Він особливо ефективний при дефектоскопії тінювим і дзеркально-тінювим методами, дефектоскопії ехо-методом об'ємних виробів з досить високим загасанням, дефектоскопії луною-методом гарячих виробів, дефектоскопії литих матеріалів, толщинометрії. Він істотно відрізняється від попереднього приладу (рисунок 2.7). Роль синхронізатора покладається на блок 6 обробки інформації і керування. Доданий формироваель 1 з регулятором 8 частоти об заповнення пакетного імпульсу, регулятором 9 тривалості, пакетного імпульсу і регулятором 10 частоти проходження пакетних імпульсів. Сформований пакетний імпульс підсилюється генератором 2 зондувальних імпульсів до заданої амплітуди, обумовленої регулятором 11. Генератор 2 збуджує в ЕМАП 3 пакетні імпульси струму з заданими частотою заповнення, тривалістю, амплітудою і частотою проходження зондувальних імпульсів. У цьому випадку ЕМАП 3 повинний мати вузьку частотну смугу, чи бути резонансним. ЕМАП 3 забезпечується регулятором 12 центральної робочої частоти, що відповідає частоті УЗ коливаний, установленною нормативно-технічною документацією (НТД) на контроль. Звичайно її значення встановлюються дискретно. Для тонкого настроювання й узгодження вихідних характеристик генератора 2 і вхідних характеристик ЕМАП 3 використовують регулятори 8 і 9.

У виробі 4 збуджуються УЗ імпульси з параметрами, що відповідають параметрам струму, що харчує перетворювач 3. Прийняті від виробу 4 УЗ імпульси підсилюються узкополосним чи резонансним підсилювачем 5. У результаті

узкополосные ЕМАП 2 і підсилювач 5 істотно обмежують проходження перешкод і шумів на блок 6 обробки інформації і керування. Співвідношення сигнал/шум у порівнянні з попереднім варіантом (рисунок 2.7) підвищується. Для узгодження параметрів підсилювача 5 і характеристик прийнятого пакетного імпульсу підсилювач також повинний бути постачений регулятором 13 резонансної частоти (центральної частоти прийнятої смуги) сигналу. Після посилення прийнятий сигнал надходить у блок 6 обробки інформації і керування і потім у пристрій 7 відображення інформації і сигналізації.

Узкополосное порушення і прийом УЗ імпульсів описаним приладом УЗ безконтактного контролю приводить до виключення зі спектра високочастотних компонентів спектра. Прийнятий сигнал спотворюється. Результати вимірів можуть мати погрішність вище необхідної. Не завжди може бути отримане достатнє перевищення корисного сигналу над шумом.

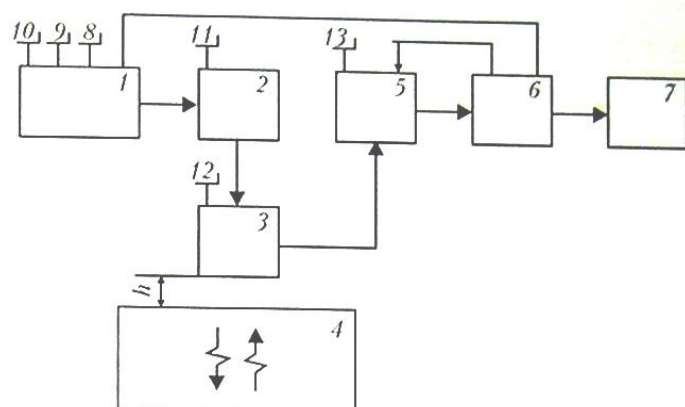
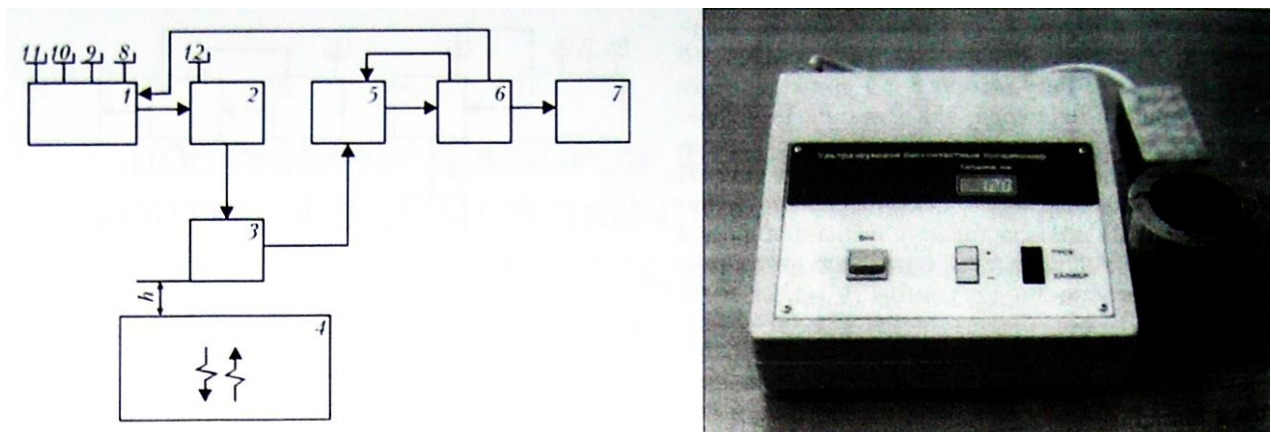


Рисунок 2.8 – Спрощена блок-схема приладу для УЗ контролю ЕМА способом з використанням пакетного порушення ультразвукових коливань і резонансної фільтрації

Усунути недоліки описаних вище приладів НК (рисунок 2.7, 2.8) можна за рахунок побудови широкополосних пристроїв, що не спотворюють інформаційний сигнал (рисунок 2.9). Так само, як і в попередньому випадку, чи дефектоскоп

толщиномер постачений формиривателем 1 з регулятором частоти заповнення пакетного імпульсу, регулятором 9 тривалості, пакетного імпульсу і регулятором 10 частоти проходження пакетних імпульсів. Додатково формириватель 1 постачений плавним регулятором 11 тривалості останнього в пакеті імпульсу заповнення. З його допомогою помітно зменшується величина «мертвої» зони.



Рисунк 2.9 – Спрощена блок-схема приладу для УЗ контролю ЕМА способом з використанням пакетного порушення УЗ коливаний і лінійно-частотної фільтрації та двухпроцесорний ЕМА товщиномір для вимірів по «чорновій» поверхні чи по лакофарбовому покриттю товщиною до 3 мм, в якому реалізована лінійно-частотна фільтрація

Сформований пакетний імпульс підсилюється генератором 2 зондувальних імпульсів до заданої амплітуди, обумовлене регулятором 12. Генератор 2 збуджує в ЕМАП пакетні імпульси струму з частотою, що відповідає частоті УЗ коливаний, установленної 111,1 на контроль, заданими тривалістю, амплітудою і частотою проходження зондувальних імпульсів. Пакетний імпульс має що обгинає, близьку

до прямокутного. У цьому випадку ЕМАП 3 повинний мати частотну смугу, що відповідає частотній смузі порушеного імпульсу струму. Для тонкого настроювання й узгодження вихідних характеристик генератора 2 і вхідних характеристик ЕМАП 3 використовують регулятори 8, 9 і 11.

У виробі 4 збуджуються УЗ імпульси з параметрами, що відповідають параметрам гока. живильного ЕМАП 3. Прийняті від виробу 4 УЗ імпульси підсилюються лінійно-частотним підсилювачем 5, що має частотну смугу не на багато (приблизно на 10...20 %) перевищуючу смугу порушеного імпульсу. Це необхідно, тому що в процесі поширення і відображень у виробі УЗ імпульс знаходить більш широку частотну смугу. У результаті приймається практично вся енергія інформаційного сигналу й істотно обмежується прийом перешкод і шумів. Збереження форми інформаційного сигналу в порівнянні з попереднім варіантом (рисунок 2.8) дозволяє підвищити здатність, що дозволяє, і точність виміри. Після посилення прийнятий сигнал надходить у блок в обробки інформації керування і потім у пристрій 7 відображення інформації і сигналізації.

У всіх описаних вище випадках побудови приладів УЗ безконтактного контролю використовуються сигнали з добутком його смуги частот на тривалість, приблизно рівним одиниці. Як показано в роботі, для істотного збільшення сигнал шум необхідно вибирати вихідний вид інформаційного сигналу з добутком його смуги частот на тривалість, багато великим одиниці, тобто формувати оптимальний сигнал. Блок-схема, що реалізує оптимальне порушення і прийом УЗ імпульсів, показана на рисунку 2.10.

У приладі формиратель 1 містить регулятор частоти заповнення пакета, регулятор 9 тривалості пакета, регулятор 10 частоти проходження зондувальних імпульсів і перемикач коду (виду) вихідного інформаційного сигналу. Виберемо, наприклад, фазокодований вид оптимального сигналу - тринадцятипозиційним код Бартеру. Сформований оптимальний сигнал

підсилюється широкополосним генератором 2 зондувальних імпульсів до величини, обумовленої регулятором 12. Генератор зондувальних імпульсів 2 збуджує в широкополосном ЕМАП 3 імпульси струму. Ширина частотної смуги ЕМАП 3 у режимі порушення і прийому УЗ імпульсів повинна бути деяким більше смуги сформованого оптимального сигналу. Прийняті з ЕМАП 3 інформаційні імпульси підсилюються смуговим підсилювачем 5 також зі смугою пропускання, деяким більшої ширини смуги оптимального сигналу. Далі оптимальний фільтр 6, набудований на сформований сигнал, стискає інформаційний імпульс. Для обраного коду Баркера, отримана в результаті кореляційна функція буде мати максимум, у 13 разів перевищуючий амплітуди прийнятого ЕМАП сигналу. При цьому кореляційний пік буде зрушений на час затримки оптимального фільтра, що є відомою постійною величиною. Рівень шуму після оптимальної фільтрації також зменшується. Потім отриманий сигнал обробляється в блоці 7 обробки інформації і керування і надходить на пристрій 13 відображення інформації і сигналізації. Отриманий у результаті інформаційний сигнал істотно перевершує по своїх характеристиках сигнали, отримані за допомогою приладів НК, виконаними відповідно до блок-схем, показаним на рисунках 2.7-2.9.

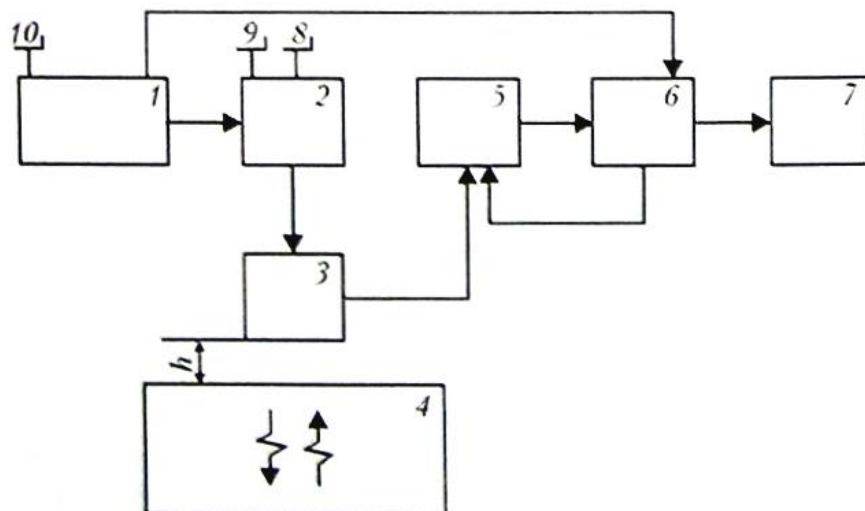


Рисунок 2.10 – Спрощена блок-схема приладу для УЗ контролю ЕМА способом з оптимальною фільтрацією

Описані блок-схеми мають функціональне призначення і можуть бути реалізовані в цифровому виді. Їхня аналогова реалізація оптимальна при високій продуктивності контролю і швидкісній обробці інформації. Цифрова обробка переважніше в ручних дефектоскопах, структуроскопах і товщиномерах. Можливо також створення пристроїв на комбінованих принципах. Остаточне рішення про структуру приладу що неруйнує ЕМА контролю необхідно приймати з обліком технічних і економічних умов, а також відповідно до існуючого на підприємствах-виготовлювачах технологіями виробництва виробів.

2.4 Нові методи ультразвукового контролю ЕМА способом на основі адаптації радіолокаційних технологій

Дальність до мети чи висоту польоту літального апарата з високою точністю визначають за допомогою радіолокації. Для цього розроблені високоефективні технології й устаткування. В основу радіолокації покладене поняття наявності ехосигнала від мети, що не вимагає збереження форми вихідного сигналу.

При дефектоскопії і товщинометрії необхідно визначати не тільки момент появи ехо-сигналу, але й оцінювати його характеристики. Принципи, реалізовані в дефектоскопії і товщинометрії, мають свої особливості в порівнянні з радіолокаційними. Так, при не руйнуючому контролі УЗ, щораз змінюється середовище поширення пружних хвиль. На параметри УЗ коливань впливає стан поверхні контрольованого виробу - коливання амплітуди сигналу можуть досягати при контролі "мокрим" методом 25 дБ. На границях матеріалу пружні хвилі трансформуються, створюючи додаткові когерентні перешкоди. Для оцінки якості матеріалу потрібно механічне сканування, але при цьому виникають додаткові труднощі. Тому безпосередньо використовувати досягнення радіолокаційних технологій у неруйнівному контролі УЗ, хвилями неможливо. У той же час деякі

положення з відповідним удосконалюванням і адаптацією до умов УЗ контролю можуть бути застосовні.

Розглянемо можливості використання деяких положенні радіолокаційних технологій на прикладі товщинометрії. Найбільш перспективною областю товщинометрії, у якій можуть бути застосовані радіолокаційні технології, є область, що використовує електромагнітно-акустичний (ЕМА) спосіб порушення і прийому УЗ коливань. При застосуванні в товщинометрії "сухий" ЕМА спосіб має цілий ряд переваг перед "мокрим". Найбільш значними з них є можливість порушення і прийому "повільних" пружних зсувних коливань нормально до поверхні металу незалежно від орієнтації ЕМА перетворювача (ЕМАП) щодо поверхні виробу, можливість порушення і прийому як широкополосих, так і узькополосих імпульсів, тим самим ЕМАП, наявність великого числа інформаційних імпульсів при однократному зондуванні, що сформувалися через багаторазові перевідображення акустичних імпульсів. Значне число донних сигналів обумовлено низькими властивостями поверхні, що демпфують, з ЕМАП.

Порівняння характеристик електромагнітних і акустичних полів показує, що структура акустичного поля в контрольованому виробі набагато складніше, ніж у випадку вимірів дальності до літака за допомогою радіохвиль. Навіть у випадку порушення і прийому коротких УЗ імпульсів виникає багато різнотипних перешкод, у тому числі когерентних. Дослідженнями встановлено, що причиною появи таких перешкод є нелінійна трансформація УЗ імпульсів при відображенні від границь деталі, виділення резонансних частотних компонентів короткого імпульсу виробом невеликої товщини, наявність не ослаблених імпульсів від попереднього зондувального імпульсу, одночасне порушення УЗ хвиль з різною поляризацією, що можуть поширюватися з різною швидкістю, обертання вектора поляризації пружних імпульсів і ін. При таких перешкодах навіть кореляційні методи виміру товщини виробів іноді можуть давати неправильне значення з величиною, кратній

товщині $1/3$ чи $1/2$ товщини. Експериментальні дослідження показали, що особливо сильно зазначені перешкоди можуть спотворювати результати вимірів при контролі виробів з товщинами, що не перевищують 7...12 довжин хвиль пружних коливань, тобто при вимірі малих розмірів. Тому безпосередньо перенести радіолокаційні технології в "суху" УЗ чи дефектоскопію товщинометрію неможливо. Отже, потрібно аналіз і адаптація можливостей радіолокаційних технологій для застосування в УЗ чи дефектоскопії товщинометрії ЕМА способом.

Найбільше часто для вимірів застосовують імпульсний, фазовий і частотний методи,

За аналогією з радіолокацією при імпульсному методі вимірів товщину h можна одержати шляхом визначення часу t запізнювання відбитого (донного) від протилежної сторони виробу щодо зондувального імпульсу. При відомій швидкості C поширення пружних зсувних імпульсів товщину обчислюють по формулі

$$h = Ct / 2 \quad (2.5)$$

Слід зазначити, що при ЕМА способі час запізнювання t залежить тільки від товщини виробу і не залежить, як у випадку "микрої" товщинометрії, від часу поширення УЗ імпульсів по прошарках між пьезопластиною і поверхнею контрольованого виробу. Для оцінки мінімальної робочої дальності в радіолокації необхідно враховувати тривалість зондувального імпульсу t_i , а також час t_B відновлення чутливості приймача після закінчення впливу імпульсу генератора порушення. Тоді мінімальна дальність H_{\min} ("мертва" зона) до дефекту (донною поверхні), відбитий сигнал від якого може бути прийнятий, буде визначатися виразом:

$$H_{\min} = C(\tau_H + \tau_B) / 2 \quad (2.6)$$

При контролі, що неруйнує, ЕМА способом необхідно врахувати час t_3 загасання перешкод від зондувального імпульсу в ланцюгах системи генератор -

ЕМАП із вироб-приймач до рівня меншого амплітуди найближчого відбитого сигналу. Формула для величини "мертвої" зони прийме вид:

$$H_{\min} = C(\tau_u + \tau_B + \tau_3)/2 \quad (2.7)$$

Величина t_z залежить від конструктивних особливостей апаратури, зазору між ЕМАП і поверхнею металу, а також від магнітної проникності, електропровідності матеріалу і характеристик поверхні виробу. При виконанні товщинометрії величина t_z може випадковим образом змінюватися. Типовий вид реалізації при використанні для вимірів ЕМА перетворювача показаний на рисунку 2.11. З приведених даних видно, що наявність «мертвої» зони не є перешкодою для виконання вимірів товщини ЕМА способом. У більшості випадків вимірів на реалізації (рисунок 2.11) після «мертвої» зони (позиція 1) завжди знайдеться робоча ділянка (позиція 2) з достатньою для виконання вимірів послідовністю донних імпульсів.

В імпульсній радіолокації для одержання відбитих сигналів з необхідною амплітудою використовують нагромадження сигналу при багаторазовому зондуванні мети. При використанні ЕМА способу також можна накопичувати сигнали при багатьох зондуваннях виробу. Крім того, додатково істотно збільшити співвідношення амплітуд корисного сигналу і шуму можливо шляхом нагромадження амплітуд послідовних донних сигналів однієї реалізації.

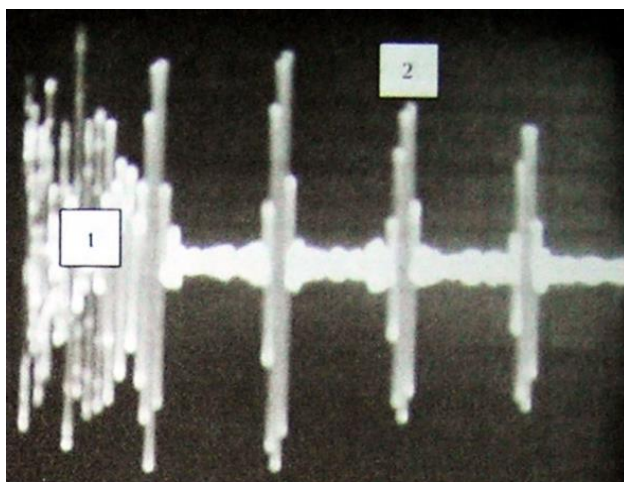


Рисунок. 2.11 – Реалізація з багатьма донними імпульсами, отримана за допомогою ЭМАП, що надсилається пакетним імпульсом з частотою заповнення 2,3 МГц, на зразку товщиною 9,5 мм зі сталі 45: 1 - "мертва" зона;

2 - робоча зона реалізації

У той же час наявність багаторазових перевідображень пружних імпульсів у контрольованому з долин від одного зондувального імпульсу накладає обмеження на частоту їхніх посилок. При вимірі товщини виробу по однократній посилці необхідно, щоб амплітуда донних імпульсів у послідовності послабилася до величини, меншої рівня фіксації. Причому, час до посилки наступного імпульсу необхідно встановлювати по максимально можливій тривалості реалізації для даних контрольованих виробів. Це обмежує можливості по нагромадженню амплітуд донних імпульсів. Для усунення цього недоліку період зондування необхідно зменшити. При цьому для усунення впливу донних сигналів попередніх посилок варто постійно змінювати період T проходження зондувальних імпульсів

$$T = T_0 + \tau(t) \quad (2.8)$$

де T_0 - початковий період проходження зондувальних імпульсів; $\tau(t)$ - функція, що описує встановлений закон зміни періоду проходження зондувальних імпульсів.

Амплітуди корисних донних сигналів будуть складатися, а амплітуди донних сигналів від попередніх зондувальних імпульсів рівномірно розподілятися по реалізації. Співвідношення амплітуд корисних донних і сигналів, що заважають, збільшиться.

Істотно поліпшити співвідношення амплітуд корисний сигнал/шум дозволяє підстроювання періоду проходження зондувальних імпульсів на величину $T = 2nh/C$, де n - ціле число, кратним часу поширення пружних імпульсів у

контрольованій ділянці деталі. При використанні УЗ сигналів у виді пакетів радіоімпульсів цю технологію можна описати в такий спосіб. Порушуваний пружний зондувальний імпульс буде мати вид

$$U = A(\sigma(t) - \sigma(t - \tau_n)) \cos \omega t \quad (2.9)$$

де A - максимальна амплітуда порушеного УЗ імпульсу; $\sigma(t)$ - функція Хевисайда; τ_n - тривалість зондувального пружного імпульсу; ω - кругова частота.

Після багаторазових відображень по товщині виробу n -й донний імпульс цієї реалізації буде описуватися вираженням

$$U = A \exp(-2\delta n h) (\sigma(t - 2nh / C) - \sigma(t - \tau_N - 2hn / C)) \times \cos(\omega t + \varphi_n), \quad (2.10)$$

де δ - коефіцієнт загасання пружних коливань в матеріалі виробу; φ_n - фаза n -го донного імпульсу.

Тут і далі не враховується зміна фази при відображенні УЗ хвиль від поверхні виробу, вважаючи її постійною величиною. Наступний "другий" збуджений зондувальний імпульс до часу появи n -го донного імпульсу попередньої "першої" реалізації буде мати вид зі своєю фазою і зміщеної на заданий момент часу t_0 . Його m -й донний імпульс описується вираженням

$$U = A \exp(-2\delta m h) (\sigma(t - t_0 - 2mh / C) - \sigma(t - \tau_N - 2hn / C)) \times \cos(\omega t + \varphi_n), \quad (2.11)$$

де m - ціле позитивне число, менше n . Аналогічним образом можна описати донні імпульси наступних реалізацій. Для забезпечення збігу донних імпульсів різні реалізації необхідно виконувати кожне наступне зондування під час приходу заданого донного імпульсу попередньої реалізації. Тоді з виразів (2.10) і (2.11) можна виключити фази, а у функціях Хевисайда виключити тимчасовий зсув, обумовлені моментами зондування і тривалістю багаторазових відображень

пружних імпульсів у виробі. Просуммував вираження, що залишилися, одержимо

$$U = A \left[\exp(-2\delta mh) + \exp(-2nh) + \exp(-2\delta kh) + \dots \right] \times (\sigma(t - T_0) - \sigma(t - \tau_N - T_0)) \cos \omega t, \quad (2.12)$$

де $m < n < k < \dots$ - цілі позитивні числа; T_0 - проміжок часу від початку відліку до моменту проведення виміру.

При згаданих умовах тимчасовий зсув T_0 не впливає на амплітуду донних імпульсів. Тоді в порівнянні з вихідним значенням сумарну амплітуду буде визначати сума експонент у виразі (2.12), тобто остаточна амплітуда буде максимальною. Перекриття робочої ділянки реалізації і моменту посылки зондувального імпульсу легко установити за допомогою регулятора частоти проходження зондувальних імпульсів. Для цього необхідно обладнати електронну апаратуру таким чи регулятором забезпечити виконання цієї функції мікропроцесором.

На підставі приведених результатів пропонується використовувати методику вимірів товщини виробу, заснований на збігу за часом донних імпульсів наступних друг за другом реалізацій. Така технологія забезпечує високопродуктивний високоточний вимір товщини виробу при девиации періоду проходження зондувальних імпульсів біля встановленого середнього значення для заданого розміру виробу у вимірюваній крапці. У цьому випадку період проходження зондувальних імпульсів буде мати вид

$$T = 2nh / C \pm 2\Delta h / C \quad (2.13)$$

де Δh - максимальний діапазон змін товщини виробу, установлений нормативно-технічною документацією на чи контроль за результатами статистичних досліджень.

Величину n доцільно вибирати рівній одиниці. Збіг останньої реалізації, отриманої з виробу з існуючою товщиною, і частини попередніх реалізації формує максимум сигналу. Момент появи максимуму сигналу дозволяє точно вимірити товщину виробу. При запропонованому способі виміру товщини можна додатково зрушити послідовні реалізації відносно одна іншої на величину $2h/C$ і повторно здійснити вимір товщини виробу. Таке тимчасове зрушення часто можна виконувати кілька разів, статистично обробити отримані результати і зменшити тим самим погрішність виміру товщини. При використанні як інформаційні сигнали пакетів радіоімпульсів необхідно звернути увага на можливість часткового збігу за часом донних імпульсів різних реалізацій, що може привести до значної погрішності виміру товщини. Характеристикою, що визначає правильність сполучення донних імпульсів різних реалізацій, є мінімум тривалості результуючих імпульсів і максимум результуючої амплітуди.

При вимірах виробів великої товщини, чи матеріалів з малим ККД ЕМА перетворення, чи матеріалів зі значним загасанням пружних імпульсів, як правило, мається можливість використовувати тільки один донний імпульс. У цьому випадку виникає необхідність збільшення амплітуди прийнятих УЗ імпульсів. Її величину можна чи забезпечити збільшенням пікової потужності порушеного одиночного сигналу, чи збільшенням його тривалості за рахунок кількості періодів заповнення, чи комбінацією згаданих варіантів. Як показує досвід, навіть при сучасній елементній базі одержати достатню потужність порушуваних коротких одиночних імпульсів складно. Істотне збільшення тривалості зондувальних імпульсів приводить до збільшення "мертвої" зони. Для подолання цих протиріч можна використовувати два основних шляхи.

1. При великому відносному інтервалі вимірюваних толщин і невисокої відносної точності виміру ($\approx 1\%$) потрібно застосовувати автоматичне зменшення тривалості зондувального імпульсу і частоти посилок у міру зменшення вимірюваної товщини. Задана відносна точність зберігається при високій енергетиці вимірювальних сигналів.

2. При порівняно невеликому відносному інтервалі вимірюваних толщин і високої точності варто використовувати зондування довгими імпульсами з внутріімпульсної широкополосної фазокодированої чи частотною модуляцією. Багаторазовий стиск таких імпульсів у приймачі дозволяє поліпшити точність виміру в порівнянні з імпульсами такої ж тривалості без внутріімпульсної модуляції.

Експериментальні дослідження показали, що при істотних товщинах контрольованих виробів ефективний перший варіант. Істотною товщиною можна вважати величину, що перевищує 10...15 довжин хвиль застосовуваних УЗ коливань. З цього висновку також випливає необхідність підвищення частоти заповнення пакетного імпульсу в міру зменшення контрольованої товщини. УЗ прилад варто постачити відповідним регулятором.

Другий варіант може бути також ефективний при вимірах досить значних толщин. Це обмеження випливає з необхідності формування зондувального імпульсу з тривалістю, стиск якого повинно давати помітний виграш у потужності прийнятого донного імпульсу. У діапазоні довжин хвиль, звичайно використовуваних у товщинометрії не товстих виробів, формування достатнє довгих зондувальних імпульсів приводить до їхнього накладення. Виконувати товщинометрію тонких виробів такими імпульсами проблематично.

Поліпшити процес виміру невеликих толщин можна за рахунок застосування деяких положень широко використовуваної в радіолокації фазової

технології вимірі. У додатку до товщинометрії її суть полягає в наступному. У виріб вводять УЗ хвилі. Потім приймають відбиті від протилежної сторони пружні коливання. Про товщину виробу судять по зрушенню фаз між випромінюваними і прийнятими сигналами.

Нехай випромінюваний імпульс має вид (2.9). Тоді прийнятий відбитий імпульс запишемо так:

$$U = A \exp(-2\delta h) (\sigma(t - 2h/C) - \sigma(t - \tau_N - 2h/C)) \cos(\omega t + \varphi). \quad (2.14)$$

У виразі (9)

$$\varphi = 4\pi f h / C = 4\pi h / \lambda \quad (2.15)$$

де f - частота; λ - довжина хвилі УЗ зсувних коливань, використовуваних для вимірів.

З цього виразу випливає, що при перевищенні товщиною h довжини хвилі λ фаза може приймати неоднозначне значення. Відповідно з'являється неоднозначність у визначенні товщини виробу.

Можливе застосування наступних методів усунення цього недоліку.

1. Багатоканальний метод. Він полягає в тім, що точний вимір виконують на високій частоті, а усунення неоднозначності відліку забезпечують виміром на додатковій низькій масштабній частоті. Причому таких масштабних частот може бути кілька.

2. Метод маневру частоти. Його суть складається в плавній зміні масштабної частоти від одного фіксованого значення частоти до іншого з

підрахунком поворотів фази на 2π і вимірі залишкової зміни фази в крайніх положеннях.

3. Фазокодовий метод. Для його реалізації порушуваний сигнал кодується по фазі. Крім того, обов'язково попередньо проводиться "грубе" визначення товщини виробу, наприклад, відповідно до виразу (2.7).

Приведені методи вимагають високої стабільності використовуваної частоти і досить складні для реалізації при УЗ толщинометрії. Основна складність складається в поділі порушваного і прийнятого сигналу, тому що роздільне включення ЕМА перетворювачів далеко не завжди можливо.

На підставі викладеного для толщинометрії пропонується застосувати технологію вимірів, засновану на керуванні фазою при порушенні і наступному спостереженні за фазою використовуваних пружних коливань. Раніше було показано, що фаза пружних коливань з точністю до константи залежить від товщини виробу і довжини хвилі пружних коливань.

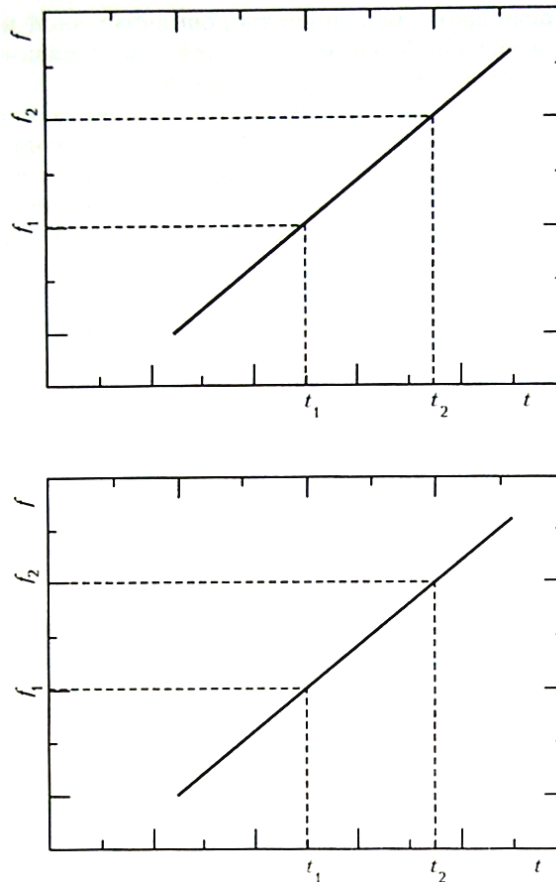


Рисунок. 2.12 – Залежність частоти від часу при формуванні ЛЧМ сигналів, використовуваних для виміру товщини виробу.

Отже, сформувавши зондувальні коливання з фазовою низькочастотною модуляцією і відслідковуючи її фазу при прийомі акустичних коливань, можна однозначно вимірювати товщину контрольованого виробу.

У багатьох практичних випадках виключити неоднозначність у вимірі товщини тонкого виробу можливо за рахунок застосування частотного методу. Його суть у застосуванні для ЕР толщинометрії складається в посилці у виріб сигналу з частотою, що змінюється по заданому законі. Найчастіше застосовують лінійний закон зміни частоти $\omega(t) = \omega_0 + st$, де s - позитивна чи негативна величина, що характеризує швидкість зміни частоти в часі. Хвилі, що посилаються в товщу контрольованого вузла ПС, будуть описуватися виразом:

$$U = A \cos(\omega_0 t + st^2 / 2) \quad (2.16)$$

Частина сигналу під час випромінювання подають на змішувач. Прийнятий з виробу відбитий від протилежної сторони сигнал також подається на змішувач. На виході змішувача виділиться сигнал частоти биттів, що несе інформацію про товщину виробу. Сучасні засоби дозволяють вимірити виділену частоту з високою точністю. У випадку лінійно частотно-модульованого сигналу (ЛЧМ) залежність частоти биттів від вимірюваної товщини визначається простою формулою

$$f_h = s2h / C \quad (2.17)$$

Ця формула отримана з наступних графічних представлень (рисунок 2.12). Відповідно до графіка зміна частоти $\Delta f = f_2 - f_1$ за проміжок часу $\Delta t = t_2 - t_1$ складе $\Delta f = s\Delta t$. Відповідно, час, за яке УЗ хвилі двічі перетнуть виріб по товщині і повернуться в крапку виміру, складе $\Delta t = 2h/C$.

При досить великому діапазоні вимірюваних товщин і традиційному діапазоні застосовуваних пружних коливань забезпечити істотна лінійна зміна частоти часто не представляється можливим. У цьому випадку можна використовувати пилкоподібну функцію модулювання. Природно, що під час відновлення початкової частоти вимірити товщину неможливо. Використання частотного методу вимірів вимагає застосування пристрою, що формує ЛЧМ сигнали з високою точністю. Як правило, такі сигнали формують синтезаторами частоти. Прийняти інформаційний сигнал можливо тільки при використанні роздільного включення збуджуючого і приймаючого перетворювачів.

В даний час ситуація в приладобудуванні змінилася. У сучасних радіоелектронних комплексах вибір сигналів диктується насамперед не технічними зручностями їхнього генерування, перетворення і прийому, а можливістю оптимального рішення задач, передбачених при проектуванні приладу НК.

Аналіз виконаних досліджень дозволяє зробити висновок, що основу високоточної технології виміру товщини виробу складає оптимальний вибір вихідного зондувального сигналу і наступна оптимальна обробка прийнятого сигналу.

2.5. ЕМА – новий етап розвитку ТД і НК серед методів, оснований на реєстрації параметрів пружних хвиль, що взаємодіють з об'єктом контролю

Взагалі-то кажучи, з наукової точки зору не є об'єктивним порівнювати прилади ТД і НК різних поколінь, проте для підбиття підсумків і висвітлення проблеми в цілому, вважаю необхідним зазначити декілька наступних слів.

Ультразвукова інтроскопія. Задачею ультразвукової інтроскопії є перетворення акустичних полів, одержуваних після взаємодії акустичних коливань з об'єктом контролю, в полі оптичних сигналів - зображення. При цьому визначають координати, тип і розмір дефектів, зони різнозернистості і механічно напружені зони.

Задачі ультразвукової інтроскопії вирішують за допомогою спеціальних ультразвукових інтроскопів. Ультразвуковий інтроскоп перетворює поле акустичних сигналів в оптичне зображення, сприймане оператором. Оператор установлює ту чи іншу програму обробки поля сигналів у залежності від задач неруйнівного контролю.

Перетворення акустичних полів у поле оптичних сигналів (зображення) у сучасних інтроскопах виробляється з використанням наступних ефектів:

звукотеплового (полягає в перетворенні частини енергії пружних коливань у тепло, у даний час недостатньо досліджений);

звукооптичних (обмежено складністю застосування лазерів і оптичного устаткування);

електромеханічних (на основі використання п'єзоперетворювачів, застосовують у практиці найбільш часто).

Ультразвукова товщинометрія. Точність виміру з використанням ультразвукової товщинометрії досить умовна, оскільки залежить від ряду факторів. В основному це обумовлено погрішністю товщиноміра, причинами якої можуть бути:

- зміна товщини шару контактного середовища;
- зміна рівня випромінюваного сигналу;
- погрішність індикаторного пристрою;
- помилка настроювання і виміру;
- зміна швидкості звуку внаслідок неоднорідності хімічного складу матеріалу і його структури;
- зміна температури.

Для контролю виробів з різними характеристиками поверхонь використовують прилади двох типів - для контролю виробів з добре обробленими ($Rz < 440\text{мкм}$ з паралельними поверхнями – група А) і для контролю виробів із грубо обробленими поверхнями (група Б).

Висновки до розділу 2

Як і варто було очікувати, розвиток акустичних методів контролю ведеться по шляху автоматизації процесів контролю і створення нових методів порушення акустичних хвиль. Як показав досвід, найбільше просто автоматизувати ультразвуковий імерсійний контроль (коли перетворювач контактує з об'єктом контролю через значний шар рідини). При цьому для одержання ефективних результатів досить автоматизувати лише процеси сканування, прозвучування і реєстрації.

Ці й інші основні принципи, з урахуванням вищезгаданих недоліків, знайшли логічний розвиток і привели до появи на світ приладів неруйнівного контролю сімейства ЕМА, з використанням сучасних досягнень науково-технічного прогресу.

Переваги сумісного використання ЕМА – приладів з ЕОМ істотно розширює коло задач обробки поля сигналів (просторова фільтрація, нагромадження, утворення різностей зображення, моделювання структури розвитку дефектів при подальшому використанні виробу на ПС у режимі реального часу і т.д.), тим самим залучаючи увагу усе більшої кількості фахівців, що займаються питаннями неруйнівного контролю. І як наслідок – усе більше поширення в сфері контролю якості виробництва і технічного обслуговування авіаційної техніки, де помилки на кожній зі стадій життєвого циклу ПС (проекування, виробництва, експлуатації й утилізації), можуть забрати безліч людських життів і привнести на нашу планету масу серйозних екологічних наслідків.

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення

Охорона праці – це комплекс заходів щодо санітарно-технічного, гігієнічного, пожежного нагляду, які спрямовані на врегулювання питань по безпеці життєдіяльності працівників, підприємств всіх галузей промисловості.

Основним регламентуючим документом по охороні праці є Конституція України і Кодекс Законів з Охорони Праці.

У цей час в авіаційній промисловості при виконанні поточного ремонту і ТО ПС, двигунів і систем літака в цілому, контроль за дотриманням умов безпеки життєдіяльності проводиться на підставі «Правил безпеки праці при технічному обслуговування і ремонті авіаційної техніки» НПАОП 63.23–1.0–98 (далі – правила), які викладені в «Державному галузевому нормативному акті про охорону праці». Дія цих правил поширюється на всі підприємства, об'єднання, організації й авіакомпанії незалежно від відомчої приналежності і форми власності.

Кожен вид робіт, які виконуються на АТ, має свої небезпечні фактори. У даній частині дипломного проекту зазначені лише деякі з них і методи запобігання появи таких при ТО ПС.

Основні нормативи та положення охорони праці у виробничій, науковій, дослідницькій сферах регламентуються та оговорюються «ЗАКОНОМ УКРАЇНИ ПРО ОХОРОНУ ПРАЦІ» від 14 жовтня 1992 року № 2694-ХІІ (ВВР 1992, № 49, ст. 668) із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 15 травня

1996 року № 196/96-ВР, котрий визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової

діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом (далі – власник) і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

3.2 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що діють при технічному обслуговуванні повітряних суден (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98, ГОСТ 12.001 – 74 ССБТ)

При виконанні ТО ПС на обслуговуючий персонал впливають наступні шкідливі виробничі фактори:

1. Повітряні судна, спецтранспорт, самохідні машини і механізми, що рухаються.

2. Незахищені рухомі елементи ПС (елерони, закрилки, гальмові щитки, інтерцептори, тримери, обертові гвинти, турбіни, ротори двигунів і агрегатів, вали трансмісій, стулки капотів двигунів і гондол шасі, реверсивні пристрої, троси і тяги, що рухаються, двері, люки, входні трапи тощо), спецавтотранспорту, вантажопідйомних механізмів і виробничого устаткування.

3. Повітряні судна, що обрушується при вивішуванні його на підйомниках або при помилковому прибиранні шасі.

4. Вироби АТ, інструмент і матеріали, що падають при роботах з ТО ПС на площинах, стабілізаторі, фюзеляжі і при роботі на висоті з застосуванням механізованих підйомників.

5. Ударна хвиля під час вибуху виробів АТ, працюючих під тиском, або під час вибуху парів горючої рідини.

6. Виступаючі частини планера ПС і його устаткування – антени, датчики, приймачі повітряного тиску і температури зовнішнього повітря, підкоси, замки, кронштейни, відкриті стулки. Виступаючі елементи виробів і конструктивних елементів фюзеляжу ПС – ручки, кронштейни, упори відсіків ПС та інш.

7. Розташування робочого місця або робочої зони на висоті 1,3 м і більше.

8. Гострі краї, задирки і шорсткості на поверхнях ПС, устаткування й

інструмента – на заправних засобах, заземлювальних і з'єднувальних сталевих тросах, застосовуваних для вирівнювання потенціалів, на заправних роздавальних наконечниках, стрем'янках, драбинах і підставках. Гострі кінці контрольного дроту при демонтажі агрегатів.

9. Підвищене ковзання внаслідок обледеніння, зволоження і замаслювання поверхонь ПС, трапів, стрем'янок, драбин і місць стоянок, по яких переміщається персонал.

10. Захаращення робочих місць і робочих зон у салонах, багажних, службових і технічних відсіках ПС виробами АТ, пристроями, матеріалами, тимчасовими комунікаціями постачання стиснутим повітрям і електричною енергією.

11. Підвищена напруга електричного ланцюга, замикання якого може статися через тіло людини, при застосуванні електрифікованого інструмента, пристроїв і агрегатів з електроприводом, що живляться від зовнішніх джерел електроенергії.

12. Підвищена температура:

- поверхонь авіадвигунів, устаткування, електроінструменту,
- поверхонь виконавчих електромеханізмів і електромашин;
- поверхонь ПС в умовах високих температур зовнішнього повітря і дії сонячної радіації;
- поверхонь вихлопних систем самохідних заправних засобів або автономних двигунів приводу засобів заправлення, а також поверхонь заправних засобів в умовах високої сонячної радіації;
- миючих розчинів, струменів гарячого повітря для сушіння виробів;
- гальмових пристроїв та інших деталей шасі після посадки ПС.

13. Знижена температура поверхонь устаткування під час ТО ПС в умовах низьких температур.

14. Підвищений рівень шуму при працюючій насосній станції ПС.

15. Підвищена запиленість повітря при ТО ПС на аеродромах із ґрунтовим покриттям.

16. Хімічні речовини (токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію); ПММ; шкідливі речовини

(ШР), що входять до складу лакофарбових матеріалів; розчинники; отрутохімікати під час очищення і миття ПС при авіа-хімічних роботах; мінеральні та синтетичні масла і мастила; спецрідини, що проникають в організм людини.

17. Підвищена температура навколишнього повітря при виконанні робіт в умовах високої сонячної радіації на відкритому повітрі і при роботах у технічних відсіках. Знижена температура навколишнього повітря при ТО ПС в умовах низьких температур.

18. Підвищена або знижена відносна вологість повітря.

19. Підвищений рівень шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

20. Відсутність або нестача природного освітлення в службових, технічних, багажних відсіках, в просторах під підлогою, в нішах опор шасі та в інших об'ємах ПС.

21. Недостатня освітленість робочої зони штучним світлом при ТО ПС в темний час доби.

22. Фізичні перевантаження (динамічні) під час піднімання і переміщення демонтованих частин ПС, гідропідійомників, гідродомкратів, драбин і стрем'янок, коліс шасі та балонів із стиснутим газом, а також при виконанні робіт у незручному положенні в службових і технічних відсіках.

23. Фізичні перевантаження (статичні) при ТО агрегатів у нішах, відсіках фюзеляжу і гондолах шасі.

24. Нервово-психічні перевантаження, що виникають у зв'язку з установленням ПС на підійомники і при інших роботах, пов'язаних із підвищеною відповідальністю виконавців.

3.3 Технічні і організаційні заходи щодо зменшення рівня впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98)

На основі переліку виявлених небезпечних і шкідливих виробничих факторів необхідно розробити конкретні заходи, які виключають прояв виробничих

небезпек і шкідливих впливів, або обмежують їх у межах припустимих норм. При розробці цих мір використовують вимоги Правил побудови електроустановок – ПУЭ - 86, ПТЭ, ПТБ і ГОСТ 12.1. 019-79.

Ще в процесі проектування конструкції паливної системи було задано первинний рівень надійності, технологічності, живучості, міцності. Агрегати виконані з використанням таких авіаційних матеріалів, як сталь, сплави алюмінію, магнію і титана, і являє собою складну багатоелементну систему.

У конструкції даного об'єкта мало приладів, які мають потребу в підведенні мережі живлення, а напруга, що підводиться до встановлюваних датчиків досить малих значень. Тому майже виключається (за винятком насосів з електроприводом) випадковий перехід напруги від струмопровідних частин до поверхонь, що не проводять струм.

До засобів які виключають вплив шкідливих факторів відносяться:

- засоби індивідуального захисту (одяг для захисту тіла, голови, рук і ніг, засоби для захисту органів подиху, зору і слуху);
- засоби для вентиляції і кондиціонування повітря, вони забезпечують очищення повітря в робочій зоні, що залежить від концентрації в повітрі шкідливих токсичних речовин;
- використання універсальних дистанційних маніпуляторів, які дозволяють робити різноманітні операції; захист балонів під тиском спеціальними металевими огороженнями, які у випадку їхнього вибуху захистять від уламків, і навпаки.

Організаційні та конструктивно-технологічні засоби та методи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів:

1. Місця стоянок ПС, площадки спеціального призначення, приміщення і технічні споруди повинні відповідати ВНТП II-85/МГА (Ведомственные нормы технологического проектирования АТБ в аэропортах), чинним будівельним,

санітарним і протипожежним нормам і правилам, а також НПАОП 63.23 – 1.06 – 98.

2. Розташування виробничих і допоміжних будівель, споруд, площадок спеціального призначення повинно відповідати ТО і ремонту АТ.

3. Виробничі та допоміжні приміщення, площадки спеціального призначення необхідно використовувати тільки за їх прямим призначенням. Використання їх не за прямим призначенням дозволяється у виняткових випадках за узгодженням із територіальними органами державного нагляду.

4. У виробничих приміщеннях і на площадках спецпризначення зберігання деталей, вузлів, агрегатів повинно бути організовано у певних місцях на стелажах.

5. Зони ТОіР АТ, перебування і виконання робіт в яких пов'язано з небезпекою для працюючих, повинні бути обладнані знаками безпеки, відповідно до ГОСТ 12.4.026-76 ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности.

6. Місця стоянок ПС повинні бути розташовані на відстані не менше 50 м від виробничих будівель і споруд, не менше 25 м – від ангарів і не менше 100 м – від складів паливно-мастильних матеріалів (ПММ).

7. Місця стоянок ПС повинні бути обладнані згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні та НПО ГА-85 (Наставление по пожарной охране в гражданской авиации СССР).

8. Місця стоянок ПС, у тому числі і на ґрунтових аеродромах, повинні бути обладнані стаціонарними заземлювальними пристроями для захисту від статичної електрики. Опір заземлювальних пристроїв, які призначаються виключно для захисту від статичної електрики, допускається не вище 100 Ом.

9. Розміщення засобів механізації і спецавтотранспорту, що застосовуються при ТО ПС, повинно відповідати вимогам Керівництва з організації руху ПС, спецавтотранспорту та засобів механізації на аеродромах ЦА.

10. На місцях стоянок ПС забороняється:

а) розливати паливо, масло, гідросуміш та інші легкозаймисті і пальні рідини. Випадково розлиті рідини слід негайно посипати піском та прибрати;

б) палити поза спеціально відведеними місцями;

в) залишати без нагляду працюючі засоби механізації та технологічне устаткування, а також ПС із підключеними аеродромними джерелами живлення;

г) користуватися несправним, замасленим або покритим льодом аеродромним обладнанням.

В приміщеннях для ТО і поточного ремонту АТ забороняється працювати у виробничих приміщеннях, де виділяються ШР при несправній або відключеній вентиляції; рециркуляція повітря у виробничих приміщеннях, де виділяються пари, гази або може мати місце різке збільшення концентрації ШР і вибухонебезпечних речовин, газу.

Перед пуском в експлуатацію заново змонтованих вентиляційних установок, а також після їх реконструкції та ремонту вони повинні пройти налагодження і випробування.

3.4 Розрахунок контурного заземлення на стоянці при технічному обслуговуванні повітряного судна

При розрахунку заземлення необхідно визначити число вертикальних заземлень і довжину сполучної смуги. За даними розрахунків величина опору заземлення не повинна перевищувати величини встановленої «Правилами пристрою електричних установок». Величина опору стрижневого заземлення визначається за формулою:

$$R_0 = \frac{0.366}{l} \cdot \rho \left[\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h+l}{4h-l} \right] \text{ [Ом]}, \quad (3.1)$$

де l – довжина стрижня, м;

d – зовнішній діаметр стрижня, м;

h – глибина закладення, м;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м.

Приймаємо: $l = 3$ м; $d = 0,05$ м; $h = 2,2$ м ; $\rho = 100$ Ом·м.

Тоді з урахуванням (4.1) розрахуємо зазначену величину опору стрижневого заземлення.

$$R_0 = \frac{0,366}{3} \cdot 100 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right] = 27,3 \text{ Ом.}$$

Кількість одиночних заземлень розраховуємо за виразом:

$$n = \frac{R_0}{r_n \cdot \eta_o} \text{ [шт]}, \quad (3.2)$$

де r_n – нормує опір контуру заземлення, приймаємо для електроустановки з ТО ПС $r_n = 4$ Ом.

η_o – коефіцієнт використання одиночного заземлення, приймаємо $\eta_o = 0,7$.

Тоді з урахуванням залежності (3.2) розраховуємо n :

$$n = \frac{27,3}{4 \cdot 0,7} = 9,75 \text{ шт.,}$$

приймаємо $n = 10$ штук.

Опір смуги, що з'єднує одиночні заземлення, визначаємо по формулі:

$$R_{\text{см}} = \frac{0,366 \cdot \rho}{l_{\text{см}}} \cdot \lg \frac{2 \cdot l \cdot n^2}{b \cdot h_{\text{см}}}, \quad (3.3)$$

де $l_{\text{см}}$ – довжина смуги, м;

b – ширина смуги, $b = 0,1$ м;

$h_{\text{см}}$ – глибина закладення смуги, приймаємо $h_{\text{см}} = 1$ м;

$$l_{\text{см}} = a \cdot n,$$

де a – відстань між одиночними заземленнями (приймаємо $a = 3$ м);

$$l_{\text{см}} = 3 \cdot 10 = 30 \text{ м.}$$

Як наслідок, виходячи з залежності (3.3), отримуємо результат:

$$R_{\text{см}} = \frac{0,366 \cdot 100}{30} \cdot \lg \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^2}{0,1 \cdot 1} = 4,636 \text{ Ом.}$$

Загальний опір заземлення визначаємо по формулі:

$$R_3 = \frac{R_0 \cdot R_{\text{см}}}{R_0 \cdot \eta_{\text{см}} + n \cdot R_{\text{см}} \cdot \eta_o}, \quad (3.4)$$

де $\eta_{\text{см}}$ – коефіцієнт використання смуги, (знаходимо $\eta_{\text{см}} = 0,35$);

Значення η_o уточнюємо і приймаємо $\eta_o = 0,55$;

У підсумку, з урахуванням вищенаведеного (див. (3.3)), отримуємо загальний опір заземлення:

$$R_3 = \frac{27,3 \cdot 4,636}{27,3 \cdot 0,35 + 10 \cdot 4,636 \cdot 0,55} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Результати розрахунків показують, що заземлення задовольняє вимогам ПУЕ-86, так як: $R_3 < r_n$, тобто $3,6 < 4 \text{ Ом.}$, тобто маємо запас у 9 %.

3.5 Забезпечення пожежної і вибухової безпеки при технічному обслуговуванні повітряного судна (НПАОП 5.1.30-1.06-98)

Пожежна безпека повинна забезпечуватися відповідно до ГОСТ 12.1.004-98 «Пожежна безпека», вибухова – ГОСТ 12.1.010-76 «Вибухонебезпечність. Загальні вимоги». Згідно вимогам, запобігання пожежі забезпечується:

- максимальною механізацією технологічних процесів, пов'язаних з роботою з горючими речовинами;
- використанням вогнестійких матеріалів при виготовленні кабіни екіпажа і пасажирських салонів;
- продуванням відсіків повітрям, що забезпечує охолодження як двигуна, так і агрегатів, розташованих на ньому, а також видувши з відсіку гондоли можливі пари палива, масла;
- використання електроустаткування відповідно до пожежних і вибухонебезпечних зон згідно «Правил пристроїв електроустаткування»;
- використання технологічних процесів і устаткування, що відповідає вимогам іскробезпеки;
- раціональним розташуванням на літаку трубопроводів і агрегатів;
- дотриманням встановлених правил пожежної безпеки.

При розробці методу і установці додаткових датчиків були обрані незгораємі і температуростійкі матеріали. Пожежна безпека речовин і матеріалів викладена в ГОСТ 12.1.007 – 91. Пожежний захист ГС забезпечується за допомогою:

- використанням засобів пожежогасінні і відповідних видів пожежної техніки;
- використанням автоматичних засобів пожежної сигналізації і пожежогасінні;
- використанням герметичного устаткування і тари.

Організаційно-технічні заходи повинні включати:

- організацію пожежної охорони (у встановленому порядку) відповідного виду (професійної, добровільної й т.п.) чисельності й технічній оснащеності;
- паспортизацію речовин, матеріалів, виробів, технологічних процесів й об'єктів у частині забезпечення пожежної безпеки (ПБ);
- широке залучення громадськості до питань забезпечення ПБ;
- організацію навчання робітників, службовців, колгоспників, учнів і населення правилам ПБ;
- розробку й реалізацію норм і правил ПБ, інструкцій про порядок роботи з пожеженобезпечними речовинами й матеріалами, про дотримання протипожежного режиму й про дії людей при виникненні пожежі;
- розробку заходів щодо дій адміністрації, робітників, службовців і населення на випадок виникнення пожежі й організації евакуації людей;
- виготовлення та застосування засобів наочної агітації по забезпеченню ПБ.

Організаційні заходи щодо забезпечення вибухонебезпечності містять у собі: розробку системи інструктивних матеріалів наочної агітації, регламентів і норм ведення технологічних процесів, правил обігу з вибухонебезпечними речовинами і матеріалами; організацію навчання, інструктажу і допуску до роботи обслуговуючого персоналу вибухонебезпечних виробничих процесів; здійснення контролю і нагляду за дотриманням норм технологічного режиму, правил і норм техніки безпеки, промисловій санітарії й ПБ й т.д. Встановлення у приміщеннях

централізованої системи пожежогасіння та пожарних щитів.

Класифікація вогнегасників.

Вогнегасники розділяють по способу спрацювання:

- автоматичні (самоспрацьовуючі) – звичайно стаціонарно монтуються в місцях можливого займання;
- ручні (спрацьовують за допомогою дій людини) – розташовуються на спеціально оформлених стендах;
- універсальні – містять в собі переваги обох вище сказаних типів.

Вогнегасники розділяють по принципу дії на осередок вогню:

- газові (вуглекислотні);
- пінні (хімічні, хімічні повітряно-пінні, повітряно-пінні);
- порошкові;
- водяні.

По об'єму корпусу:

- переносні малолітражні з масою вогнегасної речовини до 4 кг;
- промислові переносні малолітражні з масою вогнегасної речовини від 4 кг;
- стаціонарні та пересувні з масою вогнегасної речовини від 8 кг;

По способу подачі вогнегасної речовини:

- під тиском газів, які утворюються в результаті хімічної реакції компонентів заряду;
- під тиском газів, що подаються із спеціального балончика, розташованого в (на) корпусі вогнегасника;
- під тиском газів, попередньо закачаних в корпус вогнегасника;
- під власним тиском вогнегасної речовини.

По типу пускових пристроїв:

- з вентильним затвором;
- з запорно-пусковим пристроєм важільного типу;

- с пуском від додаткового джерела тиску.

Вогнегасники маркіруються буквами, що характеризують тип та клас вогнегасника, і цифрами, що позначають масу вогнегасної речовини, котра в ньому знаходиться.

З 1985 року на заміну вогнегасникам типу ОХП надійшли вогнегасники типу ОВМ (ОВМ-2, -5, -10). Ці водні дрібнодисперсні вогнегасники є універсальними і успішно використовуються для придушення локальних осередків пожежі класів А, В, С, тобто типових для житлових і виробничих приміщень аеропорту, транспорту та інших аналогічних об'єктів. При цьому заряд вогнегасників відповідає екологічним вимогам.

Вогнегасники типу СОТ являють собою аерозольні генератори.

Найпоширеніші з них СОТ-1, СОТ-5, СОТ-5М, СОТ-6. Вони призначені для ліквідації пожеж у замкнених об'єктах при горінні легкозаймистих і горючих рідин (нафтопродуктів, розчинників, спиртів та інш., твердих горючих матеріалів, електрообладнання, в тому числі такого, що знаходяться під напругою).

Місця стоянок для ТО ПС ЦА розробляються згідно з «Будівельними нормами і правилами», «Нормами технічного проектування в аеропортів», «Настановою по аеродромній службі ЦА України» місця стоянок повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння. Небезпека пожежі на ПС зумовлюється наступними причинами:

- використання відкритого вогню при виконанні демонтажно-монтажних робіт;
- використання переносних ламп з несправною ізоляцією та з вибухонебезпечними лампами;
- використання легкозаймистих та горючих рідин для очищення поверхонь в середині об'єктів. З метою попередження виникнення пожежі пропонується встановити датчики пожежі із звуковою та світловою сигналізацією на місцях

стоянок літаків та в ангарах для технічного обслуговування.

З такою ж метою зварювальні роботи пропонується проводити на спеціальному майданчику осторонь вогненебезпечних об'єктів, де є засоби пожежогасіння. Щоб виключити нагрівання інших елементів конструкції від елементів висотної системи застосована теплостійка ізоляція на основі пластмас, що містять фтор.

При ТО пропонуються наступні засоби безпеки:

- використовувати тільки справний та маркований інструмент;
- поводитись з агрегатами обережно, щоб виключити отримання травм;
- при роботі у важкодоступних та слабо освітлених місцях користуватися тільки справними переносними лампами, щоб запобігти іскроутворенню.
- при використанні легкозаймистих та горючих речовин для очищення поверхонь необхідно використовувати ванночки, волосяні пензлі, щітки.

Ці роботи забороняється поєднувати із використанням джерел явного тепла, що не відповідають потребам пожежної, вибухової безпеки, з вмиканням та вимиканням джерел та користувачів електроенергії на літаку, а також робіт, що можуть викликати утворення іскор.

Відновлення робіт по ТО після використання легкозаймистих та горючих рідин припускається після провітрювання та видалення парів рідин, що використовувалися. У цілях покращання вентиляції пропонується використовувати вентилятори. Починати монтаж чи демонтаж агрегатів та трубопроводів не раніше, як за 30 хвилин після зупинки двигунів, демонтажно-монтажні роботи виконувати у бавовняних рукавицях.

Монтаж та демонтаж агрегатів та вузлів літака слід виконувати, попередньо вимкнувши автомати захисту мережі (АЗМ) на панелях АЗМ та вивісивши на панелях АЗМ і приладній дошці попереджувальний знак НЕ ВМИКАТИ – ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ, виконаний по ГОСТ 12.4.026-76

3.6 Інструкція з техніки безпеки при технічному обслуговуванні паливної системи

Перед початком роботи необхідно:

1. виключити можливість самовідкату заправника шляхом постановки на ручне гальмо та установки під колеса колодок;
2. надійно заземлити заправник та літак;
3. розмотку рукавів з барабанів виконувати в рукавицях;
4. перевірити надійність з'єднання рукавів з літаком та заправником;
5. розмотку рукавів проводити при умові відсутності дефектів покриття, котрі можуть нанести механічні ушкодження шланга;
6. в першу чергу під'єднувати рукава к штуцерам заправника, а тільки потім к бортовим клапанам заправки повітряного судна;
7. перевірити надійність кріплення і відсутності течії на рукавах;

До роботи можна приступати при відсутності запаху та розлитих на місці стоянки ПММ, при відсутності грози та інших несприятливих метеорологічних умов.

Під час роботи:

1. не допускається вмикати електромережі літака, не пов'язані з процесом заправлення;
2. не допускається знаходження в робочій зоні сторонніх;
3. не допускається проведення на літаку інших робіт з ТО;

При проливі палива (ТС-1, РТ, Jet A-1) роботи зупиняються до повного видалення рідини із робочої зони.

По завершенню работ:

1. перед від'єднанням рукава відкачати з нього паливо в заправник;

2. протівідкатні колодки прибрати тільки після приведення заправник в транспортне положення.

На виробничому майданчику передбачено розташування протипожежного щиту, в склад якого входять наступні одиниці: багор, відро, лопата, ящик з піском, вогнегасник, сокира, лом. Кожна стоянка, на який проводяться роботі з ТО паливної системи повинна бути обладнана стаціонарними або пересувними установками пожежегасіння.

Висновки до частини 3

При розробці даної частини було розглянуто основні нормативи та положення охорони праці, що необхідно дотримуватись при експлуатації паливної системи згідно «Закону України про охорону праці» від 14 жовтня 1992 року № 2694-XII, та визначено основні принципи державної політики в галузі охорони праці.

1. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори що мають місце при ТО паливної системи літака.

2. Проведено розрахунок захисного контурного заземлення стоянки, де проводиться заправлення літака ПММ, за результатами якого заземлення задовольняє висунутим нормативними документами вимогам ПУЕ-86 та має запас у 9 %, додавання стрижней дозволяє збільшити отриманий запас щодо захисного заземлення.

3. Запропоновано заходи щодо підвищення пожежної безпеки при ТО паливної системи. Організаційні заходи щодо забезпечення вибухонебезпечності містять у собі: розробку системи інструктивних матеріалів наочної агітації, регламентів і норм ведення технологічних процесів, правил обігу з вибухонебезпечними речовинами і матеріалами; організацію навчання, інструктажу та допуску до роботи обслуговуючого персоналу вибухонебезпечних виробничих процесів; здійснення контролю та нагляду за дотриманням норм технологічного режиму, правил і норм техніки безпеки, промислової санітарії та пожежній безпеці і т.п.

4. Розроблено інструкцію з техніки безпеки інженерно-технічного складу при ТО паливної системи ПС, застосування якої, як передбачається, знизить рівень виникнення травматизму та зменшить вплив шкідливих факторів на організм обслуговуючого персоналу.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Вплив повітряного транспорту на оточуюче середовище

Оцінюючи серйозність проблеми охорони навколишнього середовища, суспільство бачить в її рішенні необхідну умову збереження життя на планеті, а рішення природоохоронних задач сьогодні розглядається, як один з важливих чинників, що визначають стан здоров'я людей. Разом з тим науково – технічний прогрес, високі темпи розвитку АТ і її наземної бази підсилюють вплив ЦА на оточуюче природне середовище. Ці негативні процеси викликають потребу у вдосконаленні всієї галузевої природоохоронної системи. Однією з найактуальніших екологічних проблем сучасності є боротьба за чисте повітря і охорону повітряного басейну. У зв'язку із зростанням рівнів забруднення атмосферного повітря і, як наслідок, загострення глобальних проблем зміни клімату і виснаження озонового шару все більша увага притягується до ролі транспортних засобів в розвитку вказаних екологічних проблем. Розробку основних заходів в області охорони природи і контроль за своєчасним їх виконанням здійснює управління цивільної авіації України.

Повітряний транспорт є серйозним джерелом забруднення атмосферного повітря. Викиди забруднюваних речовин літаками роблять внесок і в зміни клімату. Повітряні судна викидають шкідливі речовини з відпрацьованими газами авіаційних двигунів в зоні аеропорту та на трасах польоту, забруднюють атмосферне повітря у глобальних масштабах.

При 300 зльотах та посадках трансконтинентальні лайнери за добу викидають в атмосферне повітря близько 3,7 т оксиду вуглецю, 2 т вуглеводневих з'єднань (незгоріле паливо) та 1,7 т оксидів азоту. Дослідження в деяких аеропортах світу показали, що забруднення атмосферного повітря перевищувало допустимий рівень.

Внесок повітряного транспорту світу в забруднення атмосферного повітря можливо оцінити приблизно по обсягу всіх споживаних нафтопродуктів у світі.

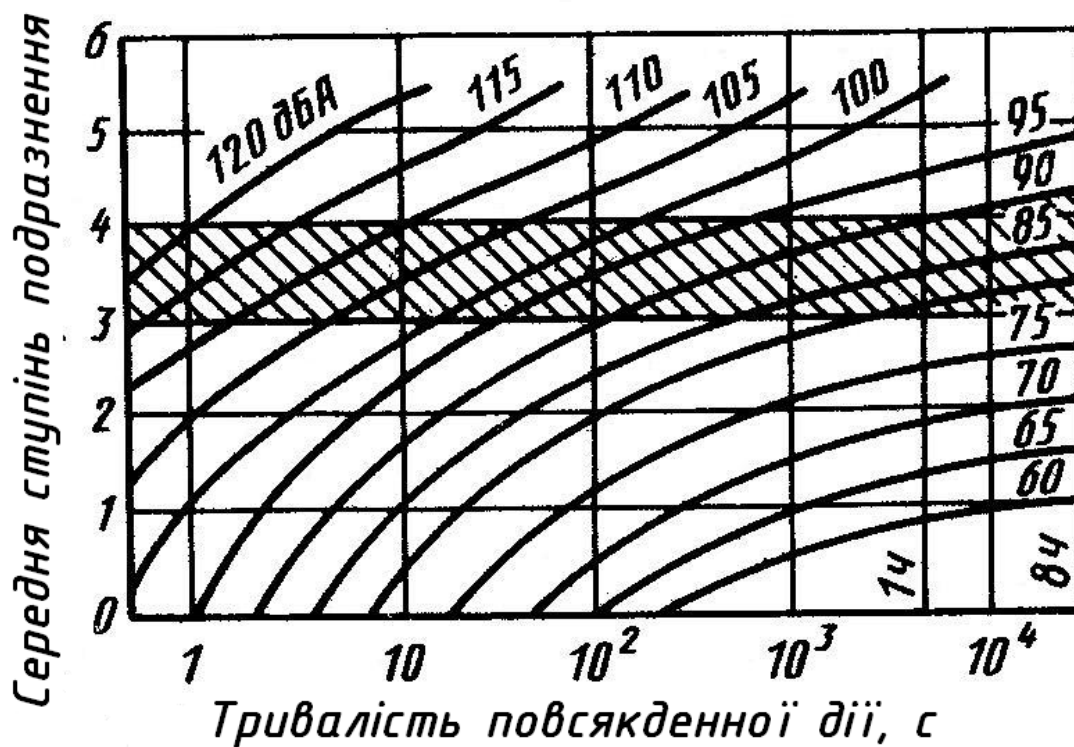
Викиди дренажного палива в атмосферу авіаційними двигунами нормами ІСАО не допускаються і повинні виключатися в процесі проектування нових авіадвигунів та ПС. Встановлено, що частина забруднення атмосферного повітря

вуглеводнями в аеропортах за рахунок викидів дренажного палива близька до 20%. На сьогодні 58 % світового парку літаків вже не відповідає вимогам ІСАО .

Ще однією проблемою, що пов'язана з діяльністю авіаційного транспорту, є авіаційний шум. Авіаційний шум несприятливо діє на широке коло людей, яке включає: льотно-технічний склад; пасажирів; працівників підприємства ЦА, які знаходяться на території або в околицях аеропорту, а також відвідувачів аеропорту; населення, яке проживає поблизу аеропорту.

Найбільш чисельна остання категорія людей, причому для більшості аеропортів ЦА характерне її збільшення, обумовлене не тільки взаємним приближенням границь житлової забудови до аеропорту, але і збільшенням чисельності жителів в населених пунктах, розташованих поблизу аеропортів.

Ступінь подразнюваної дії шуму визначається його рівнем, спектральним складом (в тому числі наявністю дискретних складових), тривалістю дії та частотою повторювання. Сімейство кривих, характеризуючи подразливу дію шуму в залежності від тривалості експозиції, приведено на рисунку 4.1.



1-не подразнює; 2-мало подразнює; 3-заважає працювати; 4-гранично допустимі рівні; 5-ймовірні пошкодження; 6-недопустимі рівні.

Рисунок 4.1 — Подразлива дія шуму

Шум зі суцільним спектром є менш подразливим, ніж шум з тональними складовими, високочастотний шум викликає більший ефект подразнення, ніж низькочастотний, найбільш неприємним є шум, який змінюється по частоті, інтенсивності та тривалості дії. Немаловажне значення мають також деякі суб'єктивні фактори, такі як підготовленість людини до дії, його індивідуальні особливості та емоційний стан, відношення до створюваного шуму (свій, чужий), інформативний зміст шуму тощо. Значний вплив на ступінь подразливої дії здійснює загальний шумовий фон.

Авіаційний шум також є джерелом подразнення через неможливість вести нормальну бесіду, необхідність переривати її при польоті літака.

Джерелами високочастотних ЕМП є радіотехнічні засоби (РТЗ) цивільної авіації, які складаються з радіолокаційних станцій (РЛС), радіонавігаційних систем

та засобів радіозв'язку. Основне їх призначення – забезпечення керування повітряним рухом (КПР) і навігації повітряних суден.

Ці системи випромінюють електромагнітну енергію в найбільш шкідливих по дії на людину діапазонах частот – в дециметровому і сантиметровому.

РЛС цивільної авіації випромінюють ультрависокі (УВЧ) і надвисокі (НВЧ) частоти з дециметровими та сантиметровими довжинами хвиль. Ці хвилі в просторі поширюються майже прямолінійно, як промені світла. Сумарна щільність потоку енергії, яка діє на людину, залежить від режиму роботи радіо випромінювача в даний момент та від наявності природних та штучних екранів, які поглинають енергію, в тому числі і від поверхні землі, ґрунту, рельєфу, покриття поверхні землі.

Найбільш вразливою для ЕМП радіочастот є нервова система, в якій спостерігаються виражені зміни. Зміни характеризуються порушенням умовної рефлекторної діяльності, зсувами в електроенцефалограмі, патоморфологічними порушеннями у головному та спинному мозку.

Робота по охороні навколишнього середовища направлена на:

- зниження забруднення атмосфери від емісії шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів ПС;
- зменшення дії авіаційного шуму;
- скорочення скидів неочищених стічних вод і шкідливих викидів з території аеропорту в ґрунт, річки і водоймища;
- боротьбу з ерозією ґрунтів.

Шкідливі забруднюючі речовини не тільки «прямо» впливають на здоров'я людини, вони впливають і «побічно», змінюючи структуру і склад атмосфери.

Види забруднюваних речовин:

- сірчастий ангідрид — утворюється при спалюванні різних видів палива, містить сірку, і з продуктами згоряння викидається в атмосферу. Він подразнює дихальні шляхи викликаючи спазм бронхів;
- токсична дія оксиду вуглецю полягає в здібності його легко вступати в реакцію з гемоглобіном крові утворюючи карбоксигемоглобін;
- оксиди азоту – володіють подразливою дією, в особливості слизистої оболонки очей, і здатні глибоко проникати в легені, викликаючи поразки бронхів;
- вуглеводні – основний компонент рідких і газоподібних палив. Токсична дія вуглеводнів відбувається частіше всього при вдиханні їх пари. Вона викликає головний біль запаморочення, нудоту, подразнення слизистих оболонок;
- канцерогенні речовини – хімічні сполуки, здатні при дії на організм викликати ракові захворювання;
- тверді частинки – незгорілі частинки твердого палива сажа і аерозолі мінералізованої частини палива. Їх шкідлива дія полягає перш за все в поразці верхніх дихальних шляхів, легень, слизистих оболонок очей, порожнини рота.

В авіаційній промисловості рішення проблем лежить, перш за все, в розробці двигунів зі зменшеними викидами забруднених речовин, зокрема, оксидів азоту. В аеропортах необхідно забезпечити водоочистку, збір і регенерацію відходів, забезпечення всіх наземних виробництв повітряноочисним устаткуванням і засобами контролю викидів.

4.2 Розрахунок контрольного параметру емісії

Емісія двигунів ПС буде неоднаковою в зоні аеропорту і під час польоту по маршруту, оскільки двигун в цих випадках працює на різних режимах.

Вміст інгредієнтів CO і C_xH_y у відпрацьованих газах авіадвигунів обумовлений неповним згорянням палива в двигуні, яке залежить від

характеристики його камери згоряння (величини коефіцієнта повноти згоряння η) і режиму роботи двигуна.

Максимальна повнота згоряння палива в двигуні має місце на розрахунковому режимі – злітному (режимі максимальної тяги двигуна). На цьому режимі сучасні двигуни мають $\eta = 0,97...0,99$. На всіх інших режимах величина η нижча, тобто повнота згоряння менша ($\eta = 0,75...0,85$), з двигуна в атмосферу викидається більше продуктів неповного згоряння (CO і C_xH_y та ін.) і забруднення повітря збільшується.

Вміст інгредієнта NO_x у відпрацьованих газах авіадвигунів залежить від температури суміші в камері згоряння (чим вона вища, тим більше утворюється NO_x), а це має місце на невеликих швидкостях польоту літака. Тобто, максимальний викид NO_x має місце на зльотному режимі і на режимах, близьких до нього, при здійсненні зльоту літака і при наборі їм висоти польоту.

Таким чином, у зоні аеропорту емісія авіадвигуна залежить від режиму його роботи на цьому режимі.

Під зоною аеропорту будемо розуміти простір, обмежений висотою 1000м і розмірами аеродрому.

У таблиці 4.1 наведені середньостатистичні значення параметрів \bar{R} і t для великих аеропортів світу.

Таблиця 4.1 – Режими роботи двигуна в зоні аеропорту.

№	Найменування режиму роботи двигуна	Відносна тяга, \bar{R}	Тривалість режиму, t , хв.
1	Режим малого газу під час руління перед зльотом	0,07	15
2	Злітний режим	1	0,7
3	Режим набору висоти (1000м)	0,85 (або 0,9 номіналу)	2,2
4	Режим заходу на посадку	0,3 (або 0,42 номіналу)	4

5	Режим малого газу під час руління після посадки	0,07	7
---	---	------	---

Відносна тяга двигуна

$$\bar{R} = \frac{R}{R_0}, \quad (4.1)$$

де: R – тяга двигуна на даному режимі;

R_0 – тяга двигуна на зльотному режимі (максимальна тяга).

Як видно з таблиці, найбільш тривалим і екологічно небезпечним є режим малого газу. Значення величини тяги на цьому режимі для сучасних авіадвигунів складає 3...9% від її максимального значення R_0 . Цей режим використовується під час руління перед зльотом і після посадки, а також під час прогрівання двигуна після запуску. Тривалість режиму руління залежить від розмірів аеропорту, години доби вильоту і прильоту, інтенсивності польотів і метеоумов.

Для типового сучасного двигуна залежність емісії шкідливих речовин від режиму його роботи має такий вигляд:

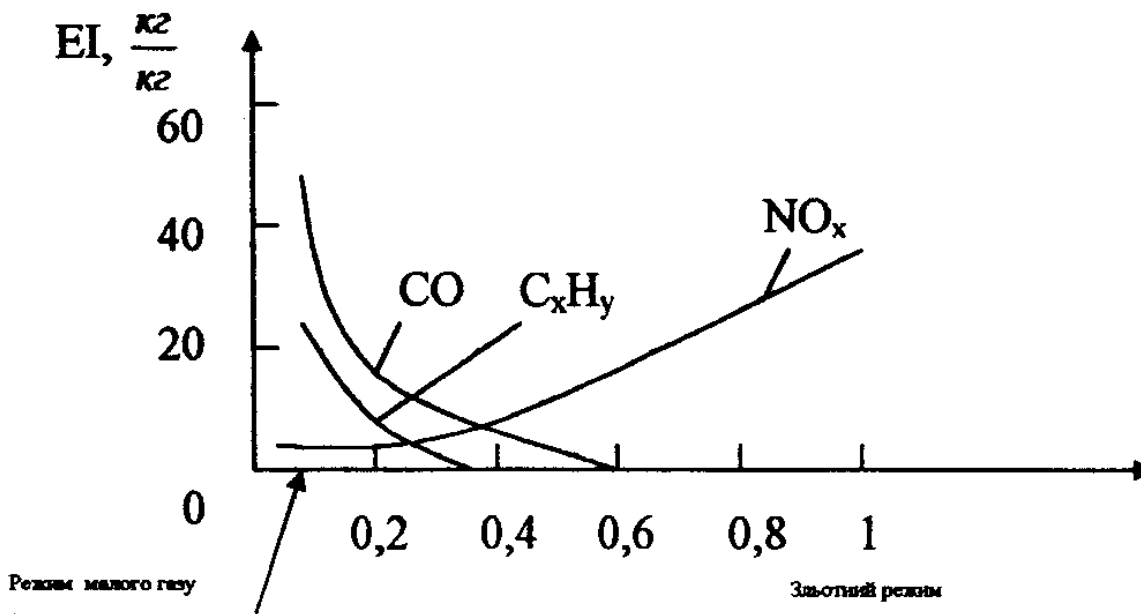


Рисунок 4.2 — Залежність емісії від режиму роботи двигуна

Визначаючи під час сертифікаційних випробувань індекси емісії шкідливих речовин на відповідних режимах роботи двигуна, знаходиться контрольний параметр емісії $\frac{M_i}{R_0} = \left[\frac{\text{г}}{\text{кН}} \right]$ випробуваного двигуна, по якому установлені норми ІСАО.

Цей параметр характеризує ступінь шкідливості двигуна. У ньому: M_i - маса викинутої i -ої шкідливої речовини (інгредієнта) за деякий визначений проміжок години роботи двигуна, R_0 – зльотна тяга двигуна в кілонютонах.

Норми ІСАО по контрольному параметрі емісії для авіаційних двигунів на сьогоднішній день такі:

$$\frac{M_{\text{CO}}}{R_0} = 118 \frac{\text{г}}{\text{кН}} ;$$

$$\frac{M_{\text{CH}_4}}{R_0} = 19,6 \frac{\text{г}}{\text{кН}} ;$$

$$\frac{M_{\text{NO}_x}}{R_0} = (40 \dots 80) \frac{\text{г}}{\text{кН}} .$$

Емісія двигунів ПС буде неоднаковою в зоні аеропорту, так як двигуни в цих випадках працюють на принципово різних режимах. Як видно з графіків, забруднення в зоні аеропорту є більш шкідливим (на маршруті $\bar{R} = 0,6 \dots 0,8$) Крім того, локальне забруднення приземного кулі повітря в зоні аеропорту, де працює багато людей, є більш концентрованими і більш стійкими, ніж загальне забруднення верхніх шарів тропосфери на маршруті польоту, яку швидко розсіюється. І за цими обставинами забруднення в зоні аеропорту є більш шкідливим, тому і розрахунок емісії двигунів ПС у зоні аеропорту є більш важливим.

Ступінь шкідливості шкідливого авіадвигуна характеризується його контрольними параметрами емісії за різними інгредієнтами - $\frac{M_i}{R_0}$. Тобто, задача розрахунку емісії двигуна зводиться до визначення маси шкідливого інгредієнта, викинутого з двигуна за деякий час його роботи M_i (бо R_0 – величина, відома з формуляра двигуна).

Будемо розраховувати M_i для зони аеродрому з наведених вищн міркувань, тобто $M_i = M_{i(АП)}$, на тихнув режимах і за тієї період час його роботи, поки ПС знаходиться в цій зоні з працюючими двигунами.

ПС у зоні аеропорту здійснює злітно-посадковий цикл польоту:

- запуск і прогрівання двигунів;
- руління на виконавчий старт;
- зліт;
- набирання висоти 1000м;
- зниження з висоти 1000м;
- пробіг;
- руління до зупинки двигунів.

Проте двигуни ПС на цих етапах працюють на різних режимах, тому для зручності розрахунку розділимо злітно-посадковий цикл на два види операцій: наземні операції і операції зліт-посадка, тобто:

$$M_{i(АП)} = M_{i(Н)} + M_{i(З-П)} \quad (4.2)$$

Наземні операції – це запуск двигунів, їх прогрівання, руління корабля перед зльотом і після посадки.

Головною характеристикою цих операцій (з точки зору розрахунку емісії двигуна) є те, що двигуни ПС працюють на одному режимі – режимі малого газу (холостого ходу) – і за часом – це самі тривалі операції в зоні аеропорту. Ця обставина спрощує розрахунок.

Визначення $M_{i(Н)}$ ведеться за формулою:

$$M_{i(Н)} = K_{i(Н)} \cdot G_{П(Н)}, \quad (4.3)$$

де: $K_{i(Н)}$ – коефіцієнт викиду і-го інгредієнта під час наземних операцій .

За визначенням $K_{i(Н)} = 10^{-3} \cdot EI_{i(Н)}$, тобто це тієї ж самий індекс емісії.

Як і EI_i , K_i визначається як година сертифікаційних випробувань двигуна.

$G_{П(н)}$ – маса пального, витраченого двигуном під час наземних операцій злітно-посадкового циклу .

$$G_{П(н)} = C_{пит(мг)} \cdot R_{мг} \cdot t_{мг} , \quad (4.4)$$

де: $C_{пит(мг)}$ – питома витрата пального під час роботи двигуна (наводиться з формуляру двигуна), $C_{пит(мг)} = \left[\frac{\text{кг}}{\text{Н} \cdot \text{год}} \right]$;

$R_{мг}$ – тяга двигуна на режимі малого газу, $R_{мг} = [\text{Н}]$;

$t_{мг}$ – напрацювання двигуна на режимі малого газу за злітно-посадковий цикл, $t_{мг} = [\text{год.}]$;

Операції зліт-посадка – це зліт, набирання висоти 1000м, зниження з висоти 1000м, посадка.

У цьому випадку для розрахунку емісії двигуна ПС, що знаходиться в повітрі, емісійною характеристикою є масова швидкість емісії $W_i = \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right]$, (а не індекс емісії), яка показує, скільки шкідливої речовини виділяється на даному режимі роботи двигуна за одиницю часу. W_i також визначається під час сертифікаційних випробувань двигуна.

Тоді визначення $M_{i(з-п)}$ ведеться за формулою:

$$M_{i(з-п)} = W_{i1} \cdot T_{1(з-п)} + W_{i2} \cdot T_{2(з-п)} + W_{i3} \cdot T_{3(з-п)} , \quad (4.4)$$

де: $W_{i1,2,3}$ - масова швидкість емісії інгредієнта на відповідних режимах роботи двигуна (зльот, набирання 1000м, зниження з 1000м);

$T_{1,2,3}$ – напрацювання двигуна на відповідних режимах.

Вираховуючи таким чином $M_{i(ан)} = M_{i(н)} + M_{i(з-п)}$, розраховують контрольний параметр емісії двигуна $\frac{M_{i(ан)}}{R_0}$ і порівнюють його з нормами ІСАО, роблячи висновки про відповідність даного двигуна сучасним вимогам з емісії у відношенні даного інгредієнта.

Вихідні розрахункові дані:

Літак Ан-74 оснащений двигунами Д-36.

Зробимо розрахунок контрольних параметрів емісії двигунів Д-36 літака Ан-74 за такими інгредієнтами: CO, C_xH_y, NO_x і порівняємо їх з вимогами ІСАО.

- злітна тяга двигуна Д-36: R₀ = 65.0 кН;

- тяга малого газу R_{мг} = 6.0 кН;

- питома витрата палива на малому газі C_{пит(мг)} = 0,086 $\frac{\text{кг}}{\text{Н} \cdot \text{год}}$.

$$K_{\text{CO(н)}} = 0,0312 \quad 0,0546 \qquad W_{\text{CO(1)}} = 12,2 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ;$$

$$K_{\text{C}_x\text{H}_y(\text{н})} = 0,0302 \qquad W_{\text{C}_x\text{H}_y(1)} = 4,3 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ;$$

$$K_{\text{NO}_x(\text{н})} = 0,0049 \qquad W_{\text{NO}_x(1)} = 104 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ;$$

$$W_{\text{CO(2)}} = 17,5 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ; \qquad W_{\text{CO(3)}} = 19 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ;$$

$$W_{\text{C}_x\text{H}_y(2)} = 2,5 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ; \qquad W_{\text{C}_x\text{H}_y(3)} = 6,5 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ;$$

$$W_{\text{NO}_x(2)} = 53 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ; \qquad W_{\text{NO}_x(3)} = 18 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ;$$

З таблиці режимів роботи двигуна в зоні аеропорту маємо:

$$t_{\text{мг}} = 15 + 7 = 22 \text{ хв.} = 0,367 \text{ (год.)}$$

$$T_{1(3-\text{п})} = 0,7 \text{ хв.} = 0,0117 \text{ год.}$$

$$T_{2(3-\text{п})} = 2,2 \text{ хв.} = 0,0367 \text{ год.}$$

$$T_{3(3-\text{п})} = 4 \text{ хв.} = 0,067 \text{ год.}$$

$$M_{\text{CO}_n} = 0,0312 \cdot 177,481 = 5,537 \text{ кг};$$

$$M_{\text{C}_x\text{H}_y_n} = 0,0302 \cdot 177,481 = 0,535 \text{ кг};$$

$$M_{\text{NO}_x_n} = 0,0049 \cdot 177,481 = 0,869 \text{ кг.}$$

Тоді:

$$Q_{\text{пн}} = C_{\text{пит мг}} \cdot R_{\text{мг}} \cdot t_{\text{мг}} = 0,0806 \cdot 6000 \cdot 0,0367 = 177,481 \text{ кг,}$$

де: $Q_{пн}$ – маса палива (кг), витраченого двигуном ПС під час наземних операцій злітно-посадкового циклу.

$t_{мг}$ – наробіток двигуна на режимі малого газу.

$$M_{з-п} = W_1 \cdot T_{1з-п} + W_2 \cdot T_{2з-п} + W_3 \cdot T_{3з-п} ,$$

Де: $W_{1,2,3}$ – масова швидкість емісії інградієнта на визначених режимах роботи двигуна під час злету, набору висоти 1000 м та під час зниження з висоти 1000 м (год).

$$M_{CO(з-п)} = 12,2 \cdot 0,0117 + 17,5 \cdot 0,0367 + 19 \cdot 0,273 = 2,057 \text{ кг ;}$$

$$M_{C_xH_y(з-п)} = 3,7 \cdot 0,0117 + 4,3 \cdot 0,0367 + 6,5 \cdot 0,279 = 0,479 \text{ кг ;}$$

$$M_{NO_x(з-п)} = 10,4 \cdot 0,0117 + 58 \cdot 0,0367 + 18 \cdot 0,206 = 4,550 \text{ кг}$$

$$M_{CO} = 5,537 + 2,057 = 7,594 \text{ кг}$$

$$M_{C_xH_y} = 0,535 + 0,479 = 1,014 \text{ кг}$$

$$M_{NO_x} = 0,869 + 4,550 = 5,419 \text{ кг}$$

Розрахуємо значення контрольного параметру емісії і порівняємо його з нормами ICAO:

$$M_{CO} / R_o = 7594 / 65.0 = 116.8 \text{ г/кН} < 118 \text{ г/кН}$$

$$M_{C_xH_y} / R_o = 1014 / 65.0 = 15.6 \text{ г/кН} < 19,64 \text{ г/кН}$$

$$M_{NO_x} / R_o = 5419 / 65.0 = 83.37 \text{ г/кН} > 80 \text{ г/кН.}$$

Висновки до розділу 4

Як ми бачимо з розрахунків двигуни Д-36 перших серій, які стоять на літаках Ан-74 за своїми емісійними характеристиками наближаються до гранично допустимих значень, а за показником M_{NOx}/Ro навіть перевищує це значення. Це робить неможливим польоти цих літаків в багато аеропортів світу. На літаках останніх модифікацій Ан-74ТК-200, Ан-74ТК-300 стоять двигуни більш пізніх серій, на яких за рахунок конструктивних вдосконалень емісійні характеристики значно поліпшені і повністю відповідають діючим вимогам ІСАО.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Однією з невирішених проблем, що стримують перехід АТ на експлуатацію за станом є відсутність достовірних методів фізичного контролю силових елементів конструкції. Найнебезпечнішим є виникнення втомних тріщин на силових деталях планера. Слід мати на увазі, що деталі планера, виконані з високоміцних сталей типу хромансиль, особливо розташовані до виникнення тріщин втоми, що пояснюється дуже великою чутливістю їх до концентраторів напруг. Тому незначна, здавалося б, забоїна згодом може бути джерелом появи тріщини чи поломки.

При ТО та під час проведення різноманітних оглядів і виконання регламентних робіт вузли, деталі та окремі місця, на яких можлива поява тріщин, як правило, оглядаються і перевіряються одним з існуючих методів дефектоскопії (магнітним, ультразвуковим, методом фарб або ін.).

Аналіз існуючих ультразвукових методів неруйнівного контролю показав, що одним із найперспективніших вважається метод ультразвукового неруйнівного контролю із застосуванням електромагнітно-акустичних перетворювачів (ЕМАП). Вимірювання за допомогою цього приладу дозволяють здійснювати контроль безконтактно, без використання середовищ, що погоджують, з високими швидкостями і навіть за наявності грубих, шорстких поверхонь виробів. При цьому діапазон хвиль, що використовуються при такому контролі, виявляється ширшим, ніж такий з використанням п'єзоперетворювачів, і це відкриває додаткові можливості для УЗК. Так, із застосуванням ЕМАП відповідної конструкції можна:

- порушувати і приймати хвилі, здатні проходити вздовж виробів незалежно стану їх кордонів;

- використовувати хвилі, в яких частинки середовища коливаються як у нормальній до поверхні контролю площині, так і поперек неї;

-застосовувати хвилі радіальної поляризації;

-вимірювати крізь захисні покриття, шари іржі, фарби, в умовах високих і низьких температур, радіації та вакууму.

Застосування ЕМА дефектоскопії виправдане і з економічного погляду. Можливості ЕМА способу у неруйнівному контролі Як і в контактній акустиці, при дефектоскопії із застосуванням ЕМА способу використовують переважно два методи контролю – імпульсний та резонансний.

Істотні переваги ЕМА методу – це безконтактність, що дозволяє відбудуватися від якості акустичного контакту та можливість реалізації методу багаторазових відображень за рахунок відсутності втрат на кордоні перетворювач – об'єкт контролю. Реалізація ЕМА дзеркально-тіньового методу на багаторазових відображеннях дозволить суттєво підвищити чутливість до дефектів (внутрішнім та поверхневим), а також використовувати як додаткові інформативні параметри швидкість та згасання акустичних хвиль.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Патон Б. Є., Троїцький В. О., Посипайко Ю. М. Неруйнівний контроль в Україні // Інформ. бюл. Українського товариства неруйнівного контролю та технічної діагностики. 2003. № 2(18). С. 5-9.
2. Себко В. П., Сучков Г.М., Горкунов Б. М. Новый способ обнаружения дефектов металлов с помощью электромагнитно – акустических преобразователей. – В сб.: Электроэнергетика и преобразовательная техника. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. № 1. С. 54-58.
3. Себко В. П., Сучков Г.М., Горкунов Б. М. Электромагнитно – акустический способ неразрушающего контроля. Часть 2. Электромагнитно – акустические преобразователи // Український метрологічний журнал. 2003. Вип. 2. С. 20-25.
4. Шкарлет Ю. М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля. - М.: Машиностроение, 1974. - 56 с.
5. Карпаш О.М., Криничний П.Я., Віськов О.В. ЕМА – товщиномір з підвищеною чутливістю. - Зб. наукових праць “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів”. Вип. 6 – “ЛЕОТЕСТ-2001”. Київ-Львів. 2001. С. 38-41.
6. Huang Y.D., Froyen L., Wevers M. Quality Control and Nondestructive Tests in Metal Matrix Composites // Journ. of Nondestructive Evaluation. 2001. Vol. 20. N 3. P. 113-132.
7. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Под ред. В.С. Григорьева и Л.Д. Розенберга. Изд.2. – М.: Иностранная литература, 1957. – 726 с.

8. Неволин О.В., Иванов А.И., Астафьев А.Н. и др. Электромагнитно – акустический дефектоскоп - толщиномер. – В сб.: «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». – Харьков: ХИРЭ, 2003. С. 13-15.
9. Сучков Г.М. Разработка приборов для неразрушающего контроля ЭМА способом. – В сб. «Информационные материалы 5-го международного семинара-выставки «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». Харьков. 2004. С. 7-12.
10. Себко В.П., Сучков Г.М. Электромагнитно - акустический способ неразрушающего контроля. Часть 1. Эффект электромагнитно - акустического преобразования // Український метрологічний журнал. 2003. Вип. 1. С. 35-38.
11. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента. М.: Радио и связь, 1983.-248 с.
12. Ботаки А.А., Ульянов В.Л., Шарко А.В. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1983. - 75 с.
13. Гурвич А.К., Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. - Киев: Техника, 1972. 460с.
14. Ермолев И.Н. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля. М.: Машиностроение, 1986. - 280 с.
15. Крауткрамер И., Крауткрамер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справ, изд./ Пер. с нем. М.: Металлургия, 1991. - 752 с.
16. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Физическая акустика. /Под ред. У. Мэзона. М.: Мир, 1967.

17. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн.2. Акустические методы контроля. Авторы: И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов. /Под ред. Сухорукова. - М.:выш.Шк., 1991.
18. Ремонт летательных аппаратов //Учебник для ВУЗов гражданской авиации/ А.Я.Алябьев, Ю.М.Болдырев, В.В.Запорожец и др./Под ред. Н.Л.Голего,- М.: Транспорт, 1984. 422 с.
19. Соломонов П.А. Надежность планера самолета. М.: Машиностроение, 1974.- 320 с.
20. Ультразвуковые методы в физике твердого тела Р. Труеля. Ч. Эльбаум, Б. Чик. М.: Мир, 1972.
21. Хилько М.І. Екологічна безпека України//Навчальний посібник.-К.: 2017.-267 с.
22. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища//Навчальний посібник.-К.: Тов. «Знання», 2000.-205 с.
23. Буриченко Л.А. Охрана труда в гражданской авиации//Учебник для ВУЗов. –М.: Транспорт, 1993.-288 с.
24. Протоєрейський О.С. Охорона праці. –К.: НАУ, 2001.-82 с.